

**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ  
ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI  
RÉGIÓBAN  
2015**

**KONFERENCIA  
ELŐADÁSAI**

**Debrecen, 2015. június 11.**

**Szerkesztette:**  
**Edited by**  
*Dr. Bodzás Sándor*

**Kiadja:** **Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

**ISBN 978-963-7064-32-6**

**Debrecen 2015**

**A konferencia szervezői:**

**A Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság (DAB)  
Műszaki Szakbizottsága,**

**a Debreceni Egyetem Műszaki Kara,**

valamint az

**Üzemfenntartási Alapítvány**

**A konferencia fővédnöke:**

**Dr. habil Szűcs Edit**  
**a Debreceni Egyetem Műszaki Kar dékánja**

**A konferencia Programbizottsága:**

**Ráthy Istvánné Dr., *elnök*; Dr. Bodzás Sándor, *titkár*;**

**Dr. Békési Bertold, Dr. Berta Miklós, Dr. Bodnár Ildikó, Dr. Dudás Illés,  
Dr. Garai József, Dr. Husi Géza, Dr. Kalmár Ferenc, Dr. Kocsis Imre,  
Dr. Kovács Imre, Dr. Mankovits Tamás, Dr. Nehme Kinga,  
Dr. Óvári Gyula, Dr. Palik Mátyás, Dr. Szabolcsi Róbert,  
Dr. Szabó István, Dr. Szabó Sándor, Dr. Szegedi Péter,  
Dr. Szigeti Ferenc, Dr. Szíki Gusztáv Áron, Dr. Szűcs Edit,  
Dr. Szűcs Péter, Dr. Ungvárai Ádám**

**A konferencia támogatói:**

***FANUC Robotics Magyarország Kft***  
***DKV Debreceni Közlekedési Zártkörűen Működő Részvénytársaság***



## TARTALOMJEGYZÉK

<b>Tóth László</b> A MÉRNÖK ÉS AZ ÖKOLÓGIAI LÁBNYOM	1
<b>Dudás Illés</b> MERRE TART A GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA?	2
<b>Zöld András</b> AZ ÚJ ÉPÜLETENERGETIKAI IRÁNYELV ÉS A FENNTARTHATÓSÁG	21
<b>Skoda Melinda</b> A VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS JELLEMZŐINEK ALAKULÁSA AZ EURÓPAI UNIÓ TAGÁLLAMAIBAN	28
<b>Monostori Renáta</b> AZ ACETABULAR ÉS A GÖMBFEJ ÉRINTKEZÉSÉNEK VIZSGÁLATA	34
<b>Bodzás Sándor</b> KÚPOS CSIGATENGELY BEFEJEZŐ MEGMUNKÁLÁSA KORONGBEDÖNTÉSI SZÖG KORREKCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL	39
<b>Bodnár István</b> TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉK ENERGETIKAI CÉLÚ HASZNOSÍTÁSÁNAK KOMPLEX VIZSGÁLATA	47
<b>Berta Miklós</b> CAPP RENDSZEREK FEJLESZTÉSI ÉS ALKALMAZÁSI TAPASZTALATAI	53
<b>Balogh Gábor, Varga Emil</b> ÉLELMISZERMÉRNÖKI ALAPSZAK - OKJ MODULOK MEGFELELTETHETŐSÉGE	60
<b>Balogh Gábor, Mankovits Tamás, Manó Sándor, Tóth László</b> TITÁN HABOK GYÁRTÁSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK ÁTTEKINTÉSE	64
<b>Miklós Rita, Tóth Márton, Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László</b> VÍZKÉMIAI ADATOK FELHASZNÁLÁSA KARSZTVÍZ DOMBORZATI TÉRKÉP PONTOSÍTÁSÁRA	71
<b>Zákányi Balázs, Kovács Balázs, Tóth Márton, Kolencsikné Tóth Andrea, Mikita Viktória</b> KLÓROZOTT SZÉNHIIDROGÉNEK TRANSZPORT-MODELLEZÉSI VIZSGÁLATA EGY MÁTRAJ MINTATERÜLETEN	77
<b>Fejes Zoltán, Zákányi Balázs, Szűcs Péter, Deák József</b> ÁRAMLÁSI RENDSZEREK PONTOSÍTÁSA IZOTÓP ÉS VÍZKÉMIAI VIZSGÁLATOKKAL A TOKAJI-HEGYSÉG PEREMI RÉSZÉIN	83

<b>Mankovits Tamás, Ráthy Istvánné</b> DUÁLIS KÉPZÉS A DEBRECENI EGYETEM GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPSZAKÁN	<b>89</b>
<b>Bene Martina, Óvári Gyula, Palik Mátyás</b> HELIKOPTER TÍPUSVÁLTÁS LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI MAGYARORSZÁGON	<b>93</b>
<b>Orosz Máté</b> POLISZTIROLBETON FALPANEL HŐ- ÉS NEDVESSÉGFÜGGŐ HŐVEZETÉSE	<b>114</b>
<b>Tollár Sándor, Tóth Róbert</b> EGYHENGERES MOTOR SZÍVÓCSÖVÉNEK NYOMÁSHULLÁM VIZSGÁLATA HELMHOLTZ-REZONÁTOR JELENLÉTE MELLETT	<b>120</b>
<b>Korponai János, Bányainé Tóth Ágota, Illés Béla</b> VÁLLALATOK KÖZÖTTI STRATÉGIAI EGYÜTTMŰKÖDÉS	<b>127</b>
<b>Kézi Csaba Gábor, Kocsis Imre, Szíki Gusztáv Áron, Vámosi Attila, Vinczné Varga Adrienn</b> MATEMATIKAI SZOFTVEREK ALKALMAZÁSA MŰSZAKI SZÁMÍTÁSOKBAN	<b>135</b>
<b>Zákányiné Mészáros Renáta, Zákányi Balázs, Demény Anita</b> EDC SZENNYEZŐANYAGOK VIZEKBŐL TÖRTÉNŐ ELTÁVOLÍTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA	<b>141</b>
<b>Szegedi Péter, Szabó Vivien</b> HOGYAN BEFOLYÁSOLJA A TERRORIZMUS A REPÜLŐTEREK BIZTONSÁGÁT A TECHNIKA SZEMSZÖGÉBŐL?	<b>147</b>
<b>Békési Bertold, Szegedi Péter, Molnár András, Stojcsics Dániel, Makkay Imre</b> EGY NEMZETKÖZI, PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK VERSENYPÉNEK TAPASZTALATAI	<b>157</b>
<b>Szegediné Darabos Enikő, Lénárt László, Hernádi Béla</b> FORRÁSOKBAN ÉS KUTAKBAN MÉRT VÍZSZINTCSÖKKENÉSEK JELLEGZETESSÉGEIBŐL KINYERHETŐ INFORMÁCIÓK A BÜKKI KARSZT PÉLDÁJÁN	<b>169</b>
<b>Czédli Herta, Szíki Gusztáv Áron</b> BIOAKKUMULÁCIÓ VIZSGÁLATA PIXE MÓDSZERREL	<b>175</b>
<b>Csanády Gábor</b> A MŰEMLÉKVÉDELEM FUNKCIÓI	<b>180</b>
<b>Tóth József</b> A TANULÁSI EREDMÉNYEK MEGHATÁROZÁSA A MÉRNÖKKÉPZÉS FOLYAMATÁBAN	<b>188</b>
<b>Békési Bertold, Szegedi Péter</b> ÖTÖDIK GENERÁCIÓS VADÁSZREPÜLŐGÉPEK FEJLESZTÉSÉNEK FILOZÓFIÁI	<b>194</b>

<b>Dombora Sándor</b> ÁLLAMI SZERVEZETEK INFORMÁCIÓBIZTONSÁGÁNAK FEJLESZTÉSE	<b>207</b>
<b>Németh Géza, Németh Nándor, Péter József</b> DÖRZSBOLYGÓMŰ HAJLÉKONY ELEMINEK SZILÁRDSÁGI SZÁMÍTÁSA	<b>213</b>
<b>Lámer Géza</b> A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL I. RÉSZ. A TŰZ ÉS ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS A TÜZET KÖVETŐEN	<b>220</b>
<b>Lámer Géza</b> A PITAGORASZ-TÉTEL ÁLTALÁNOSÍTÁSAI AZ $n$ -DIMENZIÓS EUKLIDESZI TÉRRE	<b>232</b>
<b>Fazekas Lajos, Molnár András</b> HIDRAULIKUS BERENDEZÉSEK ZAVARMENTES ÜZEMELÉSÉNEK FELTÉTELEI, AZ ALKALMAZOTT HIDRAULIKA FOLYADÉKOK FELÜGYELETE, ÉS KARBANTARTÁSA	<b>257</b>
<b>Fábián Kristóf, Kiss Zsolt</b> RADARKERESZTMETSZET MÉRÉSE DOPPLER ELJÁRÁS SEGÍTSÉGÉVEL	<b>265</b>
<b>Földesi Krisztina</b> A BIOMETRIKUS AZONOSÍTÁSI TECHNIKÁK ALKALMAZÁSÁNAK RENDŐRSÉGI PERSPEKTÍVÁI	<b>276</b>
<b>Gyurkó Zoltán, Borosnyói Adorján</b> NORMÁL SZILÁRDSÁGÚ BETON KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATÁNAK DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉSE	<b>283</b>
<b>Hagymássy Zoltán, Gindert-Kele Ágnes</b> MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉP KÚPOS-SZALAGOS SZÓRÓ SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA	<b>290</b>
<b>Hancz Gabriella</b> A ZÖLD INFRASTRUKTÚRA ALKALMAZÁSA A VIZEK MENNYISÉGI- ÉS MINŐSÉGI VÉDELMERE DEBRECENBEN A VÍZ KERETIRÁNYELV CÉLJAIVAL ÖSSZHANGBAN	<b>294</b>
<b>Molnár András, Csabai Zsolt, Ráthy Istvánné, Fazekas Lajos</b> HOVÁ TART A TERMIKUS SZÓRÁSI TECHNOLÓGIA FEJLŐDÉSE?	<b>300</b>
<b>Hudák József, Literáti Zsolt, Kovács Imre, Radnay László</b> FACSAPOS KAPCSOLATOK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA	<b>307</b>
<b>Kovácsné Igazvölgyi Zsuzsanna, Kisgyörgy Lajos</b> GYALOGOSOK ÉS KERÉKPÁROSOK KÖZÖTTI KONFLIKTUSOK OKAI BUDAPESTEN	<b>313</b>

<b>Jakab Erika, Kuti Csilla, Pintye Zsombor, Kovács Imre</b> WSG KIEGÉSZÍTŐ ANYAG ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSAI A BETON MECHANIKAI JELLEMZŐIRE	<b>319</b>
<b>Kasza Klaudia, Izbékiné Szabolcsik Andrea, Bodnár Ildikó</b> OLDOTT ÉS NEM OLDOTT ANYAGOK VIZSGÁLATA HÁZTARTÁSI SZÜRKEVIZEKBEN	<b>325</b>
<b>Kolláth Gábor, Szegedi Péter</b> A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖKÖN ALKALMAZOTT SZENZOROK	<b>331</b>
<b>Kocsis Imre, Tóth László</b> MATEMATIKAI SZOFTVEREK ALKALMAZÁSA A GÉPÉSZMÉRNÖKI KÉPZÉSBEN	<b>339</b>
<b>Varga Zsolt, Czédli Herta, Bíró János, Fekete Ákos</b> ORTOFOTÓK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ERDŐHATÁROK GEODÉZIAI FELMÉRÉSE ALAPJÁN	<b>348</b>
<b>Kovács Ágota</b> NAPENERIGA FELHASZNÁLÁSÁNAK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE, AVAGY NINCS ÚJ A NAP ALATT	<b>354</b>
<b>Kovács József, Salem Georges Nehme</b> ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON	<b>364</b>
<b>Krámer Gyula, Siménfalvi Zoltán, Szepesi L. Gábor</b> ABSZORPCIÓS HŰTÉSI RENDSZER MODELLEZÉSE	<b>373</b>
<b>Kozma Ferenc, Varga Ferenc</b> EGY LIEBHERR FORGÓKOTRÓ GÉMTÖRÉSÉNEK VIZSGÁLATA	<b>380</b>
<b>Mező Norbert János, Taiierling János, Kovács Imre</b> MŰANYAG SZÁLERŐSÍTÉSŰ VASBETON GERENDÁK ALAKVÁLTOZÁSI ÁLLAPOTA	<b>386</b>
<b>Ilyés Csaba, Turai Endre, Szűcs Péter</b> A NYÍRSÉG CSAPADÉK IDŐSORAINAK STATISZTIKUS ÉS CIKLIKUS JELLEMZŐINEK VÁLTOZÁSA	<b>392</b>
<b>Kozmáné Szirtesi Krisztina, Angyal Anikó, Szoboszlai Zoltán, Furu Enikő, Török Zsófia, Kertész Zsófia</b> AEROSZOL VIZSGÁLATOK PASSZÍVHÁZ TECHNOLÓGIÁS ÉÜLETEKBEN	<b>398</b>
<b>Hajdu Sándor, Ráthy Istvánné</b> A JÁRMŰIPARI FOLYAMATTERVEZŐ SPECIALIZÁCIÓ SZEREPE A DE-MK GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉKÉNEK OKTATÁSI STRUKTÚRÁJÁBAN	<b>408</b>
<b>Huri Dávid, Fazekas Lajos, Balogh Gábor</b> LEMORZSOLÓDÓ HALLGATÓK A GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPSZAKON, RÉSZISMERETI TUDÁS BESZÁMÍTÁSA AZ OKJ KÉPZÉSBE	<b>412</b>

<b>Kalmár Imre, Kalmárné Vass Eszter, Grasselli Gábor, Szendrei János</b> TECHNOLÓGIAI RENDSZER SZINTŰ PROBLÉMÁK A HAZAI, MEZŐGAZDASÁGI EREDETŰ BIOMASSZÁRA ALAPOZOTT BIOGÁZÜZEMEK TARTÓS, FENNTARTHATÓ ÜZEMELTETÉSÉBEN	<b>418</b>
<b>Dezső Gergely, Szigeti Ferenc</b> ADDITÍV GYÁRTÁSSAL KÉSZÍTETT ALKATRÉSZEK MIKROSZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA	<b>424</b>
<b>Poós Tibor</b> MATEMATIKAI MODELLEK ÉS TÉRFOGATI HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐK DOBSZÁRÍTÓKNÁL	<b>430</b>
<b>Mankovits Tamás, Varga Tamás Antal, Manó Sándor, Balogh Gábor, Kocsis Imre, Budai István, Gábora András, Tóth László</b> FÉM HABOK MODELLEZÉSI KÉRDÉSEI	<b>436</b>
<b>Nagy Réka Anna, Borosnyói Adorján</b> REPEDÉS GEOMETRIA VIZSGÁLATA BETONBAN KÉPDIGITALIZÁCSI ELJÁRÁSSAL	<b>440</b>
<b>Nagy Balázs</b> ÉPÍTŐANYAGOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA DINAMIKUS HŐ- ÉS PÁRATECHNIKAI MODELLEZÉSHEZ	<b>446</b>
<b>Abdelkader El Mir, Nehme Salem Georges</b> ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK VIZSGÁLATA ULTRAHANGGAL	<b>453</b>
<b>Kavas László, Óvári Gyula, Rozovicsné Fehér Krisztina</b> A GAZDASÁGOSSÁG, A KÖRNYEZETVÉDELEM ÉS A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI A REPÜLÉSBEN	<b>460</b>
<b>Plásztán Bence, Bodnár István</b> BIOMASSZA GÁZOSÍTÁSÁNAK TERMOKINETIKAI MODELLEZÉSE GÁZÖSSZETÉTEL ÉS ENERGETIKAI HATÉKONYSÁG SZEMPONTJÁBÓL	<b>471</b>
<b>Bodnár Balázs</b> AZ INTERMODÁLIS KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK HELYZETE MA MAGYARORSZÁGON ÉS DEBRECENBEN	<b>477</b>
<b>Konyári Mariann, Juhász György</b> CSAVARKÖTÉSEK OLDÁSI NYOMATÉKÁNAK VIZSGÁLATA	<b>484</b>
<b>Rénes Máté, Jakab András, Nehme Kinga, Nehme Salem Georges</b> PONTMEGFOGÁSÚ ÜVEGEK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA	<b>489</b>
<b>Frankó Mihály, Nehme Kinga, Kovács József</b> RONCSOLÁSMENTES BETONVIZSGÁLÓ MÓDSZEREK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA C30/37 NYOMÓSZILÁRDSÁGOT MEGHALADÓ BETONOK ESETÉBEN	<b>495</b>

<b>Sarvajcz Kornél, Váradiné Szarka Angéla</b> TERMÓELEKTROMOS GENERÁTOR SZIMULÁCIÓS ÉS KALIBRÁCIÓS MÉRÉSEI	<b>505</b>
<b>Szabó Sándor, Tóth László, Daróczi Lajos, Beke Dezső, Gyöngyösi Szilvia, Bolgár Melinda, Piros Eszter</b> HAGYOMÁNYOS MŰSZAKI ÖTVÖZETEK ÉS INNOVATÍV ALAKEMLEKEZŐ FÉMEK AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLATA	<b>511</b>
<b>Deák Krisztián, Kocsis Imre</b> SZERSZÁMGÉPORSÓK REZGÉSDIAGNOSZTIKÁN ALAPULÓ HIBADIAGNOSZTIKÁJA GÉPI TANULÁS ALKALMAZÁSÁVAL	<b>517</b>
<b>Taierling János, Mező Norbert János, Kovács Imre</b> MŰANYAG SZÁLERŐSÍTÉSŰ VASBETON GERENDÁK REPEDEZETTSÉGI ÁLLAPOTA	<b>524</b>
<b>Molnár András, Csabai Zsolt, Ráthy Istvánné, Fazekas Lajos</b> TERMIKUSAN SZÓRT NICRBSI BEVONATOK MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA	<b>530</b>
<b>Tóth Márton, Ling Erika, Kovács Balázs</b> TELÍTETT ÉS TELÍTETLEN SZIVÁRGÁS VIZSGÁLATA RUDABÁNYAI MEDDŐHÁNYÓ MINTÁKBAN	<b>537</b>
<b>Truzsi Alexandra, Bodnár Ildikó</b> ANTROPOGÉN SZENNYEZŐK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A HORTOBÁGY- BERETTYÓ FŐCSATORNA NÖVÉNYI TÁPANYAGTARTALMÁRA	<b>543</b>
<b>Ungvárai Ádám, Kisgyörgy Lajos</b> KÖZLEKEDÉSI MINTÁZATOK ANALÓGIÁN ALAPULÓ VIZSGÁLATA VÉGESELEMES MÓDSZERREL	<b>548</b>
<b>Jakab András, Nehme Kinga, Nehme Salem Georges</b> ÜVEG LIZÉNÁK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA	<b>554</b>
<b>Valentényi Péter</b> SZERVEZÉSI FELADATOK VIZSGÁLATA EGY MEGVALÓSULT ÉPÍTKEZÉSRE	<b>561</b>
<b>Varga Béla, Békési László, Sipos Jenő</b> GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK PARAMÉTER-ÉRZÉKENYSÉGI VIZSGÁLATA	<b>567</b>
<b>Vermes Pál</b> A KARBANTARTÁS – ÉRTÉKELÉS ÉS – FEJLESZTÉS NÉHÁNY LEHETŐSÉGE	<b>573</b>
<b>Pálinkás Sándor, Krállics György, Bézi Zoltán</b> HIDEGHENGERLÉSI FOLYAMAT VÉGESELEMES MODELLEZÉSE	<b>582</b>
<b>Bak Judit</b> A DUÁLIS KÉPZÉS EURÓPÁBAN, A NÉMETORSZÁGI DUÁLIS MODELL	<b>588</b>



<b>Zákányi Balázs, Fejes Zoltán, Szűcs Péter, Székely Ferenc</b> A TOKAJI-HEGYSÉG VÍZGAZDÁLKODÁSI CÉLÚ REGIONÁLIS ÁRAMLÁSI MODELLJÉNEK PONTOSÍTÁSA ÉS KALIBRÁLÁSA	<b>592</b>
<b>Antal Tamás, Kerekes Benedek</b> KUTATÁSI EREDMÉNYEK A KORSZERŰ ÉS KÖLTSÉGHATÉKONY HIBRID SZÁRÍTÁSI MÓDSZER KIDOLGOZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN	<b>598</b>
<b>Bánóczy Emese</b> ÉPÜLETEK ENERGIAFOGYASZTÁSÁNAK VIZSGÁLATA AZ ENERGY PLUS SZOFTVER HASZNÁLATÁVAL	<b>606</b>

## A MÉRNÖK ÉS AZ ÖKOLÓGIAI LÁBNYOM

### THE ENGINEER AND THE ECOLOGICAL FOOTPRINT

**Tóth László**

egyetemi tanár  
DE Műszaki Kar  
laszlo.toth@bayzoltan.hu

**Kivonat:** *A társadalmi fejlődés hajtóereje önmagában a társadalomban rejlik, de mögötte mindig és mindenkor a társadalmat, a gazdaságot és az emberek egymáshoz való viszonyát meghatározó műszaki-technikai változás húzódik meg. Ezek alapja a természettudományos és műszaki ismeretek, amelyek művelői általánosságban fogalmazva a „mérnökök”. Minden változás, átalakulás viszont következményekkel jár, amelyek visszahatnak környezetünkre befolyásolván ezzel a jövő kilátásait. Az utóbbi két-három évszázadban minden egyes generáció átélt minimum egy olyan változást, ami gyökeresen megváltoztatta a gazdaság és társadalom strukturáját, valamint a lehetséges jövőképet. A föld jelenlegi 7,32 milliárd lakosságának növekedési üteme és a föld eltartó képességének összevetése nyomatékosan aláhúzza a „mérnök” tevékenységének ökológiai aspektusát, amely meghatározó lehet az emberiség létfeltételeinek biztosításában.*

**Kulcsszavak:** mérnök, ökológiai lábnyom, társadalom, fenntartható fejlődés, változás

**Abstract:** *The driving force in development of human society is included into the society itself, but always behind it can be found a general technical innovation which reorganizes economy, society i.e. human mutual relationships. These innovations are based on scientific reasoning or engineering knowledge, or in general saying, these innovations are the product of “engineers”. There are no changes without consequences, which are reacting on their environments, effecting on the future possibilities. During the last two-three centuries each generation met minimum one that type of innovation which radically reorganized the human society, the economical background. Considering the actual 7,32 billion population and its growing tendency underlines the general importance of “ecological effect” of engineering activities, which could be dominant part of human being conditions in the future periods.*

**Keywords:** engineer, ecological footprint, society, sustainable development, transformation

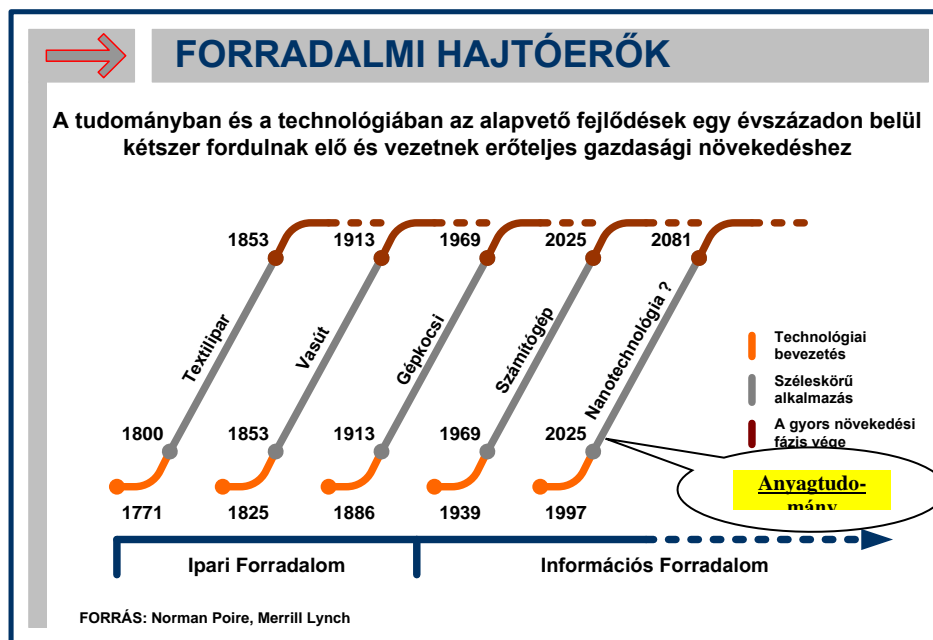
## 1. BEVEZETÉS

Életünk különböző periódusaiban más-más módon gondolkodunk. Fiatalon szeretnénk mindent megtanulni, alkotó éveinkben tudásunk alkalmazására törekszünk és szeretnénk hozzatenni valamit a szakmánkban felhalmozott ismerethalmazhoz, még életünk alkonyán – szembesülve és tudomásul véve tudatlanságunkat – megkíséreljük megérteni környező világunk „működését” és e „működésben” saját – az emberiség – helyünket, szerepünket.

Őseink azt emlegették, hogy a természeti környezetünket unokáinktól, gyermekeinktől csupán kölcsön vettük, azaz alapvető feladatunk az, hogy egy-két generáció múlva ugyanolyan állapotban adjuk át utódainknak, mint ahogyan ezt kaptuk. Sajnos azt már tisztán látjuk, hogy az egymás utáni generációk erre képtelenek. Ennek oka, hogy a történeti visszatekintés és annak tanulsági alapján tudjuk, az utóbbi évszázadokban minden egyes generáció minimum egyszer találkozott olyan új technikakörnyezeti helyzettel, amely alapvetően megváltoztatta a társadalomhoz, a gazdasághoz és közvetlen környezetéhez kötődő mindennapi viszonyát.

## 2. A TÁRSADALMAT, GAZDASÁGOT ÁTFORMÁLÓ FORRADALMI HAJTÓERŐK

Az elmúlt 5-6 generáció életét gyökeresen megváltoztató ún. „forradalmi hajtóerőket” az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A gazdaságot, társadalmat átformáló műszaki alapú hajtóerők

Az átalakulás, a fejlődés forradalmi hajtóerői a következőket eredményezték:

- megjelent a társadalmakban az új réteg, a **munkásosztály**,
- megvalósult az egyén, az áruk nagy tömegének **menetrendszerű mozgatása**,
- megvalósult az egyének, az áruknak, az **önálló elhatározáson nyugvó mozgatása**,
- az információs technológia megjelenése új távlatokat és lehetőségeket nyitott a világ globalizációjában,
- megvalósult az **anyagtudomány forradalma**, az élő- és élettelen anyagok egységes rendszerben történő kezelésének lehetősége.

A fentiekből számos dolog direkt módon következik, amelyek közül a következőket mindenképpen ki kell emelni, ki kell hangsúlyozni:

- a forradalmi változások végbemennek a megvalósítási, a gyártási struktúrákban, de igen jelentős társadalmi hatásuk van,
- átstrukturálódnak a társadalmi értékek, kapcsolatok, a munka értékrendszere,
- minden generációnak szembesülnie kell életében legalább egy ilyen mértékű változással, eseménnyel, és fel kell készülnie az új struktúrában betöltendő szerepére, pozíciójára,
- jelentősen átalakul az „ember” és „környezetének” viszonya, kölcsönhatása, amely végző soron az magának az emberiségnek akár a létfeltételeit is veszélyeztetheti,
- a forradalmi hajtóerőket a természettudományos, műszaki gondolkodásmód generálja, amely ezzel jelentős mértékben hozzájárul az újraelosztó társadalmi lét anyagi alapjainak megteremtéséhez.

Mindezen változások az „ember”, az emberiség gondolkodásmódjának alapvető attribútu-

ma, hiszen a mindenkori ember a rendelkezésére álló eszközrendszerrel szemléli, érzékeli az őt körülvevő világot. Az információk birtokában modelleket alkot, amelyek alapján megmagyarázza a mindenkori jelent, ill. megjósolja a jövő egyes történéseit. Az adekvát modellek alapján „technologizálást” hoz létre (a megismételhetőség lehetőségét biztosító folyamatokat írja le és valósítja meg). Napjaink eszközrendszerével az ismerteket kb.  $10^{24}$ - $10^{18}$  m, tehát mintegy 40 nagyságrendből gyűjtjük, míg a technologizálás kb  $10^{12}$ - $10^9$ m, tehát az információgyűjtés tartományának mintegy fele, azaz 20 nagyságrendet ölel át.

### 3. A TÁRSADALOM, GAZDASÁG ÁTFORMÁLÓDÁSÁNAK HATÁSAI

Az generációként megvalósuló 1-2 gyökeres gazdasági-társadalmi változás természetesen érzékelhető az „ember-környezet” kölcsönhatásában is. Gondoljunk csak bele, hogy mit is eredményezett az 1825-1900 között megvalósult évenkénti több mint 10.000 km hosszúságú „vasútépítés”!! Mennyi nyersanyagra, talpfára, vasúti hídra, alagútra, mozdonyra, teher- és személykocsira, stb. volt szükség, ill. milyen hajtóerőt jelentett mindez a természettudományok fejlődésére!

A fejlődés illetően alakulása, folyamata joggal veti fel az emberiség létének, létfeltételeinek alapproblémáját és egyben az egyes generációk alapvető feladatát, a fenntartható fejlődés mindenkori feltételrendszerét. Azt szokták mondani, hogy a mindenkori generáció a majdani unokáitól, gyermekeitől kölcsönveszi az élhető természeti környezetet és alapvető feladata ennek ilyen formában történő átadása a megváltozott feltételrendszerben, a megnövekedett lakosság számának figyelembevételével, a bekövetkezett fejlődés mellett!

Az emberiség létfeltételei biztosítottak akkor, ha a megfelelő mennyiségű „**élelmiszer – anyag – energia**” áll rendelkezésre. Az élelmiszert (és az ivóvizet!) tekintve, az emberiség a folyamatosan növekvő lakosság számát tekintve ugyanolyan kihívásokkal néz szembe az elkövetkező 30-50 évben, mint az energiakérdésben. A lakosság növekedésének üteme jól jellemezhető azzal, hogy a világ lakosainak száma az 1600-as évek közepén megegyezett a mai Európáéval, napjainkban több mint 7,32 milliárd [1]. A növekedés tendenciáját kellően érzékeltetik a következő számok: 1804 -1 milliárd, 1927 – 2 mrd, 1960 – 3 mrd, 1974 – 4 mrd, 1987 – 5 mrd, 1999 – 6 mrd, 2011 – 7 mrd. A jelenlegi adatokra alapozott becslések szerint 2062-ben, azaz mintegy 50 év múlva (egy aktív emberélet) 10 mrd lesz a föld várható népességének száma.

Napjainkban az „ember – környezet” kölcsönhatása teljes mértékben önkényesen kiragadott példákön a következő tényekkel illusztrálhatók:

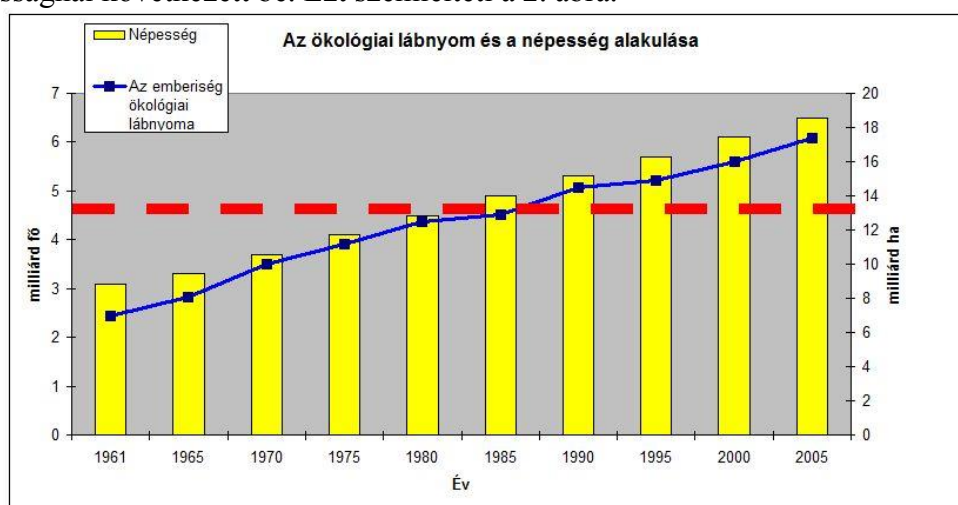
- a nap minden pillanatában átlagosan 10.000 db a levegőben levő repülőgépek száma [2],
- az egyes repülőtereken évente megforduló utasok száma: Atlanta -100 millió, Heathrow, Tokyo – 73 millió, Frankfurt – 60 millió, Amsterdam, Singapur, Istambul – 55 millió, Sydney, Madrid, München – 40 millió, Moszkva – 33 millió, stb.
- az egyes városokba látogatók száma pl. London, New York City, Tokyo, Atlanta, Párizs, Chichago, Peking, Los Angeles: 85-135 millió.
- az évente gyártott gépkocsik száma: 65-80 millió, ebben az évben jelenleg kb. 34 milliónál tartunk [3],
- az emberiség évi energiafelhasználása 780 exajoule, amelynek 75-80-a a tradicionális forrásokból biztosított,
- a naponta használt vasútvonal összes hossza jelenleg 1.371 ezer km [4].

Egy biztos, az „emberiség – természet” kölcsönhatásában az emberiség beavatkozása egyre agresszívabb és egyre inkább kimerülnek azon források, amelyeket a természet évmilliók so-

rán hozott létre. Ennek érzékelésére a kanadai William Rees és Mathis Wackernagel ökológusok javasolták az „ökológiai lábnyom” fogalmának [5] bevezetését. Ez gyakorlatilag a föld által megtermelt és az emberiség által felhasznált javakat kívánja felmérni, összehasonlítani. A Föld „javakra lebontott” termelő kapacitását különböző megfontolások alapján 11,2 gha-ban (gigahektár) határozták meg. Mások szerint ez az érték 13-13,5 gha. Az emberiség tevékenységével ebből létfenntartásához különböző mennyiségeket használ fel. Az alaptevékenységek, a „lábnyom”-ba tömöríthetők a következők:

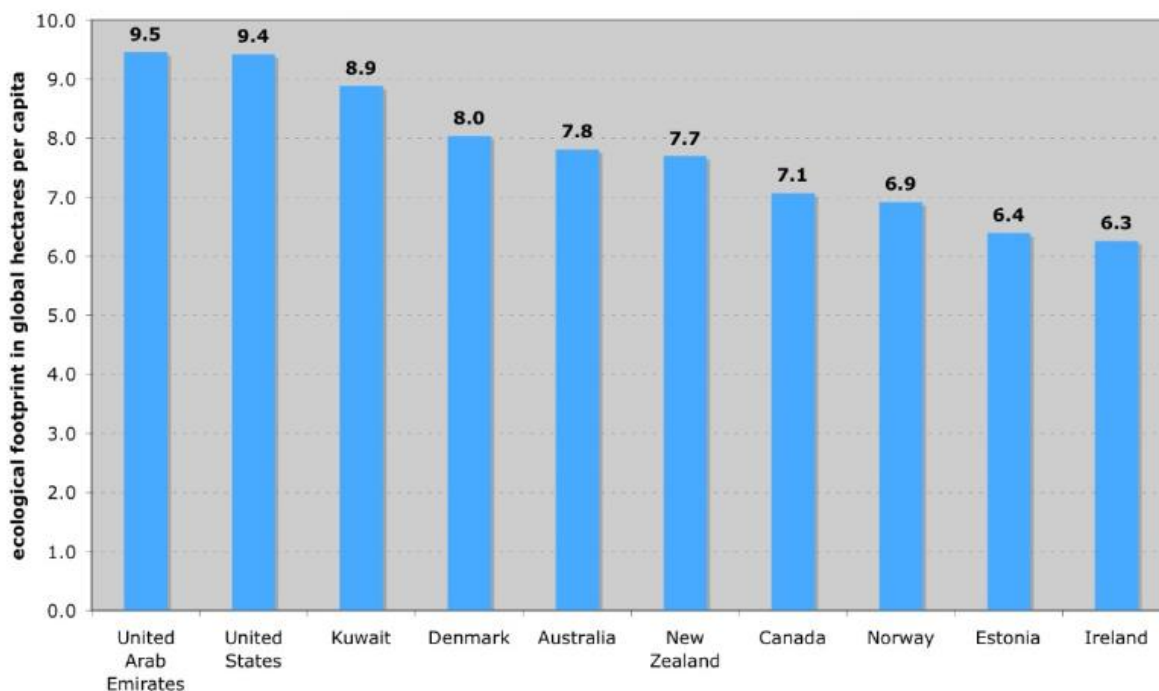
- **Szén** lábnyom: A fosszilis erőforrások elégetéséből, a földhasználat-változásból és kémiai folyamatokból keletkező CO<sub>2</sub> elnyeléséhez szükséges erdőterület nagysága.
- **Legelő** lábnyom: Annak a területnek a nagysága, amely a hús- és tejtermékekért, irhért és gyapjúért tartott állatállomány eltartásához szükséges.
- **Erdő** lábnyom: Az éves rönkfa, papíralapanyag-, faáru és tűzifa-felhasználás alapján becsült terület.
- **Halászati** lábnyom: A különböző tengeri és édesvízi fajok halászati adatai alapján, valamint az újratermelési igényeik alapján becsült érték.
- **Szántó lábnyom**: Az emberi fogyasztásra, állati takarmányozásra és bio-üzemanyagok előállítására termelt növények termesztésének területigénye.
- **Beépített területek**: Az emberi infrastruktúrához (pl. közlekedés, lakások, ipari létesítmények, vízi erőművek tározói) szükséges földterület nagysága.

Az ökológiai lábnyom számítására szakemberek különböző módszereket dolgoztak ki. Ezek részleteiről a szakmabeliek természetesen igen kemény vitákat folytatnak, de mégis azt lehet mondani, hogy már az árnyalatok, a lokális sajátosságok minél megalapozottabb figyelembevételére törekszenek. Ezt talán jól jellemezheti egy Google keresés eredménye is. Magyar nyelvű anyagokban 0.29 sec alatt 7.470, angol nyelvűekben 0.41sec alatt 751.000 volt a szótették nemzetközi hálózatukat is, a Global Footprint Network [6], amelynek munkájában az önálló személyeken kívül, mintegy 23 nemzet, 200 városa vesz részt különböző intézményeivel. Hazánkat például a Corvinus Egyetem képviseli. A Network éves jelentéseket hoz nyilvánosságra 152 ország adatainak feldolgozásával, hírlevelei vannak különböző nyelveken (beleértve az arab, hindi, stb. nyelveket is), országokra, városokra vonatkozó adatokat tesznek közzé könnyen kereshető formában, ill. prognózisokat is közölnek. A Föld eltartó képességét és a növekvő lakosságszámot összevetve az 1980-as évek második felében, mintegy 4,5 -4,8 mrd lakosságnál következett be. Ezt szemlélteti a 2. ábra.



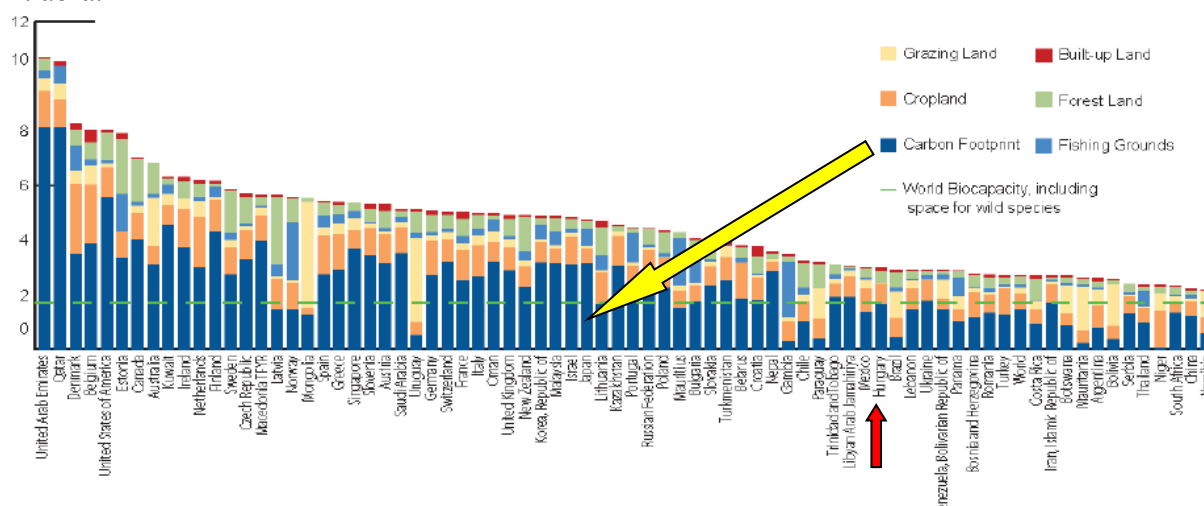
2. ábra. A népesség számának növekedési üteme és a 13-13,5 gha ökológiai kapacitás viszonya

Természetes az, hogy a fejlettebb, gazdagabb országok részesedése a természeti javakból jóval nagyobb, mint a szegényebbeké, ill. kevésbé fejlettekké. Ezt szemlélteti a 2009-es adatok alapján a 3. ábra.



3. ábra. A természeti erőforrások legnagyobb ki(fel)használói a 2009. évi adatok alapján

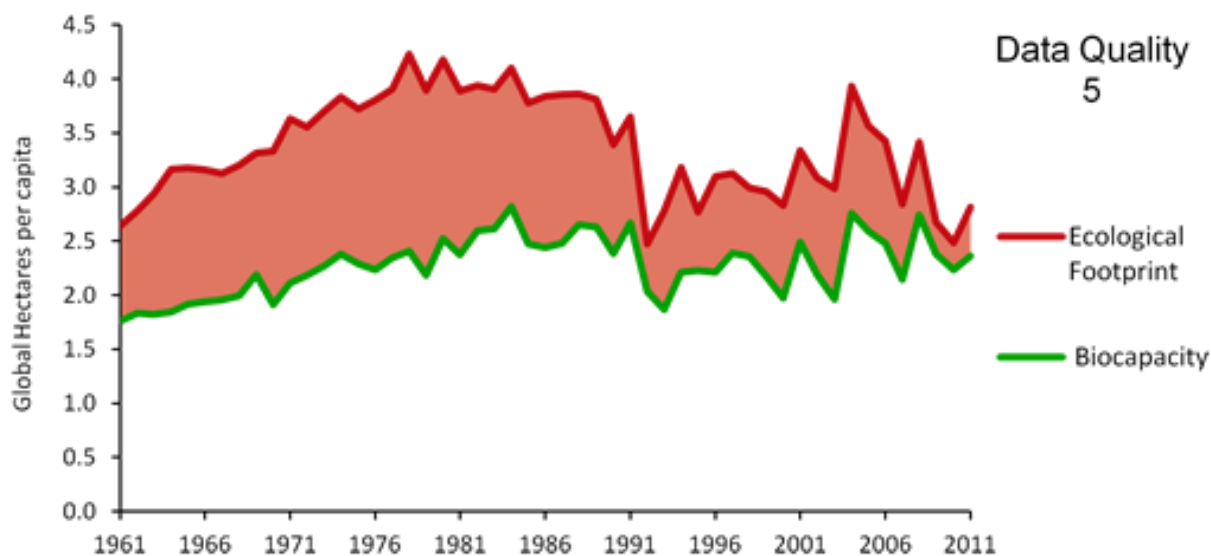
Egyes adatok alapján napjainkban sem változott a sorrend, de az Egyesült Arab Emírátsok és az Amerikai Egyesült Államok és Kuwait már eléri a 10-es értéket is. A Föld legnagyobb „deficitje” a **szén lábnyom** tekintetében van, ami a CO<sub>2</sub> kibocsájtáshoz, és az ezzel együtt járó klímaváltozáshoz kötődik. A 2007. évi adatok alapján az országonkénti helyzetet szemlélteti a 4. ábra.



4. ábra. A **szén** lábnyom aránya az ökológiai lábnyomon belül a 2007. évi adatok alapján

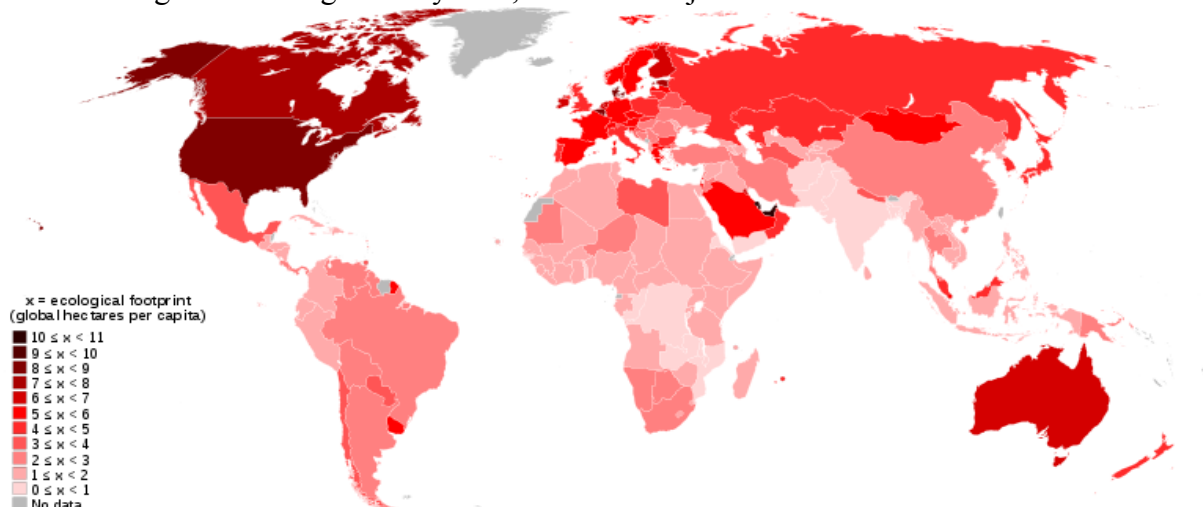
A 4. ábrán feltüntetett adatok alapján látható, hogy a CO<sub>2</sub> kibocsájtás csökkentése az emberiség létfeltételeinek biztosítására igenis alapvető fontosságú, hiszen az igazán jelentős tartalékok ebben rejlenek. Ha csak a hazánkra vonatkozó adatsort tekintjük, akkor láthatjuk, hogy a mintegy 3 értékű biológia lábnyomunk mintegy 50%-át a **szén** lábnyom adja. A Global

Footprint Network adatai szerint (5. ábra) hazánk ökológiai helyzete a rendkívüli módon környezetkárosító nehézipar összeomlásával javult ugyan, de még napjainkban is mintegy háromszorosát használjuk fel a „természet-adta” forrásoknak.



5. ábra. Hazánk ökológiai lábnyoma és kapacitásának alakulása az elmúlt félvszázadban

A Föld országainak ökológiai lábnyomát, annak földrajzi eloszlását szemlélteti a 6. ábra.

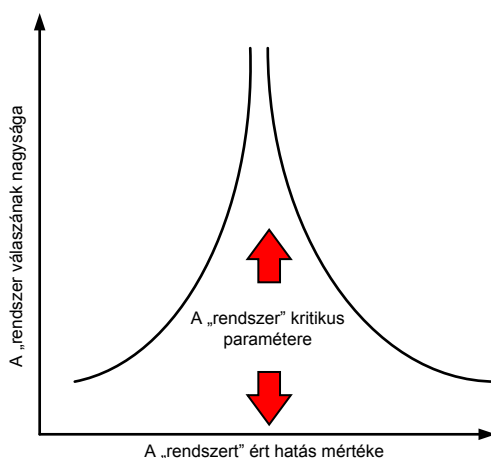


6. ábra. Az ökológiai lábnyom eloszlása Földünkön

Az teljesen nyilvánvaló, hogy minden rendszer „válaszol” az őt ért hatásra a „struktúráján” keresztül. Ez a „válasz” alapvetően kétféle lehet. Vagy **mennyiségi**, vagy pedig **minőségi**. Ezt igyekszik szemléltetni a 7. ábra. Mindig és minden rendszernek vannak, un. kritikus paraméterei, amelye elérve a rendszer „válasza” a mennyiségiből a minőségibe csap át. Gondoljunk csak a

- fázisátalakulásokra (szilárd, folyadék, gőz)
- saját frekvenciára
- alakváltozásra és törésre
- abszorpciós küszöbre (rtg. vizsgálat)
- lamináris és turbulens áramlásra,

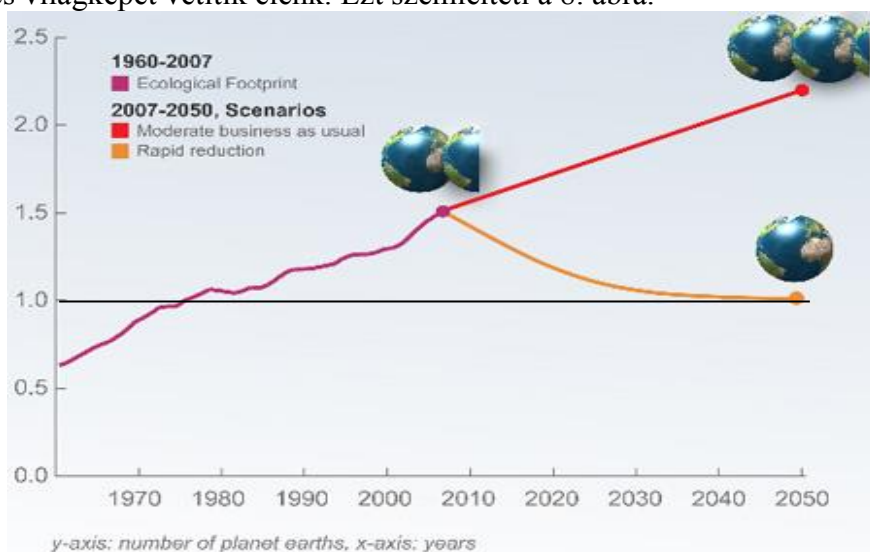
- gyulladásra – égésre – robbanásra
- életre és halálra
- stb.



7. ábra. Egy rendszert ért hatás és annak lehetséges **menyiségi** és **minőségi** válasza

A 7. ábrát szemlélve ugyancsak nyilvánvaló az is, hogy a rendszer kritikus paraméteréhez közeledve a rendszer válaszának gradiense egyre növekszik. A minket körülvevő természet is van így ezzel. Gondoljunk csak a minden egyes napon közel ugyanazon helyen levő kb. 10.000 repülőgép lokális „gerjesztéseire”, amely a földet körülvevő légtérre, annak hőmérsékletmezejére hat és ebben egyre nagyobb gradienseket indukál, egyre gyorsabban változó lokális időjárást gerjeszt. Az elmondottak csupán egyszerű és leegyszerűsített példája annak, ami az „*emberi beavatkozás – a minket körülvevő természet válasza*” párbeszédben lezajlik. Tény viszont az, hogy e „párbeszéd” nem a természet stabilitásának, hanem az instabilitás növekedése irányába hat, ami az emberiség létfeltételeit veszélyezteti. Hogy milyen távon, milyen időskálán? Egyszer talán, ismereteink és eszközeink lehetővé teszik, hogy ne csupán a különböző vallások „világvége” koncepcióiról lehessen hallani.

A hogyan tovább tekintetében a 40-50 év múlva (gyermekeink, unokáink) várható scenáriók két lehetséges világlépet vetítik elénk. Ezt szemlélteti a 8. ábra.



8. ábra. A lehetséges jövőképek az emberiség létfeltételeinek biztosításában



Az egyik lehetőség szerint, ha az emberiség ugyanúgy viselkedik, ugyanúgy viszonyul a természethez, mint jelenleg, azaz minden marad úgy, ahogyan most van, akkor a lakosság számának folyamatos növekedéséből adódóan több mint két Föld méretű bolygóra lenne szükség a fenntartható fejlődés feltételeinek biztosítására. A másik lehetőség szerint a természet „kibrálását” folyamatosan csökkentve újból közelítünk az egyetlen Föld nyújtotta keretek ésszerű kihasználásához és a megnövekedett népességszám dacára visszatérünk egységnyi ökológiai lábnyomhoz. Ez pedig meglehetősen nagy feladatot ró az iskolapadokból most kikerülő generáció számára! Ennek tudatosítását nem lehet túlhangsúlyozni!

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A röviden áttekintett gazdasági és társadalmi változásokat, azok hajtóerejét és következményeit figyelembe véve a következő lényeges megállapítások tehetők:

- Az emberiség minden egyes generációja léte során szembekerül 1-2 olyan **gyökeres változással**, amely átformálja a gazdaságot, az ember egymással kialakított kapcsolatrendszerét tükröző társadalmat.
- A változások **hajtóereje** a természettudományos-műszaki ismeretek fejlődésének eredményei („mérnöki” tevékenység).
- A **változásoknak** mindig vannak **következményei**, amelyek vagy mennyiségileg, vagy pedig minőségileg jellemezhetők.
- Az „ember – természet párbeszédében” a következmények kezelésének egyik eszköze az „**ökológiai lábnyom**” fogalomrendszere, amely a természet által termelt és az emberiség által fogyasztott javak szembeállítását hivatott megtenni a Föld fokozatosan növekvő népességének figyelembevételével.
- Minden generáció alapvető feladata az „élhető környezet” továbbadása, azaz a Föld el-tartó-képességének mindenkori fenntartása, a fenntartható fejlődés feltételeinek biztosítása.
- Ez pedig meglehetősen nagy feladatot ró az iskolapadokból most kikerülő generáció számára, következésképpen a most folyó oktatásban fel kell készíteni a generációkat a törvényszerűség felismerésére és követésére. Ez pedig kifejezetten nagy felelősséget ró az oktatási intézmények oktatóira!

#### 2. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.worldometers.info/world-population/>
- [2] <http://www.flightradar24.com/>
- [3] <http://www.worldometers.info/cars/>
- [4] [https://hu.wikipedia.org/wiki/Orsz%C3%A1gok\\_list%C3%A1ja\\_a\\_vas%C3%Bath%C3%A1ll%C3%B3zat\\_hossza\\_szerint](https://hu.wikipedia.org/wiki/Orsz%C3%A1gok_list%C3%A1ja_a_vas%C3%Bath%C3%A1ll%C3%B3zat_hossza_szerint)
- [5] [https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%96kol%C3%B3giai\\_l%C3%A1bnyom](https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%96kol%C3%B3giai_l%C3%A1bnyom)
- [6] <http://www.footprintnetwork.org/>

## MERRE TART A GÉPGYÁRTÁSTECHNOLÓGIA?

Általános matematikai modell felületek, hajtópárok gyártásgeometriai elemzésére, tervezésére és gyártására (ProMAT)

## WHERE IS MANUFACTURING TECHNOLOGY PROGRESSING?

General mathematical model for analysis of manufacturing geometry, design and manufacturing of surfaces and mated elements (ProMAT)

### Dudás Illés

D.Sc., professzor emeritus, illes.dudas@uni-miskolc.hu  
Miskolci Egyetem, Gépgyártástudományi Intézet, H-3515 Miskolc, Egyetemváros  
Nyíregyházi Főiskola, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék,  
H-4400, Nyíregyháza, Sóstói u. 31/B

**Kivonat:** Paradigmaváltás ment végbe. A gyártástechnika, amely az emberi társadalom továbbfejlődését több ipari forradalom során meghatározta, át kellett hogy engedje ezt a hegemoniát más kulcs-technikáknak, mint pl. a számítás-, kommunikációs-, opto-, mikro-, nano- valamint a bio-, és géntechnikáknak, amelyek elkezdtek az ipari társadalomból a tudományos társadalomba való átmenetet kialakítani.

A kulcs-technikák forradalmasítják a gépgyártástechnológiát. A továbbra is alkalmazott gyártástechnika átvette ezeket a kihívásokat és egyre sikeresebben tudja uralkodó szerepének elvesztését ellensúlyozni, miközben kölcsönösen felhasználja a csúcstechnikák felfedezéseit a saját gyártástechnikai fejlesztéséhez többnyire csúcstechnológiai jelleggel.

Az előadás a gépgyártástechnológia fő fejlesztési irányait mutatta be a nano -megmunkálásra, a környezetbarát megmunkálásra és a Rapid prototyping-ra koncentrálna. A legfejlettebb gyártás szervezési eljárás vonatkozásában (CIM) bemutat egy új matematikai modellt, amely magában foglalja a korszerű hajtóművek fejlesztését és a gépgyártástechnológiai legáltalánosabb területeit (ProMAT).

**Kulcsszavak:** általános matematikai modell, gépgyártás, paradigmaváltás, tendenciák a gépgyártásban, CIM rendszerek

**Abstract:** A paradigm-shift has taken place. Production technology, which defined the further development of human society during several industrial revolutions, ceded its hegemony to other key technologies such as computer-, communication-, opto-, mikro-, nano- and bio-, and genetic techniques. These techniques started the forming of the transition from the industrial society towards the scientific society.

The key techniques are revolutionizing the field of manufacturing technology. Production technology, which continues to be applied, has taken these challenges and manages to offset the loss of its dominant role successfully, while mutually using the discoveries of high-tech in its own development with a mostly high-tech nature.

The lecture presented the main development trends of manufacturing technology, with an emphasis on nano- and environmentally friendly machining and Rapid prototyping. In connection with the most advanced manufacturing engineering method (CIM) it presented a new mathematical model which includes the development of modern drives and the general areas of manufacturing technology (ProMAT).

**Key words:** general mathematical model, mechanical engineering, paradigm-shift, trends in mechanical engineering, CIM systems

## 1. BEVEZETÉS

A forgácsolástechnológia tudomány és a gazdaságtudomány egyre növekvő kapcsolódása mutatkozik az utóbbi időben. Jelenlegi tanulmányok [12] arra a következtetésre jutottak, hogy a technológiát és az információtechnológiát (IT) használó menedzsmentet erősen kell integrálni, például a folyamattervezés és gyártástervezés, gyártási rendszerek szimulációja, a hatékony, gyors gyártás, új termékek gyors újratervezése, gyártóeszköz hatékonyságának modellezése beleértve a kezelő személyzetet, funkcionális termékelemzés, algoritmusok virtuális gyártása és ellenőrzése. A forgácsolás technológia esetében a kulcs: az alkatrészek méretének csökkentése, kiemelt felületminőség, szoros tűrések és gyártási pontosság, csökkentett költségek, az alkatrészek súlyának csökkentése és kisebb sorozat nagyság.

Ezen változásoknak közvetlen hatásai vannak a forgácsolási folyamat elsődleges inputjára nevezetesen a forgácsoló szerszámra és szerszámnyagra, a munkadarab anyagminőségre és a hűtő-kenő folyadéokra. Mindezen inputokról a terjedelem keretein belül szólunk ebben a cikkben.

## 2. ÁLTALÁNOS FEJLESZTÉSÉNEK TENDENCIÁI

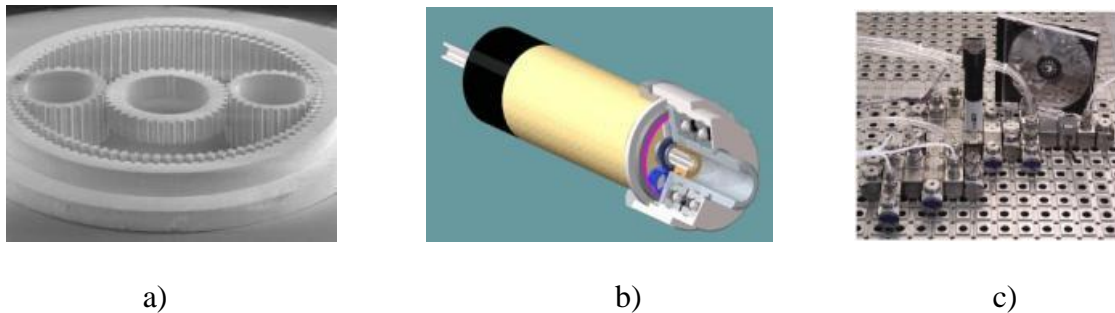
A gépgyártástechnológia fejlesztésének általános tendenciáiból az alábbi pontokba foglaltak tartoznak a korszerű gyártási eljárások közé [6]:

- 1.) **A termékstruktúrák miniatürizálása** felé vezető úton fejlődött ki gyors tempóban a mikrorendszertechnika. (Pl.: egy komplett bolygó hajtómű átmérője 2,8 mm, érvizsgálatokhoz). A mikrorendszertechnika bonyolult, miniatűr, mikromechanikus alkatrészelemek gyártására szolgál többnyire nem mechanikus (pl.: litográfiai) gyártási eljárás alapján [14].
- 2.) A **Rapid-prototyping** eljárás komplex geometriai szerkezetű prototípusok közvetlen előállítására és termékfejlesztési idők rövidítésére szolgál. A folyamatidők rövidülése a termék struktúrától függően 30-70 % is lehet.
- 3.) **Near-net-shape technológia.** A racionalizálás és teljesítmény növelés egyik új útja rajzolódik ki ezen technológia alkalmazásával. A Near-net-shape technológián olyan munkadarabok készre munkálását értik, amelyek elsődleges és képlékeny alakítás után már csak kissé különböznek a kész kontúrtól, azaz kis ráhagyásokat kell eltávolítani lehetőleg egy befogásban és egy fogással. Ehhez döntően hozzájárult az eróziós technika fejlődése.
- 4.) Műszaki fejlődés „új” **konstrukciós anyagokkal** és „nagy” pontossággal.
  - a) **Nagyszilárdságú kerámia.** (Jelentős alkalmazási terület pl.: kerámia golyóscsapágy, kerámia belsőégésű motor csúszógyűrűs tömitései) szálerősítésű műanyagok (pl.: járműgyártásban, stb.).
  - b) Az **ultraprecíziós technikák** az új anyagokkal együtt fejlődnek a tűrés és felületi követelmények, az extrém tartományok felé. A gyártás és mérés technikában növekvő lézer alkalmazás nagy számú visszaverő optikát és tükröt igényel a lézersugár vezetéséhez és formálásához. Ezeket a felületeket a hagyományos köszörüléssel, leppeléssel, polírozással csak hosszú idő alatt, gazdaságtalanul lehet megmunkálni. Ahhoz hogy a pontossági követelmények szubmikrométer (nanométer) tartományáig érjünk el, amelyek már közelítik az anyagok atomsugarát, különleges követelményeket kell támasztani.
- 5.) Lézertechnológia
- 6.) Környezetbarát technológia

### 3. NANOTECHNOLÓGIA

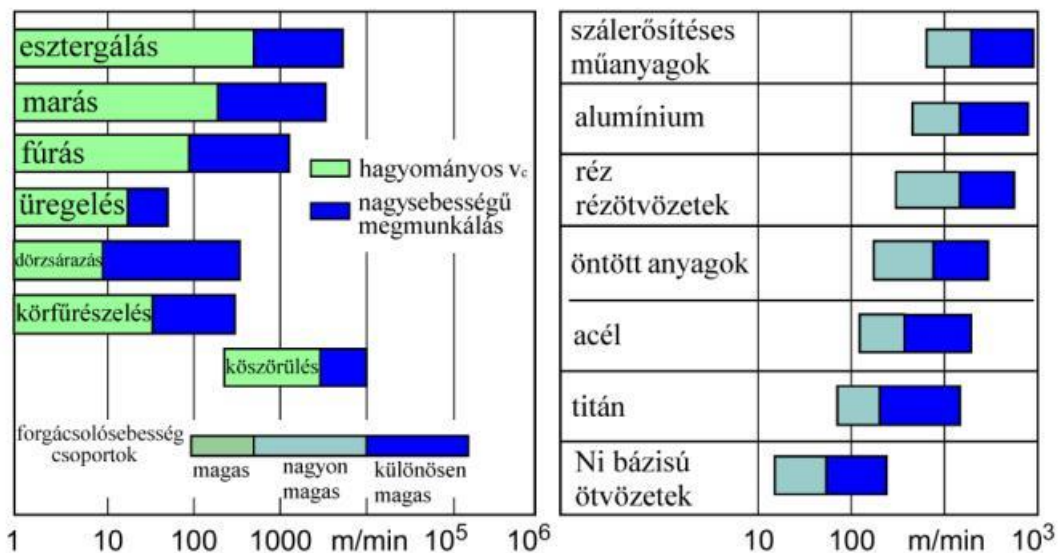
Ma a számítógéppel vezérelt ultraprecíziós szerszámgépek a szerszámot a munkadarabhoz viszonyítva 1 nm alatti felbontással és pontossággal tudják pozicionálni.

A **nano-gyártás** néhány termékét az 1. ábra szemlélteti. A nano-megmunkálás megszorításainak feloldásához szükséges teljesítmény jellemzőit az 5. ábrában mutattuk be. Az ábra egyik fele a normál mérettartományú gyártás (az ábra (a) és (b) része) általános jellemzőit látjuk, míg a másik fél pedig a speciális jellemzőket a nanométeres tartományt ((c) és (d)) tartalmazza.



1.ábra. Mikrotermékek a) mikobolygómű, b) mikromotor c) mikroreaktor [14]

Párhuzamosan az elért megnövekedett gyártási pontossággal jelentős fejlesztéseket végeztek az alkatrészek **méretének csökkentésében** is. A 6. ábra bemutatja a súlycsökkenés történelmi feljődését az ABS rendszer autóiipari alkalmazására. 1989 és 2001 közötti időszakban a súly 6,2 kg-ról 1,8 kg-ra csökkent. Az alkatrészek miniatürizálásával kapcsolatban egy nagyon fontos dolog társítható, nevezetesen a felület térfogat arány megnő. Ebben az esetben a felületnek és annak integritása megnövekedett jelentőséggel bír [12].



2. ábra. Elérhető forgácsolási sebességek [12]

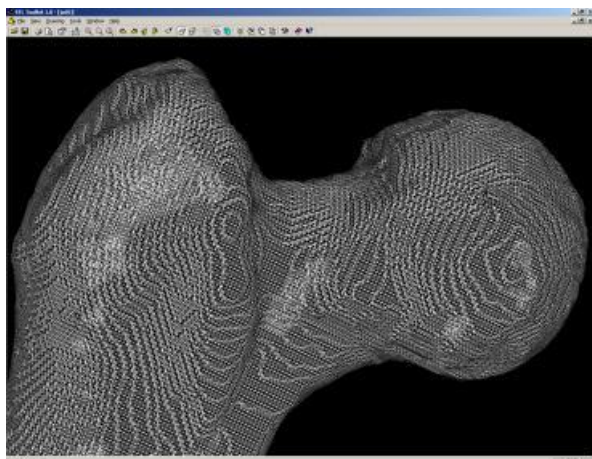
A forgácsolás: folyamat egyik kulcskérdése /inputja a forgácsolószerszám. 50 évvel ezelőtt a **forgácsolószerszám anyagok** választéka meglehetősen csekély volt, elsődlegesen a következőkre volt korlátozva: **szerszámacélok, gyorsacélok, sztellit és wolframkarbid a**

**kerámiai.** A gazdaságos gyártás érdekében a ciklusidő egy kritikus kérdés és a forgácsolóanyag fejlesztés jelentős növekedést eredményezett nem csak a forgácsolósebességben, de az előtolás mértékében is.

Az anyagválasztási arányok növekedése mind a forgácsolástechnológia fajlagos jellemzői, mind a munkadarab anyagtulajdonságok függvényei. A 2. ábra az elérhető forgácsolási sebességeket mutatja be.

### 3. RAPID PROTOTYPING

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológiai Tanszékén egy Z400 3D Printer működik nagy hatékonysággal. Megvalósítható rajta pl. orvosi implantátumok. A 3. ábrán a rapid prototypinggal készített emberi combcsont látható a 4. ábrán térdprotézis.



3. ábra. Combcsont 3D-s képe



4. ábra. Térdprotézis

### 4. KÖRNYEZETBARÁT MEGMUNKÁLÁSOK

A **káros környezeti hatások** egyik előidézője lehet maga a **gépipari termelés**. Mivel a gépipar meghatározó szerepet tölt be a gazdaságban, kötelességünk foglalkozni annak környezetkárosító hatásaival, a megelőzések lehetőségeivel. Egy fejlődő gazdaságban a növekvő termelés következménye lehet az egyre súlyosabb környezetkárosítás. Cél, hogy a nagyobb volumenű termelést környezetbarát termékek, technológiák és megfelelő hulladékkezelés mellett érjük el.

A fent leírt környezetkárosító módozatok – légszennyezés, zajterhelés, hulladékképződés – a gépipar területein is sorra fellelhetők (10).

### 5. ÁLTALÁNOS MATEMATIKAI MODELL FELÜLETEK, HAJTÓPÁROK GYÁRTÁSGEOMETRIAI ELEMZÉSÉRE, TERVEZÉSÉRE ÉS GYÁRTÁSÁRA (ProMAT)

#### 5.1. *Hengeres és kúpos felületek illetve csavarfelületek gyártásgeometriájának vizsgálata általános matematikai kinematikai modellben*

Évtizedek óta tartó kutatómunkánk során a helikoid felületek előállítását elemeztük általános matematikai modellben, a szerző MTA doktori értekezésében (1991) [8]. Ezúttal ezen modell kiterjesztését alkalmazási lehetőségét mutatjuk be a gépgyártástechnológia fontosabb területeire. Jelen tanulmányban a HeliCIM modelleket [7] fejlesztettük tovább az általános gépgyártástechnológiai eljárások alkalmazására is.

A hengeres csavarfelületek és szerszámaik, valamint kúpos csavarfelületek és szerszámaik kapcsolódásának vizsgálatára megalkotott modelleket egyesítve egy összevont általános kinematikai modellt (5. ábra) kapunk, amely alkalmas az említettek egy matematikai modellben való kezelésére (HeliMAT).

Állítsuk elő a forgó koordináta-rendszerek közötti közvetlen transzformációs mátrixokat!

$$\underline{\mathbf{M}}_{2F,1F} = \underline{\mathbf{M}}_{2F,2} \underline{\mathbf{M}}_{2,K} \underline{\mathbf{M}}_{K,0} \underline{\mathbf{M}}_{0,1} \underline{\mathbf{M}}_{1,1F}, \text{ illetve} \quad (1)$$

$$\underline{\mathbf{M}}_{1F,2F} = \underline{\mathbf{M}}_{1F,1} \underline{\mathbf{M}}_{1,0} \underline{\mathbf{M}}_{0,K} \underline{\mathbf{M}}_{K,2} \underline{\mathbf{M}}_{2,2F}. \quad (2)$$

A **direkt feladat** megoldása (a munkadarab felülete ismert), amikor  $\vec{r}_{1F}$  ismeretében keressük a 2 felületet, ill. az érintkezési vonal pontjait. Ezek szerint a továbbiakban meghatározhatjuk a csak a kinematikai viszonyoktól függő:

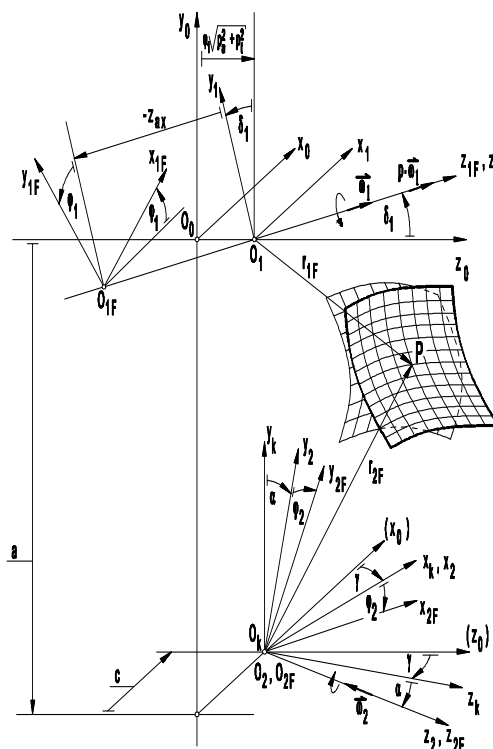
$$\frac{d\underline{\mathbf{M}}_{2F,1F}}{dt} \quad \text{és} \quad (3)$$

$$\underline{\mathbf{P}}_{1a} = \underline{\mathbf{M}}_{1F,2F} \cdot \frac{d\underline{\mathbf{M}}_{2F,1F}}{dt} \quad (4)$$

mátrixokat. A műveletek elvégzése után kapjuk a  $\underline{\mathbf{P}}_{1a}$  – az általános modell kinematikai leképezésének mátrixát.

Az egyenletet valamelyik belső paraméterre (pl.  $\eta$ ) megoldva,

$$\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F}(\eta, \mathcal{G}) \quad (5)$$



5. ábra

Koordináta-rendszerek kapcsolata hengeres, kúpos csavarfelületek gyártásméletének általános vizsgálatánál (a tengelytáv  $a = \text{const}$ , vagy  $a = a_0 + p \cdot \varphi$ )

- $p_a$  a csavarfelület axiális irányú emelkedési paramétere;
- $p_r$  a csavarfelület radiális irányú emelkedési paramétere.

felhasználásával kapjuk a felületek közötti érintkezési görbe egyenletét:

$$\vec{r}_{1F} = \vec{r}_{1F} [\eta(\mathcal{G}), \mathcal{G}] = \vec{r}_{1F}(\mathcal{G}) \quad (6)$$

alakban, melyet az

$$\vec{r}_{2F}(\mathcal{G}) = \underline{\mathbf{M}}_{2F,1F} \cdot \vec{r}_{1F}(\mathcal{G}) \quad (7)$$

transzformációval a szerszám generálórendszerében is felírhatunk, megkapva így a generált **szerszámfelület generálógörbéjét**. Az összefüggésben az  $\underline{\mathbf{M}}_{2F,1F}$  és az  $\underline{\mathbf{M}}_{1F,2F}$  a  $K_{1F}$  és  $K_{2F}$  koordináta-rendszerek közötti transzformációs mátrixok.

**Az inverz feladat** megoldása során, amikor  $\vec{r}_{2F}$  adott a  $K_{2F}$  koordináta-rendszerben, azaz a megmunkálószerszám felülete ismert, a direkt feladatnál megismert elvet alkalmazhatjuk, csupán a transzformációk iránya változik meg.

Adott a megmunkálószerszám felületének kétparaméteres egyenlete:

$$\vec{r}_{2F} = \vec{r}_{2F}(y_{20}, \Psi). \quad (8)$$

Az  $I$  felület a burkolófelületek elmélete szerint az  $\vec{r}_{2F}$  által a mozgás során előállított felületsereg mozgásparaméter szerinti differenciálásával nyerhető, míg az érintkezési görbe az

$$\vec{n}_{2F} \cdot \vec{v}_{2F}^{21} = 0 \quad \text{és} \quad \vec{r}_{1F} = \underline{\mathbf{M}}_{1F,2F} \cdot \vec{r}_{2F} \quad (9)$$

együttes megoldásával állítható elő a  $K_{1F}$  koordináta-rendszerben, ahol

$$\vec{n}_{2F} = \frac{\partial \vec{r}_{2F}}{\partial y_{20}} \cdot \frac{\partial \vec{r}_{2F}}{\partial \Psi}; \quad \vec{v}_{2F}^{(21)} = \underline{\mathbf{P}}_{2a} \cdot \vec{r}_{2F}. \quad (10)$$

Határozzuk meg az inverz feladat konkrét megoldásához is a  $\underline{\mathbf{P}}_{2a}$  mátrixot:

$$\underline{\mathbf{P}}_{2a} = \underline{\mathbf{M}}_{2F,1F} \cdot \frac{d\underline{\mathbf{M}}_{1F,2F}}{dt}. \quad (11)$$

Ezzel:

$$\vec{n}_{2F} \cdot \vec{v}_{2F} = 0 \quad \text{és} \quad (12)$$

$$\vec{r}_{1F} = \underline{\mathbf{M}}_{1F,2F} \cdot \vec{r}_{2F} \quad (13)$$

együttes megoldásával a karakterisztika, majd ennek ismeretében a keresett csavarfelület egyenlete előállítható.

A direkt és indirekt esetben megkapott  $\vec{r}_{2F}$ , illetve  $\vec{r}_{1F}$  felületek előállítása korszerű CNC-gépen, vagy hagyományos gép megfelelő kiegészítésével megoldható.

A modell segítségével módunkban áll meghatározni az érintkezési vonalat mind megadott  $\vec{r}_{1F}$  ( $l$  munkadarab) felületből kiindulva (direkt feladat), mind megadott  $\vec{r}_{2F}$  ( $2$  szerszám) felület ismeretében (inverz feladat). A meghatározott érintkezési vonalat pedig vezérgörbéként felhasználva a (9) szerint határozhatjuk meg az általa leírt  $2$  szerszámfelületet, valamint a (14, 15) összefüggés felhasználásával az  $l$  munkadarab-felületet.

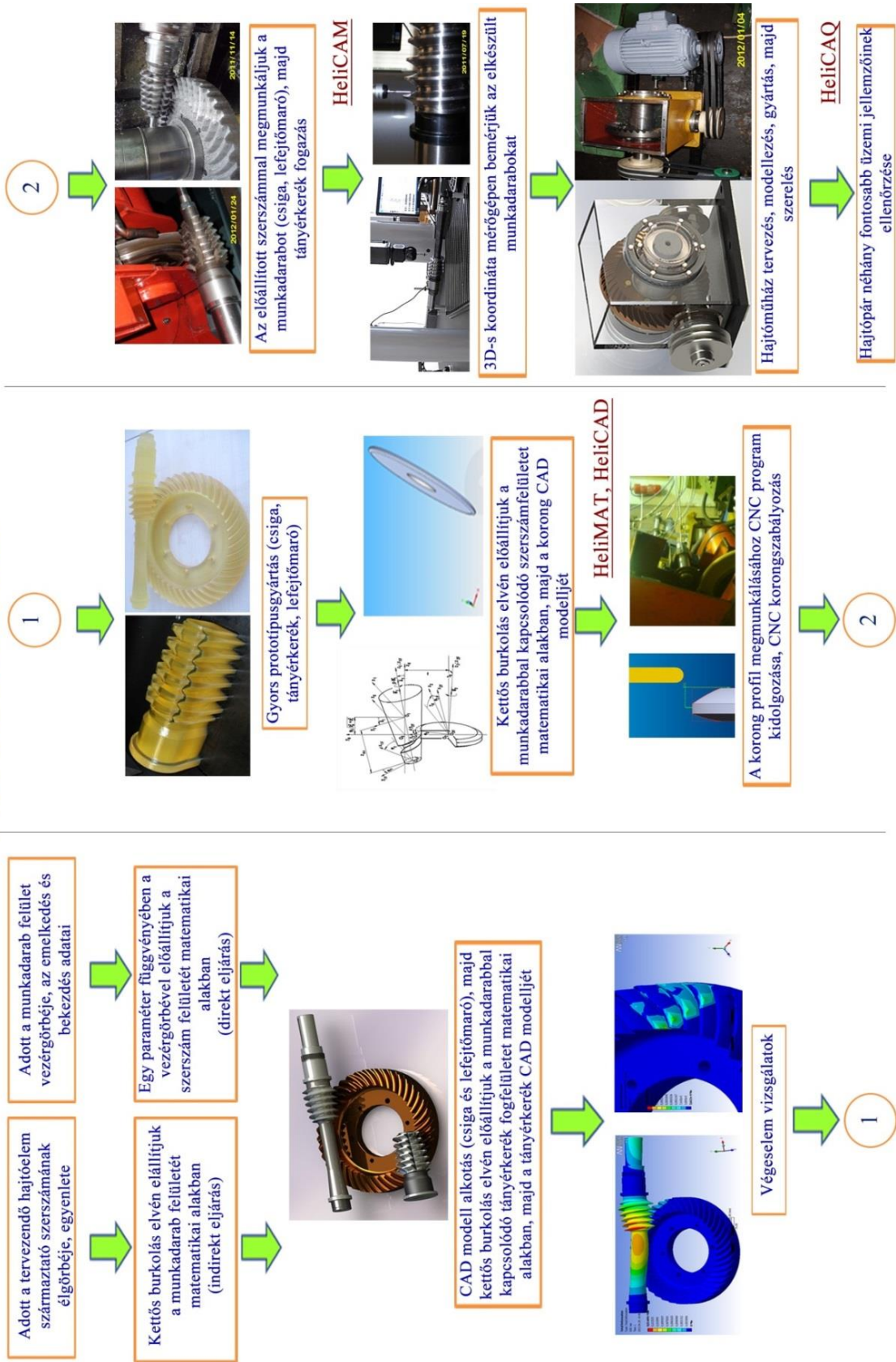
Az  $l$  munkadarab-felület hengeres vagy kúpos csavarvonal hordozójú tetszőleges generálgörbéjű (menetszelvényű) felület lehet.

A  $2$  szerszámfelület céljára elsősorban forgásfelületet előnyös megadni, de elképzelhető más, pl.  $\varphi_2 =$  állandó értékkel megadott határozott élgeometriájú egyélű szerszám is. A gyakrabban alkalmazott munkadarab- és szerszámfelület típusait az 5. ábrán látható táblázatban adjuk meg, jelezve az egyes esetekben  $0$  értéket felvevő kinematikai paramétereket is.

Az általános kúpos csavarfelület és az általános matematikai-kinematikai modell együttes felhasználásával kapott összefüggések megfelelő paraméterezésével – a konkrét geometriai adatok: az egyenes alkotó helyzete, menetemelkedés paraméterei stb. – kapott egyenletből közvetlenül kapjuk a korongprofil pontjait (6. ábra, CIM). Hasonlóan rendelkezésre áll a paraméterezhető korongprofil függvény a többi menettípus esetére. Ezekről eltérő esetekben is mód van az általános  $\mathbf{P}_{1a}$  kinematikai viszonyokat leíró mátrix megfelelő paraméterezésével és a csavarfelület egyenletének megadásával a korongprofil rövid úton való előállítására pl. csavarkompresszor elemeinek megmunkálása, spirálhornyú fűrők, marók, menetfűrők, golyósorsók, vezérorsók stb.



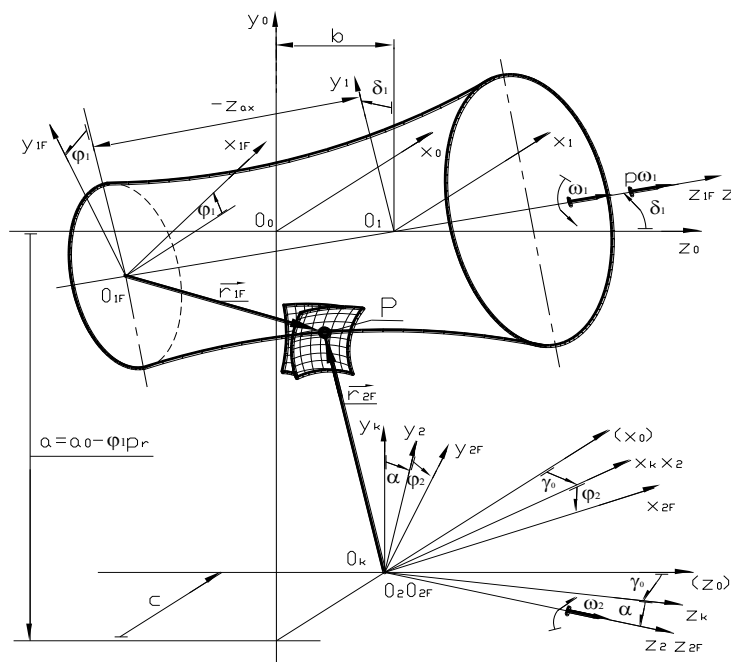
## Csavarfelületek előállításának integrált gyártórendszerben Prof. Dr. Dudás Illés



6. ábra  
CIM rendszer a csavarfelületek előállítására

## 5.2. Általános matematikai modell a gépgyártástechnológiai eljárások matematikai modellezésére

A csavarfelületekre kifejlesztett modellben a tengelytáv változással [2] és a  $b$  tetszőleges megválasztásával lehetővé vált, hogy általános gépgyártástechnológiai eljárások megoldására és különböző fogazott hajtópárok modellezésére alkalmazzuk a modellt (pl. 7. ábra táblázata). A 7. ábrán  $b$  az  $K_1$  álló és a  $K_0$  koordináta rendszerek távolságát jelöli.



7. ábra  
Általános matematikai modell (ProMAT)

## ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a gépgyártástechnológia fő fejlesztési irányait mutatta be a nano megmunkálásra, a környezetbarát megmunkálásra és a Rapid prototyping-ra koncentrálna.

Az anyagleválasztási folyamatok meglehetősen nagy anyagleválasztási teljesítményeken valósulnak meg.

A megmunkálási pontosság ultraprecíziós forgácsolás esetén a  $0,1\mu\text{m}$  érték alatti.

A száraz és a közel száraz forgácsolásnak egyre jobban terjed az alkalmazása.

A Rapid-prototyping eljárás komplex geometriai szerkezetű prototípusok közvetlen előállítására és termékfejlesztési idők rövidítésére szolgál. A folyamatidők rövidülése a termék struktúrától függően 30-70 % is lehet.

**Sikerült egy olyan matematikai modellt kialakítani (ProMAT),** amelyben minden felület kapcsolódását, gyártásgeometriáját egy közös rendszerbe összefoglalva tárgyaljuk, hogy a korszerű gyártórendszerekben előállíthatóak legyenek (CAD, CAM, CAQ, CIM). Természetesen ezen rendszerben a hajtópárok is elemezhetőek a  $\gamma$  szög változtatásával.

A matematikai modellből a megfelelő paraméterek megválasztásával bármelyik gyártástechnológiai eljárás matematikai modellje származtatható. A lényegesebbeket és gyakoribbakat meg is mutattuk. Az ettől eltérő esetekre a bemutatott módszerrel tetszőleges újabb megmunkálás is értelmezhető.

Mozgásgeometriai jellemző									
Szerszám típusa 2	Munkadarab típusa 1	$a$	$c$	$\alpha$	$\gamma$	$\delta$	$P_a$	$P_r$	
Tárcsa alakú maró, illetve korong	Hengeres csiga	ZA	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZI*	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZI**	>0	≠0	>0	≠0	0	≠0	0
		ZN	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZT	>0	0	0	≠0	0	≠0	0
		ZK	0	0	0	≠0	0	≠0	0
	Kúpos csiga	KA	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KI*	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KI**	>0	≠0	>0	≠0	>0	≠0	>0
		KN	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KT	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
		KK	>0	0	0	≠0	>0	≠0	>0
	Axiális hátfelület		>0	0	0	≠0	0	≠0	0

8. ábra. A leggyakoribb gépgyártástechnológiai eljárások megoldása az általános modellben

## DIFICAD MÉRNÖKIRODA KFT.

Az általunk kifejlesztett tengelymetszetben körív profilú kúpos csigahajtópár és lefejtőmaró [10] gyártástechnológiájának kifejlesztése és tényleges gyártása a **DifiCAD Mérnökiroda Kft.**-nél (Miskolc, Szentpéteri Kapu 5-7., Üv.: **Dr. Dudás Illés.**) történt (9. ábra).



9. ábra. A képen a csigatengely köszörülése (a) és a maró hátraköszörülése (b) látható

Gyártási eljárás neve	$\varphi_1$	$\varphi_2$	<b>a</b>	<b>c</b>	$\gamma_0$	$\alpha$	$\delta_1$	$p_a$	$p_r$	<b>b</b>	$z_{ax}$
Gyalulás	0	0	>0	0	0	0	0	0	0	változó	0
Külső hengeres felület esztergálás	>0	0	0>	0	0	0	0	>0	0	változó	0
Külső kúp felület esztergálás (csúcselállítás nélkül)	>0	0	0> változó	0	0	0	0	>0	>0	változó	0
Külső kúp felület esztergálás (csúcselállítással)	>0	0	0>	0	>0	0	0	>0	>0	változó $b = \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2}$	0
Külső hengeres felület köszörülés	>0	>0	0>	0	>0	0	0	>0	0	változó	0
Külső kúp felület köszörülés (csúcselállítás nélkül)	>0	>0	0> változó	0	>0	0	0	>0	>0	változó $b = \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2}$	0
Külső kúp felület köszörülés (csúcselállítással)	>0	>0	0>	0	>0	0	>0	>0	>0	változó $b = \varphi_1 \cdot \sqrt{p_a^2 + p_r^2}$	0
Fúrás, furatbővítés	0	0	>0 változó	0	>0	0	0	0	0	0	0
Reteszhorony marás hosszlyukmaróval	0	0	>0 változó	0	>0	0	0	0	0	változó	0
Reteszhorony marás újmaróval	0	0	>0 változó	0	>0	0	0	0	0	változó	0
Reteszhorony marás tárcsamaróval vagy martfogú reteszhorony maróval	0	0	>0	0	0	>0	0	0	0	változó	0
Ellenirányú marás	0	0	>0	0	0	>0	0	0	0	változó	0
Egyenirányú marás	0	0	>0	0	0	0>	0	0	0	változó	0
Rotációs marás	>0	>0	0>	0	>0	0	0	>0	0	változó	0
Pfauter fogazás	>0	0	>0	0	0	>0	0	>0	0	0	0
Maag – fogvésés	0	0	0> vagy >0 változó	0	>0	0	0	0	0	változó	0
Fellows – metszőkerekes fogvésés	>0	>0	>0	0	0	0	0	0	0	változó	0
Vésés	0	0	0> vagy >0 változó	0	>0	0	0	0	0	0	0
Bolygó köszörülés	>0	>0	0> vagy >0 változó	0	0	0	0	0	0	0	0
Üregelés	0	0	0> vagy >0 változó	0	0	0	0	0	0	0	0
Félkúpos hajtás	>0	>0	>0	0>	0	0	>0	>0	0	0	0

8. ábra. A leggyakoribb gépgyártástechnológiai eljárások megoldása az általános modellben

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BALAJTI ZS.:** *Kinematikai hajtópárok gyártásgeometriájának fejlesztése*, Ph.D. értekezés, Miskolc, Miskolci Egyetem, 2007.
- [2] **BÁNYAI, K., DUDÁS, I.:** *Analysis of the spiroid driving having new production geometry*, Production Process and Systems, A publication of the University of Miskolc, Miskolc, volume 1 (2002), pp. 177-184.
- [3] **BÁNYAI, K.:** *Hengeres csigák gyártásgeometriája és ellenőrzése*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1977.
- [4] **BERCSEY, T.:** *Toroid hajtások elmélete*. Kandidátusi értekezés, Budapest, 1977.
- [5] **BODZÁS, S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [6] **DUDÁS I.:** *Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2000. p.583. ISBN 963 661 342 7
- [7] **DUDÁS, I.:** *The Theory & Practice of Worm Gear Drives*. Kogan Page US, Sterling, USA, 2004. ISBN 1 9039 9661 9.
- [8] **DUDÁS, I.:** „*Csavarfelületek gyártásának elmélete*”. Akadémiai doktori disszertáció, Miskolc, 1991.
- [9] **DUDÁS, I., BODZÁS, S., DUDÁS, I. SZ., MÁNDY, Z.:** *Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak közszőrüléssel történő előállítására*, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04., Szabadalmi lajstromszám: 229 818
- [10] **DUDÁS I., F. LIERATH, VARGA GY.:** *Környezetbarát technológiák a gépgyártásban*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2010., ISBN 987-963-16-6500-0
- [11] **DUDÁS I, MONOSTORI R.:** *Analisis of big joint implant*, 11th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, ISMTII 2013. Aachen, 2013.07.01-2013.07.05. Aachen: RWTH, 2013. Paper 21. (ISBN:978-3-86359-138-0)
- [12] **DUDÁS, L.:** *Kapcsolódó felületek párok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján*, Kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991., p.144., 2005. 06.
- [13] **FIFTY YEARS OF CIRP: “Its Origins, Its Objectives, Its Achievements”**, 51st CIRP General Assembly, Nancy, France, August 2001
- [14] **HEGYHÁTI, J.:** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Diss. A. TU. Dresden, 1988. p. 121.
- [15] **LIERATH F.:** *Ausgewählte Trends der Entwicklung der Fertigungstechnik, im besonderen der Zerspan- und Abtragtechnik*, TU Miskolc, Lehrstuhl für Maschinentechnologie, April/Mai 1994. (Gastprofessur)
- [16] **LITVIN, F. L., FUENTES, A.:** *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8
- [17] **LÉVAI I.:** *Fogazatok kapcsolódásának kinematikai elmélete és alkalmazása hipoid-hajtások tervezésére*, Akadémiai doktori értekezés, Miskolc, 1980. 1/153.
- [18] **MOLNÁR J.:** *A megmunkáló rendszer elmozdulékonyságából származó megmunkálási hiba meghatározásának kísérleti-analitikai módszere*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1969. p.67.

# AZ ÚJ ÉPÜLETENERGETIKAI IRÁNYELV ÉS A FENNTARTHATÓSÁG

## THE RECAST AND THE SUSTAINABILITY

**Zöld András**

ny. egyetemi tanár  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék  
profzold@yahoo.fr

**Kivonat:** Az Európai Tanács és Parlament Épületenergetikai Irányelvének 2010-ben megjelent módosítása az épületek használati energiaigényének további korlátozását célozza, figyelemmel az optimális költségekre és kötelezővé téve a megújuló forrásokból származó energia hasznosítását. Kétségtelen, hogy ez a fenntarthatóságot szolgálja, de kérdéses a teljes életciklusra vonatkozó halmozott energiaigény és a biomassza, mint megújítható energiaforrás korlátozott volta.

**Kulcsszavak:** használati energiaigény, életciklusra vetített energiamérleg, biomassza,

**Abstract:** The recast of the Energy Performance of Buildings Directive, issued by the EC and EP in 2010 aims at further decreasing of operational energy consumption taking into account the results of cost-optimum analysis and prescribing the obligatory use of renewable energy. No doubt the concept support the sustainability however the problem of life cycle cumulated energy consumption remains open as well as the limits of biomass as renewable energy source.

**Keywords:** operational energy, life cycle cumulated energy consumption, biomass

## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. Az Unió elvárásai

Az Épületenergetikai Irányelv 2010-es átdolgozott kiadása [1] szerint az évtized végétől a használatba vett új épületeknek a közel nulla energiafogyasztás követelményét kell kielégíteniük. Hogy mennyi a „közel, annak számszerű meghatározása a tagországok feladata: az eddig ismert adatok szerint ez a legambiciózusabb dán szabályozás szerint  $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  primer energia az egységnyi hasznos alapterületre vetítve, míg egyes mediterrán tagországok esetében nagyságrendileg magasabb,  $100$  és  $200 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  közötti érték.

Az irányelv meghatározása szerint a közel nulla energiaigényű épület

- energetikai teljesítménye magas
- az energiaigény közel nulla vagy nagyon alacsony
- az energiaigényt nagyon jelentős mértékben megújuló energiaforrásokból kell fedezni (beleértve a megújuló forrásokból helyben vagy közelben kinyert energiát).

Az első pont jó hőszigetelést és légzárást, jó hatásfokú gépészeti rendszereket jelent. A második nem igazán értelmezhető: a fűtési energiaigény csökkentésének csak az észszerűség szab határt, de a nettó használati melegvízigény a fogyasztói magatartás függvénye. A harmadik pontot illetően tisztázatlan a viszonyítási alap. Az azonban egyértelmű, hogy a követelmények az üzemeltetés, a használat energia igényére vonatkoznak.

Energia azonban az épületek létesítéséhez is kell. Erre vonatkozó követelmény azonban az Irányelvben közvetlenül nem jelenik meg. Közvetve ez a szempont jelenne meg az előírt költségoptimalizációs elemzésben (a követelményeket ennek eredményeivel harmonizálni kell), amennyiben a beruházási költségek ténylegesen arányosak lennének a hőszigetelő anyagok, üvegezések, gépészeti rendszerek beépített energiatartalmával.

## **1.2. A DE MK szerepe**

A hazai szabályozás tervezetét az Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék dolgozta ki [2]. Az Unión belüli szabályozások összehangolására szolgáló fórumon (Concerted Action EPBD 3) a tagországi képviselőket ugyancsak a Tanszék látta el, így az említett tervezet a többi tagország tapasztalatait is tükrözi. A követelményeket illetően ez „középutas”, a megújuló energia részarányára vonatkozó közvetve megfogalmazott elvárás 25% primer energiában mérve és az összes energiaigényhez viszonyítva. A tervezet lehetőséget ad az energiaigény tágabb értelmezésére és óvatosan számol a megújítható források primer energiataralmával.

## **2. A HALMOZOTT ENERGIAIGÉNY**

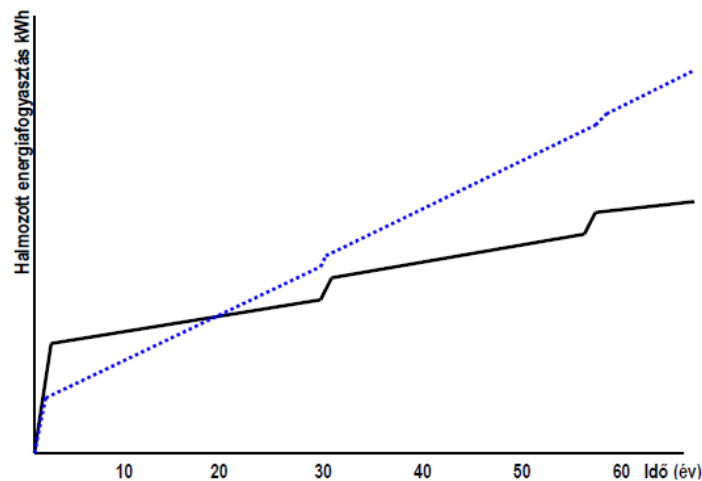
### **2.1. Az életciklus energiaigénye**

A kumulatív vagy halmozott energiaigény fogalmát már a hetvenes évek óta használják energetikai rendszerek értékeléséhez. A módszer az egy termék vagy folyamat környezetre gyakorolt hatását egy paraméterrel jellemzi: az előállítás, használat és bontás primer energiában kifejezett teljes energiaigényével. Ez minden közvetlen és közvetett (pl. a gyár megépítése) energia felhasználást tartalmaz.

Az indikátor nem helyettesít egy teljes életciklus-elemzést, de általában jó tájékozódási alapot nyújt a környezetterhelés megítéléséhez. Számos környezeti hatás, például a globális felmelegedés, savasodás, ózonképződés többé-kevésbé egyenesen arányos az energiaigénnyel, amennyiben a környezeti hatás döntő része fosszilis energiahordozók égetéséből származik.

A kumulatív energiaigény nem megújuló és megújuló energiaforrásokból származó energiafelhasználásra osztható. A nem megújuló kategóriába tartozik a fosszilis tüzelőanyagok és az atomenergia felhasználása. Energetikai optimumról lévén szó a létesítés, fenntartás, csere és bontás energiaigényét az épület azon elemeire korlátozva vizsgáljuk, amelyek közvetlen összefüggésben vannak a használati energiaigénnyel, ezek a következők: hőszigetelés, nyílászárók, gépészeti rendszerek. Nem szerepelnek azok a tételek, amelyeknek nincs közvetlen hatása a használati energiaigényre (belső falak és födémelek, lépcsők, alapozás) – utóbbiak egy széleskörű ökológiai értékelés szempontjából természetesen nem közömbösek, de nem befolyásolják az energetikai optimumot.

A halmozott energiaigény időbeli növekedése jól tükrözi az alapkérdést: több beépített energia ellenében alacsonyabb használati energiafogyasztás vagy fordítva. A metszéspont helye kifejezi az (energiában mért!) egyszerű megtérülési időt – az épületek hosszú fizikai élettartamára tekintettel 15-20 év bőven elfogadható. A függvényben mutatkozó ugrások egyes rövidebb fizikai élettartamú gépészeti elemek cseréjét jelzik.



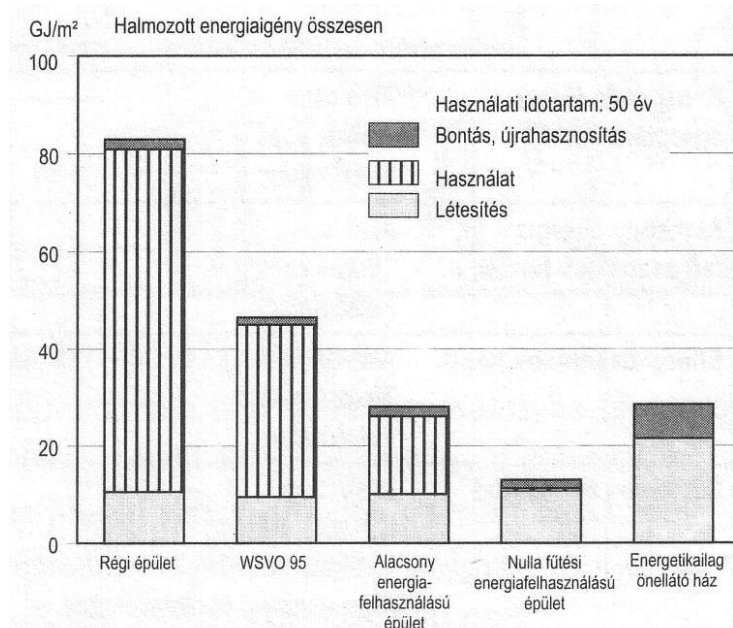
1. ábra. A halmozott energiaigény változása az idő függvényében

## 2.2. Az arányok változása

A nulla vagy ahhoz közeli energiaigényű épületnek (sőt az úgynevezett „energiapozitív” házaknak) akár tetemes saját fogyasztása is lehet, ha azt exporttal (elektromos áram átadása az országos hálózatnak) ellentételezi. Műszaki és jogi szabályozási kérdés az export elhelyezhetősége és jóváírhatósága, ami korlátozza az ilyen irányú túlzásokat.

Az autonóm épület esetében nincs energia import – minden igényt a telekhatáron belüli megújuló forrásokat hasznosító rendszerekkel kell fedezni – ehhez az éves energiatárolást is telekhatáron belül kell megoldani beépített energiában is drága technológiával, pl. hidrogén fejlesztés vízbontással és annak tárolása).

A használati energiaigény csökkenésével az építés és bontás energiaigénye abszolút értelemben is nő, részaránya az életciklusra vetítve drasztikusan nő és kizárólagossá válik.



2. ábra. A létesítés, használat és bontás energiaigénye

Alacsony energiafogyasztású és az igények jelentős hányadát megújuló forrásból fedező az

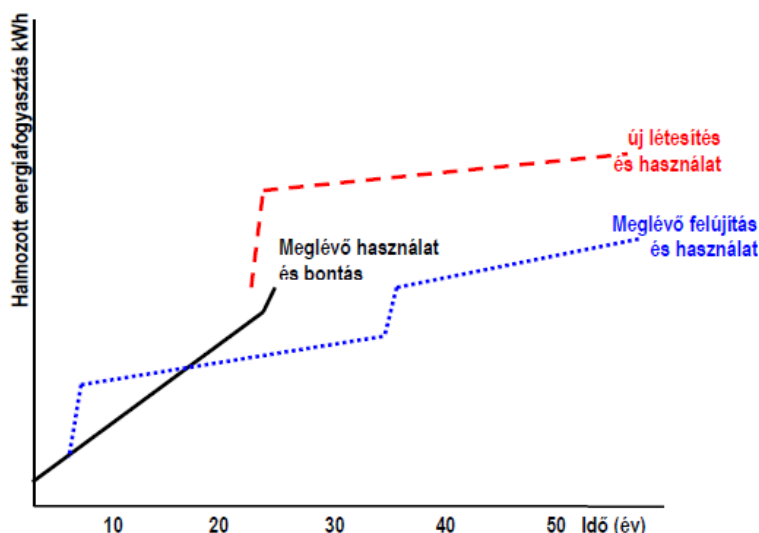


épület akkor is, ha telken belül semmilyen megújuló forrást hasznosító rendszer sincs, de olyan elektromos és távhő hálózatra csatlakozik, ahol a szolgáltatott energia megújuló forrásból származik, tehát a kérdés nemcsak épület léptékű, hanem az energiatermelés és elosztás városi és országos hálózatait is érinti.

### 2.3. A felújítás

Az új épületek létesítésének üteme igen kedvező körülmények között arra elegendő, hogy a meglévő épületállományt 50-100 év alatt cseréljük le. A jelenlegi beruházási hajlandóság mellett több évszázadról van szó. Ilyen körülmények között különös jelentősége van a meglévő épületek energiatudatos mély felújításának. Az ezzel összefüggő, a halmozott energiában kifejezett problémát a 3. ábra illusztrálja.

Több elemzés is [6] igazolja az ábrán bemutatott scenariót: a halmozott energiaigény és a környezetterhelés szempontjából a mély felújítás előnyösebb, mint a bontás és újjépítés. (ha az épület tartószerkezeteinek maradó fizikai élettartama a felújításkor meghaladta a húsz évet). A komfort feltételek javulása és az ingatlan értékének emelkedése, mint „mellékhatás” ugyancsak számottevő.



3. ábra. Energiatudatos mély felújítás vagy bontás és új építés?

### 2.4. A konzervatív öko-épületek

A létesítési energiaigény radikálisan mérsékelhető közeli forrásból származó természetes építőanyagok alkalmazásával. Ilyenek a vályog, a szalma, a nád, a fa. Környezetkímélő, „öko” épületek számos technológiával létesíthetők, a „konzervatív” jelző nem pejoratív értelmű, csak a felsorolt anyagokra és technológiákra utal. Ezek alkalmazása nem zárja ki azt, hogy az épület kielégítse a használati energiafogyasztásra vonatkozó követelményeket, de nem is garantálja azok kielégítését. Mindazonáltal az utóbbi esetben is lehetséges, hogy az életciklusra vetített energiamérleg kedvezőbb, mint a szokványos épületeké.

## 3. A BIOMASSZA

### 3.1. A „megújuló” energiaforrásokról általában

A „megújulónak” nevezett energiaforrások valójában kétfélek. Korlátlanul rendelkezésre

áll, emberi időléptékben gyakorlatilag állandó és kimeríthetetlen forrás a napsugárzás, a szél, a víz, csekély korlátozással talaj. Megújítható (renewable) a forrás, ha emberi beavatkozás, energiaráfordítás szükséges a forrás fenntartására: biomassza

### 3.2. A biomassza tervezett részesedése

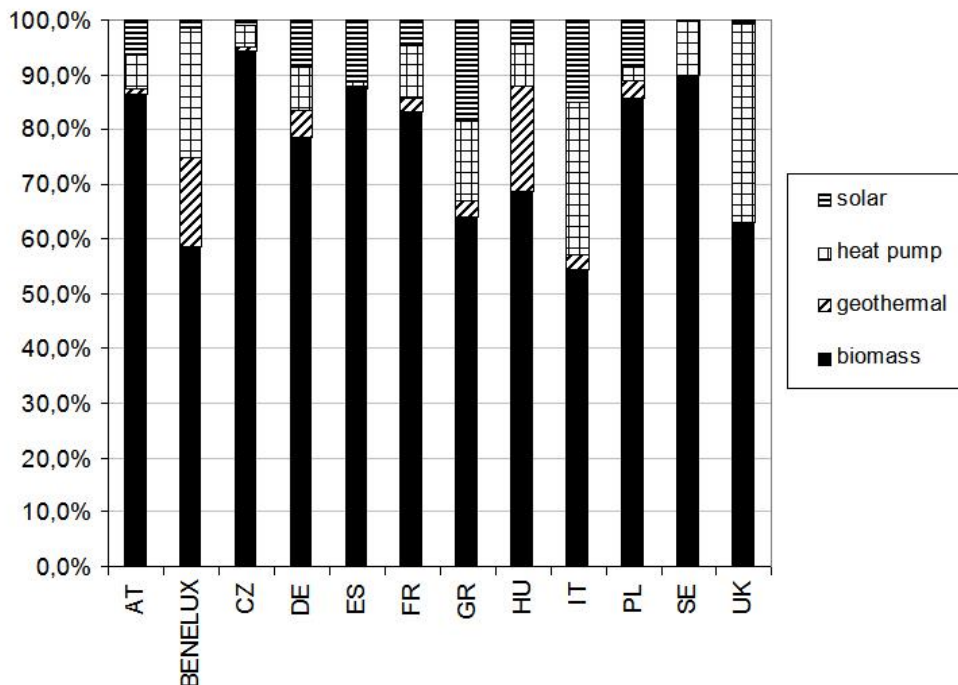
Egyes tagországok igen ambiciózus célokat tűztek ki a „megújuló” energia részarányát illetően: a használati energiaigény akár felét, sőt többet is ilyen forrásokból képzelik fedezhető. Ez önmagában nem lenne baj, a probléma azonban az, hogy a megújuló források körén belül a biomassza 55-95%-os aránnyal szerepel (4. ábra). Az ábra annyiban következtelen, hogy az adatközlők a hőszivattyút, mint olyat jelöli meg megújuló energia forrásként, nem tisztázva, hogy a forrás a talaj vagy a levegő-e, hiszen maga a hőszivattyú csak eszköz, amely e források hőtartalmát használható hőmérsékletszintre emeli.

Eltérően az egyéb energiahordozóktól a biomassza primer energiatartalmának megítélésében a tagországok adatai között nagyságrendi különbség mutatkozik (5. ábra).

Ez a részarán túlzottnak és kockázatosnak minősíthető, éppúgy, mint az alacsony (0,1 – 0,2) primer energiatartalmak. A biomassza megújításához komoly emberi beavatkozás és energiaráfordítás szükséges: az erdőgazdálkodás, a mezőgazdasági művelés, a szállítás a termőhelyről a feldolgozás helyére, a feldolgozás folyamata, továbbszállítás a fogyasztóhoz

### 3.3. A biomassza környezeti hatásai

A biomassza védelme érdekében gyakorta elhangzik, hogy az CO<sub>2</sub> semleges: az elégetéskor



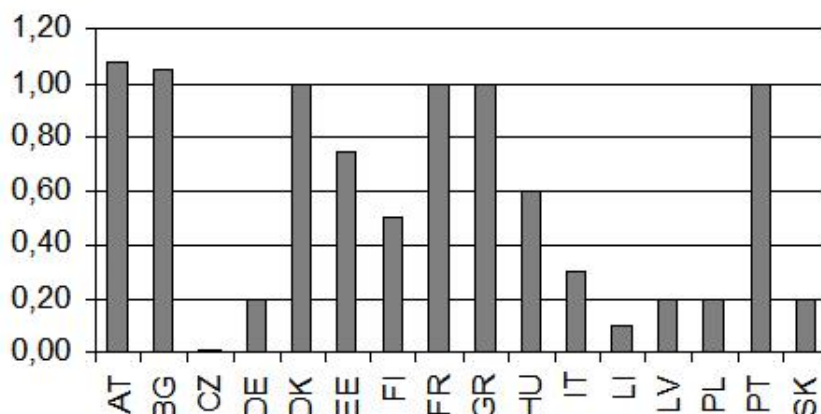
4. ábra. Az egyes források részesedése az épületek energiaigényének fedezésére tervezett megújuló/megújítható energiából.

annyi széndioxid szabadul fel, amennyit a növény az atmoszférából lekötött. Még ha el is tekintünk az előbb felsorolt energiaráfordításoktól, az állítás csak globálisan lenne igaz,

lokálisan nem, hiszen máshol van az erdő és a lakott településeken történik a kibocsátás.

### 3.4. A tényleges primer energia felhasználás és a biomassa

Csalóka az a látszat, hogy amennyiben a biomassa primer energiátartalma például 0,2, akkor mondjuk a földgázhoz viszonyítva a primer energia-megtakarítás 80%. (A földgáz 1,0 primer energiátartalommal a viszonyítási alap.)



5. ábra. A biomassa primer energiátartalmának tervezési értékei egyes tagországokban.

A biomassa eltüzelésére szolgáló berendezések hatásfoka ugyanis nem éri el a kondenzációs gázkazánok hatásfokát. Az egyszerű vegyes tüzelésű kazánoké fele akkora. A faelgázosító kazánoké elég magas, de a rendszer hatásfokát rontja az elkerülhetetlenül szükséges tároló vesztesége. A pellet tüzelés hatásfoka meghaladja ugyan a 90%-ot, de a tüzelőanyag feldolgozása igen sok energiát igényel, ami a pénzben kifejezett árban is megmutatkozik [5].

### 4. A NEMZETI SZABÁLYOZÁS HELYZETE

Az ismertetett problémák kezelése végett a nemzeti szabályozás tervezetében a használati energiafogyasztásra vonatkozó és az Irányelvvel harmonizált követelmények mellett opcionálisan szerepel az építési engedély kiadásának lehetősége olyan épületek esetében is, amelyek a használati energiafogyasztásra vonatkozó követelményeket ugyan nem teljesítik, de az életciklusra vetített halmozott fosszilis energiaigényük kedvezőbb, mint a szokványos épületeké. Ez a konzervatív öko épületek létesítésére kínál esélyt.

Közvetlen előírás nem vonatkozik a megújuló energia részesedési arányára és különösen nem annak forrására. A követelményértékek elég szigorúak ahhoz, hogy megújuló energia nélkül reálisan teljesíthetők legyenek, a forrás és a rendszer megválasztása azonban a helyi feltételek mérlegelése alapján a tervező és az építető döntésén múlik.

A biomassa primer energiátartalmára előírt tervezési érték nem sugall a valóságtól elrugaskodott eredményeket.

A nemzeti szabályozást 2013-ban kellett volna bevezetni, 2014-ben azonban a minisztériumi hatáskörök újraosztása miatt a téma új gazdákra lelt (?) és további sorsa kérdéses.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] *Energy Performance of Buildings Directive recast 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010.* Official Journal of the European Union.
- [2] *EU, 242/2012. Commission delegated regulation No 244/2012 of 16 January 2012 supplementing Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings by establishing a comparative methodology framework for calculating cos-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements.*
- [3] *Nemzeti szabályozás tervezete.* Készült a Belügyminisztérium megbízásából a Debreceni Egyetem Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszékén, 2012.
- [4] Severnyák Krisztina:
- [5] **KEREKES A., ZÖLD A.:** *The fiance is undully beautifull.* International Review of Applied Science and Engineering, 2015.
- [6] **HRABOVSKY-HORVÁTH, S. SZALAY ZS.:** *Environmental assessment of a precast concrete building stock in a time perspective.* Environmental Engineering and Management Journal (EEMJ), November 2014, Vol. 13, No. 11

# A VILLAMOSENERGIA-TERMELÉS JELLEMZŐINEK ALAKULÁSA AZ EURÓPAI UNIÓ TAGÁLLAMAIBAN

## ELECTRICITY PRODUCTION CHARACTERISTICS OF DEVELOPMENT OF MEMBER STATES OF THE EUROPEAN UNION

**Skoda Melinda**

Hallgató

Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék  
4028, Debrecen, Ótemető utca 2-4  
[melindaskoda@gmail.com](mailto:melindaskoda@gmail.com)

**Kivonat:** *A kutatásom témája a villamosenergia-termelését befolyásoló tényezők vizsgálata, valamint az, hogy az Európai Unióban hogyan oszlik meg a termelés az energiahordozók szempontjából. Elemzem, hogy az EU tagállamaiban hogyan alakult a villamosenergia-termelés, melyek a termeléssel kapcsolatban felmerülő célok továbbá, hogy az egyes országokban milyen az export és az import aránya és melyek azok a tényezők, amelyek hatással lehetnek a villamos energia exportjának és importjának alakulására.*

**Kulcsszavak:** *villamos energia, villamosenergia-termelés, export, import, importszaldó*

**Abstract:** *The topic of my research is to examine the factors affecting electricity generation and how it is distributed in the European Union in terms of energy production. I analyze how the electricity generation in EU member states was established, and which goals emerge in connection of the production, what does the export and import ration in individual countries look like, and what are the factors, that may affect the electricity export and import development.*

**Keywords:** *electricity, power generation, export, import, import balance*

### 1. BEVEZETÉS

Kutatásom témája a villamosenergia-termelés Európában, először is az energiahordozók a termelésre gyakorolt hatását vizsgálom, majd, hogy milyen a termelés az Európai Unió tagállamaiban, valamint, hogy hogyan tevődik ez össze, továbbá, pedig hogy milyen az országok között a villamos energia export és az import.

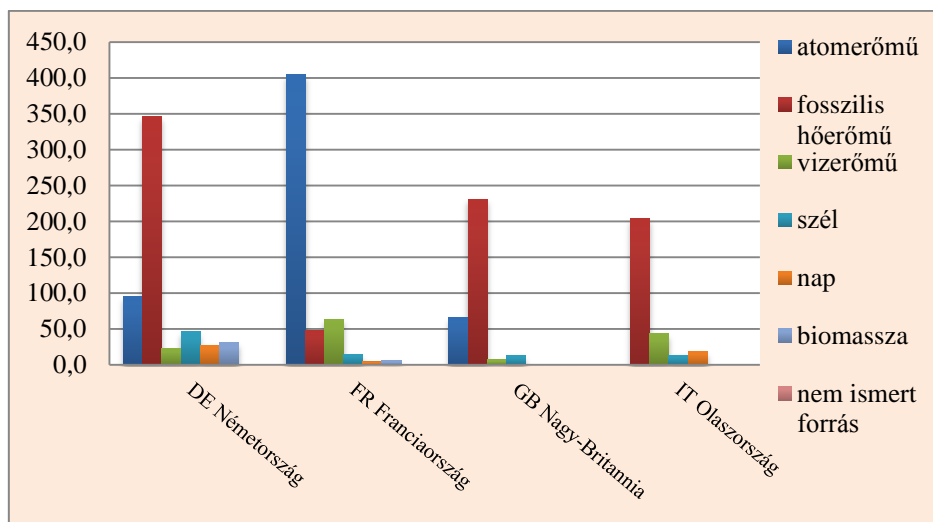
### 2. A VILLAMOS ENERGIA ELŐÁLLÍTÁSA

A villamosenergia-termelés erőművekben történik, ahol a természet energiáit alakítják villamos energiává. A természetben előforduló energiaforrásokat két részre lehet bontani. Az egyik csoportba tartoznak a nem megújuló energiahordozók, amik nem gyárthatóak, természetűek, valamint újra fel nem használhatóak a fogyasztással megközelítő mértékben. A másik csoporthoz a megújuló energiaforrások tartoznak, amik az előzőekkel szemben olyan dolgok, közegek, anyagok, természeti jelenségek, amelyekből olyan energia nyerhető ki, amely akár naponta többször ismétlődően rendelkezésre áll.

### 3. EURÓPA VILLAMOSENERGIA-TERMELÉSE

Európa területe jó földrajzi és természeti adottságokkal rendelkezik. Két uralkodó energiaforrás van a fosszilis energiahordozók és az atomenergia, utóbbi nagy szerepet játszik a termelésben, de több ország (Németország, Svájc) céljaként tűzte ki, hogy felhasználását először csökkenti, majd meg is szünteti. A megújuló energiaforrások igen csekély részt képviselnek a termelésben, éppen ezért az Európai Unió folyamatos fejlesztésekkel és

törvények bevezetésével próbálja a tagországokat inspirálni a változtatásokra. Az EU tagállamok már több jogi intézkedést is tett ennek érdekében, amelyekben szerepet kaptak az üvegházhatású gázok, a megújuló energiák, és az energiahatékonyság. Európa országainak azért nehéz elérni a kitűzött célokat, mert nagy különbségek vannak mind a villamosenergia-termelés nagyságában mind a termelés összetételében.



1. ábra A legtöbb villamos energiát termelő (GWh) országok Európában 2012-ben (Forrás:[1])

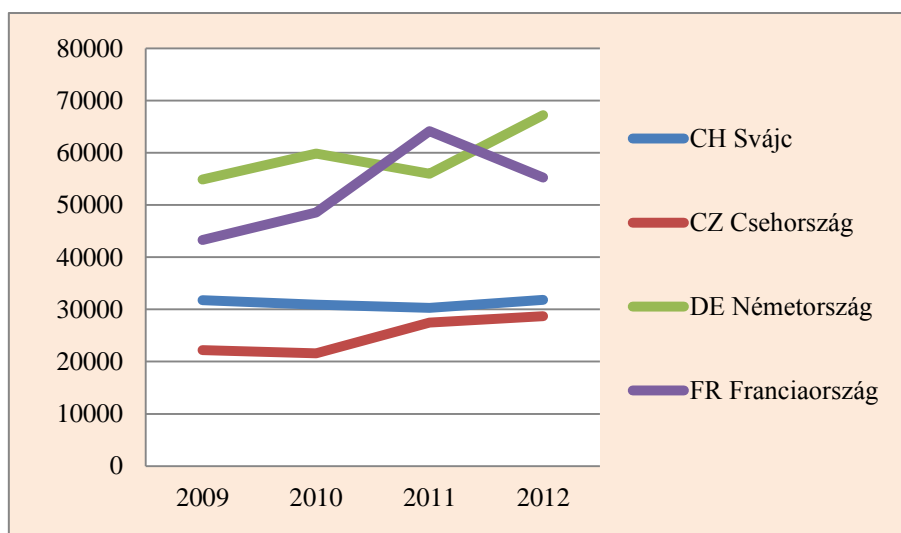
A 1. ábrán bemutatom azon országokat, amelyek Európában a legtöbb villamos energiát termelik. Szembetűnő, hogy mind a négy ország termelése során van egy energiaforrás, ami kiemelkedő. Németország, Nagy-Britannia és Olaszország esetében ezek a fosszilis hőerőművek, míg Franciaországnál az atomerőművek. Továbbá az 1. ábrán az is látható, hogy a legtöbb megújuló energiaforrást Németország használja fel, azonban atomellenes törekvései mellett Franciaország után mégis a legtöbb atomenergiát termeli ki. Az 1. ábrán látszik, hogy Franciaország az atomenergia termelésében magasan kiténik, mind az országban hasznosított energiahordozók, mind a többi országhoz való viszonyítás esetében.

#### 4. VILLAMOS ENERGIA EXPORT ÉS IMPORT

A villamosenergia-felhasználás során az országhatárok elmosódnak, mivel a villamos energiát tárolni nem lehet folyamatos import és export tevékenységek vannak az országok között. Az import és az export a villamosenergia-felhasználás során a szomszédos villamosenergia-rendszernek átadott, valamint felvett villamos energiát jelenti.

##### 4.1 Villamos energia export

A 1. ábra bemutatását azért tartottam fontosnak, mert azok az országok, amelyeket szemléltettem az export területén is kiemelkedők, azaz exportőr országok.



2. ábra Villamos energia exportőr országok 2009-2012 (GWh)

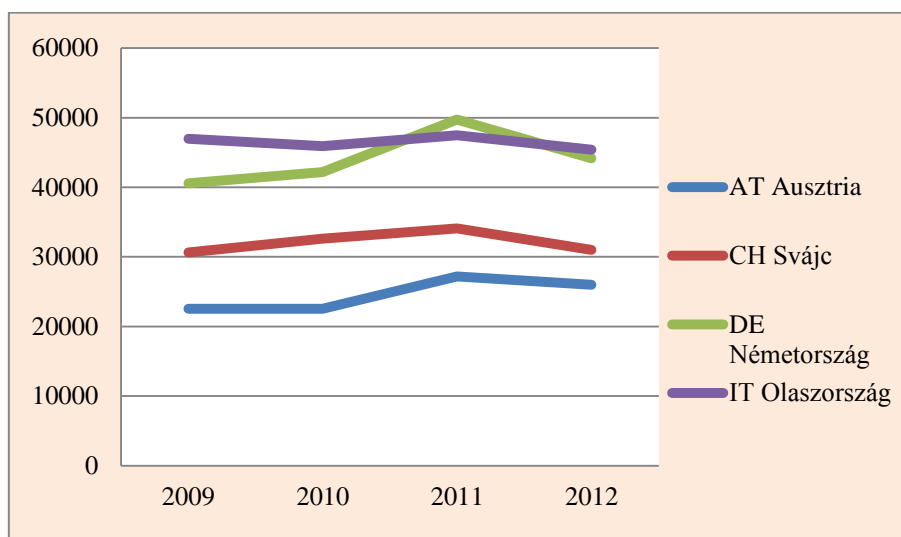
(Forrás: Saját előállítás a MAVIIR (2009, 2010, 2011, 2012) adatai alapján [1][2][3][4])

Amint a 2. ábrán jól látszik az előzőekben említett két ország, nevezetesen Németország és Franciaország a két legnagyobb exportőr ország. Termelésük és elveik sokakban különböznek, de mégis Európában a legtöbbet exportálnak. A két ország árai is nagy eltérés mutatnak, 2014 első negyedévében Németországban a háztartási energia átlagos ára 29,8 eurócent/kWh, míg Franciaországban csak 15,9 eurócent/kWh. Ezek alapján jól látszik, hogy Franciaországban igen alacsony a villamosenergia ára, amely kedvez a magas exportnak. A harmadik helyen Svájc helyezkedik el, jó példaként szolgál hazánknak, mivel Magyarországhoz hasonlóan Svájc sem rendelkezik jelentős ásványi vagyonnal, kikötője sincs, valamint lakossága is hasonló a miénkhez. A már előzőekben említett atomellenes politikához, amelyet Németország folytat Svájc is csatlakozott.[5] [6]

Ezek alapján az export nagyságát befolyásoló tényezők:

- megújuló energiák hasznosításának mértéke,
- alacsony villamosenergia-ár,
- földrajzi adottság (vannak olyan országok, melyek a földrajzi elhelyezkedése miatt csak bizonyos országoktól tudnak importálni éppen ezért annak az országnak az exportja növekszik),
- termelői kapacitások,
- a villamosenergia-felhasználása után megmaradt kötelezőtartalék után is van felesleges villamos energia,
- villamosenergia-piac szerepe,
- szomszédos országok visszaesése.

## 4.2 Villamos energia import



3. ábra Villamos energia importőr országok 2009-2012 (GWh)

(Forrás: Saját előállítás a MAVIIR (2009, 2010, 2011, 2012) adatai alapján [1][2][3][4])

Az 3. ábrán az importőr országok láthatók, amelyek a két legmagasabb érték Németországhoz és Olaszországhoz tartozik. A német villamosenergia magas importja magyarázható a megújuló energiák időszakos termelésével. Olaszország is igen sok megújuló energiaforrást hasznosít, de emellett más tényezők is hatással vannak arra, hogy ilyen magas az import, elsősorban ide sorolható az átlagos nettó teljesítőképesség-kihasználása, amely nagyon alacsony, 30% alatt volt 2013-ban. Az érték az Európai Unió tagállamai között az egyik legrosszabb, másodsorban pedig az atomenergia hasznosítása minimális, hiszen nem vagy csak elhanyagolható mennyiségben van jelen a termelésben. Ausztria és Svájc magas importja a megújuló energiákhoz vezet vissza.[7]

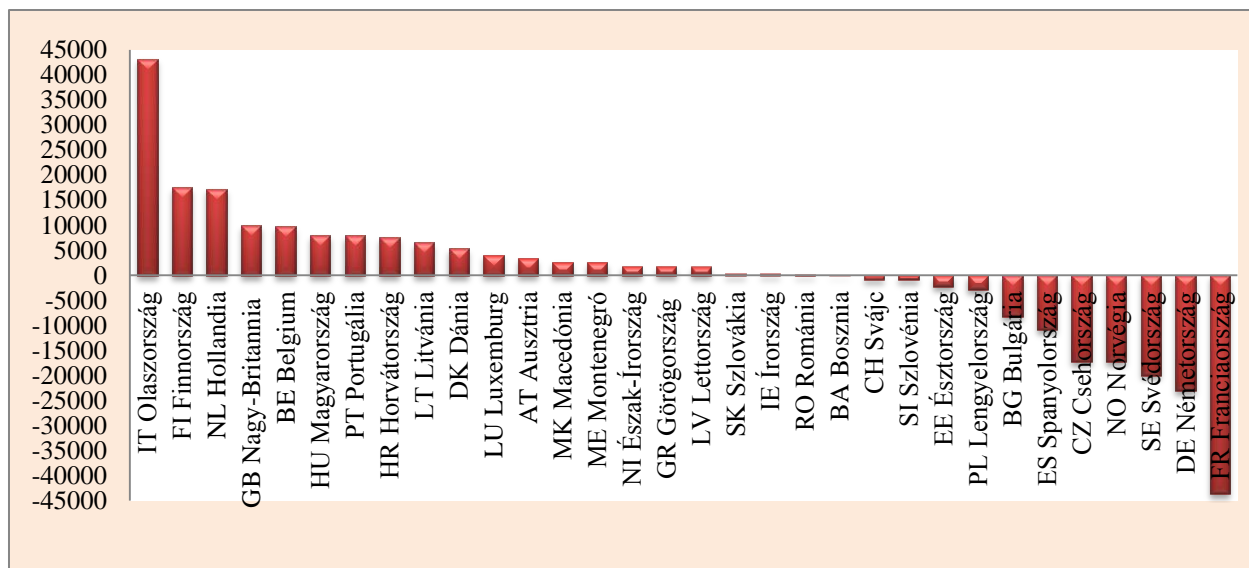
Az import nagyságát befolyásoló tényezők:

- megújuló energiaforrások nagysága,
- nettó teljesítőképesség kihasználtság,
- atomellenes törekvések (nem tudják elég gyorsan pótolni a kiesést),
- folyamatosan növekvő energiaigény,
- villamosenergia-piac szerepe,

## 4.3 A villamos energia exportjának és importjának kapcsolata

A 2. ábrán a legnagyobb exportőr országokat mutattam be, az 3. ábrán a legnagyobb importőröket, de a két ábra összehasonlítása során megfigyelhető, hogy van egyezés, azaz Németország és Svájc is mind a két listán ott van. Azonban nem csak ez a két ország esetében figyelhető meg a villamos energia magas exportja és importja. Az import és az export különbsége az importszaldó, amennyiben ez az érték alacsony az ország exportja és importja között minimális eltérés van, ha negatív az export magasabb, ha pozitív, akkor az import aránya a nagyobb. Abban az esetben viszont, ha az érték magas az ország kiemelkedést mutat az egyik tényezőtől, attól függően milyen az előjele.





4. ábra Imporszaldó az EU tagállamaiban 2012-ben (GWh)  
(Forrás:[1])

A 4. ábrán Európa országainak imporszaldója látható. Szembetűnő, hogy nagyon magas értékek csak kevés helyen figyelhetők meg, ilyen Olaszország, ahol látható, hogy nagyon magas az import, de az export csekély mértékű, valamint Franciaország, ahol ennek ellenkezője van jelen. A többi országnál nincs nagy kiugrás, sőt vannak olyanok, amelyek esetében elhanyagolható a különbség.

A közel azonos arányú export és import egy adott országban több tényező miatt lehetséges. A megújuló energiaforrások hasznosítása során időszakos termelés lép fel, ami azt jelenti, hogy nincs állandó termelés, amikor a megújuló energiaforrás a rendelkezésre áll akkor azt fel kell használni. Azonban, ha több az adott energiahordozó, mint amennyire szükség van, akkor energiatöbblet lép fel, de mivel a villamos energiát nem tudják tárolni ezért ezt exportra bocsájtják. Abban az esetben viszont amikor az energiahordozó kis mennyiségben vagy egyáltalán nem áll rendelkezésre, importra van szükség. Ez megfigyelhető Németország esetében, ahol kiemelkedően magas a napenergia felhasználása, de mivel ez nem folytonos, importtal pótolja általában Franciaországból.

Tranzit, azaz az országon áthaladó áru. Egyes országok nem tudnak elég energiát termelni, ahhoz hogy ellássák magukat, ugyanakkor természeti adottságaikból kifolyólag egy vagy két országból tudnak csak villamos energiához jutni. Azonban sok esetben a szomszédos ország sem tudja kielégíteni a keresletet, így egy másik, azaz egy harmadik országtól importál, és ezt adja tovább.

## 5. ÖSSZEZÉS

Kutatásom tárgya a villamosenergia-termelés jellemzőinek alakulásának vizsgálata Európában, hangsúlyt helyezve az import és az export alakulása. A adatsorok a 2009 és a 2012 közötti villamosenergia-helyzetet mutatják be, de a mai körülményekre is kitértem. Európa országainak termelése különböző, mind mennyiségben mind az energiahordozók hasznosításában. Kutatásom legfőbb pontja a villamos energia export és import, mivel a villamos energiát nem lehet tárolni és az országhatárok is elmosódnak ezért ez egy nagyon fontos eleme a villamos energia vizsgálatának. Egyes országokban a villamos energia importja, egyesekben az export és vannak olyan országok, ahol mind a kettő aránya magas. Ezekre hatással vannak az országok közötti ár különbségek, a megújuló energiaforrások

hasznosításának az aránya, ami időszakos termeléssel jár, és egyben ide sorolhatóak a földrajzi adottságok is. Ezek után az importszaldót vizsgáltam meg, ami alapján látható, hogy vannak olyan országok, melyeknek sok a villamos energia importja és az exportja is, ami a tranzitból valamint a megújuló energia források hasznosításából is adódhat

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A magyar villamosenergia-rendszer 2012.évi statisztikai adatai  
[http://mavir.hu/documents/10258/154394509/a\\_magyar\\_villamosenergia\\_rendszer\\_2012evi\\_statistikai\\_adatai.pdf/b1fcbe6e-ed81-42bc-bf05-569aec2cfaa3](http://mavir.hu/documents/10258/154394509/a_magyar_villamosenergia_rendszer_2012evi_statistikai_adatai.pdf/b1fcbe6e-ed81-42bc-bf05-569aec2cfaa3)  
Letöltési idő: 2015. március 29. 22:53:10
- [2] A magyar villamosenergia-rendszer 2011.évi statisztikai adatai  
[http://mavir.hu/documents/10258/154394509/statisztika\\_bel\\_2011\\_web\\_jav\\_1008.pdf/b0e712fc-2ded-46f5-a218-d89fa84bcb19](http://mavir.hu/documents/10258/154394509/statisztika_bel_2011_web_jav_1008.pdf/b0e712fc-2ded-46f5-a218-d89fa84bcb19)  
Letöltés idő: 2015. március 29. 22:53:01
- [3] A magyar villamosenergia-rendszer 2010.évi statisztikai adatai  
[http://mavir.hu/documents/10258/154394509/statisztika\\_2010\\_ok\\_webre\\_jav.pdf/0a00217e-42f8-48d1-a77f-f59bfb43d71b](http://mavir.hu/documents/10258/154394509/statisztika_2010_ok_webre_jav.pdf/0a00217e-42f8-48d1-a77f-f59bfb43d71b)  
Letöltési idő: 2015. március 29. 22:52:52
- [4] A magyar villamosenergia-rendszer 2009.évi statisztikai adatai  
[http://mavir.hu/documents/10258/154394509/mavir\\_statistika\\_2009\\_webre.pdf/58a3f72c-de48-4283-a854-14d5c4345654](http://mavir.hu/documents/10258/154394509/mavir_statistika_2009_webre.pdf/58a3f72c-de48-4283-a854-14d5c4345654)  
Letöltési idő: 2015. március 29. 22:52:45
- [5] **HÁRFÁS ZS.:** Kihívások a nemzetközi és a hazai energetikában *Elektrotechnika 108.évf 2015/01-02*
- [6] **MOLNÁR L.:** Európai energetikai körkép Tájékozódás a gyorsan változó energiavilágban *Elektrotechnika 107.évf 2014/11*
- [7] **STRÓBL A.:** A hazai villamosenergia-ellátás forrásoldala az európai fejlődés tükrében *Elektrotechnika 107.évf 2014/07-08*

# AZ ACETABULAR ÉS A GÖMBFEJ ÉRINTKEZÉSÉNEK VIZSGÁLATA

## ANALYSIS OF THE CONTACT OF ACETABULAR AND THE BALL

**Monostori Renáta**

egyetemi tanársegéd, renata.horcsik@uni-miskolc.hu,  
Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet, Miskolc, Egyetemváros, 3515

**Kivonat:** Manapság igen sok implantációs műtétet végeznek el Magyarországon. Egyik ilyen a csípőprotézis beültető operáció. A csípőprotézis leggyengébb pontja a vápa. Ez kezd leghamarabb kopni és deformálódni, mert a vápa anyaga UHMWPE (UHMWPE = Ultra High Molecular Weight Polyethylene), a fej anyaga pedig fém. A kopás mértéke viszonylag nagy, mivel a vápa és fej között nincs kenőanyag. A vápa tönkremenetelének vizsgálatához felhasználtam egy végeleselemes szoftver segítségével, amivel szimuláltam a vápa kopását.

**Kulcsszavak:** csípőprotézis, acetabular, vápa kopás, szimuláció.

**Abstract:** Several implantation operation is performed nowadays in Hungary. One type is the hip joint prosthesis implantation. The weakest point of the hip joint prosthesis is the acetabular. This is the part which starts to wear and deform first because the material of it is Ultra High Molecular Weight Polyethylene (UHMWPE) and the material of the head is metal. The extent of the wear is relatively large because there is no lubricant between the acetabular and the head. To investigate the deterioration of the acetabular, I used a FEM software which helped in the simulation of wear of the acetabular.

**Keywords:** hip-joint prosthesis, acetabular, abrasion of the acetabular, simulation

## 1. BEVEZETÉS

Az ízületi károsodás az életminőség romlásával jár. A világon jelenleg több mint hétszázezer, Magyarországon körülbelül tízezer nagyízületi (csípő-, térd stb.) protézist ültetnek be évente. Ízületi protézis beültetésével, implantálásával látványosan javulhat a beteg állapota.

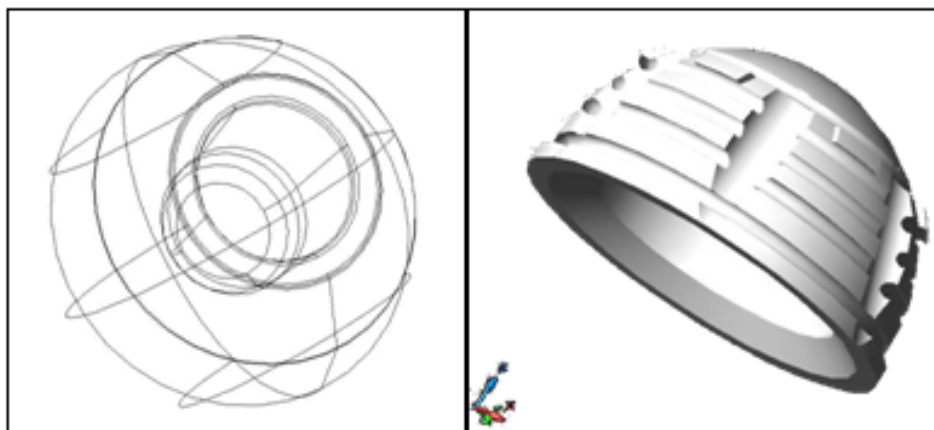
Az ízületi fájdalmak egyik leggyakoribb kiváltó oka az arthritis, más néven ízületi gyulladás. Több mint százféle ízületi gyulladás ismert, melyek közös vonása, hogy kellemetlenek, fájdalmasak az érintettek számára. Ezért ma már a beteg legaktívabb életperiódusában, az életminőség kérdését szem előtt tartva, elvégzik a protézisbeültetést. Bár a kopása miatt az ismételt operáció esélye elég nagy.

A protézis elhasználódása alatt az egymáson elmozduló komponensek mechanikai kopását értjük, amely a komponens méretének és alakjának változásával jár. Ez az igénybevétel mértékétől, a komponens anyagától, a polietilénréteg vastagságától, a fejkomponens felszínének keménységétől, a megmunkálás finomságától, sőt, a beültetés módjától (túl meredek vápa – koncentrált terhelés) is függhet. A kopást a protézisfej mérete is befolyásolja. A protézisek közötti különbség csak 8–10 év után, nagyszámú beteg vizsgálatával értékelhető [1].

## 2. MODELLEZÉS

A gömbfej és a vápa 3D-s modelljének (1. ábra) létrehozásához felhasználtuk az „etalon” vápa 3D-s mérési eredményeit és a gömbfej és a vápa előírásban szereplő adatait. A

tervezéshez Solid Edge tervező szoftvert használtam, mivel az így elkészített 3D-s modellt tudtam a végeleemes szoftverrel való vizsgálatnál használni.

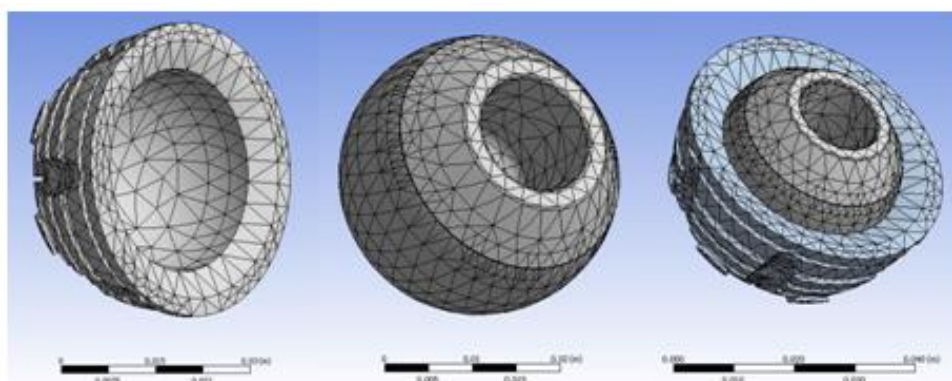


1. ábra A gömbfej és a vápa modellje

### 3. VÉGESELEMES VIZSGÁLAT - SZIMULÁCIÓ

A végeleemes vizsgálatot az ún. ANSYS szoftverrel végeztem el [2].

A vápa és a gömbfej 3D-s modellje behívása után a vizsgálatot a végelelem háló felvételével kezdtem. Külön a vápára, külön a gömbfejre is meghatároztam a hálót, illetve arra az állapotra is, amikor a vápa és a gömbfej egy egységet képez (2. ábra).



2. ábra Végelelem háló

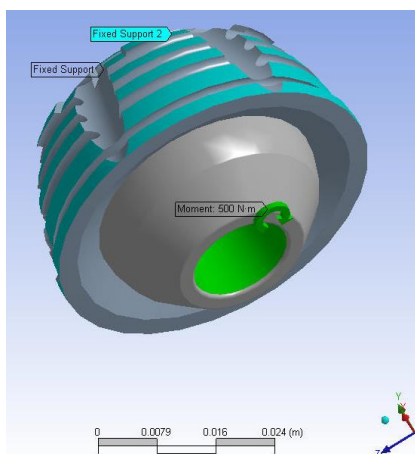
Ezután a vápára megadtam a feszültségeket, a befogást - vagyis a vápa rögzítését a csípőben – szimulálva, illetve csavaró nyomatékot, a gömbfej mozgását szimulálva a vápában (3. ábra).

A vizsgálatokhoz felhasználtam azon matematikai és mechanikai ismereteket, miszerint a tér tetszőleges P pontjának helykoordinátája [3;4].

$$r = x e_x + y e_y + z e_z \quad (1)$$

Az elmozdulásmező

$$u = u(r) = u e_x + v e_y + w e_z \quad (2),$$



3. ábra Terhelések megadása

alakváltozási tenzormező

$$A=A(r)=AT(r) \quad (3),$$

és a feszültségi tenzormező

$$T=T(r)=TT(r) \quad (4)$$

a hely függvénye.

Az alakváltozási tenzor és annak skalárkoordinátái az alábbiak szerint értelmezettek:

$$A(r) = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{bmatrix}, \quad (5)$$

melyben az  $\varepsilon_i$ ,  $\gamma_{ij}$  fajlagos nyúlások és szögtorzulások, dimenziótlan mennyiségek.

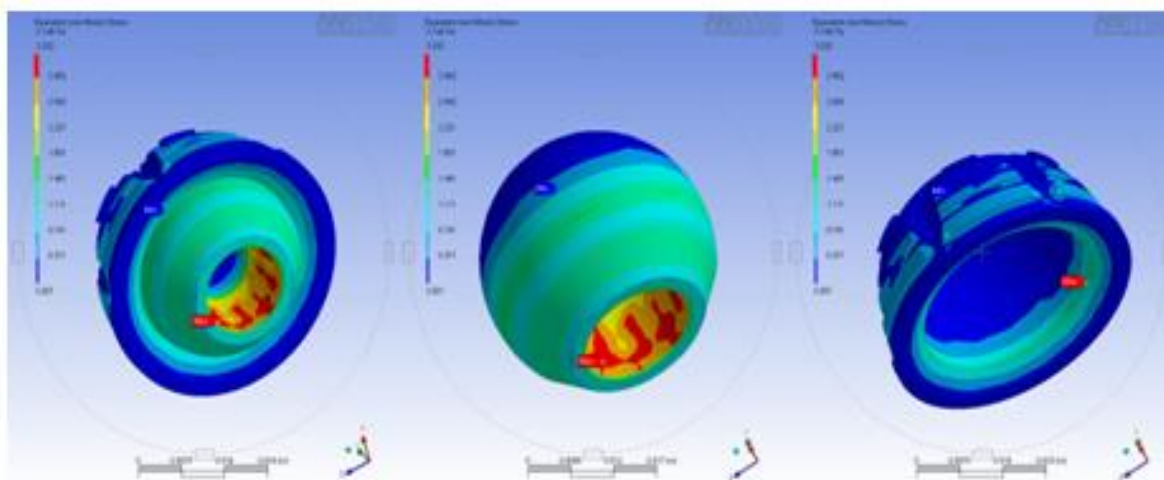
A feszültségi tenzor:

$$T(r) = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (6)$$

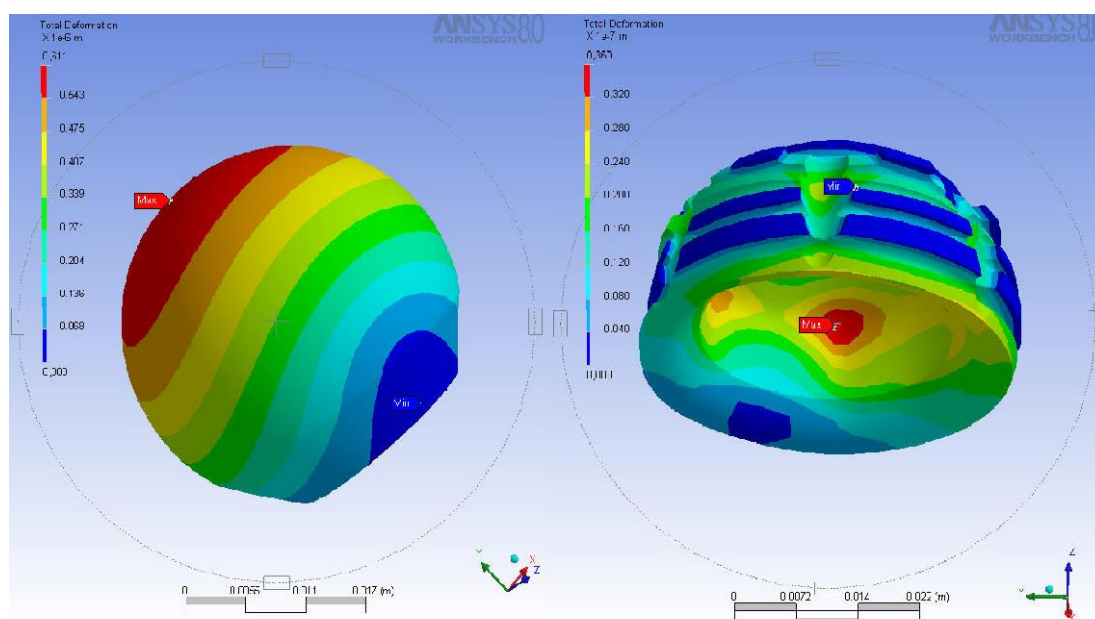
ahol  $\sigma$  és  $\tau$  a normál és a nyíró feszültségeket jelöli [4].

A szimulációt lefuttatva a vizsgálat alátámasztotta az addigi feltételezéseket [5]. A 4. ábrát megfigyelve láthatjuk, mind a két elem felveszi a terheléseket, a színek pedig mutatják, hogy

milyen mértékben. A gömbfej a szárhoz való rögzítésre szolgáló furatban kapja a kb. 300 MPa-s terhelést, míg a vápa kb. 200 MPa terhelésnek van kitéve a belső felületén (ebbe a félgömbbe ül bele a fej).



4. ábra Szimulációs eredmények



5. ábra Deformációs eredmények

A deformációt is vizsgálva (összetett igénybevétel esetén, mely az egyenletes járást szimbolizálja) az 5. ábrán látható, eredményeket kaptam. A gömb felső süvege deformálódik nagyobb mértékben, míg a vápa belső félgömb felülete deformálódik nagyobb mértékben.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Irodalomkutatást végeztem a csípőprotézis kopásának témakörében. Megrajoltam a CAD rendszer segítségével a vápák 3D-s modelljét.

A deformáció, tönkremenetel okát keresve végelesemes vizsgálatokat végeztem. A szimulációk eredménye a feltételezett értékekhez (előzetes, megközelítő számítások) közel hasonló, az adott paramétereknek megfelelő eredményt szolgáltatott.

A kutatás folytatásaként további vizsgálatokat és szimulációkat végeztek a kopások egzakt meghatározáshoz.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **SZENDRŐI M., SÓLYOM L.:** *A csípőarthrosis műtéti kezelésének korszerű szemlélete*, Lege Artis Medicinae, 2001.
- [2] **SZABÓ F., BIHARI Z., SARKA F.:** *Termékek, szerkezetek, gépelemek véges elemes modellezése és optimalása*, Szakmérnöki jegyzet, Miskolc 2006.
- [3] **DUDÁS I.:** *Csigahajtások és gyártása*, Műszaki Kiadó, 2007, p.: 335, ISBN 978-963-16-6047-0
- [4] **BODZÁS, S., DUDÁS, I.:** *Comparative finite element method analysis of spiroid worm gear drives having arched profile and having linear profile in axial section*, Journal Technological Engineering, number 1/2014, volume XI, Zilina, Slovakia, pp.: 23 – 27., ISSN 1336 – 5967
- [5] **MONOSTORI R., DUDÁS I.:** *Analysis of big joint implant*, 11th International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, ISMTII 2013, 2013. 07.01. – 2013. 07. 05., Aachen, Németország, pp. 73. (abstract), Terjedelem: 6 oldal, Guide to Selected Topics pp. 22., ISBN 978-3-86359-138-0

# KÚPOS CSIGATENGELY BEFEJEZŐ MEGMUNKÁLÁSA KORONGBEDÖNTÉSI SZÖG KORREKCIÓ ALKALMAZÁSÁVAL

## FINISHING PRODUCTION OF CONICAL WORM BY BANKING ANGLE CORRECTION

**Bodzás Sándor**

Ph.D., főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu  
Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék,  
H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

**Kivonat:** A publikáció célkitűzése egy új gyártási eljárás ismertetése, mely a kúpos csigatengely befejező megmunkálása a csigatengely és a korong közötti tengelytáv változtatásával egyidejűleg történő korongbedöntési szög korrekció alkalmazásával. Meghatározzuk a megmunkáláshoz szükséges optimális korongprofilokat a gyártási tűrések figyelembevételével. Feltárjuk a fő gyártási paraméterek közötti függvénykapcsolatokat.

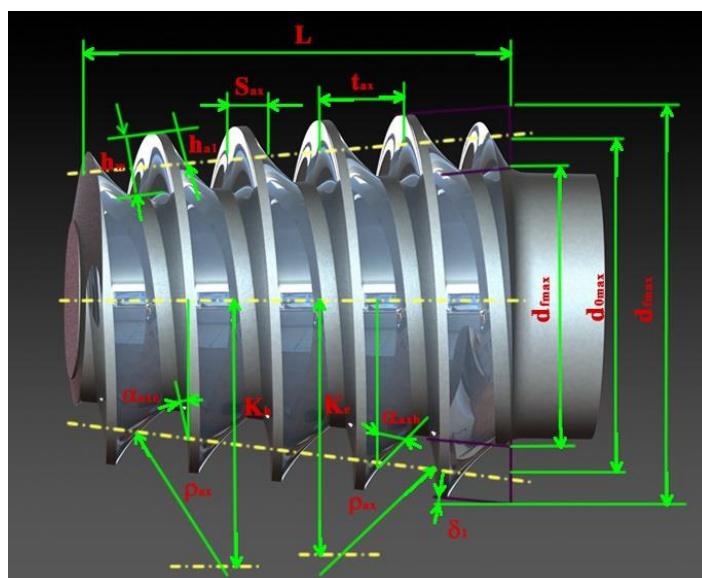
**Kulcsszavak:** kúpos csiga, tengelytáv, korongbedöntési szög korrekció, szögelfordulás

**Abstract:** The objective of the publication is presentation of a new production technology which is a finishing production of conical worm using changing of centre distance between the worm and the grinding wheel and banking angle correction at the same time. We will determine the necessary optimum grinding wheel profiles for the manufacturing in light of the production tolerances. We will determine the function connections between the main production parameters.

**Keywords:** conical worm, centre distance, grinding wheel banking angle correction, angular displacement

### 1. BEVEZETÉS

A tengelymetszetben körív profilú hengeres [3] és az egyenes profilú kúpos csigahajtópárok [6, 7] előnyös tulajdonságait figyelembe véve terveztünk egy új geometriájú kúpos csigahajtást a tengelymetszetben körív profilú kúpos csigahajtást [5].



1. ábra. Tengelymetszetben körív profilú kúpos csigatengely geometriai kialakítása

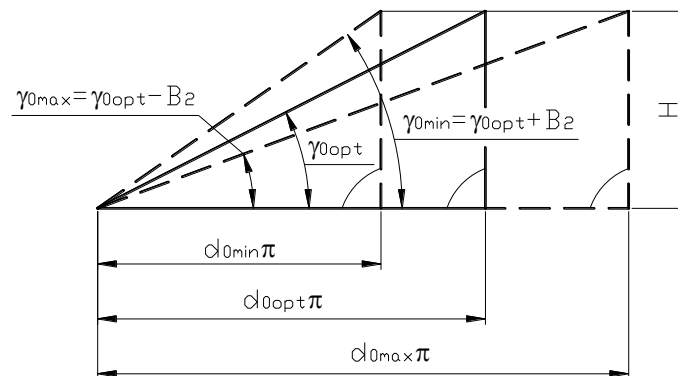


## 2. AZ ÁTMÉRŐ ÉS AZ EMELKEDÉSI SZÖG VÁLTOZÁSA ÁLLANDÓ EMELKEDÉSŰ KÚPOS CSIGÁNÁL

A kúpos csavarfelületek köszörűkoronggal történő befejező megmunkálásakor alapvetően két probléma vetődik fel, amelyek a geometriailag helyes profil (profilalakhiba túrésen belüli profil) kialakítását szinte lehetetlenné teszik [6]:

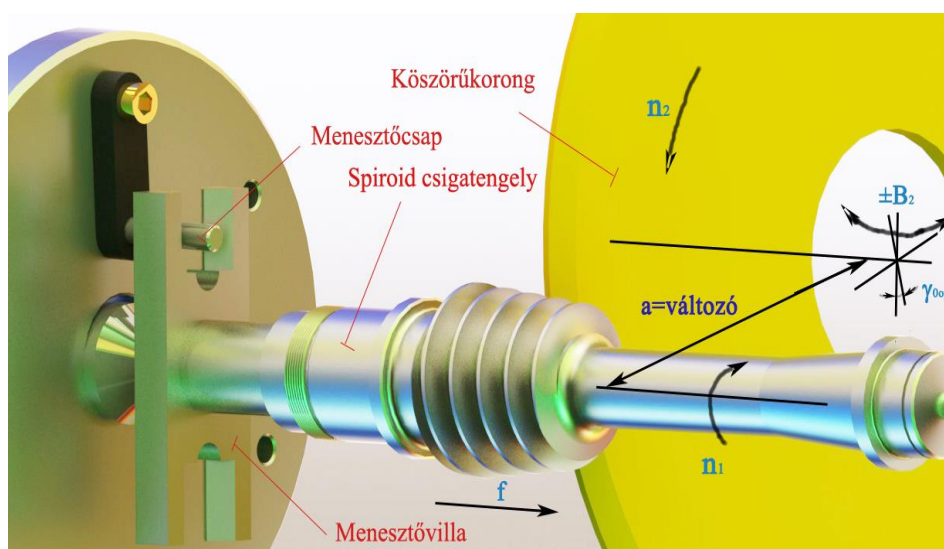
- a köszörülés során a korong kopása miatt a korong profilja és átmérője is változik. Emiatt a generált csavarfelület profilja torzul az elméleti profilhoz, de az eredeti kiinduló állapothoz képest is;
- a kúpos csavarfelület tengely menti átmérőváltozása a csigaprofil állandó változását vonja maga után (a korongprofil állandósága esetén).

Kúpos csavarfelület köszörülésekor olyan megoldást kell választani, ahol a korong kopás miatt változó korongprofil mellett is lehetőség van a csigaprofil jellemzőinek megengedett határok (túrések) között tartására. Ezt a problémát a Dudás Illés által javasolt optimális szerszámprofil meghatározási módszerrel oldjuk meg [6].



2. ábra. Az átmérő és az emelkedési szög változása állandó emelkedésű kúpos csigánál [1]

A 2. ábrán látható, hogy a kúpos csiga hosszmenti átmérőváltozása miatt az állandó axiális menetemelkedés biztosítása érdekében változik a  $\gamma_0$  osztóköri emelkedési szög.



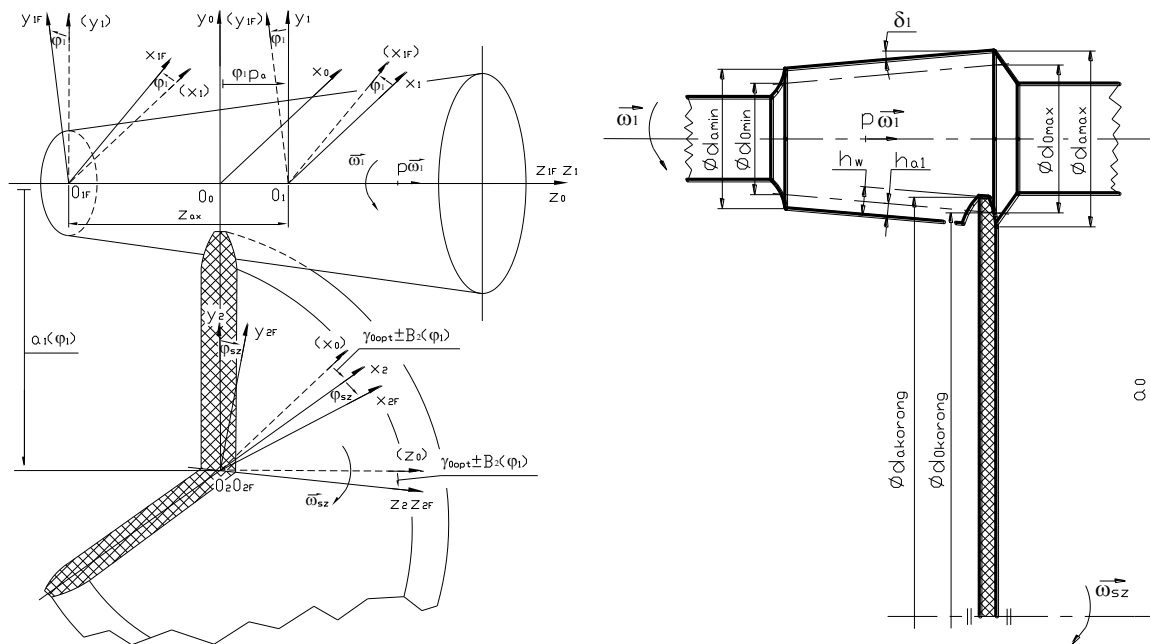
3. ábra. A kúpos csavarfelület megmunkálásának modellezése változó tengelytáv és korongbedöntési szög korrekció alkalmazásával

Egy új kinematikájú köszörűkorong bedöntő orsóház esetén a tengelytáv változtatás függvényében a csiga menethossza mentén folyamatosan változtatjuk a köszörűkorong  $\pm B_2$  korongbedöntési szög korrekció értékét (2. ábra).

A korongot a  $\gamma_{0opt}$  emelkedési szögnek megfelelően döntjük be megmunkáláskor. A megmunkálás során  $\gamma_{0opt} \pm B_2$  korongbedöntési szög korrekciót alkalmazunk. Cél a kúpos csavarfelület eddigiektől eltérő, pontosabb köszörülésének kidolgozása [1].

### 3. A GYÁRTÁSI TECHNOLOGIA KINEMATIKAI ELEMZÉSE

A megmunkálás mozgásviszonyai az 4. ábrán szemléltetett koordináta rendszerek és egymáshoz viszonyított helyzetük segítségével írható le.



4. ábra. Koordináta rendszerek kúpos fej- és lábfelületekkel határolt működő felületű csavarfelületek megmunkálásánál (a) és az  $a_0$  kezdeti tengelytáv meghatározása (b) [1, 2, 4]

A 4. ábra alapján az  $a_0$  kezdeti tengelytáv és az  $a_1$  tengelytáv változás [1, 2, 4]:

$$a_0 = \frac{d_{a \max}}{2} - \frac{h_w}{\cos \delta_1} + \frac{d_{akorong}}{2} \quad (1)$$

$$a_1 = a_0 - p_r \cdot \varphi_1 \quad (2)$$

A 4. ábra alapján az emelkedési szög korrekció [1, 2, 4]:

$$\gamma_0 = \gamma_{0opt} \pm B_2 = \arctan \left( \frac{H}{2 \cdot \pi \cdot \left[ \left( a_0 - p_r \cdot \varphi_1 + \frac{h_w}{\cos \delta_1} - \frac{d_{akorong}}{2} \right) - h_{a1} \right]} \right) \quad (3)$$

ahol:

- ha  $\gamma_{0opt} > \gamma_0$ , akkor:

$$-B_2 = \gamma_0 - \gamma_{0opt} \quad (4)$$

- ha  $\gamma_{0opt} < \gamma_0$ , akkor:

$$+B_2 = \gamma_0 - \gamma_{0opt} \quad (5)$$

#### 4. A MEGMUNKÁLÁSHOZ SZÜKSÉGES SZERSZÁMPROFIL MEGHATÁROZÁSA

A megmunkáláshoz szükséges korongprofil meghatározására a kúpos csiga kétparaméteres vektor skalár függvényének ismeretében ( $\vec{r}_{1F}$ ) a direkt kinematikai módszert alkalmazzuk [6, 8], azaz egyparaméteres burkolással állítjuk elő a korong profilgörbéit:

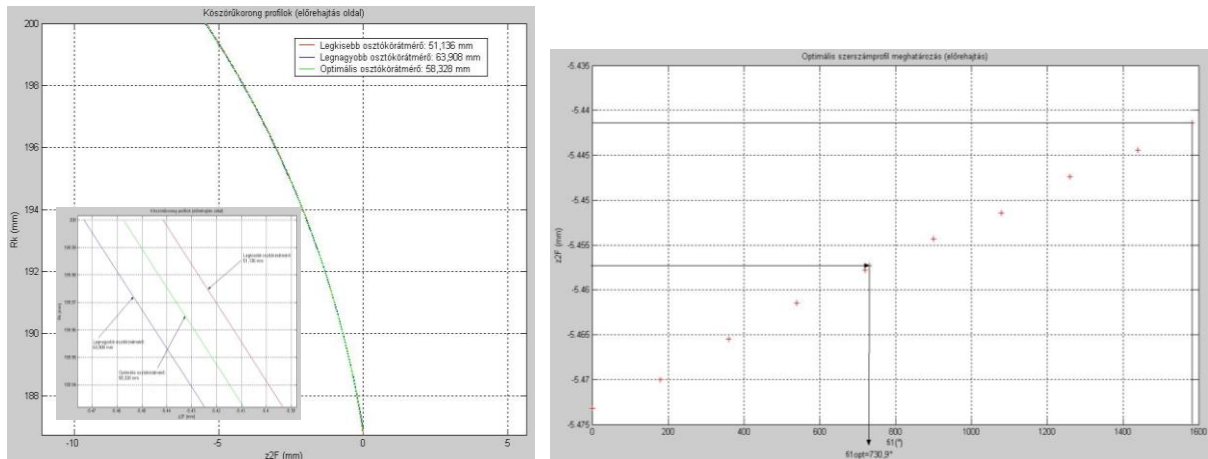
$$\left. \begin{aligned} \vec{r}_{1F} &= \vec{r}_{1F}(\eta, \mathcal{G}) \\ \vec{n}_{1F} \cdot \vec{v}_{1F}^{(12)} &= 0 \\ \vec{r}_{2F} &= M_{2F,1F} \cdot \vec{r}_{1F} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Az ismertett köszörülési eljárást alkalmaztuk tengelymetszetben körív profilú kúpos csigatengely megmunkálására [1]. Az 1. táblázatban láthatóak a diszkrét szögelfordulás értékekhez tartozó tengelytáv és emelkedési szög korrekció értékek.

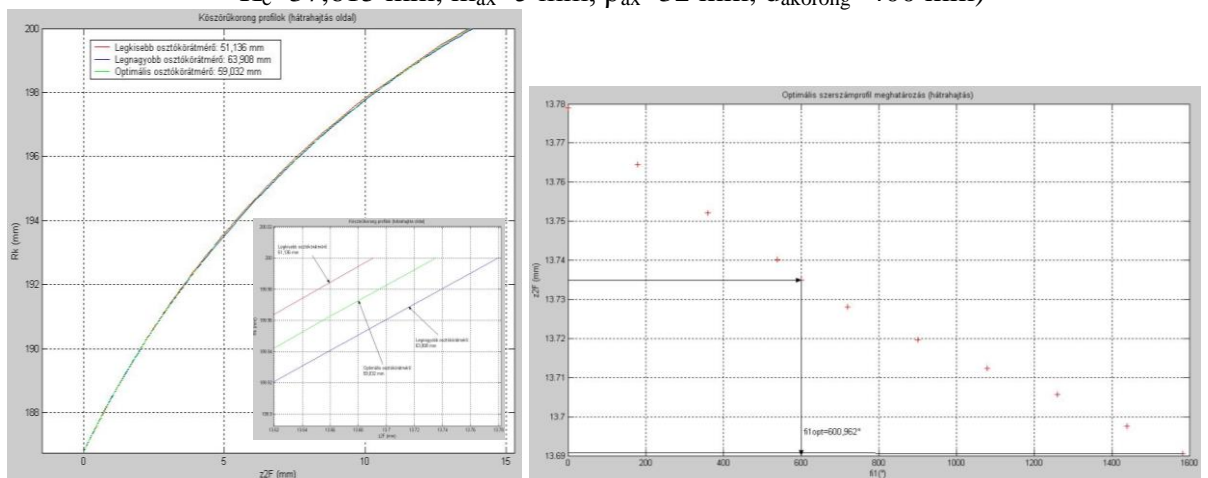
1. táblázat: Számítási eredmények ( $m_{ax}=5$  mm,  $\rho_{ax}=32$  mm,  $d_{akorong}=400$  mm)

Előrehajtás oldal			Hátrahajtás oldal		
$d_{0opte}=58,328$ mm, $\varphi_{1opte}=730,9^\circ$ , $\gamma_{0opte}=4,8995^\circ$ , $K_e=37,615$ mm			$d_{0opth}=59,032$ mm, $\varphi_{1opth}=600,962^\circ$ , $\gamma_{0opth}=4,841^\circ$ , $K_h=45,305$ mm		
Szögelfordulás $\varphi_1$ [°]	Tengelytáv $a_1$ [mm]	Emelkedési szög korrekció $B_2$ [°]	Szögelfordulás $\varphi_1$ [°]	Tengelytáv $a_1$ [mm]	Emelkedési szög korrekció $B_2$ [°]
<b>0</b>	225,6420	-0,4233	<b>0</b>	225,6420	-0,3648
<b>180</b>	224,9549	-0,3253	<b>180</b>	224,9549	-0,2668
<b>360</b>	224,2678	-0,2229	<b>360</b>	224,2678	-0,1644
<b>540</b>	223,5806	-0,1158	<b>540</b>	223,5807	-0,0573
<b>720</b>	222,8936	-0,0037	<b><math>\varphi_{1opth}=600,962</math></b>	223,3480	0
<b><math>\varphi_{1opte}=730,9</math></b>	222,8520	0	<b>720</b>	222,8936	+0,0548
<b>900</b>	222,2065	+0,1137	<b>900</b>	222,2065	+0,1722
<b>1080</b>	221,5194	+0,2369	<b>1080</b>	221,5194	+0,2954
<b>1260</b>	220,8323	+0,3663	<b>1260</b>	220,8323	+0,4248
<b>1440</b>	220,1452	+0,5023	<b>1440</b>	220,1452	+0,5608
<b>1583,2</b>	219,5986	+0,6157	<b>1583,2</b>	219,5986	+0,6742

Az 5. ábrán láthatóak a megmunkáláshoz szükséges korongprofilok a csiga mindkét fogoldalára vonatkozóan.



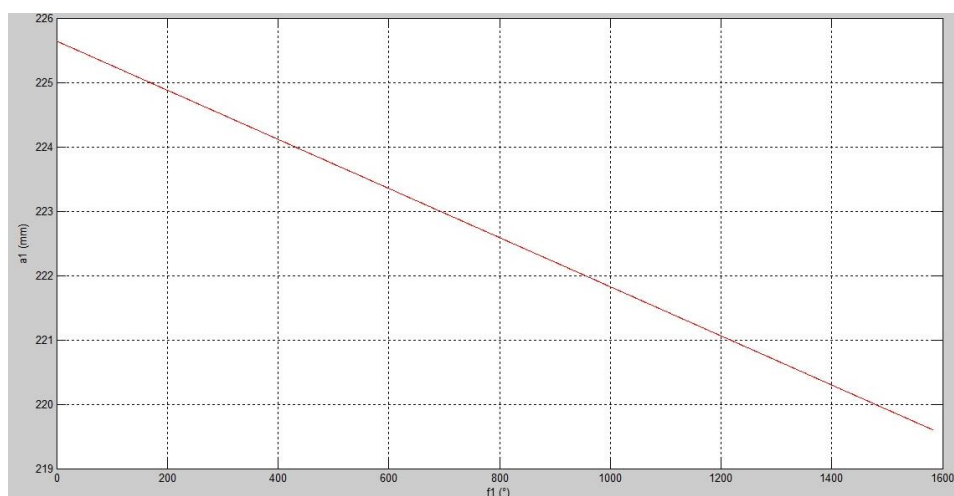
a) Előrehajtás oldali korong profilok ( $d_{0opte}=58,328$  mm,  $\varphi_{1opte}=730,9^\circ$ ,  $\gamma_{0opte}=4,8995^\circ$ ,  $K_e=37,615$  mm,  $m_{ax}=5$  mm,  $\rho_{ax}=32$  mm,  $d_{akorong}=400$  mm)



b) Hátrahajtás oldali korong profilok ( $d_{0opth}=59,032$  mm,  $\varphi_{1opth}=600,962^\circ$ ,  $\gamma_{0opth}=4,841^\circ$ ,  $K_h=45,305$  mm,  $m_{ax}=5$  mm,  $\rho_{ax}=32$  mm,  $d_{akorong}=400$  mm)

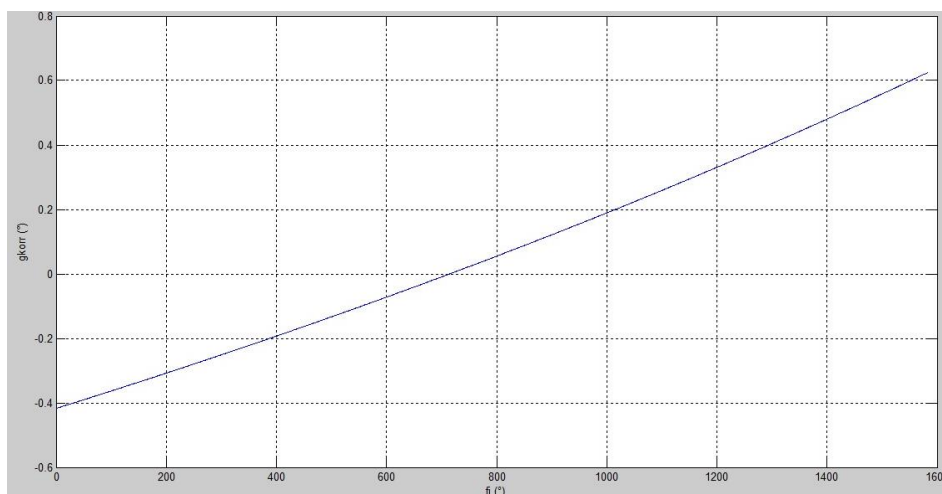
5. ábra. A korongprofilok meghatározása [1]

## 5. A MEGMUNKÁLÁSHOZ SZÜKSÉGES FŐ PARAMÉTEREK KAPCSOLATAI

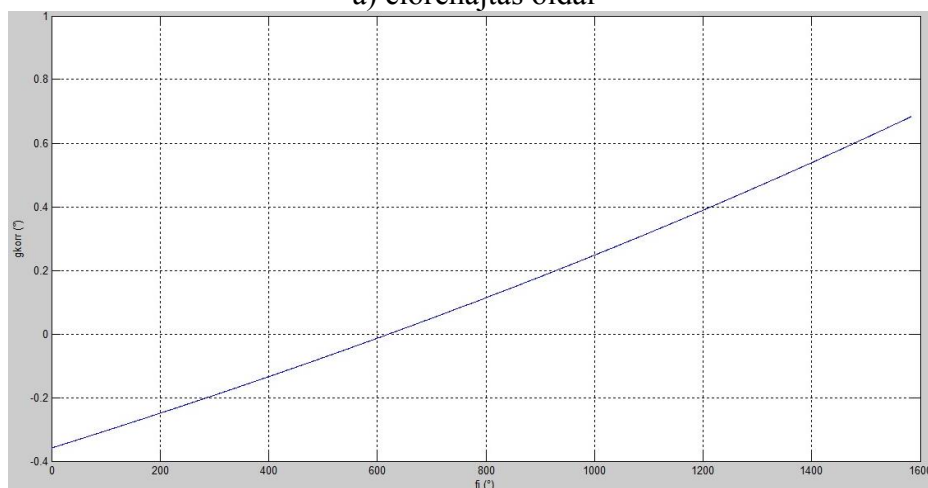


6. ábra. A tengelytáv változás ( $a_1$ ) a szögelfordulás ( $\varphi_1$ ) függvényében

Az ismertetett technológia fő meghatározó paraméterei többek között a tengelytáv, a szögelfordulás és a korongbedöntési szög korrekció. Meghatároztuk ezen paraméterek közötti függvénykapcsolatokat (6., 7. és 8. ábra).

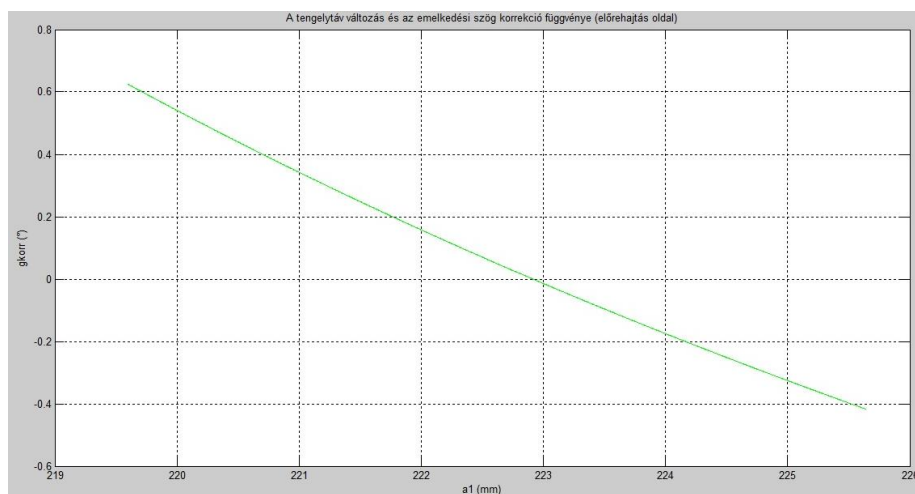


a) előrehajtás oldal

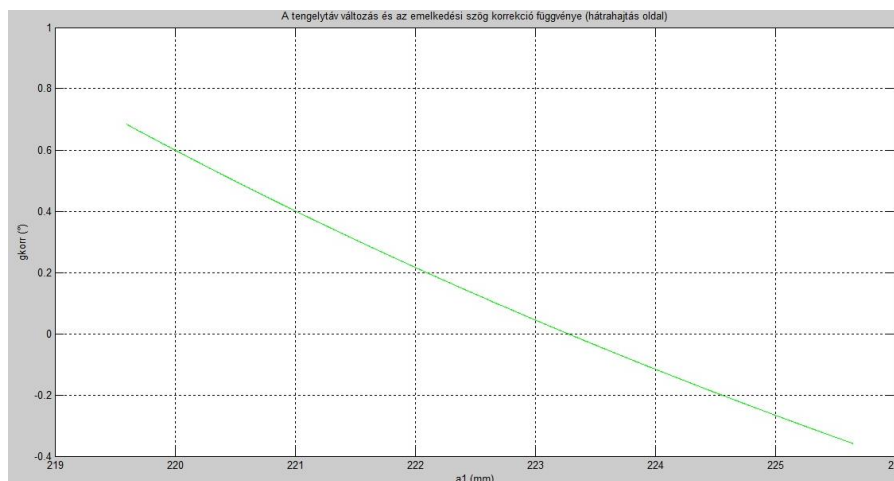


b) hátrahajtás oldal

7. ábra. A korongbedöntési szög korrekció ( $\pm B_2$ ) a szögelfordulás ( $\phi_1$ ) függvényében



a) előrehajtás oldal



b) hátrahajtás oldal

8. ábra. A tengelytávvaltozás ( $a_1$ ) és az emelkedési szög korrekció ( $\pm B_2$ ) függvénye

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kifejlesztettünk egy új geometriájú hajtópárt, a tengelymetszetben körív profilú kúpos csigahajtópárt [5].

A kúpos csavarfelület geometriájából adódóan a menethossz mentén folyamatosan változik az emelkedési szög értéke. A változó emelkedési szög korrigálására korongbedöntési szög korrekciót alkalmazunk.

Meghatároztuk a megmunkáláshoz szükséges optimális korongprofilokat. Feltártuk a megmunkáláshoz szükséges fő paraméterek kapcsolatait.

Köszörüléskor a változó tengelytáv és korongbedöntési szög korrekció alkalmazásával pontosabb csigaprofilokat kapunk eredményül.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BODZÁS S.:** *Kúpos csiga-, tányérkerék- és szerszám felületek kapcsolódásának elemzése*, Ph.D. értekezés, Miskolci Egyetem, 2014., p. 154., Doktori témavezető: Prof. Dr. Dudás Illés, DOI 10.14750/ME.2014.006
- [2] **BODZÁS S., DUDÁS I.:** *Kúpos csavarfelület előállítása változó köszörűkorong bedöntési szög korrekcióval*, GÉP folyóirat LXIV. évfolyam 2013/3, Gépipari Tudományos Egyesület, Miskolc, 2013.03., pp.: 3 – 6., ISSN 0016-8572
- [3] **DUDÁS I.:** *Ívelt profilú csigahajtás egyszerűsített gyártása és minősítése*, Egyetemi doktori értekezés, Miskolc, 1973.
- [4] **DUDÁS, I., BODZÁS, S.:** *The kinematical model for the geometrically appropriate production of cylindrical and conical helical surfaces having unvaried lead*, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer, ISSN 0268-3768 (Online), 2015. 04. 17. (Online), Volume 78, Number 1 – 4. (2015), (IF 1.779) DOI 10.1007/s00170-015-7088-0  
<http://link.springer.com/article/10.1007/s00170-015-7088-0>  
<http://www.springer.com/home?SGWID=0-0-1003-0-0&aqId=2822726&download=1&checkval=0c2eda8fb06d8f55150ee40e14ed2efe>

- [5] **DUDÁS I., BODZÁS S., DUDÁS I. SZ., MÁNDY Z.:** *Konkáv menetprofilú spiroid csigahajtópár és eljárás annak köszörüléssel történő előállítására*, Szabadalmi iktatószám: P1200405, Szabadalmi bejelentés napja: 2012.07.04.
- [6] **DUDÁS, I.:** *Csigahajtások elmélete és gyártása*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2007., ISBN 978-963-16-6047-0
- [7] **HEGYHÁTI, J.,** *Untersuchungen zur Anwendung von Spiroidgetrieben*. Diss. A. TU. Desden, 1988.
- [8] **LITVIN, F. L., FUENTES, A.:** *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8

# TELEPÜLÉSI SZILÁRD HULLADÉK ENERGETIKAI CÉLÚ HASZNOSÍTÁSÁNAK KOMPLEX VIZSGÁLATA

## COMPLEX ANALYSIS OF ENERGY UTILIZATION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE

**Bodnár István**

PhD hallgató

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék  
vegybod@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** A tanulmány a települési szilárd hulladék energetikai célú hasznosításának környezetvédelmi és energetikai oldalát mutatja be. Napjainkban a hulladékok környezetbarát és energetikailag hatékony kezelése egyre fontosabb szerepet játszik. A lerakás helyett az újrahasznosítás került előtérbe. A hulladék energetikai hasznosítására szolgálnak a termikus kezelési technológiák. Az egyes technológiák értékelés során kiemelten fontos életciklus-elemzéseket és energetikai hatékonyság vizsgálatokat végezni, amikkel számszerűen megadhatók az egyes alternatívák előnyei és hátrányai, így elősegítve a legjobb technológia kiválasztását.

**Kulcsszavak:** Települési Szilárd Hulladék, Energetikai Célú Hasznosítás, Életciklus-elemzés, Energetikai hatékonyság-vizsgálat

**Abstract:** This study presents the environmental and energy impacts of energy utilization from municipal solid waste. Nowadays, handling the waste in an environmentally friendly and energy-efficient way is more and more important, furthermore, recycling is more popular than dumping of waste. For energy recovery from waste are several methods, for example the Thermic Treatment Process. During the estimation of the methods Life Cycle Assessments and Energy Efficiency Analysis should be executed. The results present the advantages and disadvantages of the alternative methods, and help by choosing the most effective treatment process.

**Keywords:** Municipal Solid Waste, Waste to Energy, Life Cycle Assessment, Energy Efficiency Analysis

### 1. BEVEZETÉS

Magyarország hulladékgazdálkodása az utóbbi évtizedben jelentős változáson ment át. A 2000-es évek elején hazánkban is megjelent a szelektív hulladékgyűjtés, amely 2015. január 1-től kötelezővé vált a kommunális hulladék begyűjtésére vonatkozóan. Az Európai Unió előírásai kötelezik hazánkat, hogy 2020-ig a háztartási és az ahhoz hasonló hulladékból származó üveg-, fém-, műanyag és papírhulladék újrahasználatra történő előkészítésének és újrafeldolgozásának mértékét 50%-ra növelje.

2012-ben beépült a hazai hulladékgazdálkodási jogszabályokba az integrált hulladékgazdálkodási piramis, ami a korábban alkalmazott deponálási módszerek helyett az újrahasznosítást helyezte előtérbe. Ennek megfelelően a lerakás és az energiatermelés nélküli hagyományos égetés helyébe, a jobban preferált anyagában történő- és az energetikai célú hasznosítás lépett. A hulladékgazdálkodásban ez volt az első igazán jelentős lépés, amit a jogalkotók a környezetvédelem és a fenntartható fejlődés irányába tettek.

A hulladék energetikai célú hasznosítására termikus kezelési technológiákat alkalmazunk, mint például a hagyományos égetés, a pirolízis, a gázosítás és a plazmatechnológia, valamint ezek kombinációja. Az új termikus technológiák legnagyobb előnye a hagyományos égetéssel szemben, hogy a szilárd halmazállapotú hulladékot gáz halmazállapotú energiahordozóvá, úgynevezett szintézisgázzá alakítják át, amiből nagyobb hatékonyságú technikai körfolyamat-

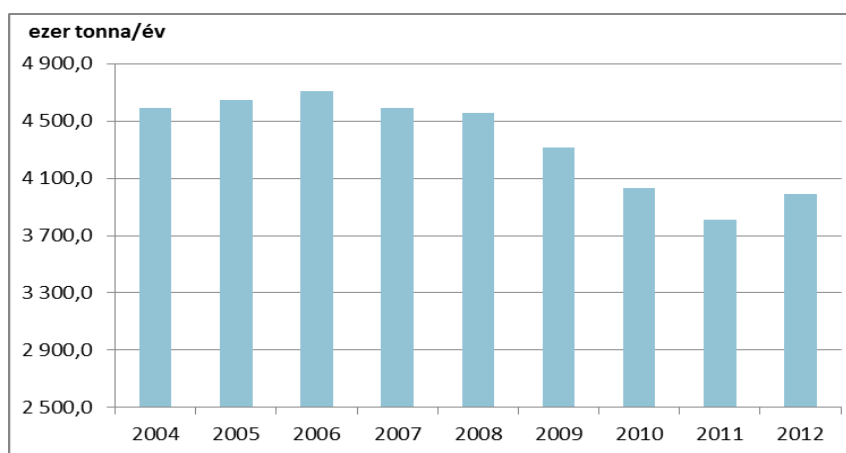


ban termelhető hasznos hő- és villamos energia. Az így kapott szintézisgáz vegyipari szintézisekben történő hasznosítása is számottevő mértékű, például metanol gyártás.

## 2. HULLADÉKKÉPZŐDÉS ÉS KEZELÉS HELYZETE HAZÁNKBAN

Létezésünk egyik legáltalánosabb kísérő jelensége a hulladékképződés, amely a számunkra haszontalanná vált anyagok és tárgyak keletkezését jelenti. Az elmúlt évezredekben a hulladék elhelyezése rendszerint nem okozott problémát, mert összetétele hasonló volt a környezetben található nyersanyagokénak és mennyiségük is a természeti körfolyamat tűrőképességén belül maradt; ezért egyszerűen visszajutattuk a környezetbe. Az ipari forradalmat követően nem csak a mennyiségi- és minőségi elvárások, hanem az egyre nagyobb fogyasztói igények kielégítése is hozzájárult a hulladékképződési potenciál növekedéséhez. Mindemellett megjelentek a mesterségesen előállított anyagok, amik lehetetlenné tették az így már átalakult összetételű hulladék környezetben való biztonságos elhelyezést [1].

A mai tisztán fogyasztói alapelven működő társadalom következménye a szándékolatlan le rövidített élettartamú termékek, mind erkölcsi, mind fizikai értelemben, amik ezen keresztül tovább növelik a keletkező hulladék mennyiségét. Magyarországon évente mintegy 4 millió tonna települési szilárd hulladék keletkezik, ami a teljes keletkező hulladékmennyiség kevesebb, mint 4,5%-át teszi ki [2]. A keletkező hulladékok hatékony kezelése elkerülhetetlen és elengedhetetlen feltétele a fenntarthatósági törekvések eléréséhez. A települési szilárd hulladék mennyiségi változását szemlélteti az 1. ábra. Az összetétel tekintetében jelentős eltérés figyelhető meg, ez ugyanis többek között függ az évszaktól, a település méretétől és elhelyezkedésétől, a lakosság életkörülményeitől, valamint az ingatlanok típusától is.

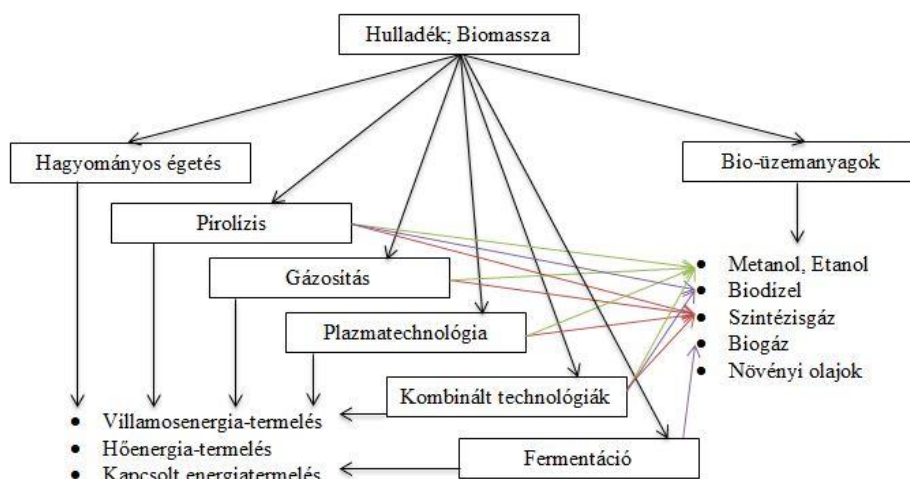


1. ábra Települési szilárd hulladék keletkezésének alakulása 2004-2012 között

2011-ben a települési hulladék mintegy 55%-a származott a lakosságtól, 45%-a pedig az intézményekben, a szolgáltatóknál valamint a kereskedelemben és az iparban képződött. Összetételük hasonló a háztartási hulladékhoz, ezért azzal együtt kezelendő. Magyarországon a települési szilárd hulladékok jellemző kezelési módszere a lerakókban történő elhelyezés. 2012-ben a TSHZ 65,4%-a került hulladéklerakóba. Ausztriában ez az arány mindössze csak 3,7% volt. Németország és Hollandia esetében ez az érték alig több mint 1%. Az anyagában történő hasznosítás hazánkban 25,5%-ot képviselt, Belgiumban 60%, Németországban 65%, Ausztriában pedig 69%. A maradék 9,1% hulladék termikus hasznosításra került. Hosszú távú cél, hogy a lerakóba kerülő hulladék mennyisége 40%-alá csökkenjen 2020-ig. Mindezekből megfigyelhető, hogy elsődlegesen az anyagában történő hasznosítás arányának növelése irányába kell elmozdulnia a hazai hulladékgazdálkodásnak [2].

### 3. ENERGETIKAI CÉLÚ HASZNOSÍTÁS

Az energetikai célú hasznosításon szűkebb értelemben a villamos- és a hőenergia-termelést értjük; mindemellett a mechanikai energia előállítását, mint munkavégzésre fogható energiát is célszerű idesorolni, mert egyre inkább előtérbe kerülnek az erőmű-energetikai hasznosítás mellett a bio-üzemanyagok. A hulladékok energetikai célú hasznosítására szolgálnak a termikus hulladékkezelési technológiák. A nemzetközi gyakorlatban a WtE (Waste to Energy-hulladékból energiát) megnevezés terjedt el, ami magába foglalja az összes olyan eljárást, amely lehetőséget ad a hulladékban rejlő energiamennyiség hasznos hő- és/vagy villamos energia formájában való kinyerésére (2. ábra).



2. ábra Hulladékok energetikai célú hasznosításának lehetőségei

### 4. TERMIKUS KEZELÉSI TECHNOLÓGIÁK

A termikus kezelési technológiák olyan műveletek, amelyek alkalmasak a megsemmisítésre váró hulladékok, valamilyen szempontból kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkező termékké, illetve energiává átalakítani. Az alkalmazott eljárások legfőbb végtermékei gáz, illetve szilárd halmazállapotú anyagok. A termikus kezelési technológiákat a tipikus reakciókörülményeik alapján szokás összehasonlítani. Az első reakciókörülmény az alkalmazott hőmérséklet, amely előzetes tájékoztatást ad a technológia környezetre gyakorolt hatásáról, és a beruházási költségéről. Általánosságban elmondható, hogy a hőmérséklet növelésével a lejátszódó reakciók minőségi javulásából következően csökkenthető a technológia környezetkockázati tényezője, de ezzel együtt arányosan növekedni fog a beruházási költség. A nagyobb hőmérséklet speciális anyagok, fémötvözetek és műszaki kerámiák alkalmazását igénylik, amelyek jelentős költségnövekménnyel járnak. A beruházási költség egyik legmeghatározóbb tényezője az üzemi hőmérséklet (1. táblázat).

A második, és egyben a legfontosabb jellemző a légfelesleg tényező. Részben ez a körülmény mutatja meg, hogy milyen a kibocsátott gáztermék kémiai összetétele és mekkora a mennyisége. Az egynél nagyobb értékek (tökéletes égetés) esetében jelentős légfelesleggel kell számolnunk, amely így növeli közvetlenül a kibocsátott füstgáz mennyiségét, valamint közvetve - a füstgáztisztítási rendszeren keresztül - a beruházási és üzemeltetési költségeket. A harmadik reakciókörülmény az üzemi nyomás, ami a reakciók lejátszódásának egymáshoz való viszonyát határozza meg. A keletkező gáztermék kémiai összetételében fontos szerepet játszik, továbbá a beruházási és üzemeltetési költségek egyik meghatározó tényezője. A negyedik reakciókörülmény a segédáramok típusát foglalja magába. A segédáramok két cso-

portba sorolhatók, egyrészt anyag, másrészt energia áramokat különböztetünk meg. Az alkalmazott segédgáz befolyásolja a keletkező végtermékek összetételét, kezelhetőségét, fizikai- és kémiai tulajdonságait. Bizonyos technológiáknál külső hő bevitelre lehet szükség, amely földgáz, szén, vagy olaj póttüzeléssel, illetve villamos energiával valósítható meg.

Eljárás	T [°C]	Légfelesleg tényező	Segéd-áramok	Keletkező végtermékek	Erőgép
Pirolízis	500	$\lambda = 0$ endoterm	nitrogén	pirogáz, piroolaj, pirokoksz	gázmotor és ellennyomásos gőzturbina
Hagyományos égetés	850	$\lambda = 1,5$ exoterm	levegő, földgáz póttüzelés	füstgáz (<5% éghető), salak, hamu, pernye	ellennyomásos gőzturbina
Gázosítás	850	$\lambda = 0,65$ parciális oxidáció	levegő	szintézisgáz, salak, hamu	gázmotor
Plazma-technológia	3.000	$\lambda = 0,5$ parciális oxidáció	levegő	szintézisgáz, üvegsalak	gázmotor

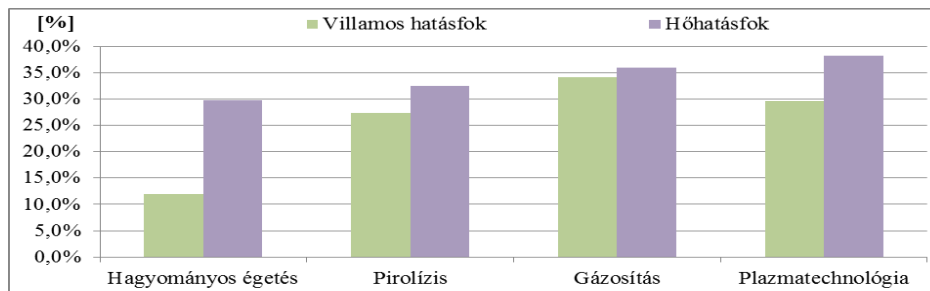
1. Táblázat Vizsgált termikus kezelési technológiák reakciókörülményei

A keletkezett végtermékek megmutatják, hogy a technológiát elhagyó anyagok milyen formában hasznosíthatók, vagy esetlegesen milyen típusú utókezelést igényelnek. A hagyományos égetést leszámítva a termikus kezelési technológiák közvetlenül nem alkalmasak villamos és/vagy hőenergia előállítására, ezért a keletkező haszontermékeket tüzelés útján tudjuk alternatív energiahordozóként hasznosítani. Ennek okán az új technológiákat gyakran kombinálják a hagyományos égetéssel. Erőmű alkalmazás esetén célszerű megadni, hogy milyen erőgépet alkalmazunk. Az erőgép típusa közvetlenül a technológiák energetikai hatékonyságát, ez pedig közvetve a gazdaságossági mutatókat, legfőképpen a megtérülési időt befolyásolja, határozza meg. Az energetikai hatékonyság egyenes arányban áll a környezetterhelés mértékével, a környezetkockázati tényezővel.

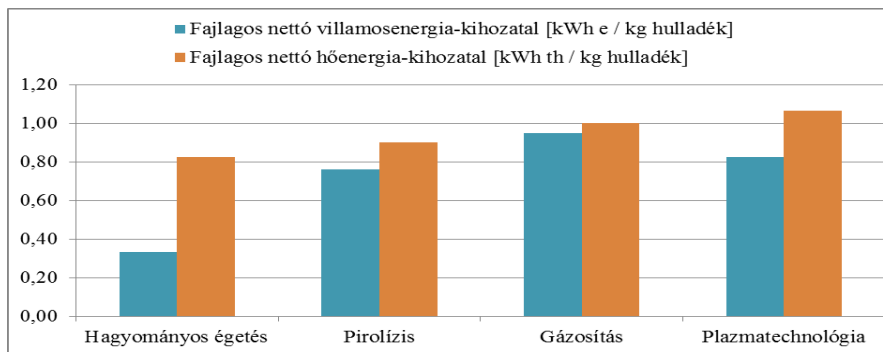
## 5. ENERGETIKAI HATÉKONYSÁG-VIZSGÁLAT

Energetikai megközelítés két fontos mérőszámot célszerű értelmezni. Az egyik a nettó hatásfok, ami megmutatja, hogy az egységnyi bemenő energiának hány százaléka kerül ki hasznos energiaként a rendszerből. Külön definiáljuk a villamos- és hőenergiára vonatkozóan. A 3. ábra szemlélteti a kapott eredményeket. Megfigyelhető, hogy a legkisebb hatásfokkal a hagyományos égetéssel lehet villamos energiát előállítani. A legjobb hatásfok a gázosításánál tapasztalható, ami mintegy háromszorosa a hagyományos égetésének. Ennek magyarázata a technikai körfolyamat váltásból származóan vezethető le. A gáz halmazállapotú energiahordozót hatékonyabban hasznosíthatjuk, mint a szilárd tüzelőanyagot. A másik mérőszám csoport a nettó fajlagos energia kihozatal, ami megmutatja, hogy egységnyi tömegű bemenő hul-

ladékból mekkora mértékben tudunk energiát előállítani (4. ábra). Hasonló tendencia figyelhető meg, mint a hatásfokoknál.



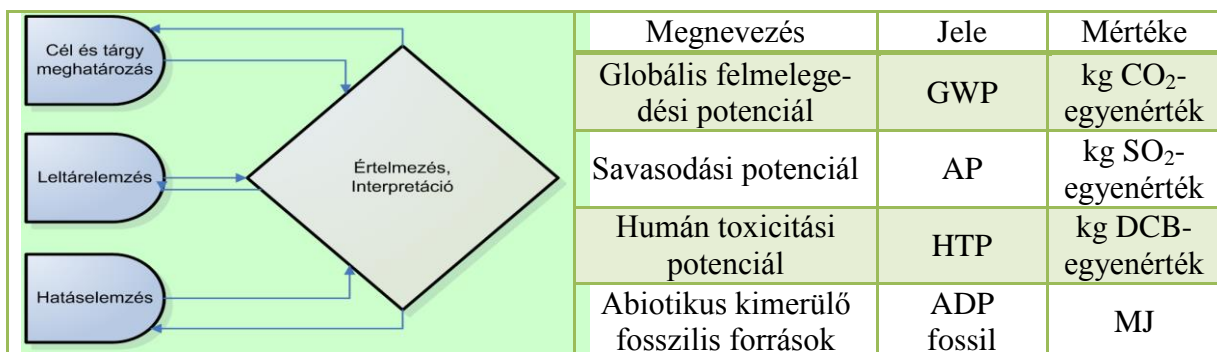
3. ábra Nettó villamos- és hőhatásfokok



4. ábra Nettó fajlagos villamos- és hőenergia kihozatal

## 6. ÉLETCIKLUS-ELEMZÉS

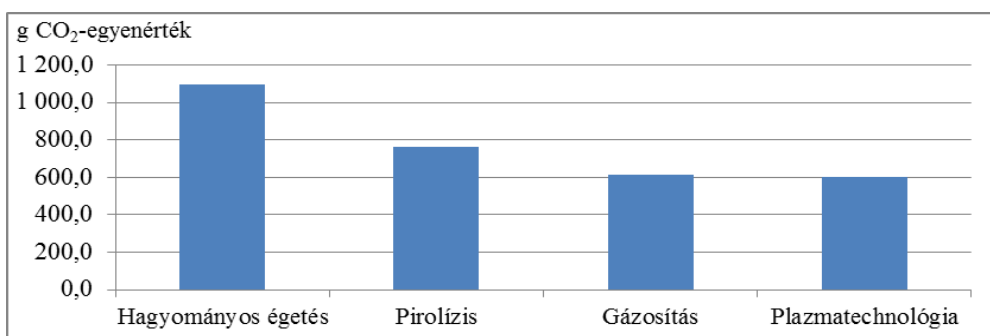
Az életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, LCA) napjainkban, az egyik legjobban teret hódító környezetmenedzsment rendszereszköz, amelynek alkalmazása elsősorban az egymást helyettesítő szolgáltatások, termékek és technológiák esetén a legcélravezetőbb. Az LCA kapcsán számszerűsítést és becslést végzünk arra vonatkozóan, hogy egy termék teljes élettartama során (előállítása, annak elosztásán, elhasználásán át a belőle képződő hulladék ártalmatlanításáig) milyen környezeti terheléseket okoz, illetve milyen és mennyi természeti erőforrást használ fel (beleértve az energiakiadásokat is) [3]. A 2012. évi CLXXXV. törvényben kiemelkedő szerepet kap az életciklus-szemlélet, ami ez által a hulladékgazdálkodás szerves részévé vált. Az életciklus-értékelés egyes szakaszait a 2. táblázat szemlélteti, ahol a legeredményesebb szakasznak a hatáselemzési szakasz mondható.



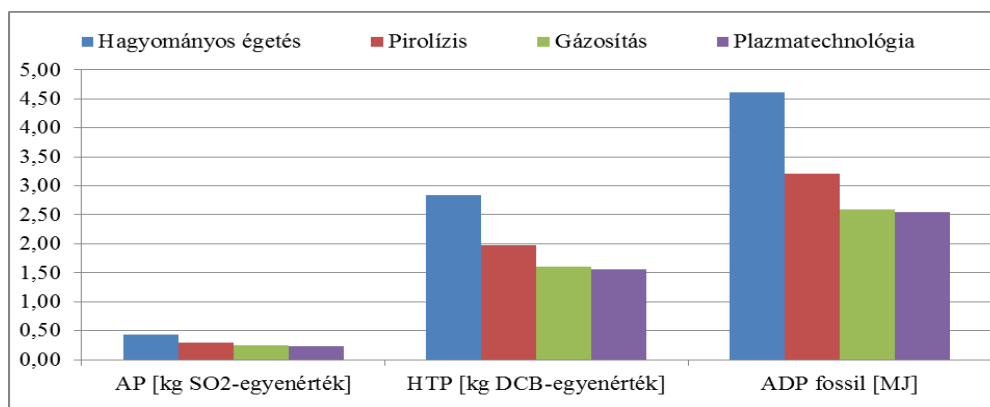
2. Táblázat: Az életcikluselemzés szakaszai és a vizsgált hatáskategóriák

A hatásértékelésnél (ISO 14044:2006 szabvány szerint) a folyamatrendszer input és output áramait környezeti hatáskategóriákba soroljuk, az előző szakasz leltáreredményeinek hozzárendelésével. Minden egyes hatáskategóriára vonatkoztatva meghatározunk egy referencia egységet, majd súlyozzuk őket a rendelkezésre álló hatásvizsgálati módszer segítségével. A leggyakrabban alkalmazott CML 2001 módszer 11 környezeti hatáskategóriát tartalmaz, ebből a négy legjelentősebbet választottam és mutatom be (2. táblázat).

Az üvegházhatású gázok kibocsátása tekintetében jól látható, hogy a hagyományos égetésnél keletkezik a legnagyobb kibocsátás (5. ábra). A gázosítás és a plazmatechnológia alkalmazásával ez az érték akár a felére is csökkenthető. A másik három vizsgált környezeti kategória értékeinél is ez a tendencia figyelhető meg (6. ábra).



5. ábra: Globális felmelegedési potenciál



6. ábra: Környezeti hatáskategóriák értékei

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Energetikai hatékonyság-vizsgálatokat végeztem a települési szilárd hulladék energetikailag hatékony felhasználása érdekében. Villamos energiát kapcsoltnak gázosítással lehet a legjobb hatásfokkal előállítani. Életciklus-elemzésekkel a technológiák környezetvédelmi oldalát vizsgáltam, a kibocsátásokat összehasonlítottam végeredményül azt kaptam, hogy a plazmatechnológia alkalmazása jár a legkisebb környezetterheléssel, amit a gázosítás követ. Jelentős fajlagos szén-dioxid kibocsátást csökkentés érhető el, a hagyományos égetéshez képest, ha a hulladékot új termikus kezelési technológiával hasznosítjuk.

## 8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BARÓTFI, I.**, Környezettechnika, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 2000. pp. 1-981.
- [2] Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2014-2020
- [3] **KÓSI, K., VALKÓ, L.** Környezetmenedzsment, Típotex Kiadó, Budapest, 2008. pp. 9-307.

## CAPP RENDSZEREK FEJLESZTÉSI ÉS ALKALMAZÁSI TAPASZTALATAI

### DEVELOPMENT AND APPLICATION of CAPP SYSTEMS

**Berta Miklós**

CSc, ny. egyetemi docens, főiskolai magántanár

Nyíregyházi Főiskola

Műszaki és Agrártudományi Intézet

Műszaki Alapozó, Fizikai és Gépgyártástechnológia Tanszék

4400. Nyíregyháza, Sóstói u. 31/B

E-mail:berta.miklos@nyf.hu

**Kivonat:** A forgástestek túlnyomó többségén a forgásszimmetrikus felületelemek mellett előfordulnak nem forgástengelybe eső furatok, hornyok, lelapolások, stb. E körülmény, valamint a műveletkoncentrációra való törekvés hozta létre az esztergaközpontokat, amelyeken egyrészt forgó munkadarabon álló szerszámmal végzett esztergálási és forgástengelybe eső fúrási műveletelemek, másrészt álló munkadarabokon forgó szerszámmal végezhető fúrási és marási műveletelemek. Ezen kihívások tették szükségessé az esztergaközpontokon végzett műveletek tervezésére és programozására szolgáló, IBM PC-n futtatható GTIPROG-EC rendszer kifejlesztését.

**Kulcsszavak:** technológiai tervezés, CAPP, CNC programozás

**Abstract:** The machining centres which implement manufacturing operation concentration in the highest degree can be used for complete machining of cylindrical type components, while these machines ensure the productional procedures with stationary cutting tools typical of lathes and the productional procedures with rotating cutting tools peculiar to drilling and milling machines. The GTIPROG-EC program system which can be run on IBM PC-s is useful for planning of machining and making programs for manufacturing on machining centres.

**Keywords:** Technology planning, CAPP, CNC programming

## 1. NC TECHNIKA HAZAI FEJLESZTÉSÉNEK ÁLLOMÁSAI

Hazánkban a hatvanas évek elején a KGM és OMFB támogatásával indult az NC gépek fejlesztése, majd ezt követte a számítógépes forgácsolástechnológiai tervezés és NC programozás kutatása-fejlesztése a BME Gépgyártástechnológiai Tanszék, MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet, NME Gépgyártástechnológiai Tanszék, Gépipari Technológiai Intézet, Szerszámgép Fejlesztő Intézet, Csepeli Szerszámgépgyár, Szerszámgépipari Művek, Szerszámgép Programozás Egyesülés, stb. szakértőinek részvételével [1], [2].

Az NC technika hazai fejlesztésének főbb állomásai:

- **1962 - OMFB, KGM támogatásával az NC gépek fejlesztése**

Csepeli Szerszámgépgyár, Vilati, Sztaki:

ERS-200, ERI-250 rövid esztergák

MFS-320, MFI-400, RFS-22 maró és fúrógépek

M6 megmunkáló központ

Szerszámgépipari Művek:

EV-500, EEN-400, EPA-320 esztergagépek

Megmunkáló központok

KU-250 palást köszörűgép

- **1964 – BNV-n bemutatják az MFS-320 konzolos marógépet**
- **Igény az NC gépek „gépi” programozására**

Kielégítés módjai:

Honosítás: SzTAKI (Pikler Gy., Kovács M.) – EXAPT1

GTI (Márkus T.) – 2CL

Hazai fejlesztés: GTI (Tóth T.) – TAUPROG-T

GTI (Horváth M.) – FORTAP

- **1973 – nagygépes (R-32, IBM) technológiai tervezőrendszerek**  
BME, CsSzG, GTI, ME, SzIMFI, SzTAKI közreműködésével:  
ATTR (Automatikus Technológiai Tervezőrendszer) ≡ CAPP  
EFR (Egységes Forgácsolástechnológiai Tervezőrendszer)  
IAAR (Integrált Anyag- és Adatfeldolgozó Rendszer) IAAR ≡ CÍM
- **1980 – mikroszámítógépes (PC) technológiai tervezőrendszerek (CAPP)**
  - a) technológiai folyamat tervezőrendszerek:
    - GLEDA műveleti sorrend- és művelettervező rendszer (GTI: Horváth L.)
    - FLAMINGÓ típus- és csoporttechnológiai tervező rendszer (GTI: Zitás I.)
    - GOLYÓ típus-technológiai és NC programozó rendszer (GTI: Berta M.)
  - b) művelettervező rendszerek:
    - TAUPROG művelettervező rendszer hagyományos szerszámgépekhez (GTI: Mód J.)
    - GTIPROG (Geometria és Technológia Interaktív PROGramozása, GTI: Cser I.) rendszer család,  
Alrendszerei:
      - GTIPROG/FM (GTI: Olajos I.)
      - GTIPROG/LM (GTI: Bencsik L.)
      - GTIPROG/E, EC, PK (GTI: Berta M.)
  - c) mesterséges intelligencia (IA – Artificial Intelligence), szakértőrendszerek a gyártásban
    - Műveleti sorrendtervezés, Prológ, genetikus algoritmusok (SzTAKI: Vánzsa J.)
    - Forgástestek esztergálási műveletének tervezése szakértő rendszerrel (BME: Horváth M.)

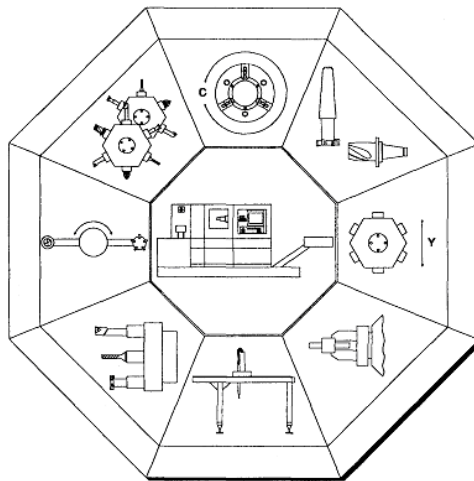
## 2. GTIPROG/EC MŰVELETTERVEZŐ ÉS NC/CNC PROGRAMOZÓ RENDSZER

A korszerű esztergaközpontok és a forgástest-megmunkáló gyártócellák alkalmazása jelentős termelékenységnövekedést, minőségjavulást eredményez, megteremti a többműszakos, emberi felügyelet-nélküli számítógéppel integrált gyártás (CIM) megszervezésének lehetőségét és a rugalmas gyártórendszerek fő építőelemeit képezik [2], [3].

### 2.1. Az esztergaközpontok konstrukciós-technológiai lehetőségei és eszközei

Az esztergaközpontokon és gyártócellákon alkalmazott részegységek a hagyományos szerszámgépekhez képest olyan képességekkel bírnak, amelyek e nagytermelékenyséű szerszámgépeknek az alábbi műszaki-technológiai lehetőségeit biztosítják (1. ábra):

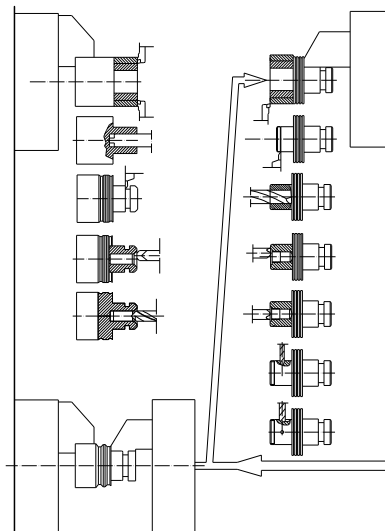
- a C tengely körüli programozhatósággal bíró főorsó;
- a fúró- maró jellegű műveletelemek előállítására alkalmas meghajtott szerszámok alkalmazása;
- az Y tengely menti mozgás programozhatósága;
- többsós (főorsó, ellenorsó) gépkivitel;
- több szános és szerszámhordozós (revolverfejes) konstrukció;
- szerszámok- és munkadarabok automatikus cseréjét biztosító berendezések, robotok;
- szerszámok- és munkadarabok automatikus mérését biztosító eszközök;
- szerszámok- és munkadarabok tárolását biztosító berendezések;
- a szerszámgép állapotát felügyelő érzékelők alkalmazása.



1. ábra Esztergaközpontok jellegzetes gépegységei

## 2.2. Forgástestek jellegzetes műveletelemei

Az eszterga-központok konstrukciós-technológiai sajátosságainak jellegzetes hatásai a művelettervezésre (lásd a 2. ábrán: álló és forgó szerszámos megmunkálás, normál és inverz megmunkálás, több szános szerszámelrendezés, stb.)

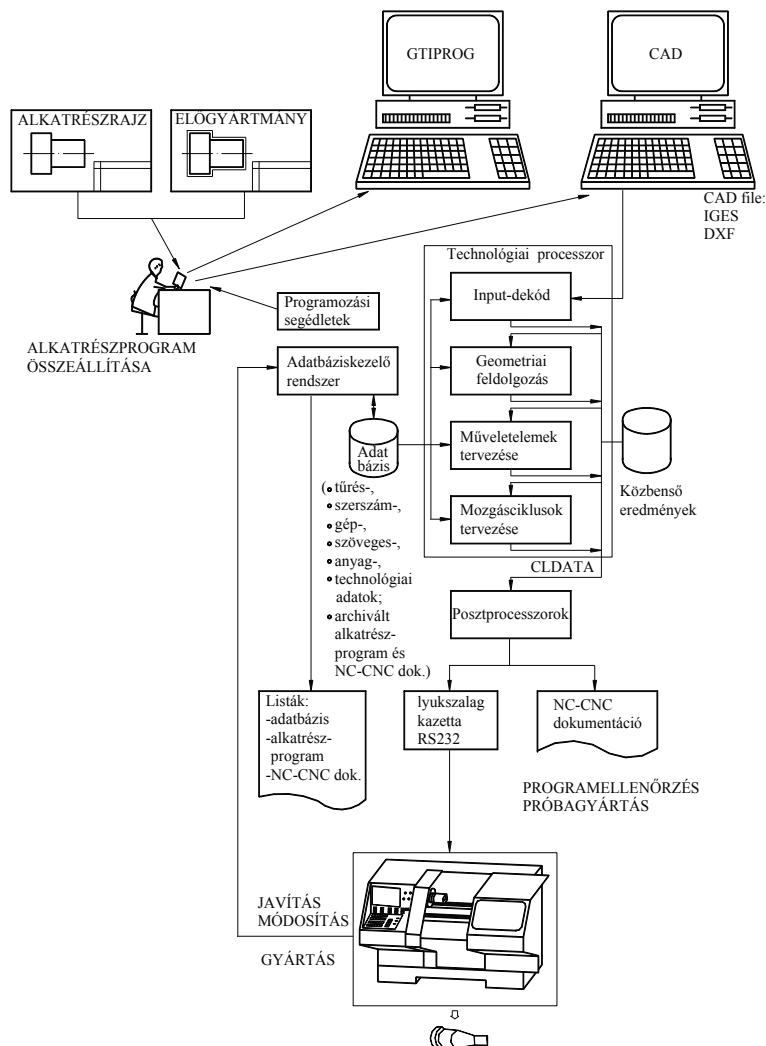


2. ábra Tokmányos munkadarabok megmunkálása ellenorsós esztergaközponton



### 2.3. GTIPROG/EC rendszer felépítése

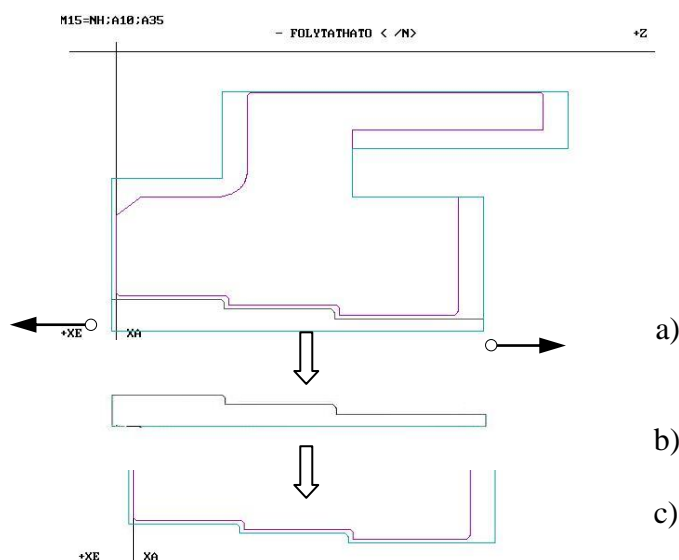
A GTIPROG/EC rendszer felépítése (lásd a 3. ábrát), teljesítőképességét, technológiai szolgáltatásait [1], [2], [6], [7] anyagokban részletesen ismertettük.



3. ábra A rendszer felépítése és technológiai szolgáltatásai

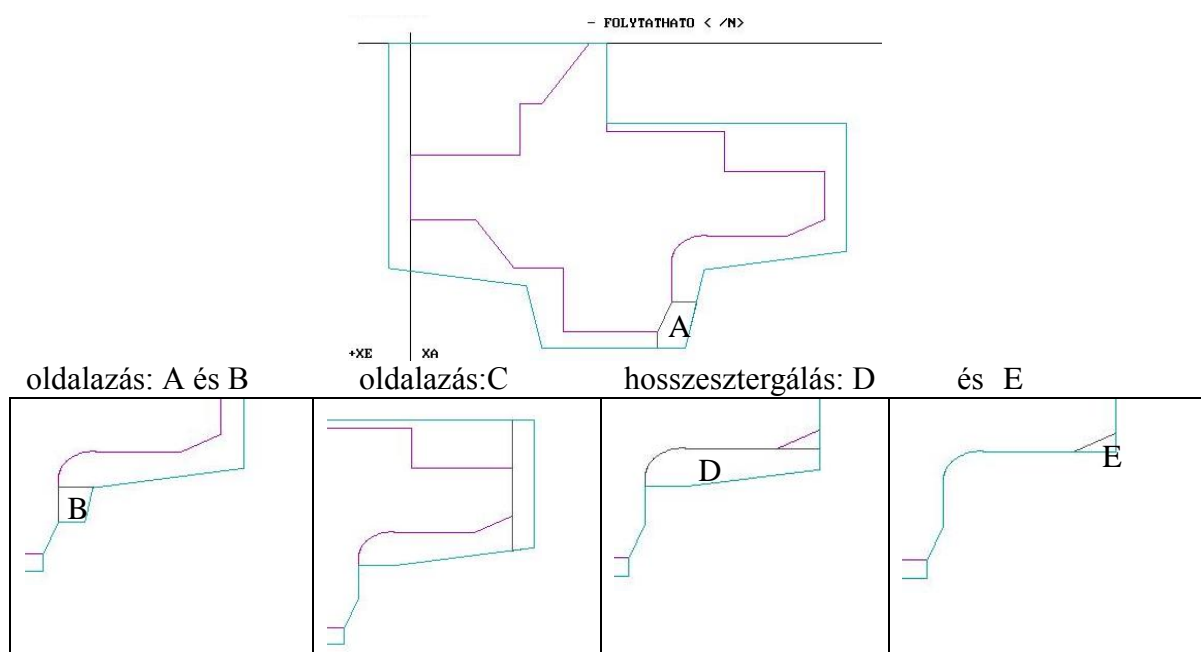
A rendszer bemenő adatait tartalmazó alkatrészprogram döntő részét az általános azonosító adatok mellett a nyers- és készdarab geometriai leírása képezi. A megmunkálás leírásánál elegendő megadni a műveletelemek típusát, végrehajtási helyét és sorrendjét.

Ezen információ alapján a rendszer meghatározza a műveletelemekhez tartozó ráhagyási alakzatokat (előírt műveletelemek esetén 4. ábra, míg automatikus feldolgozás esetén 5. ábra), kiválasztja a megmunkáláshoz szükséges szerszámokat, elrendezi a szerszámokat a szerszámgép konstrukciójától függő szerszámhelyeken (revolverfejen, szerszámtárban) [5].



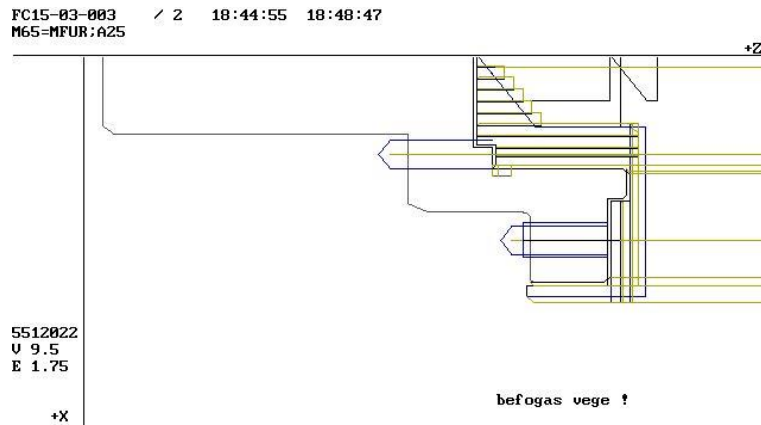
4. ábra A ráhagyási alakzat generálásának folyamata

- a) ráhagyási alakzat előállítása
- b) ME record kibővítése
- c) előgyártmány-kontúr módosítása



5. ábra Külső nagyolási kontúrszakasz automatikus feldolgozása

Ezt követően kiszámítja a forgácsolási paramétereket, megtervezi a szerszámmozgás-pályát (6. ábra), végül a posztprocesszor összeállítja a gyártási dokumentációt (7. ábra) és a vezérlés által megkövetelt formájú és tartalmú vezérlőprogramot [6], [7].



6. ábra Szerszám-pálya tervezése és szimulációja

IBM PC & comp. \*\*\*\*\* GTIPROG EC-04  
 \*\*\*\*\* EPA-320/SINUMERIC SYSTEM 800/810T \*\*\*\*\*

MUNKADARAB : TENGELYCSONK FC15-03-003  
 LISTA-FILE : LST\FC15.DOC  
 LYUKSZALAG-FILE : LST\FC15.L2  
 NC PROGRAM SZAMA : 302  
 DATUM : 01-24-2008 18:28:13

BEFOGAS SORSZAMA : 2  
 FORDULATSZAM-TARTOMANY INDULASKOR : 1  
 M U V E L E T E L E M E K  
 5 - 50 : FURAS  
 55 - 80 : FELFURAS  
 655 - 700 : FURAS  
 705 - 755 : MENETFURAS  
 S Z E R S Z A M T E R V  
 SZERSZAM SZERSZAM KORREKCIO SZERSZAM SZERSZAM FURO CSUCS  
 AZOMOSITO HELY HOSSZ KINYULAS ATMERO SUGAR  
 3214070 1 1 280.00 -90.0 32.00  
 3211000 2 2 310.00 -90.0 50.00  
 2101100 3 3 112.00 -90.0 .8  
 5512022 9 12 159.00 0.0 12.00  
 GEPIFOIDO (min) = 9.78  
 GEPI MELLEKIDO (min) = 11.47  
 OSSZES GEPIIDO (min) = 21.26  
 V E Z E R L O M O N D A T O K  
 % MPF 302  
 N5 G40 G53 G97 M11  
 :10 T1 D1 M06  
 N15 G00 X0 M03 M08  
 N20 Z150 S204  
 N25 G01 Z137.751 F.115

7. ábra Gyártási dokumentáció összeállítása (részlet)

### 3. EREDMÉNYEK, HASZNOSÍTÁSOK

A rendszer fejlesztése során elért eredményeket az alábbi formában sikerült hasznosítani:

**- Értékesítés révén:**

1983-1989 között eladás 16 ipari vállalatnak (Csepeli Szerszámgyépgyár, Szerszágépipari Művek, Digép, Videoton, Csepel Autógyár, stb)

**- Oktatás területén:**

kb. 2600 gépészmérnök hallgató ismerte meg és alkalmazta az alábbi felsőoktatási intézményekben:

1985-2008 ME Gépgyártástechnológiai Tanszék, BSc és MSc képzésben

1992-2007 BME Gépgyártástechnológiai Tanszék, orosznyelvű robot  
képzésben

2005- Nyíregyházi Főiskola  
MŰSZAKI ÉS AGRÁRTUDOMÁNYI INTÉZET  
Műszaki Alapozó, Fizikai és Gépgyártástechnológia Tanszék,  
BSc képzésben

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BERTA, M., FUTÓ B., JUHÁSZ, M., VOLONCS, GY.:** *Programming of turning machining centres by microcomputer.* MECHATRONINFO'88, MATE, Eger, 1988, pp.: 339-350.
- [2] **BERTA, M., CSER, I., JUHÁSZ, M.,** *Turning centres programming by GTIPRTOG-EC system.* INTERTECHNO'90, Budapest, 1990., pp.: 221-230.
- [3] **BERTA, M., CSER, I.,** *Programming, operation planning and quality assurance of turning centers.* VIII.th International Conference on Tools, GTE, Miskolc, 1993., pp.: 627-635.
- [4] **BERTA, M., CSER, I., DUDÁS, I.,** *Production of rotational parts in small series and computer – aided planning of its production engineering.* Intelligent Systems and Advanced Manufacturing, Boston, USA, 1998. pp.: 172-177.
- [5] **BERTA, M.,** *CNC szerszámgépek szerszámrendszerei,* Nyíregyházi Főiskola Könyvkiadója, Nyíregyháza, 2015., pp. 156.
- [6] **BERTA, M., HORVÁTH, M.,** *CAPP rendszerek belső struktúrája I,* Nyíregyházi Főiskola Könyvkiadója, Nyíregyháza, (kiadás alatt).
- [7] **BERTA, M., HORVÁTH, M.,** *CAPP rendszerek belső struktúrája II,* Nyíregyházi Főiskola Könyvkiadója, Nyíregyháza, (bírálat alatt).

## ÉLELMISZERMÉRNÖKI ALAPSZAK - OKJ MODULOK MEGFELELTETHETŐSÉGE

**Balogh Gábor<sup>1</sup>, Varga Emil<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> tanársegéd

Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

[balogh.gabor@eng.unideb.hu](mailto:balogh.gabor@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A Debreceni Egyetem Több kara és a Debreceni OKJ képzőhelyek, továbbá az országos felnőttképzési hivatal közösen keresett megoldást arra a jogosan felmerülő elvárásra, hogy a lemorzsolódott hallgatók OKJ képzésbe történő szélesebb körű bevonásához megteremtse az átjárhatóságot.

**Kulcsszavak:** OKJ képzések, Felsőoktatás, Átjárhatóság, Beszámítás

### BEVEZETÉS

A Debreceni Egyetem Több kara és a Debreceni OKJ képzőhelyek, továbbá az országos felnőttképzési hivatal közösen keresett megoldást arra a jogosan felmerülő elvárásra, hogy a lemorzsolódott hallgatók OKJ képzésbe történő szélesebb körű bevonásához megteremtse az átjárhatóságot. Ahhoz, hogy ez megvalósuljon mindkét oldal tantervi hálóját, illetve modulrendszerét elemezni, tartalmilag feldolgozni, és illeszkedési pontokat keresni volt szükséges. Ennek elvégzését a MUNDO, Munkaerőpiaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen Támop-4.1.1.F-13/1-2013-0004. Projekt keretein belül végeztük el. Cikkünkben elsősorban az Élelmiszer-mérnöki Alapszakra, és azon OKJ modulokra koncentrálunk, melyek az Élelmiszer/Táplálkozás alprojekt által érintett kategóriákba tartoznak.

### 1. OKJ MODULRENDSZER MODULTÉRKÉPÉNEK MEGALKOTÁSA

A [Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Hivatal](#) elektronikusan elérhető anyagai alapján áttekintve a Gépészet/ Járműipar valamint az Élelmiszer/Táplálkozás területén elérhető szakképzéseket, továbbá a szakmai és vizsgakövetelményeket megalkottunk egy ún. modulterképet, mely az egyes szakképzésekhez tartozó valamennyi tárgyat, s azok átfedéseit is feldolgozza. Az alábbi ábrán az élelmiszeripari képzések modulterképeinek részletét láthatjuk.

		55 541 04	34 541 03	55 541 05	34 541 04	34 541 05	35 811 01	35 541 01	55 541 06	34 541 06	55 541 07	55 541 08
		Hús- és baromfiipari szaktechnikus	Húsipari termégyártó	Malom- és keveréktakarmány-ipari szaktechnikus	Malom	Pék	Sommelér	Speciális állatfeldolgozó	Sütő- és cukrászipari szaktechnikus	Szőlész-borász	Tartósítói ipari szaktechnikus	Tejipari szaktechnikus
10915-12	Hús- és baromfiipari termék előállítás	X										
10926-12	A húsipari és malomipari munkavégzés követelményei	X	X				X					
10927-12	Vágóhídi munka	X										
10928-12	Darabolás, csontozás	X										
10929-12	Másodlagos húsipari feldolgozás	X										
10930-12	Húsipari értékesítés	X										
11497-12	Foglalkoztatás I.	X	X	X	X				X			
11499-12	Foglalkoztatás II.	X	X	X	X				X			
11500-12	Munkahelyi egészség és biztonság	X	X	X	X				X			
10916-12	Malom- és keveréktakarmány-ipari termégyártás		X									
10935-12	Tárolás, szárítás, keveréktakarmány-gyártás			X								
10936-12	Gabonafeldolgozás			X								

1. ábra. OKJ modulterkép részlete

## 2. FELSŐOKTATÁSI KÉPZÉS ÁTTEKINTÉSE

Ebben a szakaszban az Élelmiszermérnök Alapszak tantárgyainak tematikáit tekintettük át, a mellékelt tantervi hálót figyelembe véve, különös tekintettel a tárgyak egymásra épülésére. A tematikák áttekintése után léphettünk a következő szakaszba.

Tantárgyi kód	Tantárgy megnevezése	I. félév				II. félév				Tárgyfelelős
		14				14				
		ea	gy	v	kr	ea	gy	v	kr	
MTB60001	Állattan, állatelettan I.	2	1	K	4					Dr. Juhász Lajos
MTB60002	Agrártörténet és EU ismeretek	2	0	K	3					Dr. Baranyi Béla
MTB60343	Matematika I.	2	1	G	5					Dr. Vincze Szilvia
MTB60006	Növénytan, növényélettan I.	2	1	K	5					Dr. Lisztes Szabó Zsuzsa
MTB60345	Kémia I. (Általános és szervetlen)	2	1	K	5					Dr. Vágó Imre
MTB60013	Élelmiszeripari nyersanyagismeret	2	0	K	3					Dr. Sipos Péter
MTB60014	Termodinamika	2	2	G	4					Dr. Prokisch József
MTB60344	Informatika	0	2	G	3					Nagné dr. Polyák Ilona
MTB60007	Kémia II. (Szerves és biokémia)					2	1	K	4	Kincses Sándorné dr.
MTB60026	Mezőgazdasági és élelmiszeripari mikrobiológia I.					2	1	K	3	Dr. Karaffa Erzsébet
MTB60350	Matematika II.					2	1	G	3	Dr. Vincze Szilvia
MTB60033	Élelmiszerbiztonság alapjai					2	0	G	3	Borbélyné dr. Varga Mária
MTB60027	Műszaki és élelmiszeripari alapismeretek					2	1	G	3	Dr. Ancza Erzsébet
MTB60347	Környezetgazdálkodás, környezettechnológia					2	0	K	3	Dr. Juhász Csaba
MTB60351	Analitikai kémia					2	2	K	5	Dr. Kovács Béla
MTB60035	Élelmiszeripari alapgépek					2	1	K	4	Dr. Ancza Erzsébet

2. ábra. Tantervi háló - Élelmiszermérnöki Bsc. képzés

### 3. MEGFELELTETHETŐSÉGI TÁBLÁZAT

Áttekintve az OKJ-s kapcsolódó szakképzések valamennyi tárgyának szakmai és vizsgakövetelményeit, továbbá megismerve az alábbi tantervi hálóban szereplő valamennyi tárgy tematikáját az egyezések és megfeleltethetőségek keresése közben kialakult egy olyan táblázat, mely az OKJ modulok és a felsőoktatásban oktatott tárgyak megfeleltethetőségét 0-100% kategorizálásban számszerűsíti. A táblázat részlete az alábbi ábrán mellékelve látható.

10926-12 A húspari és malomipari munkavégzés követelményei c. szakmai követelménymodul tartalma	Élelmiszertudomány	Élelmiszerbiztonság alapjai	Műszaki és Élelmiszeripari alapismeretek	Élelmiszer higiénia	Élelmiszeripari műveletek I.	Élelmiszeripari műveletek II.	Élelmiszeripari műveletek III.	Élelmiszertechnológia alapjai I.	Élelmiszertechnológia alapjai II.	Élelmiszertechnológia alapjai III.
<b>TELJESÍTETT-E A TÁRGY?</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>Szakmai ismeretek</b>										
Munkaterület jellemzői	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Munka- és védőruhák, munka- és védőeszközök	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Biztonságos munka feltételei	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Higiéniai követelmények	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Élelmiszerbiztonság, minőségbiztosítás	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Környezetvédelmi, tűzvédelmi szabályok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tisztító és fertőtlenítő szerek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Takarítási, tisztítási, fertőtlenítési módok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Munkavégzéshez szükséges alap-, segéd-, járulékos- és adalékanyagok	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Szükséges gépek, berendezések használata	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Laboratóriumi alapismeretek	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Labortechnikai eszközök használata	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Mintavétel (alapanyag, gyártásközi- és késztermék esetében)	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Szakmai számítások	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Számítógépes alkalmazások	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dokumentumok, naplók vezetése	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vállalkozási alapok	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Gazdálkodási alapok	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Szakmai készségek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Szakmai olvasott szöveg hallás utáni megértése	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Szakmai nyelvű íráskészség	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Komplex eszközhasználati képesség	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Elemi számolási készség	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Számítógép felhasználói szintű használata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>A tárgy és a modul százalékos egyezősége [%]</b>	<b>6,060606</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12,12121</b>	<b>18,18182</b>	<b>0</b>	<b>18,18182</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>15,15152</b>
<b>TELJESÍTETT TÁRGYAK ÉS A MODUL EGYEZŐSÉGE</b>	<b>54,54545</b>	<b>%</b>								

3. ábra. Megfeleltethetőségi táblázat

A modultárgy illeszthetőségét z egyetemi tantervben szereplő tárgyakkal további vizsgálatnak alávetve az illesztkedés százalékos értéke még tovább pontosítható. Erre példa a következő táblázat, ahol az OKJ modul paramétereit az egyetemi tárggyal vetjük össze.

10926-12 A húspipari és malomipari munkavégzés követelményei c. szakmai követelménymodul tartalma	Rendszeresítés											Tartalmilag MEGFELELŐ(1)/NEM MEGFELELŐ(0)
	A vé és az ásványianyagok. Mátó-, minkóknak, vé kőmáj: Söréshaték. Mono- /di- és poliszacharidok. Cukoralkatékai	A fehérjék és a lipidek. Aminosavak, peptidok, fehérjék fontosabb természetes forrásai. Elmesztésük, felszívódásuk és a tárolás	A lipidek. Zsírsavak, anélkül és nem, szterinek	Természetes színdégek felhívás kémiai tulajdonságai	A vitaminok. Zsírolható és vízoldható vitaminok	Természetes színezékek	É- és a-vitaminok	Egyszerűsített vegyületek. Alkohokok, Dooegyek	Szerves savak, illóolajok, illóolajok	Enzimek. Az élelmiszer-tudomány szempontjából legfontosabbak: Természetes, károsítóanyagok, mérgező anyagok, Gombaköszvények.		
<b>Szakmai ismeretek</b>												
Munkaterület jellemzői	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Munka- és védőruhák, munka- és védőeszközök	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biztonságos munka feltételei	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Higiéniai követelmények	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Élelmiszerbiztonság, minőségbiztosítás	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Környezetvédelmi, tűzvédelmi szabályok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tisztító és fertőtlenítő szerek	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Takarítási, tisztítási, fertőtlenítési módok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Munkavégzéshez szükséges alap-, segéd-, járulékos- és adalékanyagok	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Szükséges gépek, berendezések használata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Laboratóriumi alapmérések	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Labortechnikai eszközök használata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Minta vétel (alapanyag, gyártásközi- és késztermék esetében)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Szakmai számítások	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Számítógépes alkalmazások	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dokumentumok, naplók vezetése	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vállalkozási alapok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gazdálkodási alapok	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Szakmai készségek</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Szakmai olvasott szöveg hallás utáni megértése	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Szakmai nyelvű íráskészség	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Komplex eszközhasználati képesség	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elemi számolási készség	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Számítógép felhasználói szintű használata	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A tárgy és a modul százalékos egyezősége	6,060606	%										2

4. ábra. Tantárgyankénti megfeleltetés

## ÖSSZEFOGLALÁS

A folyamat végére tehát egy olyan szemléletes és széles körben alkalmazható modulrendszer és tantárgyi háló illeszkedést összefoglaló táblázatot kapunk, melyet mind felsőoktatási intézmények, mind pedig az OKJ képzőhelyek alkalmazhatnak a tárgyak beszámításánál, illetve teljesítettségük igazolásánál.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

[www.nive.hu](http://www.nive.hu)  
[www.tkki.hu](http://www.tkki.hu)  
<http://portal.agr.unideb.hu/>



# TITÁN HABOK GYÁRTÁSI TECHNOLÓGIÁJÁNAK ÁTTEKINTÉSE

## MANUFACTURING TECHNOLOGIES OF TITANIUM FOAM REVIEW

**Balogh Gábor<sup>1</sup>, Mankovits Tamás<sup>2</sup>, Manó Sándor<sup>3</sup>, Tóth László<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> tanársegéd, <sup>2,3</sup> egyetemi docens, <sup>4</sup> egyetemi tanár  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótmetető u. 2-4.  
[balogh.gabor@eng.unideb.hu](mailto:balogh.gabor@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** Napjaink fontos műszaki kihívásaihoz tartozik a különböző rendeltetésű szerkezetek tömegének csökkentési lehetőségeit kiaknázni úgy, hogy ezzel párhuzamban a mechanikai stabilitás és a szilárdági paraméterek értékeit optimumon tudjuk tartani. Ennek a piaci igénynek kiszolgálására születtek különböző ún. habosított anyagok, melyek az alapanyag gyártási és alakadó eljárásait kívánjuk összefoglalni cikkünkben

**Kulcsszavak:** Titán hab, Gyártási technológiák, Bioimplantátumok

**Abstract:** Nowadays the most important engineering task is the mass reduction of the product. Beside that we have to find the optimum to keep the mechanical properties and the toughness of the product. These requirements of the market need to fulfill. The manufacturers had to create a new type of product and it was the metal foam, which has various types with different manufacturing methods. We would like to show the most important manufacturing methods in our publication.

**Keywords:** Titanium foam, Manufacturing Processes, Bio-implants

### 1. BEVEZETÉS

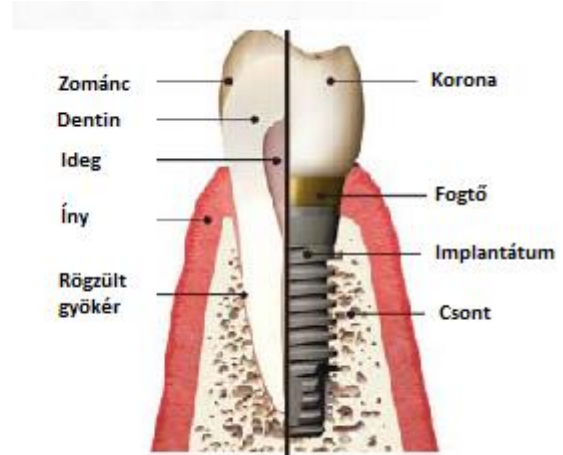
Napjaink fontos műszaki kihívásaihoz tartozik a különböző rendeltetésű szerkezetek tömegének csökkentési lehetőségeit kiaknázni úgy, hogy ezzel párhuzamban a mechanikai stabilitás és a szilárdági paraméterek értékeit optimumon tudjuk tartani. Ennek a piaci igénynek kiszolgálására születtek különböző ún. habosított anyagok, melyeknél az alapanyag gyártási és alakadó eljárásait kívánjuk összefoglalni jelen Közleményünkben. Az első irodalmak az alumínium habosításáról adtak hírt. Az így készült szerkezeti elemek többsége megfelelt ugyan a velük szemben támasztott követelményeknek, több esetben azonban új iparágak is kifejlődtek alkalmazásuk révén – például a repülésben használatos habosított alumínium elemek gyártása – de a bio-kompatibilitás kérdéskörében hiányosságok mutatkoztak az anyag alapötvezője miatt. Ennek következtében új alapötvezőt kellett találni, mely megfelelően beépül az emberi szervezetbe. Az első elektronmikroszkópos vizsgálatok után az orvostársadalom nagy része nem támogatta a titán humán implantátumként történő alkalmazását, azonban az osseointegrációs módszerek segítségével meg tudták jeleníteni a beépített implantátum közé – kémiai is kapcsolódva – beépült csontszövetet. Napjaink témával kapcsolatos publikációiban is megjelenik ez a kémiai kapcsolódás a titán implantátumok és az emberi csontszövet között.

## 2. HUMÁN IMPLANTÁTUMOK ÁTTEKINTÉSE [1]

Az első implantátumok már a Maya civilizáció idején megjelentek (Krisztus előtt 2000 - 250) céljuk a fogazat módosítása volt (1/a. ábra<sup>(1)</sup>), napjainkban a fogazat pótlására alkalmazunk Ti-ötözetből készült töcsavarokat (1/b. ábra<sup>(1)</sup>).

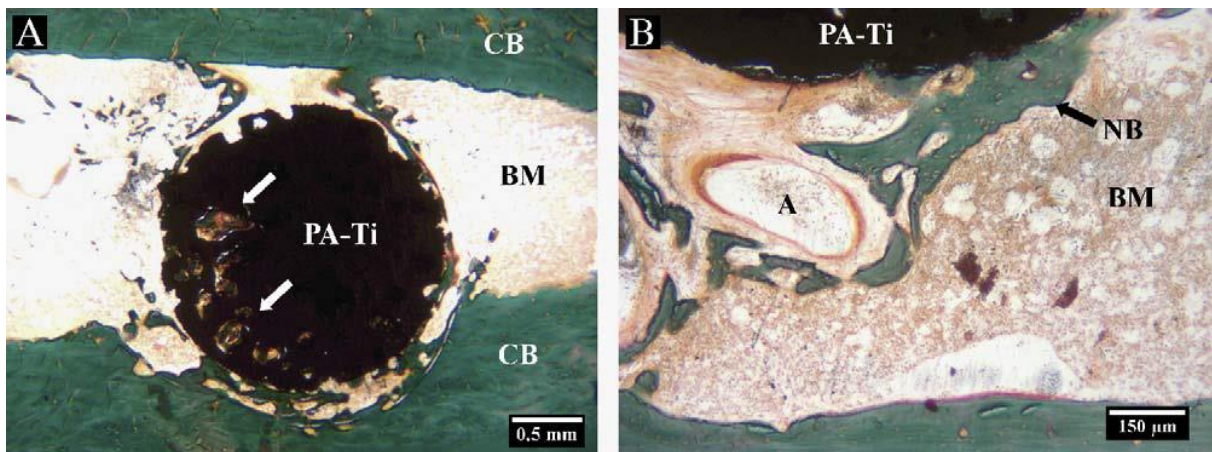


1/a. ábra Módosított Maya fogazat [1]



1/b. ábra Mai fogimplantátum [1]

Napjainkban az implantátumokkal szemben támasztott alapkövetelmény a csontszövet lehető legjobb beépülése, ezáltal az implantátum maximális integrációja a szervezetbe. Ennek vizsgálata az osseointegrációval és a modern elektronmikroszkópos – megfelelő mélységélességű - vizsgálati technikák alkalmazásával megvalósítható. A 2. ábrán látható csontszövet metszetek egy mai, modern titánhabból készült implantátum beépülését illusztrálják.



2. ábra Titán habból készült implantátum beépülése a csontszövetbe – elektronmikroszkópos kép

## 3. TITÁNHAB GYÁRTÁS TECHNOLÓGIAI MEGOLDÁSAI

A titán implantátumok kiváló tömeg és szilárdsági arányukkal a legversenykéesebb megoldások a humán implantátumok területén. Azonban a csontszövet megfelelő kötődéséhez szükség van a felületi oxidrétegre. Ezért a habosított Titán implantátumok gyártásakor ezt figyelembe kell venni.

### 3.1 Bevonatolási eljárások [2]

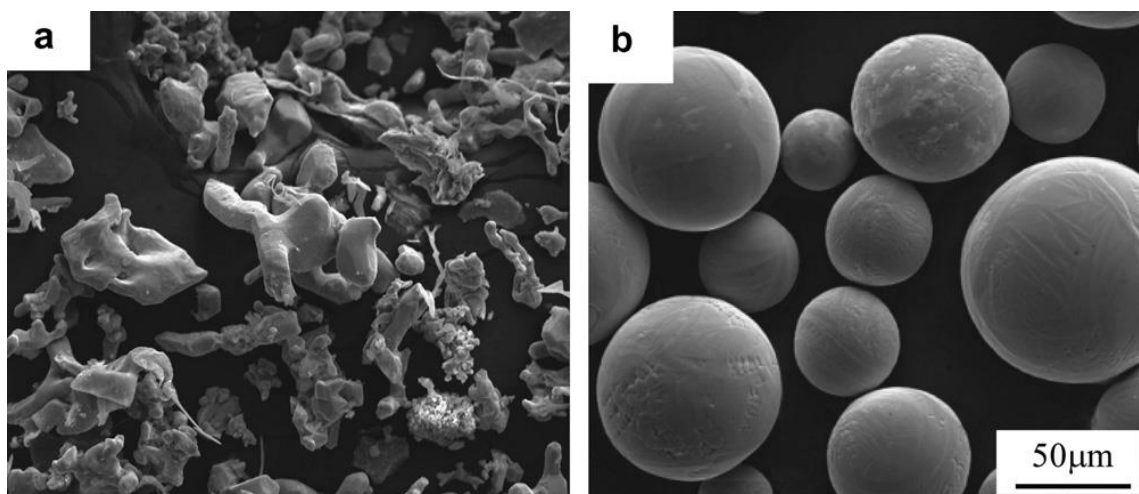
Az első megközelítés a csatlakozó felületek bevonása hidroxapatit-al, mely a fő ásványi összetevője a csontoknak és a fogazatnak. Léteznek különböző technológiai megoldások is, mint a plazmaszórás, a szol-gél eljárás, az elektroforetikus lerakódás, és a hab növekedése közben beadagolt hidroxapatit. A hidroxapatit bevonatos haboknál azonban kimutatták a határrétegben kialakuló túlzott mértékű mechanikai maradó-feszültséget, szemben a bevonat nélkül előállított habok felületi rétegeivel. A korábban kifejlesztett anyagok pl. OrganoApatitek (OA) mely 2-3 %-ban Lizint tartalmaz, mely lemásolja a biogén ásványok viselkedését a szervezetben, ezáltal szabályozza a kristályrács épülését, így hasonló szerkezetet építve ki, mint a majdan beépülő csontszövet. Fontos azonban hogy a kiépülő környező szövet ezekből az ásványi alkotókból is felhasznál. Egy kutatói team (Erik D. Spoerke, Naomi G. Murray, Huanlong Li, L. Catherine Brinson, David C. Dunand, Samuel I. Stupp) munkájával kifejlesztett új eljárás lényege, hogy a növelt OA tartalmú felületi réteget növesztik, azzal az elvárással, hogy új csontszövet növekedését serkentse az implantátum környezetében. A titán felületén kialakult természetes oxidrétegre integrált poli-aminosavak adják ezt a hajtóerőt. Utólagosan is felhordható ez a „bioaktív” réteg, a plazmaszórás és szol-gél eljárások, valamint az elektroferézis alkalmazásával.

### 3.2 Szemcseszórás

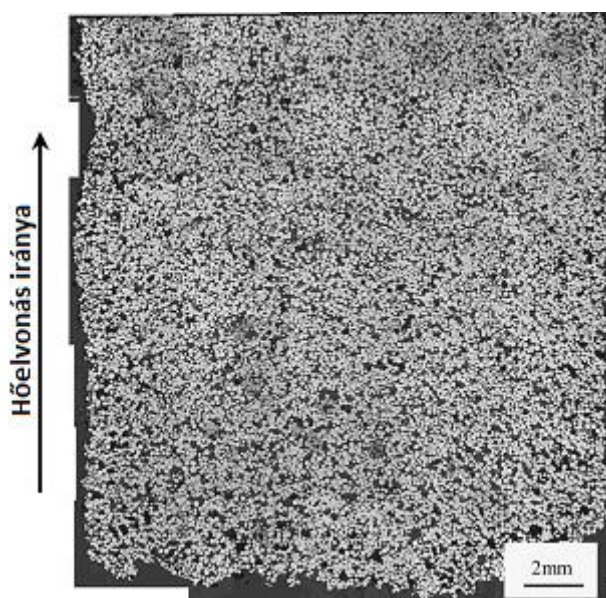
A második megközelítés az, hogy fokozzuk az előállított implantátum felületi feszültségét, akár plazmaszórással, akár felületi szintereléssel. Ezen módszerek segítségével egy viszonylag sekély, de kellően porózus felületet tudunk létrehozni az implantátumon, ahová a csontszövet beépülése megvalósulhat. Ez a módszer lehetővé teszi a csonthoz a lehető legnagyobb felületen történő kötődést. Ez azonban csökkenti a habosított anyagú implantátum szilárdságát. Ennek azonban van pozitív vonzata is, nevezetesen a protézis kilazulásának veszélye redukálódik.

### 3.3 Freeze casting [3]

Az ún. freeze-casting egy következő eljárási mód, melynek segítségével magas porozitású hab struktúra állítható elő a szinterezhető anyagokból. Első lépésként szubmikronos szemcseméretű kerámia porból és fémpor kolloid oldatából melynek hordozója többnyire víz, fagyasztanak egy strukturált vázat. Lemásolva ezzel a természetes dendrites struktúrák szerkezetét. Ennek szinterezésekor a hordozó szublimál, és a visszamaradt habszerkezet lesz a tényleges implantátum. Az eljárás azonban még nem kiforrott, rengeteg problémát okoz a porított titán nagymértékű reaktivitása a környezeti oxigénnel. Jelenleg kísérleti stádiumban van ezen eljárás. Továbbá a mechanikai stabilitása ezen implantátumoknak még nem érte el a csontszerkezet szintjét.



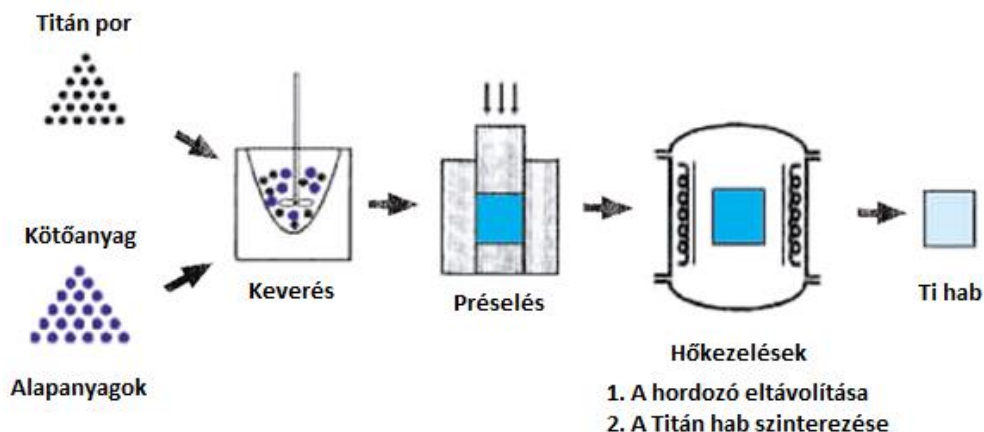
3. ábra Titán por SEM felvételei [3]



4. ábra A kialakult természetes dendrites struktúra [3]

### 3.4 Porkohászati eljárások [4]

A következő technológia a porkohászati eljárásokhoz sorolható. A gyártás az 5. ábrán látható lépések szerint halad. Első lépésben homogén eloszlást hozunk létre a titán por és a beadagolt ötvözők, valamint a hordozóanyagok között. A homogenizált porállagú anyagunkat összepréseljük egy megfelelő szerszámban, 50-200 MPa nyomással. Az illusztrált gyártási folyamat terméke egy mechanikai vizsgálatokhoz szükséges próbatest. A hőkezelési folyamat két lépésben zajlik, 200C°-on 5 órán keresztül, majd 1200C°-on 2 órán keresztül történő izzítással.



5. ábra Ti-hab gyártás sematikus ábrája [4]

#### 4. AZ ELKÉSZÜLT HABOK MINŐSÍTÉSE, ANYAGVIZSGÁLATA

Mivel a Titán-habok gyártásánál a habstruktúra porozitása mikronos mérettartományban mozog, ezért szinte minden esetben szükség van nagy felbontású képelemző eszközök Scanning Elektron Mikroszkóp (SEM), illetve Transzmissziós Elektron Mikroszkóp (TEM) alkalmazására. A porozitás egyértelmű identifikálása után következhet a mechanikai stabilitás vizsgálata. Ez többnyire roncsolásos anyagvizsgálati eljárásokkal, szakító-, és nyomóvizsgálatokkal, fárasztó vizsgálatokkal.

#### 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjaink egyik legvitatottabb területe a Ti-habok humán implantátumként történő alkalmazása. Az ebben rejlő hatalmas lehetőségek, és az életminőség javítására való törekvés a hajtóereje a területen zajló kutatásoknak. Az implantátumok anyagának megfelelő és leggazdaságosabb technológiája még nem forrott ki, így minden publikációt nagy érdeklődés övez a témában. A kutatások eredményeképpen létrejövő implantátumok, és egyéb célra felhasznált eszközök jövőbeni alkalmazása nem kérdéses. A 6. ábrán látható kép illusztrálja a humán implantátumok fejlődésének folyamatát.



6. ábra Implantátumok fejlődése [1]

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkaalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## 7. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Biomechanics of Ti-foam Implants, Ka Lee, Pavel Gueorguiev, Peter Truong
- [2] A bioactive titanium foam scaffold for bone repair, Erik D. Spoerke, Naomi G. Murray, Huanlong Li, L. Catherine Brinson, David C. Dunand , Samuel I. Stupp
- [3] Directionally freeze-cast titanium foam with aligned, elongated pores Yasumasa Chino, David C. Dunand
- [4] Institute for Structural and Engineering Materials, National institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Hirate-cho, Kita-ku, Nagoya 462-8510, Japan, C.E.Wen, Y.Yamada, K.Shimoyima, Y.Chino, T.Asahina, M.Mabuchi

## 8. KAPCSOLÓDÓ CIKKEK

1. **WEISE J, BELTRAME DERNER SILVA G, and SALK N** (2010). “*Production and properties of syntactic steel and iron foams with micro glass bubbles.*” (unknown)
2. **KOSTORNOV A G, KIRICHENKO O V, BRODNIKOVSKII N P, GUSLIENKO Y A, AND KLIMENKO V N** (2008). “*High-porous materials made from alloy steel fibers: production, structure, and mechanical properties.*” Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 47(5-6):295-298.
3. **MURAKAMI T, OHARA K, NARUSHIMA T, and OUCHI C** (2007). “*Development of a new method for manufacturing iron foam using gases generated by reduction of iron oxide.*” Materials Transactions 48(11):2937-2944.

4. **MURAKAMI T, OHARA K, NARUSHIMA T, and OUCHI C** (2007). “*New manufacturing method of iron foam using precursor made of iron, graphite and hematite powders.*” MetFoam 2007: Proceedings of the 5th International Conference on Porous Metals and Metallic Foams. 5-7 September 2007, Montreal, Canada, p.145-148.
5. **TUCHINSKIY L.** (2007). “*Novel manufacturing process for metal and ceramic honeycombs.*” Advanced Engineering Materials 10(3):219-222.
6. **VERDOOREN A, CHAN HM, GRENESTEDT JL, HARMER MP, and CARAM HS** (2005). “*Fabrication of low density ferrous metallic foams by reduction of chemically bonded ceramic foams.*” Journal of the American Ceramic Society. 89(10):3101-3106.

# VÍZKÉMIAI ADATOK FELHASZNÁLÁSA KARSZTVÍZ DOMBORZATI TÉRKÉP PONTOSÍTÁSÁRA

## APPLICATION OF WATER CHEMISTRY PARAMETERS TO PRECISENESS OF KARST WATER LEVEL RELIEF MAP

Miklós Rita<sup>1</sup>, Tóth Márton<sup>1</sup>, Szegediné Darabos Enikő<sup>2</sup>, Lénárt László<sup>1</sup>

Mesterszakos hallgató, PhD hallgató, tudományos segédmunkatárs, egyetemi docens

<sup>1</sup>Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, környezetgazdálkodási Intézet

<sup>2</sup>MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

e-mail: miklos\_rita@yahoo.com, tothmarton87@gmail.com, daraboseniko@gmail.com, hgll@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** Kutatásunk során céljaink között szerepel, hogy elkészítsük a Bükk hegység karsztvíz domborzati térképét. Ehhez a hegységben több mint 20 éve működő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer vízszint adatai mellett felhasználtunk kútataszteri adatokat is, forrásfakadási szintek formájában, emiatt azonban olyan vízszintadatok is bekerültek a számításokba, amik nem karsztos források, nem képezik részét a karsztvíz domborzatnak. Jelen cikkben ennek a problémának a megoldását szeretnénk bemutatni, mely során vízkémiai vizsgálatok alapján döntöttük el a DNy-i Bükk területén lévő források egy részéről, hogy vizük karsztos, ill. nem karsztos jellegűt mutat-e, ill. hogy bevezethető-e a számításokba vagy sem. 39 forrás adatait Piper-, és Stiff-diagramok segítségével értékeltük ki, így egy - a korábbinál pontosabb - karsztvíz-domborzati térkép szerkeszthető meg vizsgált területre és egyúttal az egész hegységre is.

**Kulcsszavak:** vízkémia, karszt, karsztvíz-domborzat, víztípus

**Abstract:** During our research our aim was to create the karst water level relief map of the Bükk Mountains. In this work we used the water level dataset of the more than 20 years existing Bükk Karst Water Level Observing System, and also level of springs where they enter surface. As a result, non-karstic springs also have been taken account which do not form part of the karst water level relief. In this paper we would like to present solution of using hydrochemical data to separate springs due to water type. Water chemistry data were evaluated graphically by Piper and Stiff diagrams. As a result a more proper karst water level relief map of the Southwest area of the Bükk Mountains can be created.

**Keywords:** water chemistry, karst, karst water level relief, water type

### 1. A VIZSGÁLT TERÜLET LEHATÁROLÁSA, BEMUTATÁSA

A kutatás során vizsgált terület az Északi-középhegységen belül elterülő Bükk karszthegeység, azon belül is a DNy-i Bükk, mely határai északon a Nagyfennsík idő lepusztulási lépcsőin, kelet-délkeleti határa Három-kő - Hosszú-völgy - Hór-völgyön, délről és nyugatról pedig Noszvajtól Szarvaskő át Mónosbélig húzhatók meg [2].

A terület geológiáját áttekintve, eltérően a hegység fő tömegétől, a fő felszínhordozó kőzetek alapvetően jura korú, mélytengeri agyagsorozatokból képződött palakőzetek, kovapalák, valamint ezen összletekbe benyomult bázisos magmatitok, melyek üledékesen települtek a triász időszaki karsztra. A palakőzetek nagy része rossz vízvezető tulajdonságú, melyet a területen időszakosan megjelenő kis hozamú források, szivárgók is jeleznek [2].

### 2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK ISMERTETÉSE

A kutatás során a DNy-i Bükk területén található források vízkémiai jellegét vizsgáltuk. A szükséges vízkémiai paraméterek egy része (24 forrás adatai) a VIFIR bükki forráskataszterből származik, valamint további 15 forrás adatait terepi mintavételezések során vett vízminták laboratóriumi elemzéséből nyertük. A jobb összevethetőség érdekében csak a



nyári hidrológiai félévből származó adatokat használtuk fel. A vizsgált források a rossz vízvezető képességű, jura korú palaösszleten fekszenek.

Munkánk során a rutinszerűen vizsgált vízkémiai paramétereket határoztuk meg, az alkalmazott laboratóriumi módszerek: lángatomabszorpciós spektrofotometria (AAS) ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ , és  $\text{K}^+$ -koncentráció meghatározására); koloriméter ( $\text{SO}_4^{2-}$ -koncentráció meghatározására); titrálás ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ -koncentráció meghatározására) voltak.

Igyekeztünk lehetőség szerint minél több forrás vízkémiai adatait meghatározni, amelyeket ezután feldolgoztuk és kiértékeltek. Először elkészítettük minden forrásnak a Piper-diagramját, mely grafikus úton ad információkat arról, hogy milyen fő kémiai típusba tartozik a víz. Azon esetekben, amikor nem adott egyértelmű eredményt a Piper-diagram, elkészítettük a Stiff-diagramot is. Ez szintén egy grafikus ábrázolási mód, szabálytalan sokszög formájában jeleníti meg a vizek fő kémiai paramétereit. Nem mellesleg a kirajzolódó poligon alakja is sokszor nyújt segítséget a víz típusának megállapításához. Ha a két diagram összevetése sem adott kielégítő információkat a forrás víztípusát illetően, minden esetben a Stiff-diagramot vettük alapul a víztípus meghatározásához.

Mivel célunk az volt, hogy a vizsgált források vizének jellegéről megállapítsuk karsztos, illetve nem karsztos jellegét, ezért - már korábbi kutatások alapján igazoltan karsztos forrás - a Garadna-forrás vízkémiai adataiból szerkesztett diagramokat vettük alapul [4], [3].

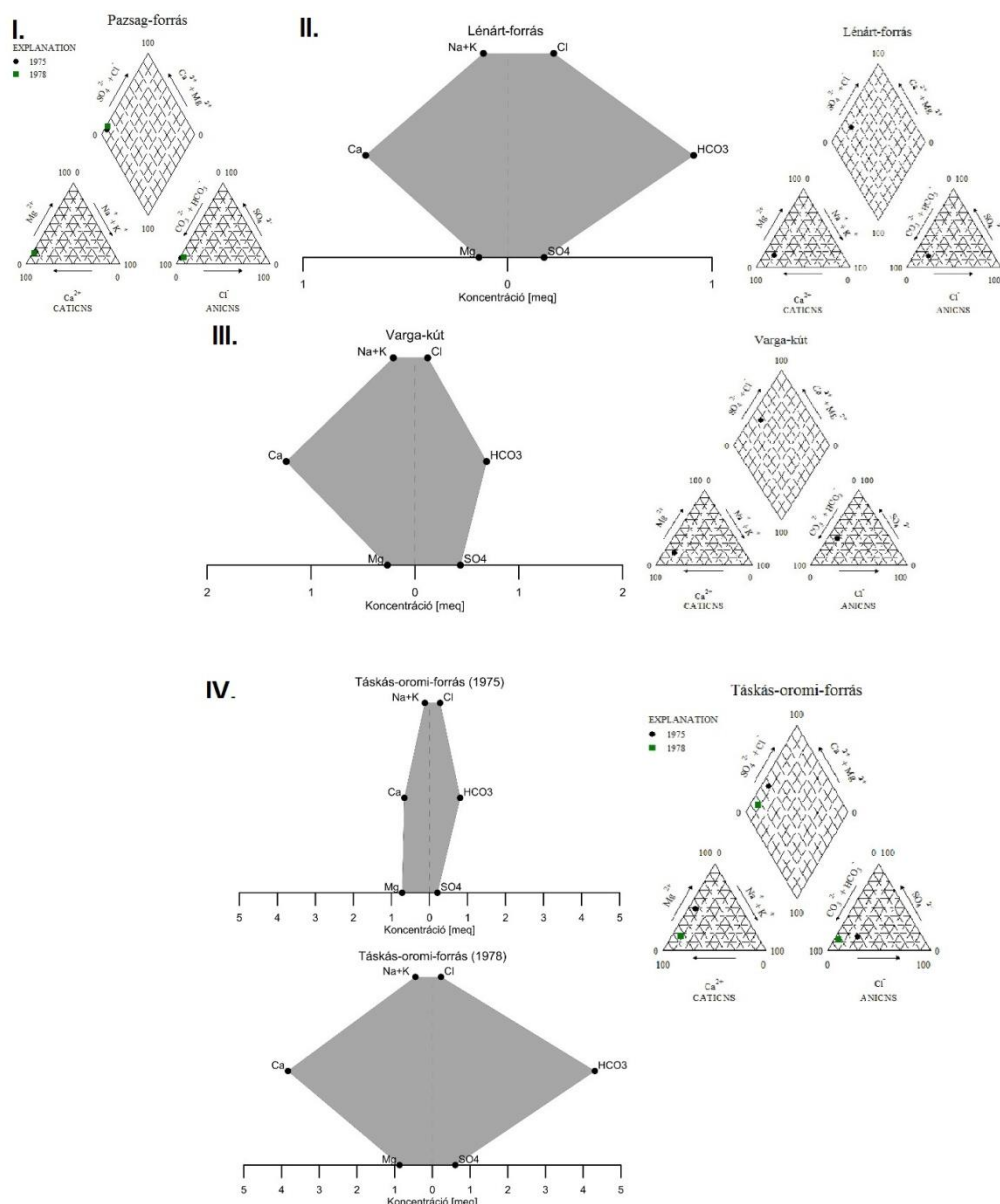
### 3. EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE

Abban az esetben, ha a forrás víztípusa nem egyértelműen a tisztán karsztos jelleget mutató Ca-Mg- $\text{HCO}_3$  mezőbe esett a Piper-diagramon, elkészítettük a Stiff-diagramot is.

Megállapítható, hogy vízáadó közettől függetlenül szinte minden forrás esetén a kationok közül a  $\text{Ca}^{2+}$  a domináns ion. Ez is lehet az oka annak, hogy a Piper-diagramon a pontok legnagyobb többsége a Ca- $\text{HCO}_3$ -mezőbe, egy-két esetben a kevert Ca-Mg-Cl-mezőbe esett. Emiatt a  $\text{HCO}_3^-$  többi anionhoz viszonyított arányából indultunk ki. Az alapgondolat, mely ezt vezérelte az, hogy ha a hidrogén-karbonát mennyisége a többi ionhoz viszonyítva alacsony, akkor a víz jellegét alapvetően nem a karbonát oldódási folyamatok határozzák meg, tehát a legnagyobb valószínűséggel a forrás nincs kapcsolatban a karsztrendszerrel, vizét nem onnan kapja.

Előfordult olyan eset is, hogy egy forrás esetén két különböző időpontban teljesen más típusú vizet mutattak a kémiai adatok. Ennek oka lehet az, hogy nagyobb csapadékmennyiség hatására a nem karsztos jellegű forrás utánpótlást kap a megemelkedett nyomásszintű karsztrendszerből, azzal egyfajta vízkeveredés zajlik le.

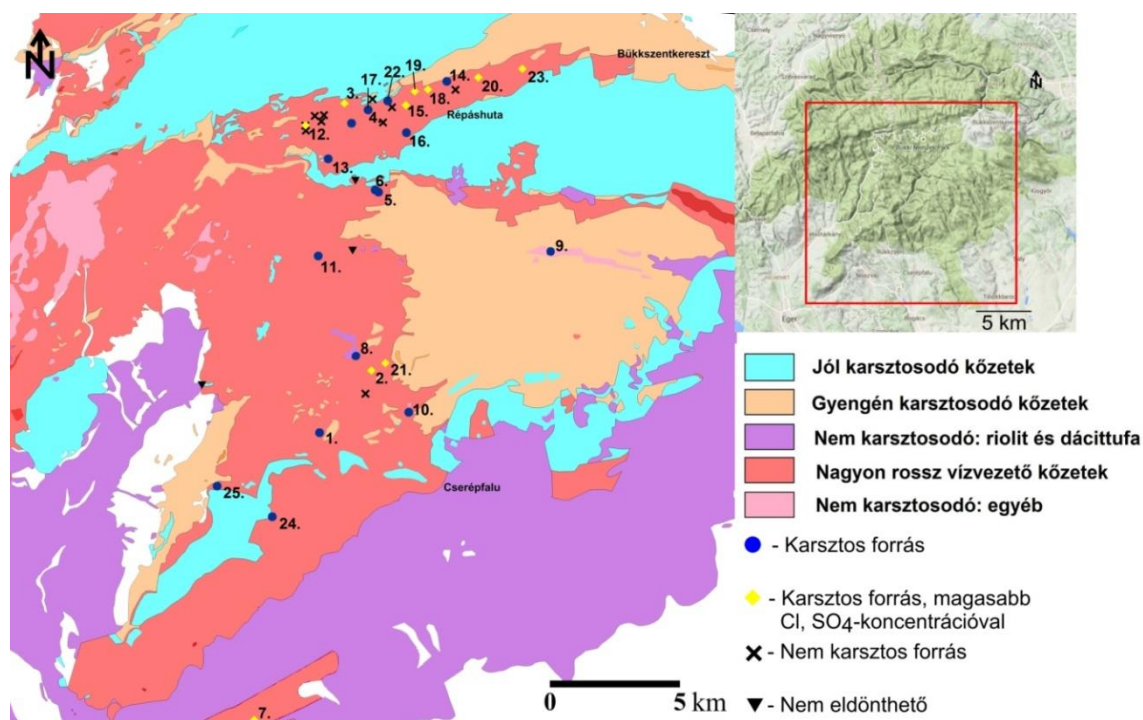
A fent felsorolt szempontok alapján a következő kategóriákba soroltuk be a vizsgált források vizeit: *karsztos jellegű, karsztos jellegű, de magasabb Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-tartalom jellemzi, nem karsztos jellegű, nem dönthető el*. Az egyes csoportokat jellemző diagramok az 1. ábrán láthatók [6].



1. ábra. Az egyes víztípus csoportok jellemző diagramjai (I.-karsztos jellegű; II.-karsztos jellegű, de magasabb Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-tartalom; III.- nem karsztos jellegű; IV.- nem dönthető el) [6]

Miután a kategóriákba sorolás megtörtént, térképen ábráztuk a forrásokat, megfelelő színekkel jelezve a különböző típusokat, mely a 2. ábrán látható.

A 2. ábrán feltüntetett források: Borjú-kút-forrás (1); Kis-Hárs-kút-forrás (2); Kis-tölgyes-oromi 1.-forrás (3); Kis-tölgyes-oromi 4.-forrás (4); Pázsag-forrás (5); Pázsag-kút-feletti-forrás (6); Rakottyási-forrás (7); Szent Erzsébet-forrás (8); Belvác (Vándor)-forrás (9); Hárs-kút-forrás (10); Lajos-oromi-forrás (11); Lénárt-forrás (12); Tamás-kút (13); Diósi-kút-forrás (14); Erdei (Névtelen)-forrás (15); Faluszéli-kút-forrás (16); Kis-tölgyes-lápai 2.-forrás (17); Névtelen 1.-forrás (18); Névtelen 2.-forrás (19); Pénzpaták Ny-i (Vadász-vgy-i)-forrás (20); Tábor-hegyi (Zsilibes)-forrás (21); Útörházi (János-réti)-forrás (22); Rejtek 2.-forrás (23); Síkfőkút-forrás (24); Várkút-forrás (25).



2. ábra. A kutatás során kategóriákba sorolt források térképen való megjelenítése [1] és [7]

Látható a 2. ábrán, hogy a karsztos víztípusú források legnagyobb része karsztos és nem karsztos kőzetek réteghatárának közelében lép felszínre, ami egy teljesen természetes jelenség. Ha a víz egy rossz vízvezetőképességű kőzet határához ér, akkor ott általában kilépésre kényszerül, és a felszínen forrásként jelentkezik. Ugyanez igaz azokra a forrásokra is, melyek szintén karsztos jelleget mutatnak, de magasabb az oldott  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ -tartalmuk is. Az általunk vizsgált források közül szinte mind a Répáshutától északra elterülő rossz vízvezetőképességű kőzeteken fekszik, azon belül is a Lök völgyi Formációt alkotó sötétszürke agyagpalából lép felszínre.

Azok a források, melyeknek a vízkémiai adatai alapján nem lehet eldönteni a víztípusukat, szintén karsztos-nem karsztos kőzetek határán találhatóak. Így a kevert kémiai jellegre, valamint a különböző időpontokban vett vízminták változatosságára magyarázat lehet az, hogy nagyobb csapadék esetén a karsztrendszer is beadja vizét a palakőzeteken fekvő források némelyikébe.

A nem karsztos jelleget mutató források is a jura korú palaösszleten lépnek felszínre, és hozamuk is kisebb (1-10 l/p), mint a karsztos típusú forrásoknak általában (5-25 l/p, de előfordul 100-800 l/p is).

#### 4. KARSZTVÍZ-DOMBORZATI TÉRKÉP PONTOSÍTÁSA

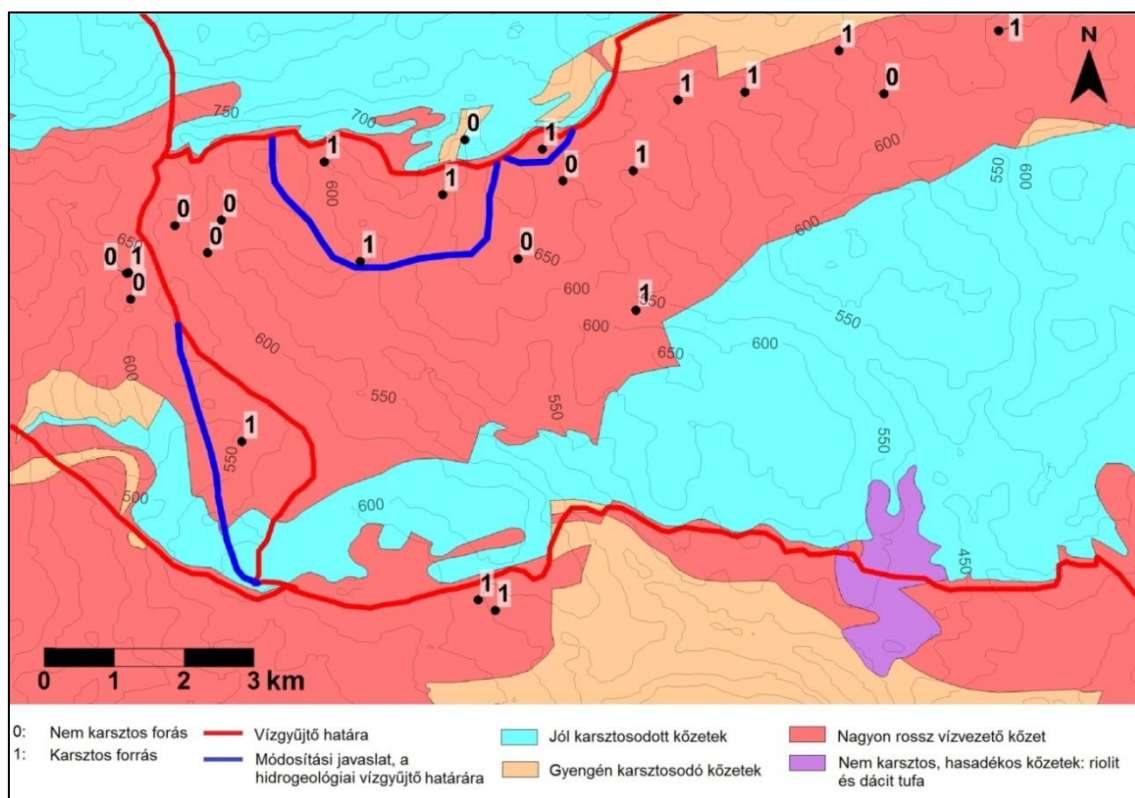
Napjainkban egyre nagyobb az igény a rendelkezésünkre álló kitermelhető vízkészletek egyre pontosabb meghatározására és előrejelzésére, nincs ez másképp a Bükkben sem, ahol a hegység vonzáskörzetében ivóvíz célú víztermelés folyik. Ennek érdekében kidolgozásra került egy új vízkészlet meghatározási módszer, mely az eddiektől eltérően nem a vízháztartási egyenleten alapul, hanem a már több, mint 20 éve üzemelő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer vízszint adatsorára támaszkodik.

A módszer lényege, hogy a mért vízszint és forrásfakadási szintekből karsztvíz-domborzati térképet állítunk elő, majd a korábbi kutatások során meghatározott alapszint fölötti karsztvíz mennyiségét, az irodalmi adatok alapján meghatározott porozitás értékekkel való súlyozás után, vízföldtani kategóriánként térfogatszámítással meghatározzuk [5].

A módszer kulcskérdése, hogy a vízdomborzati térképet jól határozzuk meg, de a kidolgozás során felmerült az a probléma, hogy a DNy-i és ÉNy-i területeken kapott eredményeket figyelmen kívül kellett hagyni, mert összevetve a központi karsztos egységgel, ezek értelmezhetetlenek voltak. Ennek legvalószínűbb oka az, hogy ezen területeket rossz vízvezető képességű palaösszletek fedik. Viszont a délnyugati részen valószínűleg még a vizsgálati mélységen belül helyezkednek el a triász karsztos kőzettestek, így ezen terület áramlási viszonyainak tisztázása szükséges, hogy a teljes áramlási kép megalkotható legyen [5]. Az eredmények értelmezhetetlensége az említett területeken abból fakadt, hogy a rendelkezésünkre álló összes forrás adatát felhasználtuk, pedig valószínűleg ezeken a hegység részekén előfordulnak helyi áramlási pályákról fakadó források is, melyek vize nem a karsztos víztestből származik. Ezeknek a forrásoknak a kémiai módszerrel történő leválogatása volt a jelen cikk tartalmát képező kutatás egyik feladata.

## 5. VÍZGYŰJTŐ LEHATÁROLÁS PONTOSÍTÁSA

A rendelkezésünkre álló kémiai vizsgálatok alkalmazási lehetőségei közül egy másik, a Bükkben egy általunk kijelölt nyugat-keleti szelvény mentén elhelyezkedő vízgyűjtők lehatárolása volt. Kiinduló adatokként rendelkezésünkre álltak forrás-kataszteri adatok, tőbrök és barlang felmérések, ill. korábbi víznyomjelzések adatai. Első lépésként M=1:10 000-es alaptérképen, földtani, és vízföldtani térkép segítségével a területen található tőbrök x, y, z koordinátáját határoztuk meg. Ezután ábráztuk a forrásokat a VIFIR adatbázisból, ekkor szembesültünk több olyan forrással is, amelyek maximális hozama kiugróan magas volt, viszont nem egyértelmű, hogy karsztos vagy nem karsztos forrásokról van-e szó. Ennek



3. ábra. A vizsgált területen lévő vízgyűjtők és a kémiai adatok alapján javasolt hidrogeológiai vízgyűjtő határa

eldöntésére a vízadó anyagát vizsgáltuk meg, ez a módszer azonban a DNy-i Bükkben lévő nem karsztos takaró kőzetek alatt lévő karsztos vízbázis megléte miatt nem biztos, hogy

megfelelő következtetésre vezet. Az így kapott vízgyűjtő területek láthatóak a 3. ábrán piros vonallal jelölve. A pontosítás érdekében vagy saját vízmintavételezések, vagy korábbi vízkémiai adatok alapján vízminőségi vizsgálatokat végeztünk. Ezután a korábbi fejezetekben bemutatott módszerek segítségével tudtuk bizonyítani a forrás karsztos vagy nem karsztos voltát, az eredmények alapján a Ny-i Bükkre eső hidrogeológiai vízgyűjtők lehatárolására tett módosítási javaslatunk szintén a 3. ábrán látható (kék vonallal jelölve a változások).

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának felszín alatti vizekhez kapcsolódó nemzetközi kutatási potenciáljának fejlesztése célzott alapkutatói támogatása által az Új Széchenyi Terv keretein belül a TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049-es „KÚTFŐ” nevű projekt keretein belül az Európai Szociális Alap finanszírozásával jöhetett létre.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LESS GY.** [szerk.] (2005): *Magyarország földtani térképe M-34-138 Miskolc*, Magyar Állami Földtani Intézet.
- [2] **PELIKÁN P.** [szerk.] (2005): *A Bükk hegység földtana – Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50 000)*, Budapest, pp. 13-18, 63-107.
- [3] **SZEGEDINÉ DARABOS, E., MIKLÓS, R., TÓTH, M., LÉNÁRT, L. (2014):** *Investigation of discharge and hydrochemical data of Garadna spring*. X. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, Incitato nyomda (ISSN: 1842-9815), pp. 202-206.
- [4] **SZEGEDINÉ DARABOS, E., MIKLÓS, R., TÓTH, M., LÉNÁRT, L. (2014):** *Hidrogeological Investigation of the Garadna Catchment Area*. Geosciences and Engineering, Vol. 3. No. 3. pp. 119-127.
- [5] **SZEGEDINÉ DARABOS E., TÓTH M., CZESZNAK L., LÉNÁRT L., HERNÁDI B. (2014):** *Új típusú vízkészlet meghatározás a Bükkben*. Karsztfejlődés, XIX. 105-124, Szombathely.
- [6] **MIKLÓS R. (2015):** *Karsztvíz-domborzati térkép pontosítása vízkémiai vizsgálatok alapján*. XXXII. ORSZÁGOS TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA, FIZIKA, FÖLDTUDOMÁNYOK ÉS MATEMATIKA SZEKCIÓ, 2015. április 15-18., Babes-Bolyai Tudományegyetem, Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Kolozsvári Magyar Diákszövetség, Kolozsvári Egyetemi Kiadó, Kolozsvár, 2015. (ISBN 978-973-595-834-3). pp. 189.
- [7] [www.maps.google.com](http://www.maps.google.com)

## KLÓROZOTT SZÉNHIIDROGÉNEK TRANSPORT-MODELLEZÉSI VIZSGÁLATA EGY MÁTRAI MINTATERÜLETEN

### CHLORINATED HYDROCARBONS TRANSPORT MODELING STUDY OF A MATRA PILOT AREA

Zákányi Balázs<sup>1</sup>, Kovács Balázs<sup>2</sup>, Tóth Márton<sup>3</sup>, Kolencsikné Tóth Andrea<sup>3</sup>,  
Mikita Viktória<sup>3</sup>

<sup>1</sup>egyetemi tanársegéd, <sup>2</sup>egyetemi docens, <sup>3</sup>tudományos segédmunkatárs  
Miskolci Egyetem, <sup>1,2,3</sup>Környezetgazdálkodási Intézet, 3515, Miskolc-Egyetemváros  
<sup>1</sup>hgzb@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** Vizsgálatainkban egy település vízművének fő műtárgyát (kútját) és közvetlen térségének modellvizsgálatát végeztük el. A szimulációkhoz egy több szoftver-környezetben végzett modellvizsgálat sorozatot hajtottunk végre. A modellezés során vizsgáljuk magának az önálló fázisnak a mozgását. A számításainkat kiegészíti az oldott csóva mozgásának vizsgálata. A teljes számítást kiegészíti egy a felszín közeléből egészen a több dekaméteres mélységben található felszín alatti vízszintig telítetlen közegben történő anyagtranszportot és kilevegőzést is vizsgáló VLEACH szoftverrel végzett számítássorozat.

**Kulcsszavak:** klórozott szénhidrogén, transport-modellezés, DNAPL

**Abstract:** A transport model were created to investigate the spread of chlorinated hydrocarbons near waterworks of a little village in the Mátra. Several model packages were applied to gain the most information about moving of contamination. During this calculation both nonaqueous-phase and dissolved phase of hydrocarbons were investigated. Additionally, a model were created in VLEACH software to analyze the spread of chlorinated hydrocarbons in the unsaturated zone where the exhalation of these materials could be also determined.

**Keywords:** chlorinated hydrocarbons, transport modeling, DNAPL

## 1. BEVEZETÉS, ALKALMAZOTT SZOFTVEREK

Hazánkban, az Észak-Magyarországi Régióban jelenleg is működő, nagy vegyipari vállalatok helyezkednek el. Emellett számos múltbeli és jelenleg zajló nehézipari és ipari tevékenység környezeti hatásai komoly kockázatokat jelentenek a környezeti elemekre, így a felszín alatti vízkészletekre is [1]. Például a klórozott szénhidrogénnel szennyezett területeken (több százra tehető ezek száma) a sekély felszín alatti víz (talajvíz) mellett mélyebb víztartók elszennyeződésével is számolni kell (pl. Tiszaújváros, Debrecen), ami esetenként vízbázisok vízminőségét is veszélyeztetheti, amint azt az elmúlt évtizedek tapasztalatai megerősítene [2]. A környezeti elemeket érintő megörökölt ipari és bányászati eredetű szennyezések feltárása és felszámolása még napjainkban is tart.

Egy ilyen megörökölt szennyezés érintett egy Mátrában lévő település vízművét. A települést egy közeli ivóvízbázisról látják el vezetékes vízzel, amelynek közelében a nyolcvanas évek végéig működött egy diódákat gyártó üzem. Feltételezhetően ebben használtak olyan klórozott oldószereket, amelyeket most az ivóvízben is kimutattak határértéket meghaladó koncentrációban.

Vizsgálatainkban a település vízművének fő műtárgyát (kútját) és közvetlen térségének modellvizsgálatát végeztük el. A szimulációkhoz egy több szoftver-környezetben végzett modellvizsgálat sorozatot hajtottunk végre. A modellezés során vizsgáltuk magának az önálló fázisnak a mozgását GMS/UTCHEM környezetben. A számítást kiegészíti az oldott csóva mozgásának vizsgálata GMS/SEAM3D környezetben, amivel koncentráció eloszlásokat

tudunk számolni feltételezett szivárgási környezetben. A GMS/SEAM3D modellezés alapját egy Processing MODFLOW környezetben készített hidrodinamikai szimuláció alapozta meg, amivel a kialakuló felszín alatti vízdomborzatot, elérési időket, hatás- és hatóterületeket határoztunk meg (PMPATH részecskealapú advektív transzport modul).

A teljes számítás része egy, a felszín közeléből egészen a több 10 méteres mélységben található felszín alatti vízszintig telítetlen közegben történő anyagtranszportot és kipárolgást is vizsgáló VLEACH szoftverrel végzett számítássorozat (WHI Unsat Suite v2.2), ahol tetra- és triklór-etilén valamint szén-tetraklorid szabad szivárgását vizsgáltuk.

## 2. HIDRODINAMIKAI MODELL FELÉPÍTÉSE

A hidrodinamikai modell készítéséhez felhasználtuk a meglévő kutak vízföldtani naplóit, a feltárási pontokról készült dokumentációkat, és valamennyi a tényfeltárás során megszerzett ismeretet [3].

A modellezett terület domborzatának szintvonalait SRTM műholdas digitális képről vettük át, amely természetesen a modell felső rétege is egyben.

A modellszámításokra kijelölt térrész lehatárolásakor figyelembe vettük a vízmű kutak, és feltárási pontok elhelyezkedését is. A modellezett terület egy 4.5 x 6.5 km oldalhosszúságú téglalappal lefedhető szabálytalan sokszög.

A modell határát ÉÉK-i oldalon egy patak adja, míg a többi irányban a miocén rétegek felszíni kiékelődésétől 100-150 méter távolságban vettük fel a határokat. Ahol lehetett a határok domborzati egységeken (völgyek és gerincek) húzódnak feltételezve, hogy egy részük egyben hidrogeológiai határ is. A modellhálót egyenletesen 25 x 25 m-es cellákra bontottuk, így egy 180 sorból és 260 oszlopból álló modellhálót kaptunk.

A modellt vertikálisan 4 fő képződményre bontottuk. A modellrétegeket a vízmű kutak vízföldtani naplójából rendelkezésre álló rétegsor, ill. a feltárási szelvények alapján vettük fel.

Minden modellréteg fekjét térben változóan vettünk fel, oly módon, hogy a fúrás rétegsorok és a vízmű kútjainak vízföldtani naplóinak alapján kapott rétegvastagságokat interpoláltuk a modellezett területre, és ezekből képeztük a feküfelületeket.

Az egyes képződményekre jellemző minimális és maximális, valamint a modellben alkalmazott értékeket a 1. táblázatban adjuk meg, ahol az effektív porozitások is szerepelnek. A porozitás értékeit szakirodalmi adatok alapján vettük fel. A térségben külön jellemeztük a Mátra főtömege, a vetőzónák, a legjelentősebb, a vízmű kútjait is tápláló vetőzóna, illetve a felszín közeli alluviális völgyek területét.

Modell réteg	A hegy É-i része			A hegy D-i része			Vetőzónák			Vízmű térsége		
	$K_h$ (m/d)	$K_h$ (m/d)	$n_0$ (-)	$K_h$ (m/d)	$K_h$ (m/d)	$n_0$ (-)	$K_h$ (m/d)	$K_h$ (m/d)	$n_0$ (-)	$K_h$ (m/d)	$K_h$ (m/d)	$n_0$ (-)
1	0,007	0,005	0,05	0,007	0,005	0,05	0,007	0,005	0,05	0,007	0,005	0,05
2	0,01	0,008	0,06	0,05	0,02	0,06	0,2/0,02	0,08/0,02	0,075	7,5	1	0,1
3	0,008	0,003	0,03	0,03	0,025	0,03	0,16/0,04	0,08/0,02	0,05	0,6	0,3	0,1
4	0,008	0,003	0,03	0,03	0,025	0,03	0,16/0,04	0,08/0,02	0,05	0,6	0,3	0,1
5	0,003-0,0015	0,01	0,006	0,02	0,01	0,006	0,02	0,02	0,006	0,02	0,02	0,006
6	0,003-0,0024	0,001	0,005	0,003-0,0024	0,001	0,005	0,003-0,0024	0,001	0,005	0,003-0,0024	0,001	0,005

1. táblázat Modellrétegek szivárgási tényezője és porozitása

A modellezett területen figyelembe vettük a törési zónákat, ahol a szivárgási tényező eltérő a környező közettömegétől.

A vertikális szivárgási tényezőket a vízföldtani jelleg alapján határoztuk meg, azon tapasztalatra támaszkodva, hogy a vetőzónák nyújthatnak lehetőséget jelentősebb vízforgalomra, illetve hogy a vulkanitoknál az anizotrópia szerepe és mértéke kisebb.

A megadott modellréteget – modellezés technikai okokból vegyes tükrűnek tételeztük fel, ami jelentősebb számítási igényhez vezetett ugyan, de nagyobb volt a modell szabadsági foka is.

A rétegek nyugalmi nyomásszintjének előállításakor figyelembe vettük az ásott és fúrt kutak vízszint-, és a feltárások adatait, illetve feltételeztük, hogy a kiemelt helyzetű Sár-hegy peremi részein hidrosztatikus vagy ahhoz közelítő néhány m túlnyomással jellemezhető állapot van, amit jól jeleznek a forrásfakadások és pl. az enyhén túlfolyó vízműkút is.

A modellben a peremeken GHB, illetve állandó nyomású cellákat tételeztünk fel.

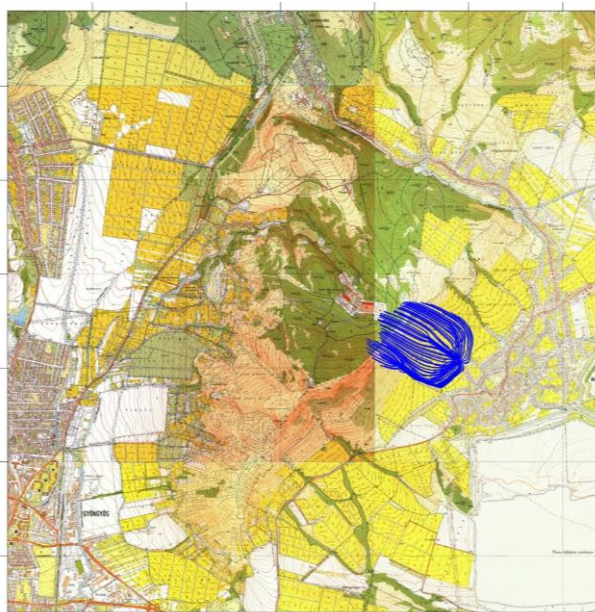
A beszivárgást a modellterület egészére egységesen vettünk fel, olyan módon, hogy a maradó beszivárgás (50mm/év) mindig a legfelső aktív rétegbe történik.

### 3. HIDRODINAMIKAI MODELLSZÁMÍTÁSOK EREDMÉNYEI

A hidrodinamikai modellel meghatároztuk minden rétegben a vízszint eloszlásokat. A számítások alapján kirajzolódik az a kép, hogy a hegy magasabban fekvő részei alatt a felszín alatti vizek szintje akár 30-40 m közötti mélységben is húzódhat, a peremi részeken viszont a vizek a felszínre bukkannak. Ennek a vízdomborzatnak következtében a felső modellrétegek kiszáradnak, aminek következtében a szivárgás jelentős része az ép, kis része a mállott és repedezett andezitben zajlik le. A fedőképződmények és a lejtőtörmelék vízforgalma a teljes rendszerhez képest minimális.

A vízmű 1/A kútjának különböző termelési variánsait feltételezve, a feltételezett szennyeződés irányából részecske követéssel (PMPATH) meghatároztuk a vízműkút utánpótlódási területét. A vízműkút befogási zónáját a 1. ábra mutatja be 25. évre vonatkozóan.

A vízdóm magaspontja a feltételezett felszín alatt 30 m-re helyezkedett el, amit reális közelítésnek gondolunk.



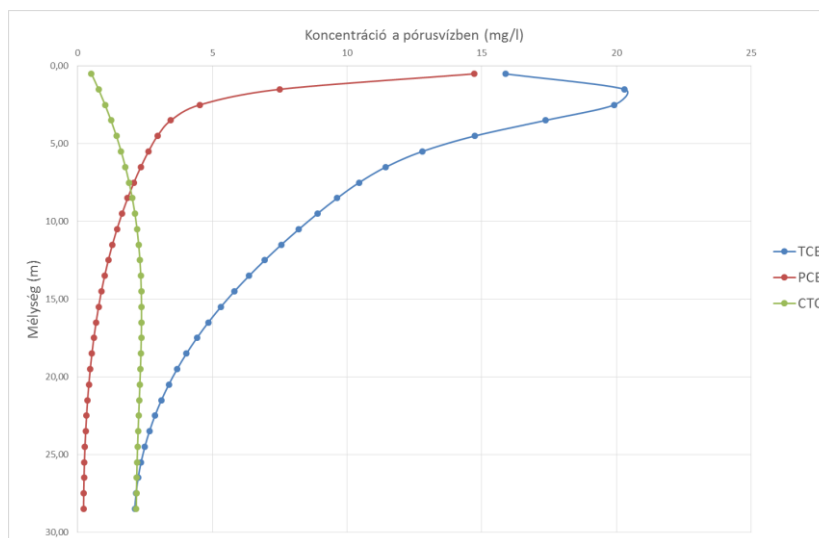
1. ábra A Vízműkutakhoz érkező 25 éves áramvonalak



#### 4. TRANSPORT-SZÁMÍTÁSOK

Az illékony halogénezett alifás szénhidrogének **telítetlen** közegbeli transzportjának számítását a WHI UnSat Suite Plus környezet 2.2.0.1-es verziójának (©Waterloo Hydrogeologic Inc., 1997-2000) VLEACH (Vadose Zone Leaching Model) nevű modelljével végeztük el.

Az összehasonlító transzport számításokat tetra-, és triklór-etilénre, valamint széntetrakloridra, 50 éves időtartamra végeztük el. Először azt vizsgáltuk meg, hogy ezek a szennyezőanyagok egységnyi kezdeti koncentrációval kerülnek a telítetlen közegbe és 50 év elteltével milyen lesz a kialakuló koncentrációk eloszlása (2. ábra).



2. ábra Egységnyi kezdeti koncentrációjú széntetraklorid (CTC), triklór-etilén (TCE) és tetraklór-etilén (PCE) 50 év elteltével kialakuló koncentráció eloszlása

A transzport számításokat különböző maradó beszivárgások esetén is elvégeztük, hogy megtudjuk ez a tényező milyen mértékben befolyásolja a beszivárgott szennyezőanyag koncentráció-mélység profilját. A számításokat 30 mm/év, 50 mm/év és 70 mm/éves maradó beszivárgás értékekkel végeztük. A fokozatosan növekvő éves maradó beszivárgási értékek hatása mindhárom vegyület esetében azt indukálja, hogy megnő az adott szerves szennyező koncentrációjának értéke 30 m-es mélységben.

A kiválasztott vizsgálati terület geológiai felépítés tekintetében nem mutat nagy változatosságot a felső 20-25 m-ben, majd 30 m-es vastagságban közettörmelékcses agyag következik, ugyanakkor, egyes területeken jobban vezető homokos vagy iszapos tufák vagy esetleg vetőzónák jelenléte árnyalja a képet. A képződmények változásának hatását a vertikális anyagtranszportra ezért mindenképpen szükséges vizsgálni, hiszen az szennyezőanyagok transzportját jelentősen befolyásolja a kőzet porozitása, mely különösen nagy hangsúlyt kap az illékony szerves szennyezők esetében. Ezért úgy gondoltuk, hogy a transzport számításokat elvégezzük különböző porozitású agyagok esetén is.

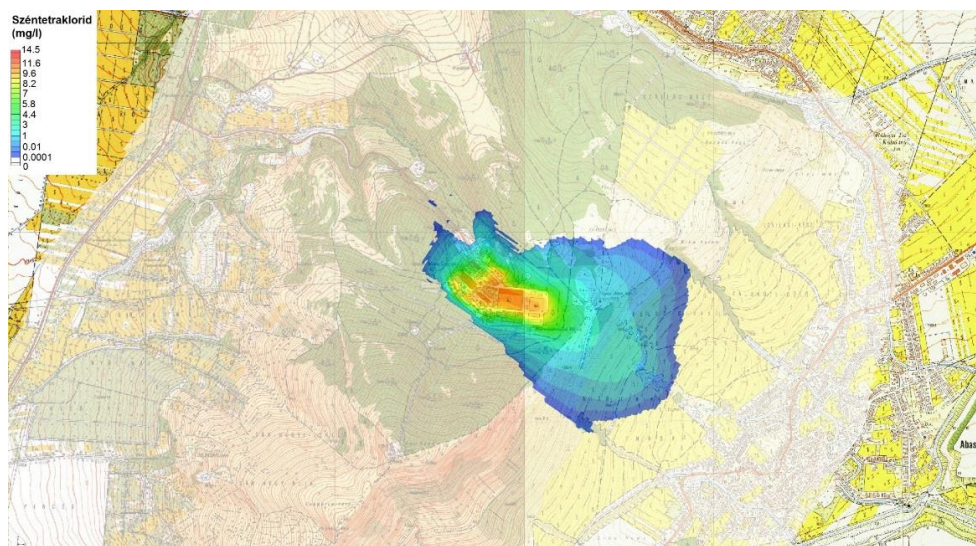
Az agyagban és a tufás agyagban nem tapasztalható jelentős különbség a kialakult koncentráció-változások között. Mindhárom vegyület esetén majdnem azonos a két görbe lefutása. Ezzel szemben nagyon eltérő a transzport jellege és a kialakuló koncentráció-eloszlás a tufás, tufahomokos agyag esetén mindhárom szerves szennyező esetében. Ennek oka az lehet, hogy a porozitás értéke ebben az esetben 0,43. Mivel a porozitással ellentétben a térfogati víztartalom nem változott 0,3-as értékről, így a levegővel telített pórusok aránya csökkent. Ennek következtében mennyiségileg kevesebb szerves szennyező lép a gáz fázisba, aminek következtében több anyag maradhat a pórusvízben oldva a talaj felső rétegében.

A **telített** közegben az **oldott** szennyezőanyag csóva transzport szimulációs vizsgálatának alapját 2. fejezetben bemutatott hidrodinamikai modell adta.

A modellben azt feltételeztük, hogy a szennyezés az 1960-as években keletkezett, 10 évig folyamatos utánpótlódása volt a felszín felől, majd ezt követően a vízadóba már csak a beszivárgással jutott be további szennyezőanyag a felső rétegekből. Mivel a feltételezhető szennyező forrás a hegy északi részén magaslati ponton helyezkedik el nem volt szükséges állandó koncentrációval vagy állandó szennyezőanyag-hozammal leírható peremek felvételére, valamennyi vizsgált elem aktív, azaz bennük a koncentrációk szabadon változhattak.

A modellezett időtartam összesen 50 év, a múltbeli állapotból kiindulva vizsgáltuk a koncentrációk alakulását a jelenig. A modellezésnél „Trial and error” kalibrációs módszert alkalmaztunk - 50 év elteltével - a jelenlegi állapotra, a viszonyítási pontok a K10-es feltárási pontban és az 1/A kútban mért koncentrációk voltak.

A modellezés eredményeként kialakuló szennyezőanyag eloszlásokat (5., 10., 20. 30., 40., 50. évre) készítettük el a széntetra-kloridra, a triklór-etilénre és a tetraklór-etilénre. Ezek közül egyet mutatunk be a 3. ábrán.



3. ábra. Az oldott széntetraklorid szennyezés eloszlása a 40. évben

Az **önálló fázisú** szennyezőanyag csóva vizsgálatát az Utchem programmal végeztük le. A modellezés során **telített és telítetlen** zónában is végeztünk szimulációkat. A modellezés célja annak bizonyítása és számítása, hogy az elmúlt közel 50 éves időszakban, hogyan és milyen feltételek mellett juthatott a szennyeződés a feltételezett forrás felől a vulkáni összletbe.

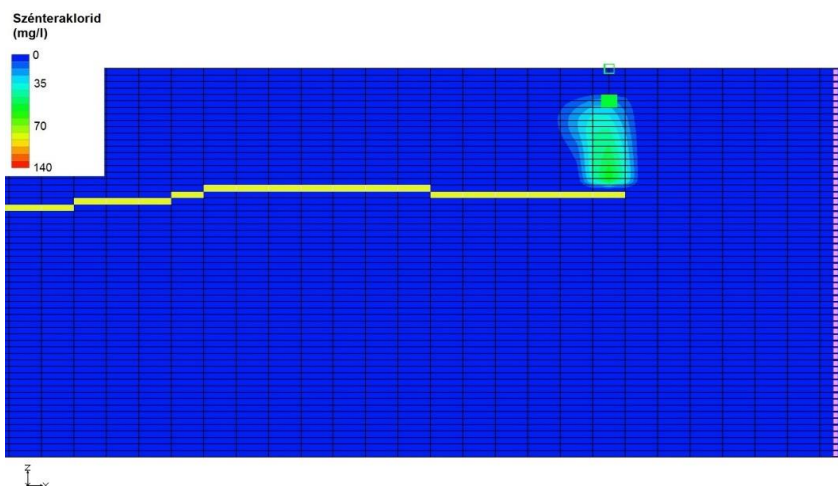
Ennek érdekében egy, az áramlási rendszer irányába történő 2D rendszert építettünk fel, amelynek alap adatait a 2. fejezetben bemutatott hidrogeológiai modell adta.

A felszínen bekerült szennyezőanyag szimulációs eredményei azt mutatják, hogy a szennyezőanyag kb. 24-25 év alatt éri el a vízadó réteget (4. ábra).

A 2D áramlási kép azt mutatja, hogy egyes mélységekben még lehetnek számottevő illékony szénhidrogén-maradványok, melyek a vízadó tartós szennyezését idézhetik elő. Ezt bizonyítja K10-es feltárásnál észlelt magas széntetraklorid koncentráció is.

Az esetlegesen jelen levő repedéshálózatokat nem tudtuk figyelembe venni a modellezés során. Természetesen az esetleges hasadékok, repedés hálózatok, melyek megjelenhetnek az

szálban álló andezit rétegekben jelentősen meggyorsíthatják az illékony szénhidrogének terjedését.



4. ábra. Az Utchem programban kapott önálló fázisú széntetraklorid koncentráció eloszlása az 24,1. évben, ekkor éri el az önálló fázis a vízázó réteget

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Abasár Települési Vízmű közvetlen térségének modellvizsgálatára egy több szoftver-környezetben végzett modellvizsgálat sorozatot hajtottunk végre. A vizsgálati rendszer komplexitását az indokolta, hogy valójában egy olyan önálló programrendszer sem létezik, mellyel a teljes többkomponensű és többfázisú rendszert, telített és telítetlen közegben modellezni tudtuk volna, így szükségessé vált több szoftver szimultán alkalmazása, amivel elértük, hogy az összes számítási rendszert a legmegfelelőbb folyamatok követésére használjuk fel.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a hegy tetején található ipari objektumok felől a szennyezés a vízműkutatig 45-50 év alatt reálisan elérhetek, a potenciális szennyeződés csapásirányú kiterjedése nagyobb lehet, mint a vízmű befogási zónája, ezért a völgytalpakon kis anyagárammal további szennyezett vízkilépések lehetnek.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZUCS P., MADARASZ T.:** *Hydrogeology in the Carpathian basin – how to proceed?* European Geologist 35: pp. 17-20. (2013)
- [2] **SIMONFFY Z.** (1998): *Szennyeződés-terjedési modellek alkalmazása.* Kármentesítési Kézikönyv, 1, Budapest, 1-146.
- [3] **TURAI E., KOLENCSEKNÉ TÓTH A., KOVÁCS B., MADARASZ T., SZŰCS P.:** *A talajszennyezési csóvák kimutatásának új módszere az IP adatok TAU-transzformációjának alkalmazásával.* 10. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. 320 p. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.27-2014.03.29. Kolozsvár: Ábel Kiadó, pp. 101-105.

# ÁRAMLÁSI RENDSZEREK PONTOSÍTÁSA IZOTÓP ÉS VÍZKÉMIAI VIZSGÁLATOKKAL A TOKAJI-HEGYSÉG PEREMI RÉSZÉIN

## REFINEMENT AND CALIBRATION OF THE FLOW SYSTEM IN TOKAJ-MOUNTAIN WITH ISOTOPES AND WATER CHEMICAL SURVEYS

**Fejes Zoltán<sup>1</sup>, Zákányi Balázs<sup>1</sup>, Szűcs Péter<sup>1,2</sup>, Deák József<sup>3</sup>**

egyetemi tanársegéd, tudományos segédmunkatárs, egyetemi tanár, munkatárs  
Miskolci Egyetem, <sup>1</sup>Környezetgazdálkodási Intézet, <sup>2</sup>MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515,  
Miskolc-Egyetemváros, <sup>3</sup>GWIS Kft., 2120 Dunakeszi, Alkotmány u. 45.  
hgfejes@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** A Tokaji-hegység Magyarország északkeleti részén elhelyezkedik el. Kellően részletes vízföldtani kutatás mindeztidáig nem történt. A vulkanikus eredetű hegységeinkben a felszín alatti vizek áramlása csak hasadékokban töréssziszereken keresztül áramolhat. A hegység magasabban fekvő területein beáramló víz a töréssziszereken keresztül leáramlik a mélységbe, majd a peremi részeket feláramlik. A vizsgálatunk fő célja ennek a feláramlásnak a vizsgálata volt.

**Kulcsszavak:** Tokaji-hegység, áramlási pálya, hidrogeológia

**Abstract:** The Tokaj Mountains located in the north eastern part of Hungary. There hasn't been detailed hydrogeological research in the mountain. The groundwater of the volcanic mountains can flow only in fissures and fractures. The precipitation infiltrate on the higher areas of the mountain, and then rise on the edge of the mountain. The main purpose of our study was to examination of this upflow.

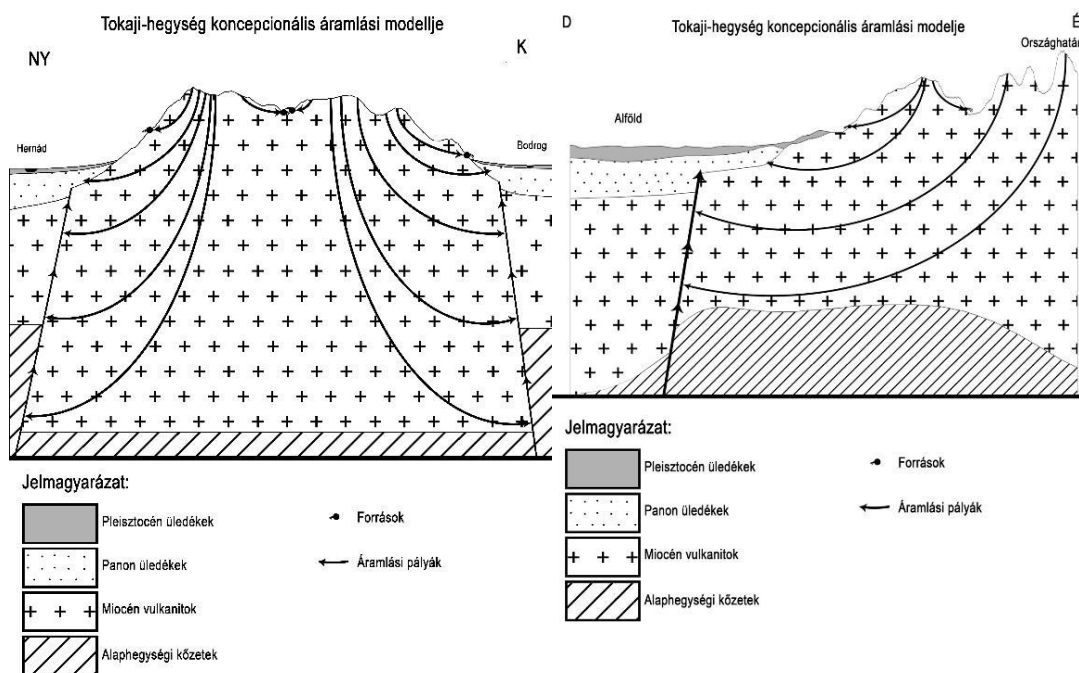
**Keywords:** Tokaj Mountains, flow path, hydrogeology

### 1. BEVEZETÉS

A Tokaji-hegység Magyarország északkeleti részén elhelyezkedő, egyik legismertebb vulkanikus eredetű hegységünk. A hegység területén az elmúlt száz év alatt több száz darab geológiai kutatás történt, főként nemfemes nyersanyagok felkutatása és bányászata érdekében. A hegységben ezen időszak alatt csak kevés számú, és nem kellően részletes hidrogeológiai kutatás történt. A vulkanikus eredetű hegységeinkben a felszín alatti vizek csak hasadékok, töréssziszerek mentén képesek csak áramlani, ami nagyban megnehezíti a vizek felkutatását [1]. A Tokaji-hegység területén a hidrogeológiai kutatások célja főként a lakosság ivóvízzel való ellátása volt, termál és ásványvíz beszerzésére nem irányultak vizsgálatok. A nagyszámú hideg vizet szolgáltató kút miatt a hegység kikerült a geotermikus hasznosításra alkalmas területek közül. A hegység peremi részén azonban számos langyos vizes kút és forrás van, melyek azt bizonyítják, hogy a hegység is rendelkezik geotermikus potenciállal. A 2012-ben a Miskolci Egyetemen indult Kútfő projekt egyik fő célkitűzése is ezen geotermikus potenciál feltérképezése volt. A Tokaji-hegység potenciáljának megismerése érdekében elkészítettük a terület földtani és hidrodinamikai modelljét a Groundwater Modeling System (GMS) szoftver segítségével, mellyel a felszín alatti áramlási pályákat kívántuk lemodellezni. Az áramlási modell kalibrálása érdekében számos módszert alkalmaztunk, hogy a valósághoz közelebbi áramlási rendszert tudjunk elkészíteni. A területen lévő kutak és források vizének hőmérsékleti, vízkémiai és izotópos vizsgálata segítségével, több módszerrel is történt a modell pontosítása.

## 2. A VIZSGÁLT TERÜLET ÁRAMLÁSI RENDSZERE

A Tokaji-hegységben a felszín alatti víz áramlási rendszere hasonló a porózus kőzetekben történő áramlási pályákhoz, de itt a vizek csak hasadékok törésrendszerek mentén képesek áramlani. A hegység magasabban fekvő részei jelentik a betáplálási területet, ahol a lehullott csapadék beszivárog, majd hasadékok, repedések mentén lefelé áramlik. Az áramlási pályák hossza és mélysége igen változatos lehet. A néhány nap, hét alatt végigáramló vizek hidegvizes forrásokat hoznak létre. A hosszabb és mélyebb áramlási pályával rendelkező vizek pedig a peremi részek mentén áramlanak a felszínre, vagy felszínközeli, és langyosvizes anomáliákat okoznak. A terület elvi hidrogeológiai rendszerének sematikus ábráját mutatja be az 1. ábra.



1. ábra A Tokjai-hegység koncepcionális áramlási modellje

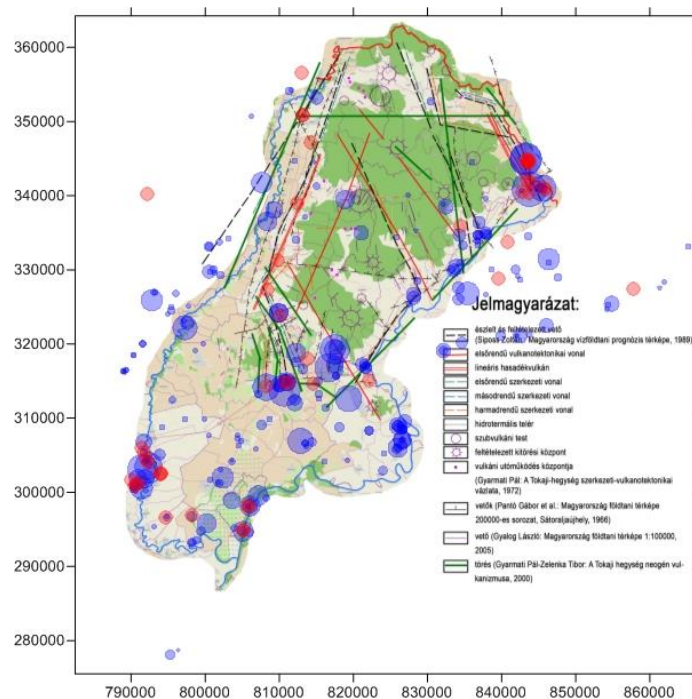
Látható, hogy a hegység területén a kelet-nyugati és észak-déli irányban is hasonló módon megy végbe a felszín alatti áramlás. Az áramlási pályák pontos ismerete azonban elengedhetetlen a pontos modell felállításához. Az áramlási pályák pontosítása érdekében három módszer áll rendelkezésünkre:

1. A kutak és források vizének hőmérsékleti értékei
2. A kutak és források vizéből vett minták vízkémiai összetétele
3. A kutak és források vizéből vett minták izotópos korbecslése alapján

### 2.1. Áramlási pályák pontosítása geotermikus adatok alapján

A hegység területén több száz kút és forrás található, melyek vizsgálatával sok információt kaphatunk a terület hidrogeológiai viszonyairól. A területen található kutak és források adatait több adatbázis is tartalmazza, de egységes, csak a Tokaji-hegységre vonatkozó, összesítés mindezidáig nem történt. A projekt során összegyűjtöttük a kutak és források legfontosabb hidrogeológiai adatait egy egységes adatbázisba, s saját mérésekkel is

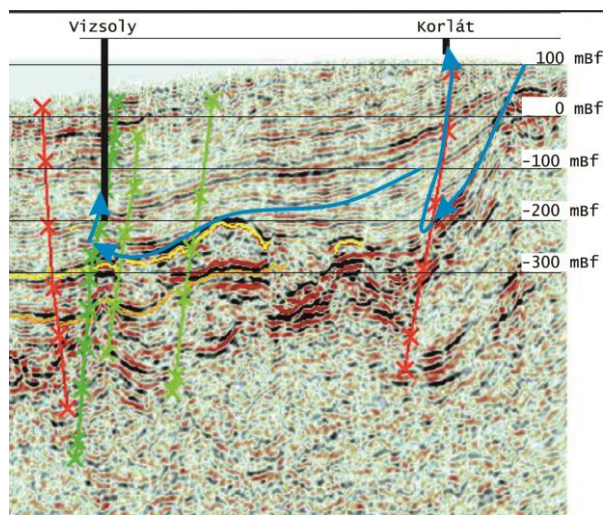
kiegészítettük, ahol ez szükséges volt [4]. A hidrogeológiai adatbázis így több száz geotermikus adattal rendelkezik, melyek alapján elmondható, hogy a hegység belső, magasabban fekvő területein főként a hideg vizes, lokális áramlási pályával rendelkező rendszerek a jellemzőek, a peremi részeken viszont a felszín alatti víz a mélyebb, regionális áramlási pálya miatt képes felmelegedni, s a feláramlást követően langyos vizes anomáliákat okoz. A 2. ábrán a Tokaji-hegység kútjainak látszólagos geotermikus gradiensét ábrázoltuk a hegységről készült szerkezetföldtani térképeken. A felszín alatti víz mint említettük csak törésekben, hasadékokban képes áramlani, így elengedhetetlen a törésvonalak ismerete a területen. A langyos vizet szolgáltató kutak vizének hőmérséklete nem jellemzi a szűrőzött réteg geotermikus gradiensét, mivel a kutakba áramló víz eredete egy mélyebb vízáadó réteg, melyből hasadékok mentén, a hidrosztatikus nyomás következtében feláramlik. Ezért nem használható ebben az esetben a szokványos geotermikus gradiens, csupán a látszólagos, mely a szűrőzött réteg hőmérsékletét a víz hőmérsékletével azonosnak veszi. Ez nem a tényleges állapotot jelöli, de jó nyomjelző a feláramló, mélységi vizeket szűrőzött kutak lehatárolásában. Az ábrán a kutak látszólagos geotermikus értékei láthatóak, minél nagyobb az érték, annál nagyobb a kör átmérője. A  $10\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ -nél nagyobb értékkel rendelkező kutak esetén pedig piros színű kört alkalmaztunk.



2. ábra A Tokaji-hegység kútjainak látszólagos geotermikus gradiens értékei

A 2. ábrán látható, hogy a nagy látszólagos geotermikus gradienssel rendelkező kutak mindegyike egy-egy törésvonal mentén helyezkedik el [3]. Ezen kutak vizének áramlási pályája azonban nem ismert. A területéről korábban készített szeizmikus szelvények, és a kutak szűrőzési hőmérséklet értékei alapján azonban következtethetünk bizonyos összefüggésekre. A hegység nyugati peremén elhelyezkedő Vizsoly és Korlát települések mindegyike rendelkezik egy-egy langyos vizet adó kúttal. A kutak szűrőzésén beáramló vizek hőmérséklet értékei jóval magasabbak, mint ahogy az a geotermikus gradiens alapján indokolható. Ennek oka az, hogy a vizek eredeti vízáadó rétege jóval mélyebben található, és a meleg víz egy repedés mentén feláramlik a kút szűrőzéséhez. A szűrőzési hőmérséklet és a Magyarország általános geotermikus gradiense ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) alapján megbecsültük a kutak vizének

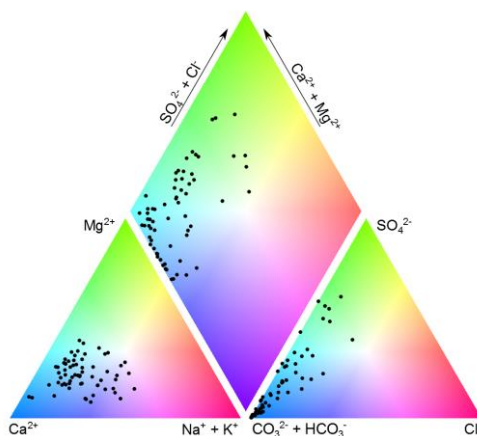
termáját, azaz, hogy milyen mélyre kell az áramlás során leszivárogniuk, hogy ilyen hőmérséklettel rendelkezzenek. A területről készített szeizmikus szelvények alapján megállapítható, hogy a kutak termája egybe esik a felszín alatti első andezites lávakőzetréteggel. Ezek alapján megállapítható, hogy a beszivárgó vizek csupán eddig a réteig áramlanak le, majd egy repedés mentén a kutakhoz (3. ábra).



3. ábra A vizsolyi és korláti kutak áramlási rendszere

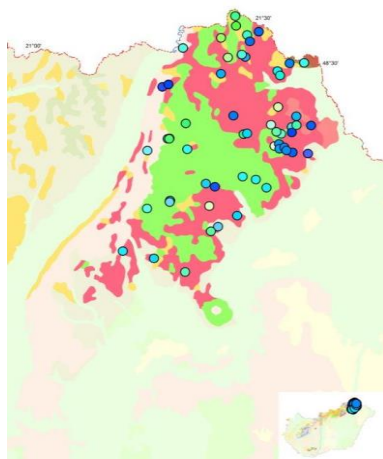
## 2.2. Áramlási pályák pontosítása vízkémiai adatok alapján

A kutak és források vizének vízkémiai összetételét több adatbázis is tartalmazta, melyeket előzetesen egységes adatbázisba rendeztünk, és saját mérésekkel is sikerült kiegészítenünk. A hegység vizei általában kevés oldott ásványi anyaggal rendelkeznek. Főként kalcium-szulfát-hidrogénkarbonátos vizek a jellemzőek. A magnéziumtartalom és kloridtartalom igen alacsony. Az áramlási pálya hossza és mélysége azonban befolyásolja a vizek ásványi összetételét. Egyrészt a tartózkodási idő, másrészt a nagyobb hőmérséklet okozta nagyobb oldódási kapacitás, valamint a mélység felé módosuló ásványi összetétel. A kutak és források vízkémiai adatait a jobb átláthatóság érdekében Piper-diagramban ábrázoltuk, mely a vizek kation és anion összetétele alapján helyezi el a vizeket egy rombuszdiagramban. Az értelmezhetőség növelése érdekében a Piper-diagramot továbbfejlesztettük a HSV színrendszerrel, mellyel a Piper-diagramban lévő vízkémiai eredmények mindegyikéhez egyedi színekkel rendelünk (4. ábra) [2].



4. ábra A Piper-diagramm HSV színekkel ábrázolva

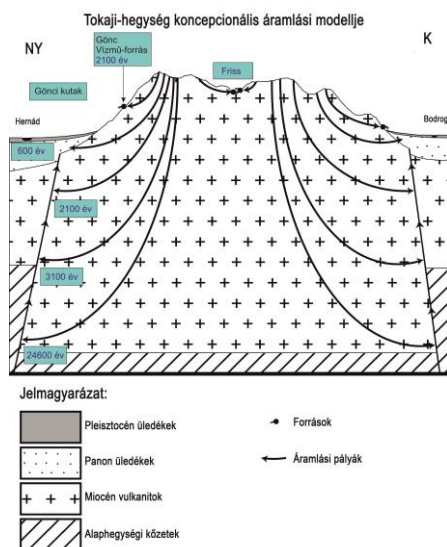
A HSV színrendszerben a mérési eredményeket színárnyalat (H - Hue), telítettség (S - Saturation) és világosság (V - Value) alapján azonosítottuk. Az így kapott színeket ezután a földtani térképen ábrázoltuk (5. ábra). Látható, hogy míg a pirossal jelzett andezites területeken a sötétkék színek dominálnak, azaz a hidrogénkarbonátos-kalciumos vizek, addig a zölddel jelzett riolitos területeken a szulfátos-hidrogénkarbonátos minták a jellemzőek.



5. ábra A Tokaji-hegység földtani térképe a hegység forrásainak vízkémia összetételének tükrében

### 2.3. Áramlási pályák pontosítása izotópos vízkor meghatározás alapján

A hegység kútjaiból és forrásaiból vett vízminták izotópos kormeghatározása is fontos információkat adhat az áramlási pályákról. Fontos megjegyezni, hogy ezek csak látszólagos korok, mivel a vizek keveredése miatt nehézkes a pontos kort megbecsülnünk. A hegység koncepcionális áramlási modelljének bizonyítására a legjobb mintaterület Gönc, ahol néhány száz méteren belül több kút is telepítve van egymástól eltérő szűrőzési mélységben. A kutakból vett vízminták izotópadatai (trícium,  $O^{18}$ ,  $C^{14}$ ) alapján végeztünk korbecslést, s az eredmények is bizonyítják a koncepcionális áramlási modellt (6. ábra).



6. ábra A Tokaji-hegység koncepcionális áramlási modellje a vízkor eredményekkel



Látható, hogy a mélység felé haladva nő a víz kora, mivel egyre nagyobb a víz által megtett áramlási pálya. Míg az 50 méteres kút által kitermelt víz kb. 600 éves mindössze, addig a 900 méteres kút vize több mint 24000 éves.

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A Tokaji-hegység területe mindeztidáig kiesett a részletes hidrogeológiai kutatások alól. Ennek okai a terület komplex geológiai felépítése, a bonyolult áramlási rendszerek, és a kevés geotermikus potenciálúnak feltételezett terület voltak. A hegység területén azonban a feltételezettnél nagyobb geotermikus potenciállal rendelkezik. Ennek pontos meghatározása érdekében elkészítettük a hegység földtani és hidrodinamikai modelljét, mellyen a hegység áramlási pályáit tudjuk ábrázolni. Az áramlási pályák pontosítása, kalibrálása elsődleges fontosságú a realisztikus modell felállítása érdekében. Ehhez a kutak és források geotermikus paramétereit, vízkémiai összetételét és izotópos korbecslési eljárásait használtuk fel. A célunk a továbbiakban egy olyan metódus elkészítése, mely ezeket egyesítve ad pontosabb képet az áramlási pályákról.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0003 jelű projekt részeként, Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KISS G.:** *A Zempléni Tájvédelmi Körzet; A hegység elnevezése, lehatárolása és tájai*; Eger, Bükki kiadó, pp. 9-12., 2007.
- [2] **LUK P.:** *A Background Color Scheme for Piper Plots to Spatially Visualize Hydrochemical Patterns*. Groundwater, Volume 52, Issue 1, pp.1-6., 2013.
- [3] **SZÓFOGADÓ P.:** *A göncz-szerencsi törés vízföldtani jelentősége, különös tekintettel az abaujszántói strandfürdő vízellátására*; Hidrológiai közlöny, 1961. (41. évf.) 2. sz. 145-148 o.
- [4] **SZÚCS P.:** *Hidrogeológia a Kárpát-medencében – hogyan tovább?*; Magyar Tudomány 5:554-565, 2012

## DUÁLIS KÉPZÉS A DEBRECENI EGYETEM GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPSZAKÁN

### DUAL TRAINING IN MECHANICAL ENGINEERING BSC AT UNIVERSITY OF DEBRECEN

**Mankovits Tamás<sup>1</sup>, Ráthy Istvánné<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>főiskolai tanár

Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

[tamas.mankovits@eng.unideb.hu](mailto:tamas.mankovits@eng.unideb.hu), [rathyne@eng.unideb.hu](mailto:rathyne@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A Debreceni Egyetem Műszaki Kara 2013-ban eldöntötte, hogy a gépészmérnöki alapszakon a 2015/2016-os tanévtől bevezeti a duális képzést. Jelen tanulmány a bevezetés folyamatát ismerteti és azt, hogy milyen fő lépéseken keresztül jutottunk el odáig, hogy a partnervállalatainkhoz több, mint háromszoros lett a túljelentkezés erre a gyakorlatorientált képzésre.

**Kulcsszavak:** duális képzés, gépészmérnöki alapszak, Debreceni Egyetem Műszaki Kar

**Abstract:** Introducing dual training in Mechanical Engineering BSc from the academic year 2015/16 was decided at Faculty of Engineering, University of Debrecen in 2013. This paper presents the introduction process of this practice-oriented training and the main steps which led to the present situation that the number of applicants is three times over the limit at our partner companies.

**Keywords:** dual training, Mechanical Engineering BSc, Faculty of Engineering, University of Debrecen

## 1. BEVEZETÉS

A termelővállalatokra egyre inkább jellemző, hogy azonnal használható gépészmérnököket keresnek, olyanokat, akiknek tapasztalatuk, gyakorlati ismeretük van, jártasak a csoport és projektmunkában, továbbá megfelelőek a kommunikációs, valamint a problémamegoldó készségeik. Mindemellett az is alapvető elvárás, hogy kiváló szakmai nyelvismerettel rendelkezzenek.

Valljuk be, hogy a jelenlegi egyetemi oktatás túlságosan elméleti, amely persze összefügg a korszerűtlen labor- és eszközparkkal, jellemző továbbá, hogy az oktatók ipari tapasztalata mérsékelt. Mindemellett az is igaz, hogy a tantervek nem illeszkednek az ipari elvárásokhoz sok esetben. A friss diplomával kikerülő pályakezdő mérnökök esélyei így a munkaerőpiacon jóval mérsékeltebbek, mint a tapasztalattal rendelkező mérnököké. Ez természetes, ám joggal merül fel a kérdés, hogy hogyan szerez tapasztalatot a mérnök, ha pályakezdő? A vállalatok számára a betanítás nemcsak humán erőforrást igényel, hanem pénzt és időt is. A duális képzés felsőoktatásban való bevezetése pontosan ennek a problémának a megoldására hivatott.

A fenti igényeket felismerve a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Gépészmérnöki Tanszéke két autóiipari vállalatnál kezdeményezte a duális képzésben való partnerséget. Mivel ezt a képzést vállalatok nélkül nem lehet elindítani, így nagy örömmel tapasztaltuk a vállalatok pozitív reakcióját.

## 2. DUÁLIS KÉPZÉS A FELSŐOKTATÁSBAN

A magyarországi felsőoktatásban a német mintát alapul véve a Kecskeméti Főiskola volt az, amely 2012-ben elsőként indította el a duális képzést. Azóta az országban számos helyen

indult el hasonló képzés, jellemzően a műszaki tudományterületen. Az Emberi Erőforrások Minisztériuma Felsőoktatásért Felelős Államtitkársága által 2014-ben kiadott „Fokozatváltás a felsőoktatásban” c. tanulmánya is részletesen foglalkozik a duális képzéssel, annak szükségességével. A duális alapképzésben részt vevő hallgatók arányát a releváns képzési területeken, így a gépészmérnöki alapszakon 2020-ra a Magyar Kormány 8%-ra szeretné növelni [1]. Ez a kormányzati szándék is jól mutatja, hogy a Debreceni Egyetem Műszaki Kara jól döntött ebben a kérdésben.

A duális felsőoktatás a felsőoktatási intézmények és az érintett iparvállalatok együttműködésén alapuló, gyakorlatorientált képzés. A minőségi elméleti tudás mellett gyakorlati tapasztalatokkal és készségekkel rendelkező fiatal szakemberek képzését szolgálja ez a modell. Az egyetem és a vállalat a képzés időtartamán osztozik. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy az alapképzés képzési idejének (3,5 év) közel felét a vállalatnál tölti a hallgató. Az egyetem feladata elsősorban az elméleti-, míg a vállalat feladata a gyakorlati képzés. A hallgató és a vállalat között munkaszerződés jön létre, ahol a hallgató vállalása a mintatanterv szerinti haladás, míg a vállalat pénzbeli juttatást és gyakorlati képzőhelyet biztosít. A képzés egyértelmű előnye, hogy a végzett hallgatók már rendelkezni fognak a munkavégzéshez szükséges szakmai és személyes készségekkel és azonnal használható munkaerővé válik, mindenfajta továbbképzés és anyagi ráfordítás nélkül.

### 3. A DUÁLIS KÉPZÉS RÉSZTVEVŐI

Elmondható, hogy a duális képzés tipikus win-win szituáció, hiszen annak résztvevői mind profitálnak a képzés jellegéből adódóan. A duális képzésben tanuló hallgató vállalati képzéseken vehet részt, és ipari gyakorlati jártasságot szerez. Eközben a modern technológiákat tanulmányozza, rendszeres jövedelmet kap, s feltehetően a végzéskor teljes értékű és lojális munkavállalóvá válik. A duális képzésben résztvevő vállalatok olyan hallgatókat kapnak, akik a tanulmányok során már jövedelemtermelő tevékenységet is tudnak folytatni, végzéskor pedig versenyképes és elkötelezett mérnökök válnak belőlük. A vállalatoknak nem kell erőforrásokat befektetni a betanításra. A duális képzés magával vonja, hogy az ipari partner szoros kapcsolatban van a felsőoktatási intézménnyel, így jó esetben a képzést is igényei szerint alakíthatja. A képzést indító felsőoktatási intézmény is folyamatosan fejlődik a duális képzésben, hiszen a vállalattól folyamatos visszacsatolást kap. Ennek eredménye a minőségi, színvonalas és gyakorlatorientált képzés. A duális képzés rendkívül népszerű a diákok körében is, így azon intézmény, aki ilyen képzést indít jellemzően jobb képességű hallgatókat tud beiskolázni. Szerencsés esetben a hallgatói jelentkezés is nagymértékben növekszik.

### 4. A DUÁLIS KÉPZÉS BEVEZETÉS A GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPSZAKON

Mivel a régióban is jelentős az igény gépészmérnökökre, így pilot jelleggel a gépészmérnöki alapszakon kezdtük el a duális képzés rendszerének kialakítását. 2013-ban tárgyalást folytattunk a debreceni FAG Magyarország Ipari Kft-vel és az egri ROBERT BOSCH Automotive Steering Kft-vel (volt ZF Lenksysteme Hungária Kft.) arról a szándékunkról, hogy német mintákon alapuló duális képzést kívánunk beindítani. Mindkét autóiipari beszállító német tulajdonú, így nem volt ismeretlen számukra ez a képzési forma. Többkörös tárgyalás eredményeként közösen eldöntöttük, hogy belevágunk. A tárgyalások során jeleztük, hogy egy új, kimondottan a duális képzést szolgáló járműipari folyamattervező specializáció indításában is gondolkozunk és várjuk a vállalati igényeket a specializáció tartalmát illetően. 2014-ben több olyan vállalatot is felkerestünk személyesen, akikkel

valamilyen formában van együttműködésünk, ennek eredményeként további vállalatok jelezték érdeklődésüket. Természetesen felvettük a kapcsolatot a Kecskeméti Főiskola szakértőivel is, hogy tapasztalatokat gyűjtsünk.

2014. október 9-én a Műszaki Karon Duális Képzés Konferenciát szerveztünk (1.a ábra), amelyen számos vállalatvezető és középiskolai igazgató vett részt. A konferencia célja az volt, hogy a vállalatok és középiskolák információkat szerezzenek a duális képzésről, illetve megismerhessék a Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék terveit a 2015 szeptemberétől induló képzéssel kapcsolatban [2].

2014. október 16-án a Műszaki Karra szervezett Duális Képzés Workshop-on (1.b ábra) 295 pályaválasztás előtt álló középiskolás tanuló előtt mutathattuk be a gépészmérnöki alapszakon tervezett duális képzésünket [3]. A tájékoztató mellett 6 partnercégünk is bemutatkozhatott.



a,



b,

1. ábra Képek a Duális Képzés Konferenciáról és a Duális Képzés Workshop-ról

Számos egyeztetés eredményeként véglegessé vált a duális képzési modellünk, amelyet illeszteni kellett a hagyományos tanrendünkhöz. Mindeközben az egyetemi, kari és a tanszéki honlapokra is felkerültek az információk. A debreceni duális modell szerkezete a 2. ábrán látható.



2. ábra A debreceni duális modell [4]

Megfigyelhető, hogy a teljes képzési idő alatt (7 félév) párhuzamosan folyik az elméleti és a gyakorlati képzés, az év elméleti és gyakorlati hetekre van osztva. A gyakorlati képzést a Debreceni Egyetem Műszaki Kar partnervállalatai biztosítják, melyek a régió legkiemelkedőbb ipari vállalatai közé tartoznak. Látható, hogy a képzést a hagyományosnál jóval hosszabb vállalati gyakorlat jellemzi [5].

2014 év végére a Felsőoktatásért Felelős Államtitkárság által előkészített együttműködési megállapodás alapján 10 vállalattal (1. táblázat) kötöttünk megállapodást a duális képzésre.

Ezt a Debreceni Egyetem Szenátusa is jóváhagyta. A 2015/16-os tanévre összesen 36 hallgatót várnak a vállalatok. Az igények alapján két specializációra tervezzük a duális hallgatók fogadását. 2015 januárjában nyílt napok és iskolalátogatások keretében sikerült sok helyen bemutatni a duális képzésünket, amelyen számos végzős középiskolai tanuló és iskolavezető vett részt. Azóta a vállalati tantervek is elkészültek, jelenleg pedig a vállalati felvételi folyik.

Vállalat neve	Vállalat telephelye	Specializációk
Aventics Kft.	Eger	járműipari folyamattervező
Diehl Aircabin Hungary Kft.	Nyírbátor	járműipari folyamattervező
FAG Magyarország Ipari Kft.	Debrecen	járműipari folyamattervező, üzemeltető-karbantartó
HAJDU Hajdúsági Ipari Zrt.	Téglás	üzemeltető-karbantartó
Manz Hungary Kft.	Debrecen	járműipari folyamattervező
Robert Bosch Automotive Steering Kft.	Eger	járműipari folyamattervező
SPM Instrument Budapest Kft.	Budapest	üzemeltető-karbantartó
Takata Safety Systems Hungary Kft.	Miskolc	járműipari folyamattervező
Tranzit-Food Kft.	Debrecen	üzemeltető-karbantartó
ZF Hungária Kft.	Eger	járműipari folyamattervező

#### 1. Táblázat A Debreceni Egyetem Műszaki Kar duális partnerei

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A munka eredményeként a 2015/2016-os tanévre 115 jelentkezést regisztráltak a vállalatok, amely indulásnak kiváló. Jelenleg abban bízunk, hogy a jelentkezők meg fogják felelni a vállalati elvárásnak, s mind a 36 helyet fel tudjuk tölteni. A kar tervei között szerepel a jövőben a műszaki menedzser alapszakon is bevezetni a képzési formát, illetve szélesebb partneri kört kialakítani.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkaalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.kormany.hu/download/d/90/30000/felsőoktatási%20konceptio.pdf>
- [2] **MANKOVITS, T.**, *Duális képzés a Debreceni Egyetem Műszaki Kar gépészmérnöki alapszakán*, Duális Képzés Konferencia, Debrecen, 2014.10.09.
- [3] **MANKOVITS, T.**, *Duális képzés gépészmérnöki alapszakon a Debreceni Egyetem Műszaki Karán*, Debrecen, 2014.10.16.
- [4] **MANKOVITS, T.**, *Duális képzés a Debreceni Egyetem Műszaki Kar gépészmérnöki alapszakán*, MUNDO Szakember találkozó, Debrecen, 2015.04.21.
- [5] <http://www.eng.unideb.hu/userdir/gepesz/old/index.php/hu/a-dualis-kepzesrl>

## HELIKOPTER TÍPUSVÁLTÁS LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI MAGYARORSZÁGON

## POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF HELICOPTER TYPE CHANGING IN HUNGARY

### Bene Martina

honvéd-tisztjelölt, egyetemi hallgató  
NKE HHK KÜI Katonai Repülő Tanszék  
martinabenehackl@gmail.com

### Óvári Gyula

egyetemi tanár  
NKE HHK KÜI Katonai Repülő Tanszék  
ovari.gyula@uni-nke.hu

### Palik Mátyás alezredes

tanszékvezető, egyetemi docens  
NKE HHK KÜI Katonai Repülő Tanszék  
palik.matyas@uni-nke.hu

**Kivonat:** A forgószárnyas légi járművek Magyarországi helyzete napjainkra egyre kritikusabbá vált. Am, az utóbbi években már többször, miniszteriális szinten is deklarált beszerzés ügyében nem született döntés, így a tender kiírása is várat magára. Az már világossá vált, hogy hosszú távú, gazdaságos megoldást kell találni a bevált repülőeszközök pótlására. Erre már több ajánlatot kapott az országunk külföldi gyártóktól. Nyilvánvalóan döntően olyan típust célszerű preferálni, amely valamennyi potenciális felhasználó igényeit - lehetőleg maradéktalanul – kielégíti; reálisan azonban az is megállapítható, hogy minden feladatkörre egyaránt alkalmas típus nem létezik. Így megfontolandó esetleg két, lehetőleg azonos gyártótól származó típus választása, beszerzése.

**Kulcsszavak:** Helikopter, Típusváltás, Gyártó, Felhasználó

**Abstract:** The situation of rotorcraft has become increasingly critical in Hungary. However, in recent years, the procurement was declared several times, also at ministerial level, no decision was made, so the tender process has not materialized. It became clear, that we have to find a long-term, economical solution to replace the proven flight instruments. There are already several offers from foreign manufacturers. Obviously, we should prefer a type which meets the needs of all potential users – preferably completely – however, it is also clear, that there is no suitable type for all responsibilities. So it should be considered to select and acquire two types, preferably from the same manufacturer.

**Keywords:** Helicopter, Type changing, Manufacturer, User

## BEVEZETÉS

A téma aktualitását és fontosságát igazolja, hogy szaporodnak a médiában is a hazai helikopterek egyre csökkenő számáról és/vagy hátralévő üzemidejéről, lehetséges alkalmazhatóságáról, de főleg az utóbbi korlátairól szóló híradások. Az erősen megcsappant számú üzemképes helikoptereink pótlására az illetékeseknek rövid időn belül, lehetőség szerint évtizedekre szóló, megnyugtató megoldást kell találniuk. Az elmúlt időszakhoz képest

várhatóan csökkenő honvédségi darabszám-igény, a gazdaságossági megfontolások fontossága, a különböző alkalmazási területek (hon-, katasztrófa-, tűz-, rend-, határvédelem, stb.) közel azonos időben jelentkező beszerzési szükségleteinek közös áttekintését célszerűsíti. Ráadásul az előzőekben felsorolt alkalmazási körökben az állami célú légiközlekedés folyamatos biztosítását törvények írják elő, amiben a forgószárnyas légi járművekre vonatkozó feladatok nagy része más eszközökkel kiválthatatlan, így akár időszakos hiányuk is megengedhetetlen. Ennek ellenére, az ehhez szükséges tender kiírása már évek óta késik.

Könnyen belátható a technika szükségessége, ha a függőleges le- és felszállás, vagy az akár függésben történő munkavégzés képességét vizsgáljuk. E tulajdonságok elengedhetetlenek például a mentő, kutató-mentő, határőrizeti, deszant, árvíz- és egyéb katasztrófavédelmi feladatok ellátásánál. Ennek fontossága az évek során hazánkban számtalanszor bebizonyosodott, mint ahogy az is, hogy meglévő helikoptereink e feladatokat példaértékűen el tudták látni és ezzel életet és értéket mentettek, nem egyszer. Sajnos azonban a folyamatosan fogyatkozó technikai állomány következtében ez egyre nehezebb.



1. ábra. Mi-8T [Óvári Gy: Helikopter szerkezetten: I (multimédiás tansegédlet, kézirat) ZMNE 2009].

Magyarországon a földrajzi és éghajlati viszonyok miatt, rendszeresen számítani kell árvizekre. Ilyenkor hatékony segítséget nyújtanak a védekezésben a jelentős teherbírású, emiatt is nélkülözhetetlen forgószárnyas repülőgépek. Lassan ez a képesség a segítségnyújtás is veszélybe kerülhet az erősen lecsökkent üzemképes darabszám miatt.

A katonai felhasználás mellett, a helikopterek szerepe a polgári légiközlekedésben, a mezőgazdaságban, az iparban (levegőből végezhető munkák során), az egészségügyben, a katasztrófavédelemben, valamint a rendőrségi területen is növekszik. Ezért fontos, hogy az új, kiválasztandó váltó típus, e feladatok ellátására is alkalmas legyen. A helikopterek beszerzésére és fenntartására, üzemeltetésére fordítható összeg korlátozott. Így az új forgószárnyas légi járműveknél figyelembe kell venni várható fenntartásuk, működtetésük költségeit is.

A perspektivikus beszerzésnél alapvetően az ellátandó feladatok pontos tisztázását követően az ezek ellátásához megfelelő helikopter kategória(ka)t, majd ezen belül szükséges darabszám(ka)t szükséges meghatározni. Ahhoz, hogy korszerű és igényeinknek megfelelő, típusok kerüljenek rendszerbe a szakma véleményét lényegesen nagyobb súllyal célszerű mérlegelni.

## 1. JELENLEG RENDSZERBEN LÉVŐ TÍPUSOK

### 1.1 Katonai Szállító helikoptereink: MI-8/17 [14] [18] [19] [25]

A Mil-gyár legjobban elterjedt, hat évtizede használt típusa a Mi-8-as közepes szállítóhelikopter<sup>1</sup>. Hagyományos, egy forgószárnyas, faroklégcsavaros kialakítású, nem behúzható futóművekkel, sárkánya félháj szerkezetű. Két darab szabadturbinás TV2-117-es hajtómű működteti forgószárnyát és faroklégcsavarját. Hatótávolsága egy, vagy két darab tehertérbe rögzíthető póttartállyal növelhető. Tűzoltó rendszere a hajtóművek, a főreduktor, a kifogyasztótartály és a KO-50-es fűtőberendezés terében keletkező tüzek oltására szolgál. Jégtelenítő rendszere a hajtóművek beömlőnyílásainak, és előperditő lapátkoszorúinak, a forgószárny és a faroklégcsavar lapátjainak jegesedése elleni automatikus működést biztosítja. Háromfős személyzete kiegészülhet egy ejtőernyős képzettségű operátorral csörlési feladatokhoz.

A legismertebb két alapváltozat a Mi-8T vagyis teher és a Mi-8P azaz utasszállító változat (2. ábra). A T-változatoknak egy oldalajtaja van, hátsó tehertér ajtajának szárnyai repülés közben 15°-ra kinyithatóak, de akár repülés előtt le is szerelhetőek. Négycsatornás robotpilótával rendelkezik. Csörlőjével 150 kg teher emelhető, de segítségével akár 3000 kg-os teher is bevontatható a tehertérbe. 24 fő vagy 3 tonna külső függesztmény szállítására alkalmas. Kutató-mentő, deszant szállító, VIP, katasztrófa és árvízvédelmi feladatokra egyaránt használhatók, mint ahogyan ezt már számos alkalommal bizonyították hazánkban is. Egészségügyi változatában 12 hordágy helyezhető el, plusz egy ápoló utazhat a tehertérben. Számára többek közt asztal, leszerelhető ülés, mosdó áll rendelkezésre.



2. ábra Mi-8T és Mi-8P helikopterek [Óvári Gyula, dr.: Helikopter szerkezetten: I (multimédiás tansegédlet, kézirat) ZMNE 2009.]

Mi-8-asaink üzemidejének hosszabbítása (a későbbiekben lesz szó e fogalom jelentéséről) régóta csak részlegesen lehetséges, ugyanis a korszerűtlenné vált, előregedett TV2-117-es hajtóművek gyártása befejeződött, pótlásukra pedig sem nyugatról, sem keletről nem volt ajánlat, így ezeket naptári üzemidejük végén ki kellett vonni a rendszerből.

<sup>1</sup>A Mi-17-es az orosz rendszerben Mi-8MT(V) helikopter export változatának jelölése. Ezt a légijárművet Mi-24-esben is használatos, TV3-117-es hajtóművel látták el.





3. ábra – Magyar Mi-17-es [www.legiero.blog.hu]

A Mi-17-es modifikációk (3. ábra) legjelentősebb különbsége a Mi-8-asokhoz képest, hogy a nagyobb teljesítményű TV3-117-es hajtóművel látták el és a nagyobb teljesítmény elviselésére sárkányszerkezetét, közlőművét megerősítették. Faroklégcsavarját a végtartó ellenkező oldalára helyezték át, hajtóműveit idegentárgy beszívása ellen egy-egy porkiválasztó védi.

<b>Hosszúság (m)</b>	18,17	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	210
<b>Magasság (m)</b>	5,65	<b>Max sebesség (km/h)</b>	245 (Mi-17 250)
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	21,29	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	4,5 (Mi-17 9)
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	12000 (Mi-17 13000)	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1482 LE (Mi-17 2x1950 LE)
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	24/24	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	1870
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	3000/2200 (Mi-17 4000/2200)		

1. táblázat – Mi-8 (Mi-17) főbb műszaki adatai

Sajnos ezek a repülő eszközök, főleg a Mi-8-asok már nem működtethetőek hosszú távon. Mindenképp nagyjavításra és lehetőség szerinti modernizációkra szorulnának, de mindegyiket ezzel sem lehetne „megmenteni” a rendszerből való kivonástól. Ugyan nincs információ arról, hogy mi lenne a jelenlegi flotta sorsa egy esetleges beszerzés után, de feltételezhető, hogy addig üzemelnének, míg gazdaságosan megoldható üzemben tartásuk.

## 1.2 Mentő helikoptereink: EC135 T2 CPDS [21]

Az AS350B egyhajtóműves könnyűhelikoptert váltva – tekintve, hogy az Európai Unió-s jogszabályoknak megfelelően egy hajtóművel rendelkező forgószárnyasok nem repülhetnek sűrűn lakott területek fölött – szolgál jelenleg az EC135 T2 CPDS típus.

A több célra alkalmazható, kéthajtóműves, könnyűhelikoptert a Eurocopter Deutschland (ma Airbus Helicopters) tervezte, a Messerschmitt-Bölkov-Bohm (MBB) BO105/108 alapján, a jövőbeni megrendelők bevonásával. A beszállást, beszállítást két előrenyíló, két csúszó, illetve két kétfelé nyíló ajtó teszi lehetővé. Személyzete három főből, a pilótából, egy orvosból és egy ápolóból, vagy mentőtisztből áll. Két darab Turbomeca Arrius 2B2 típusú hajtóművel szerelt, de egy üzemképes hajtóművel is biztonságosan fejezheti be megkezdett feladatát. Széles hőmérsékleti tartományban üzemeltethető, akár 6095 m-es magasságig is. Alacsony zaj és vibrációs szintje a „Fenestron” ventilátor kialakítású faroklégsavarnak és az új fejlesztésű forgószárny-agyrendszernek köszönhető. A hazánkban szolgálatot teljesítő EC135 T2 CPDS-ek mindegyike analóg alaplétszereltségű, rádió navigációs felszereltséggel rendelkezik. A beépített mozgótérképes GPS navigációs rendszer segíti a mentőszolgálat munkáját.



4. ábra – EC135 T2-es [www.repulnijo.hu]

Am a hét darab helikoptert licence szerződéssel használjuk, mely 2016 tavaszán lejár, így az új beszerzési tender kiírása egyre sürgetőbb.

<b>Hosszúság (m)</b>	12,16	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	240
<b>Magasság (m)</b>	3,51	<b>Max sebesség (km/h)</b>	284
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	10,2	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	7,62
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	2910	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x435 kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	7/-	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (kg)</b>	
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	1300/		

2. táblázat – EC135 T2 CPDS főbb műszaki adatai

### 1.3 Rendőrségi helikoptereink: AS355 [22]

A korábbi Mi-2-es, illetve az MD500E típusú forgószárnyasokat váltva, jelenleg bérleti szerződéssel AS355-ösök végzik a különböző légirendészeti feladatokat, kiemelt figyelemmel a határrendészeti megfigyeléseket.

Az Airbus Helicopters e kéthajtóműves típusa a háromfős személyzeten kívül két fő szállítására alkalmas. Műszerezettsége lehetővé teszi mind a nappali, mind az éjszakai feladatok végrehajtását. Felszereltségéhez tartozik a nagyteljesítményű fényszóró, a normál- és hőkamera, illetve a kamerák által látott kép rögzítésére alkalmas berendezés. Az éjszakai repülési feladatok során, a repülésbiztonság és a kutatás hatékonyságának növelése érdekében a helikoptervezetői éjjellátó készüléket használnak, kiegészítve ezzel a kutató berendezést kezelő operátor munkáját. Bevetések során az egység munkáját egy nagy helyismerettel rendelkező határrendészeti szakember segíti a fedélzeten.

<b>Hosszúság (m)</b>	12,94	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	224
<b>Magasság (m)</b>	3,14	<b>Max sebesség (km/h)</b>	278
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	10,69	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	6,5
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	2540	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x 313kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	6/-		

3. táblázat – AS355 főbb műszaki adatai



5. ábra – AS355-ös [

## 2. VIZSGÁLT MEGOLDÁSI LEHETŐSÉGEK [6]

Több lehetőség nyílik az előregedett, selejtezésre váró repülőeszközök pótlására, az üzemeltető igényeinek, illetve pénzügyi lehetőségeinek megfelelően. Lehet vásárolni új, vagy használt járműveket, bérelni, lízingelni, esetenként önerőből, de kooperálva gyártani. Utóbbiak a magyar realitások jegyében nem vehetőek számításba.

Előnyös lenne olyan megoldás keresése, mely megnyugtató eredménnyel szolgál a rendszerből kivont forgószárnyas repülőeszközök pótlására. Erre a sajtóban felröppent hírek alapján voltak is kezdeményezések.

Hivatalosan bejelentették, hogy a kormány 2014-ben tendert kíván kiírni helikopterek beszerzésére, ami 2015 első félévében sem valósult meg, de a HM 172 milliárd Ft-ot ígért erre az évre. Elképzelések szerint az ORFK (Országos Rendőr Főkapitányság) Légirendészettel, a katasztrófavédelemmel, a TEK-vel (Terrorelhárítási Központ) és az OMSZ-szel (Országos Mentő Szolgálat) együttműködve összeállít egy követelményrendszert, mely hosszútávra megoldhatja a helyzetet. Általánosságban fogalmaztak meg kritériumokat éppen azért, hogy a lehető legtöbb gyártó ajánlatot tudjon adni számunkra. Reálisan, optimális esetben, magyar lajstromjelű, használható forgószárnyas légi jármű leghamarabb 2017-2018 körül szállhat fel.

Vizsgáljuk meg a számításba vehető megoldásokat.

## 2.1 Sikorsky [2] [9] [20] [27] [28]



6. ábra – Sikorsky S-70 [Óvári Gyula. dr.: Helikopter szerkezettan: I (multimédiás tansegédlet, kézirat) ZMNE 2009.]

A Sikorsky Aircraft az amerikai hadsereg egyik fontos beszállítója, az Amerikai Egyesült Államokban több, mint 30 éve használják a Black Hawk (8. ábra) helikoptercsalád különböző változatait. Az UH-60-as, vagy ennek lengyelországi gyártású S-70-es Black Hawk változata is egy számunkra megfontolható megoldás.

<b>Hosszúság (m)</b>	19,76	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	278
<b>Magasság (m)</b>	5,13	<b>Max sebesség (km/h)</b>	295
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	16,36	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	4,5
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	10660	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1410 kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	-/14	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (kg)</b>	5161
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	1200/3600		

4. táblázat – S-70 főbb műszaki adatai

A lehető legnagyobb biztonságot nyújtja a benne szállítottak számára, és a legszélsőségesebb körülmények közt is biztonságos leszállást tesz lehetővé. Folyamatosan fejlesztik. Tehertere ugyan jóval kisebb a Mi-8-asénál, de teherbírása azonos. Kiemelkedő manőverező képességű, erős helikopter és gyártása előre láthatólag még hosszú időn keresztül folyik pl. az USA-ban, Lengyeországban és Törökországban. A Black Hawk emellett kiválóan alkalmazható szállítási, mentési (kutató-mentő és/vagy MEDEVAC feladatokban is), vagy felderítési műveletekben is.



7. ábra – Sikorsky S-70-esből kötélén ereszkedő katonák [www.planespotters.net]

Az S-92-es nagy befogadóképességű törzsszerkezettel épült (10. ábra), hajtáslánca az UH-60-éval megegyező. Elsősorban civil szállítási feladatokra használják, de katonai változatai is rendelkezésre állnak, megbízható és strapabíró a típus. 2004 óta világszerte több, mint 150 darab ilyen forgószárnyast adott át a gyártó cég. Bevetetőségi mutatója 95 százalékos. Egyszerű üzemeltetési jellemzőit bizonyítja az a tény, hogy az eddig gyártott példányok havonta átlagosan 150 órát repülnek.



8. ábra – Sikorsky S-92 [Óvári Gyula. dr.: Helikopter szerkezettan: I (multimédiás tansegédlet, kézirat) ZMNE 2009.]

Kutató-mentő helikopterként is jól alkalmazható. Felszerelhető többek közt időjárásradarral, digitális videó rögzítővel, kereső fényszóróval és automata repülésirányító programmal. Felszerelhető továbbá egy dupla mentőcsörlő is, a nagyobb hatótávolságot két darab ki- és beszerelhető pót üzemanyagtartály biztosíthatja.

Mindkét típust bemutatatták a budaörsi repülőtéren. Arról ugyan nem esett szó, de annyit elmondtak, hogy az értéket kell nézni és ez az ajánlat az, aminél a vásárló nagyobb értéket kap a pénzéért, mint a versenytárs gyártók helikopterei esetében.

A méretek, a képesség és a felfegyverezhetőség alapján a Sikorsky UH-60 Black Hawk verziói alkalmasak lennének hazai alkalmazásra. A Sikorsky-gyár ajánlata mögött azonban hivatalosan nincs jelen az Egyesült Államok kormánya.

<b>Hosszúság (m)</b>	17,1	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	280
<b>Magasság (m)</b>	4,71	<b>Max sebesség (km/h)</b>	306
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	17,17	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	7,5
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	12020	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1879 kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	19/22	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (kg)</b>	2300

5. táblázat – S-92 főbb műszaki adatai

## 2.2 Az UH-1N „Twin Huey” [3] [4] [5] [7] [11] [12] [26]

Az UH-1H szállítóhelikopter az alaptípus, két hajtóműves, továbbfejlesztett változata az „N” modifikáció. A Bell UH-1 Iroquois amerikai gyártású és fejlesztésű katonai szállító helikopter, elterjedt neve a Huey (9. ábra). 14 fő, vagy 6 hordágy, illetve 2200 kg teher külső függesztményként való szállítására alkalmas.



9. ábra – UH-1N [www.flickr.com]

Az Amerikai Egyesült Államok felajánlása 32 darab, náluk a rendszerből kivont szállító helikopterre vonatkozott. Tájékoztatás szerint átlagosan 8-9000 repült óra állt volna gépenként rendelkezésünkre. Ez körülbelül 25 évi üzemeltetésre elegendő magyar viszonyok közt. Bár ez a típus a világ más országaiban jelenleg is nagy számban repül, mégis kiöregedettnek számít. Valójában semmivel sem fiatalabb a típus, mint a Mi-8-asok.

Azt is figyelembe kell vennünk az ajánlat átgondolásakor, hogy bár a felajánlottak ingyenességet, ám kapott UH-1N-ek egyes értesülések szerint legalább tíz éve leállított, konzervált légijárművek. Így, az alapos átvizsgálást követően, javítások valamint a gyártó által időközben előírt módosítások végrehajtása, illetve berepülés várna rájuk, ami természetesen már a megajándékozott számláját terheli. Csak ezek elvégzése után jöhetnének a további költséges teendők (átszállítás, honosítás, rendszerbe állítás, alkatrészellátása, stb.).

Továbbá kérdéses az is, hogy a felajánlott forgószárnyasok milyen konfigurációjúak, mi számít az ígért „teljes felszereltségnek”, hiszen ez módosíthatja a költségeket. A hajózó és műszaki állomány kiképzésével ~420 millió USD, azaz közel százmilliárd forintba került volna az „üzlet”. Kifejezetten kedvezőtlen költségösszetevő, hogy a későbbi nagyjavítások helyszíne csak az Amerikai Egyesült Államok lehet.

Az ajánlat nagy előnye volt, hogy az első helikopterekhez egy éven belül hozzájuthatna Magyarország, mivel már legyártott példányokról volt szó. Sokáig úgy tűnt, hogy az UH-1N a legesélyesebb típus forgószárnyasaink leváltására, ám a korábban leírt több száz millió dolláros költségekre való tekintettel Magyarország végül visszautasította az ajánlatot.

<b>Hosszúság (m)</b>	17,4	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	201
<b>Magasság (m)</b>	4,39	<b>Max sebesség (km/h)</b>	217
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	14,63	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	8,92
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	4309	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	1x820 kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	14/	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	818
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	1760		

6. táblázat – UH-1N főbb műszaki adatai

### 2.3 Az Agusta [9] [11] [12] [13] [30]

Az előzővel egy időben érkezett az olaszországi ajánlat az Agusta Westland cégtől, melynek anyagi vonzata is közel azonos volt. Ez az ajánlat 18 db AW-139M-es és két AW-119-es kiképző, sorozatgyártásban álló helikopterre vonatkozott (12. ábra).

Ezek elődjének az Agusta-Bell AB-139 többfeladatú könnyű helikopter tekinthető, ugyanis a cég korábban főleg Bell típusú amerikai forgószárnyasok licencgyártását végezte. Miután a Bell a közös vállalatból kilépett, az értékesítés, eladás joga a közösen kifejlesztett termékekre megmaradt az Agusta-nál. Ezután fuzionált a Westland helikoptergyárral, így lett AW-139 a típus jelzése. 50 országban körülbelül 500 darabot adtak át a 2012-es év közepéig a mára kiforrottnak mondható típusból. Az alapvetően civil célokra fejlesztett helikopter terhelhetősége a Mi-8/17-nél és az UH-60-nál kisebb, manőverező-képessége azonban jobb. Több ország mentőszolgálat és rendőrsége sikeresen alkalmazza, egyesek könnyű szállítási, futár, kutató-mentő, sőt felderítő célokra is használják.

Ezek az új generációs, két gázturbinás, könnyű szállító helikopterek elsősorban polgári célra lettek tervezve, ám katonai változatukat is bemutatták már AW-139M megnevezéssel. A kormányzati, katonai és rendvédelmi felhasználók speciális igényeinek megfelelően fejlesztették ki, így jól alkalmazható katasztrófavédelmi célokra is.

Hagyományosan farok légszaváros kialakítású sárkányszerkezetű, két darab nagyméretű oldalajtóval. Orrfutó-főfutós futóműve behúzzható, ugyanakkor el lehet látni nehéz terepen való leszállásokhoz nagy igénybevételekre tervezett futómű rendszerrel is.

A típus jellemzője a kompozit szerkezeti elemek széleskörű és nagyarányú alkalmazása, ami egy sor anyagfáradási és korróziós problémát kiküszöböl. Ugyanakkor a kompozit anyagok esetleges sérülések javítása nem kellően megoldott. Több különböző változata van, melyek más-más feladatok elvégzésére lettek kialakítva.



10. ábra - AW-139 –Óvári Gyula. dr.: Helikopter szerkezettan: I (multimédiás tansegédlet, kézirat) ZMNE 2009.

Pilótafülkéjében 5 db. nagyméretű, színes, folyadékkristályos kijelzőt helyeztek el (11. ábra), mely kompatibilis a korszerűsített NVG (éjjellátó) rendszerrel, integrált digitális műszerezettségű. A négy szabadságfokú robotpilóta alapfelszereltségnek, míg a jégtelenítő rendszer lehetőségnek számít. Rendelkezésre áll GPS, négycsatornás digitális HOCAS (kezek a ciklikus vezérlőkaron és a botkormányon - Hands On Cyclic And Stick), AFCS (automatikus repülésvezérlő rendszer - Automatic Flight Control System) és már tesztelik a legújabb SBAS-t (műholdas alapon működő rendszer - Satellite Based Augmentation System), mely a bonyolult időjárási körülmények közt történő leszállást segíti (ILS (műszeres leszállító rendszer - Instrument Landing System) használata nélkül). Felszerelhető szabvány katonai frekvenciájú rádiókkal, MEDEVAC (egészségügyi kimentés - MEDical EVACuation), CASEVAC (sebesült kimentés - CASuelty EVACuation), SAR (kutató-mentő - Search and Rescue), CSAR (harci kutató-mentő - Combat Search And Rescue), és légi tűztámogatási feladatok ellátásához szükséges felszerelésekkel is. 15 fő, vagy 3050 kg hasznos teher, külső függesztményként pedig 2200 kg-ot emelhet. A szállító változat tehertere 30 százalékkal nagyobb, mint az alap konfigurációé, és külső teherrögzítési pontja kamerás megfigyeléssel ellátott. A mentő változatban 2-4 hordágy elhelyezésére elegendő hely van, továbbá 5 fő egészségügyi személyzet szállítható, így ez a katasztrófavédelmi feladatok ellátására is megfelelő. A felszereléshez tartozik egy vagy két darab csörlőberendezés 292 kg teherbírással. Az alap helikoptertípust a vásárló igényei szerint alakíthatja és szerelheti fel.





11. ábra – Integrált „glass cockpit” műszerfal az AW-139M-en [www.airliners.net]

A hajózó állomány leterheltségét csökkenti az ergonomikus vezetőfülke (11. ábra), melynek köszönhetően – megfelelő hatósági engedélyekkel - akár egy vezetővel is üzemeltethető, illetve, így egy másik típusról történő átképzés időtartama jelentősen lecsökkent.

Ma a gyártó igyekszik úgy kielégíteni az igényeket, hogy járműveit „család”-ban kínálja, azaz kategóriában egymástól nem túl messze álló helikoptereket ajánlanak együtt, a személyzetük főként csak a fülkeméreteken talál bennük eltérést (ami megkönnyíti az átképzéseket). Ezeknél az alkatrészbázis csereszabatosága is magas, ~20-30 %-os. Továbbá a kiszolgáló eszközeik is nagymértékben megegyeznek, ezek gazdaságossági szempontból nagyon fontos tényezők. Az AW-139-es esetében a „család” másik két tagja a nehezebb AW-189, illetve katonai változata az AW-149, valamint a kisebb AW-169-es, illetve annak katonai változata, az AW-169M.

Bár már előrehaladott tárgyalások folytak, államközi katonai együttműködésről szóló egyezményt alá is írt országunk Olaszországgal, a végén mégis elállt a magyar fél a beszerzéstől, vélhetően ebben közrejátszott a gyártó cég néhány korábbi, nem kellően tisztázott exportügylete is.

<b>Hosszúság (m)</b>	16,63	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	304
<b>Magasság (m)</b>	5,17	<b>Max sebesség (km/h)</b>	310
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	13,8	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	10,9
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	6800	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1142 kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	15/10	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	1568
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	3050/ 2200		

7. táblázat – AW-139M főbb műszaki adata

## 2.4 A Mi-171-es [12] [24]

A Mi-17-es továbbfejlesztése, korszerűsítése ez a többfeladatú helikopter (12. ábra és 8. táblázat), mely mögött nagy tapasztalat áll épp az előd típusok okán.



12. ábra – Mi-171-es helikopter [Óvári Gyula. dr.: Helikopter szerkezettan: I (multimédiás tansegédlet, kézirat) ZMNE 2009.]

Sárkányszerkezetét nagyrészt az előzőhöz hasonlóan építették meg, de a törzs jobb oldalán is kialakítottak egy a korábbinál nagyobb méretű oldalajtót, lenyitható hátsó rámpa, színes folyadékkristályos képernyő szerelhető be a hagyományos elektro-mechanikus műszerek mellé vagy helyére, melyen megjeleníthető például egy digitális térkép. Közel 4000 kg teher, vagy 26 fő, illetve 4000 kg külső függesztmény szállítására alkalmas. Az utasterében viszonylag alacsony zajszint és vibráció mérhető a speciális rendszereknek köszönhetően. Felhasználható személy- és teherszállításra, katasztrófavédelmi feladatokra Két külső csörlős emelője és a hozzájuk tartozó 150, 270, illetve 300 kg emelésére alkalmazható kosara révén eredményesen működik kutató-mentő feladatoknál. 12 hordággal berendezhető, illetve 37 fő evakuálására képes. Ellátták infravörös kamerával, navigációs rendszerrel és Doppler időjárás radarral. Éjszaka is lehetséges a kutató-mentő feladatok végrehajtása a Night Vision (NVG) éjjel látó berendezést alkalmazva.

Megvásárolható hozzá egy úgynevezett Simplex rendszer is, amely az emeletes házak horizontális tűzoltásánál használatos, egy 3500 literes Bambi Bucket hagyományos légi tűzoltáshoz, illetve 34 teljes felszereltségű tűzoltó szállítható a helyszínre.

<b>Hosszúság (m)</b>	18,65	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	225
<b>Magasság (m)</b>	4,75	<b>Max sebesség (km/h)</b>	260
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	21,29	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	9
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	12000	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1454 kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	27/26	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	2765
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függeszt-mény (kg)</b>	4000/4000		

8. táblázat – Mi-171 főbb műszaki adatai

A típus nagy előnye, hogy a hazai pilóták illetve a műszaki állomány már megfelelő szakismerettel rendelkezik az előd típusokra, így minimális átképzés szükséges az üzemeltetéséhez.

Csakhogy NATO-tagként elvárás lehet egy nyugati típus rendszeresítése. Emiatt új orosz gépek beszerzése kevésbé kedvező.

## **2.5 Korszerűsített Mi-8-as? [9] [15]**

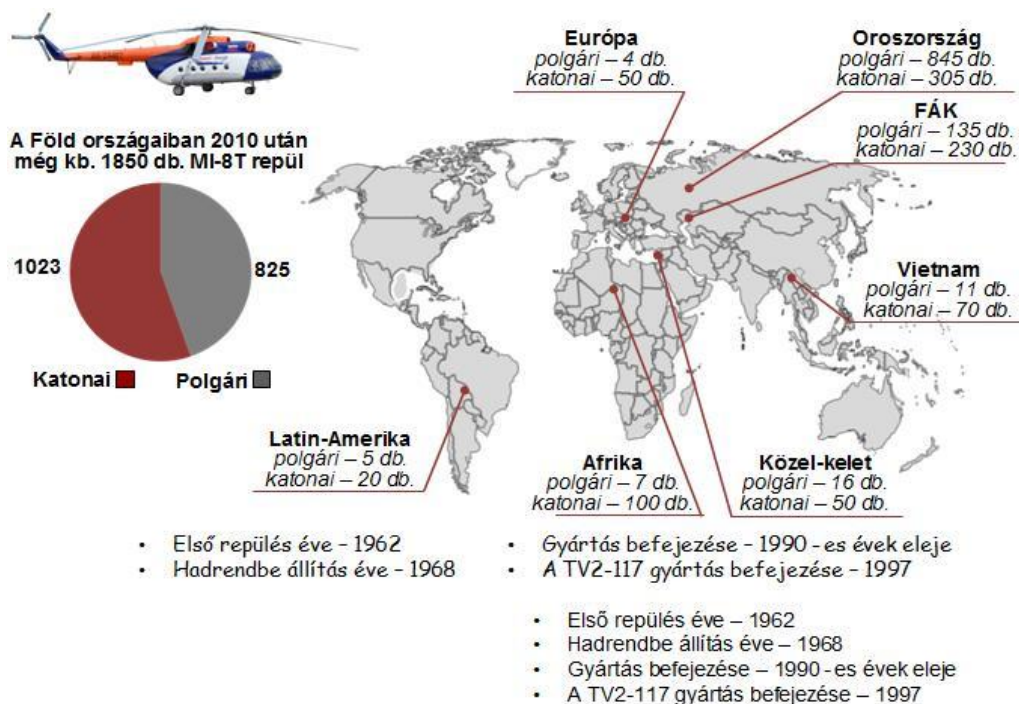
Arra a kérdésre, hogy mivel pótoljuk a selejtezésre váró helikoptereinket, fel sem merült egy kézenfekvő megoldás, nevezetesen, hogy Mi-8-as helikopterekkel. Az előzőekben leírtak alapján teljesen komolytalannak is tűnhetett e felvetés, 2012-ig. Ám ekkor a típus pótlására készített új ukrán változatról, a Mi-8MSZB-ről megjelentek az első hírek orosz és ukrán szaklapokban, kiállításokon. 2013-ban a megvalósult példányok egyike már a kecskeméti repülőnapon is látható volt.

Sok a géppark „frissítésére” érkezett ajánlat kínált széles spektrumban különböző korszerű, célszerű esetenként kevésbé fontos eszköz beépítésére lehetőséget, melyek többnyire az alkalmazhatóság körét, a harcértéket és/vagy az akkori új NATO-szövetségesekkel való együttműködést javíthatta volna. Az ajánlatok közt azonban senki nem tudott megoldást kínálni a nagy fogyasztású, gyakori ellenőrzést és karbantartást igénylő, rövid üzemidejű és drága működtetésű TV2-117-es hajtóművek cseréjére, kiváltására. Néhányan ugyan ezek vezérlőrendszerének modernizálását vállalták volna, de ez nem jelentett volna megoldást az üzemeltetési és élettartamköltségekre. Ehhez képest alapjában újszerű a Motor Szics ajánlata és fejlesztési koncepciója.

A Motor Szics a világ egyik jelentős motor-, és hajtóműgyártó iparvállalata. Fő profiljuk a repülőgép-hajtóművek fejlesztése, gyártása, ipari javítása. A Szovjetunió szétesése után változatlan helyszínen, az Ukrajna-i Zaporzsjében, változatlan profillal folytatták tevékenységüket, kiszolgálva a hazai és külföldi piacot. Ma három kontinensen számos szervizállomást, javítóbázist illetve külképviseletet tartanak fent. Minden szükséges hazai és számos külföldi minőségbiztosítási audittal, tanúsítvánnyal rendelkeznek. A Föld 63 országában, beleértve a teljes Antonov-, Kamov-, és Mil-légi járműflottát – köztük a világ legnagyobb merev- és forgószárnyas repülőgépeit az AN-124/225, Mi-26, stb. - , az itt gyártott, előállított hajtóművekkel repülnek.

A piacot kutatva a gyártó tapasztalata az volt, hogy a világon még közel kétezer darab, még potenciálisan üzemképes Mi-8-as repül (15. ábra). Azonban ezek is 1-4 éven belül le kell álljanak az előregedett, sem javítással sem cserével nem pótolható hajtóművek miatt (a TV2-117-esek gyártása évekkel ezelőtt befejeződött). Továbbá azt is megállapították, hogy azok az országok, ahol még ma is ezt a típust használják, általában a fejlesztésekre fordítható anyagiak hiányában teszik ezt. Ugyanakkor a 2004-2010-es évek közt működő Mi-8T-k száma és éves repülési ideje, bizony ötszöröse a Mi-17-eseknek, pedig ezzel ellentétben a TV2-117-es hajtóművek egyszerű meghibásodásainak gyakorisága kilencszerese a TV3-117-esének, katasztrófához vezető eseteké pedig 1,56-szorosa. Felismerték azt is, hogy a Mi-8-as típus létezése 4-5 év elteltével megszűnik, amennyiben nem találnak egy hozzáilleszhető hajtóművet, pedig sok darab még akár egy-két évtizedig is gazdaságosan üzemeltethető volna.

Természetesen a Mi-8-as erősebb, TV3-117 hajtóművel felszerelt változata megerősített sárkányszerkezettel már évtizedek óta ismert konstrukció, ez az orosz piacon Mi-8MT(V) helikopter, Mi-17 exportnevű változata.



13. ábra – Mi-8-ások a világban [17]



14. ábra – Mi-8MSZB és hajtóműve, TV3-117VMA-SZBM1V 4E [17]

Összegezve a tapasztalatokat praktikus fejlesztési irányba indult el az ukrán gyár. Nem kívánták azt a divatot követni, hogy egy húsz-harminc éves sárkányszerkezetet magas összegekért teljesen átépítve alkalmassá teszik egy modern, nagy teljesítményű hajtómű befogadására, valamint ezeket a lehető legtöbb beépíthető avionikai eszközzel látják el. Ehelyett vállalati profiljuknak megfelelően a meglévő és megfelelő állapotban lévő Mi-8T-k közlőműrendszerének teherbírásához és a helikopterek sárkányszerkezetéhez csökkentették és

optimalizálták legkorszerűbb hajtóművük működési jellemzőit és teljesítményét. A végtermék egy korszerű hajtóművel rendelkező, garantált teljesítményét egyedülállóan extrém, környezeti körülmények közt is tartani képes, jól ismert Mi-8-as lett. E változat a Mi-8MSZB, míg a beleépített hajtómű a TV3-117VMA-SZBM1V 4E szérianevet kapta (14. ábra).

A hajtóművet egyébként a TV3-117-es további korszerűsítésével, több szerkezeti elemének átalakításával vagy cseréjével hozták létre. A hidromechanikus hajtóművezérlést komplex, digitális alapú, úgynevezett FADEC (teljesen digitális hajtóművezérlés - Full Authority Digital Engine Control) rendszerre cserélték. Ezzel csökkentették a tüzelőanyag-fogyasztást és a leadott teljesítményt is a kívánt mértékben, emellett egy megfelelő szoftver létrehozásával minden hajtómű és repülési üzemmódhoz az optimális mennyiségű tüzelőanyag-adagolás is megoldották. Így lehetséges az 1500 lóerős teljesítmény minden körülmények közti fenntarthatósága +42 Celsius-fokig akár 5600 méteres szolgálati repülési magasságban.

Főként a gazdaságosság és a repülésbiztonság tovább javítása érdekében kis módosításokat, korszerűsítéseket hajtottak végre a tűzoltó-, kenő-, jégtelenítő, üzemanyag-, levegő-rendszerben, továbbá a hajtóművek működésének szinkronizálását biztosító rendszerben és az elektromos hálózatban.

Ez a változat így, a magas szintű fedélzeti elektronikának és a gazdaságosabb, korszerűbb hajtóműveknek köszönhetően még évtizedekig megoldást jelenthet. Számtalan verziója közül könnyű megtalálni az igényeknek megfelelőt. Nagy előnye lehet (ahogy a Mi-171-es típusnak is!), hogy a műszaki és a hajózó állomány már hozzászokott a korábbi verzióhoz, így rövid idejű átképzés szükséges. A sárkányszerkezet és annak rendszerei alig változtak, így egyszerűbb, gyorsabb és lényegesen olcsóbb volna a rendszerbe állítás. Hiszen a földi kiszolgáló eszközök nagy része, sőt talán egésze már jelenleg is rendelkezésünkre áll, így csak azokat kellene megvásárolni, amik elengedhetetlenek az üzemeltetéshez ám eddig, a korábbi, hazánkban jelenlévő típusváltozatnál nem kellett. Az új változatok repülésbiztonsági szempontból is előrelépést jelentenek.

Előny, hogy a gyártó úgy dolgozta ki az ipari méretekben is megvalósítható modernizációs technológiát, hogy az megvalósítható nem csak az ukrán vállalat, de akár a megrendelő bázisán is. Továbbá a szerződést követően folyamatos helyszíni szervizt, információs és technikai támogatást, valamint alkatrész-utánpótlást biztosítanak.

<b>Hosszúság (m)</b>	18,17	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	210
<b>Magasság (m)</b>	5,65	<b>Max sebesség (km/h)</b>	245
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	21,29	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	4,5
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	12000	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1482 LE
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	24/24	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	1870
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	3000/2200		

9. táblázat – Mi-8MSzB főbb műszaki adatai

Fontos az a szempont is, hogy nem lenne szükségszerű új helikopterek vásárlása, hiszen a meglévő állomány teljes nagyjavításával, felújításával, korszerűsítésével a szükséges alkatrészek cseréjével megoldható volna az állomány megújítása, és bővítése.

A kérdéses az ár. Általában az érdeklődőknek legalább egy hozzávetőleges listaár tájékoztatást nyújt, de csak az érdemi tárgyalások és alkudozások során véglegesítik a pontos összeget, ahol már a darabszám, a határidő, a kért módosítások, valamint a megrendelő és az

eladó tőkeereje, hitel és alkupozíciója is szerepet játszik. A Motor Szics elnök-vezérigazgatójának egy nyilatkozata alapján tudhatjuk, hogy a két hajtómű cseréje, komplett beépítése megoldható kétfélmillió dollár alatti összegből. Ezt alapul véve, és figyelembe véve a megnövekedett fajlagos szállítókapaaitást, valamint az időszakos ipari javítások, karbantartások miatt szükségtelemné vált állásidőt, 6-7 év alatt megtérülhetnek, az üzemidő optimális kihasználása mellett a modernizáció költségei.

## 2.6 Az EC645 T2 és az AS532 AL [1] [8] [10] [31] [32]

Az Airbus Helicopters alelnöke azt nyilatkozta az MTI-nek, hogy 40 darab civil és katonai forgószárnyas eladását tervezik Magyarország számára az elkövetkező 10 év alatt. A helikopterek nagyobb szerepet kapnak a polgári légi közlekedésben, csakúgy, mint az ipari és mezőgazdasági ágazatban, az egészségügyi támogatásban és a légideszant feladatokban. Az alelnök megjegyezte, hogy „Magyarországon már vannak EC-135-ösök rendszeresítve a légi mentőszolgálatnál.” A régi flották lecserélésének szükségessége fokozottan érvényes közép- és Kelet Európára és annak katonai szektorára is. Tudnak róla, hogy mind a Magyar Honvédség, mind a magyarországi légi-mentőszolgálat helikopter flottájának teljes cseréjére készül. A cég - állítása szerint - előnyös ajánlatot tudna adni mindkét szervezet számára, hogy így az igényeknek megfelelő (katonai és civil mentési) feladatok végrehajtására alkalmas vegyes flotta állhasson fel. E helikopterek alkatrészei jelentős hányadában közösek, a flotta üzemeltetése is lényegesen olcsóbb, a hasonló repülési jellemzők pedig a pilóták kiképzését és egymás helyettesítését könnyíti meg. Mivel az Airbus Helicopters teljes körű szolgáltatást nyújt, a gépek üzemeltetéséhez, javításához, a személyzet kiképzéséhez is támogatást nyújtana, mely növeli a gépek üzembiztonságát és folyamatos rendelkezésre állást is biztosít.

Az Airbus Helicopters AS-532AL-es és EC-645 T2-es típusát, melyek Magyarország fegyveres erejének igényeit teljesen kiszolgálják”. Az alelnök nyilatkozata szerint a helikopterek szállítása esetén egyéb befektetéseket is terveznek az országba hozni.

1992-ben, a német Daimler-Benz Messerschmitt-Bölkow-Blohm és a francia Aérospatiale-Matra helikopter gyárainak egyesüléséből jött létre az Eurocopter melynek része lett a MBB/Kawasaki is. Jelenlegi tulajdonosa az EADS (European Aeronautic Defence and Space Company), mely már az Airbus Group nevet viseli, a helikoptereket előállító egységének neve Airbus Helicopters.



15. ábra – AS532 AL a MH86. SZHB-n tartott bemutatót [www.legiero.blog.hu]

Termékei közt egy-, kéthajtóműves, könnyű, közepes és hosszú távú szállító-, és polgári helikopterek szerepelnek. Az európai gyárban Németország (hazánk egyik legnagyobb külgazdasági partnere) is tulajdonos. A cég polgári célú forgószárnyasok gyártásában világszinten piacvezető. A világ 148 országában jelenleg közel 12 ezer helikopterük áll szolgálatban, a vállalat a globális helikopterpiac legnagyobb szereplője. Az elmúlt év során 497 légi járművet adtak át. Emellett a vállalat a NATO egyik fő beszállítója, így az Eurocopter gépei jelentős harci tapasztalattal rendelkeznek, rendszeresen hajtanak végre kutató-mentő és szállítási feladatokat harci körülmények között.

A közelmúltban az MH 86. Szolnok Helikopter Bázison tartottak termék bemutatót a szakmának Cougar típusal (15. ábra)

<b>Hosszúság (m)</b>	15,53	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	239
<b>Magasság (m)</b>	4,92	<b>Max sebesség (km/h)</b>	249
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	15,6	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	7,2
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	9000	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x1185kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	20/25	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	-
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	4650/-		

10. táblázat – AS532 AL főbb műszaki adatai

A cég Super Puma/Cougar közepes szállító helikoptere a folyamatos korszerűsítéseknek köszönhetően ma is az élvonalban van. A Cougar egy Franciaország-i fejlesztésű ikerhajtóműves, általános-rendeltetésű közepes szállítóhelikopter. AL változata az eredetihez képest hosszabb törzzsel épül, két, egyenként 1330kW-os Turbomeca Makila1A1-es hajtóművel, kompozit forgószárny lapátokkal, továbbfejlesztett futóművel és a módosított végtartóra szerelt faroklégsavarral. Fedélzetén 25 főt képes szállítani. Teher-, csapat-, sebesültszállítóként, kutató-mentő feladatokra és tűzoltásra is bevethető.



16. ábra – EC645 T2 [www.iho.hu]

Több közeli szövetségünk is alkalmazza, Romániában a régebbi alaptípus a Puma licenc alapján gyártott változatai repülnek. Franciaország korábban vásárolt Cougar-ok fejlesztésébe,

modernizációjába fekteti költségvetése erre eső részét. A Cougar változatok főként szállítási feladatokra alkalmazhatóak, felfegyverzése többnyire csak az ajtólovászok eszközeire vonatkozik.

Továbbfejlesztett változata az EC725-ös.

A Cougar könnyű párja az EC-635-ös vagy az EC-645-ös, mely az EC-135-ös illetve az EC-145-ös katonai változata.

Az EC145-ös kéthajtóműves könnyű, általános rendeltetésű helikopter. Eredetileg a BK117C2 nevet kapta, mert az MBB/Kawasaki BK117C1-en alapul. Az első EC145-ös Németországban repült, de nagy nyilvánosságot szerzett a típus a 2000-res US Helicopter Association International Show-n. A Eurocopter és a Kawasaki megállapodása szerint mindkét gyár, egymástól függetlenül gyárthatja és értékesítheti a légi járművet, mialatt együttműködve dolgoznak a további fejlesztéseken.

<b>Hosszúság (m)</b>	13,03	<b>Utazó sebesség (km/h)</b>	246
<b>Magasság (m)</b>	3,45	<b>Max sebesség (km/h)</b>	268
<b>Forgószárny átmérő (m)</b>	11,0	<b>Emelkedő képesség (m/s)</b>	8,1
<b>Max. felszálló tömeg (kg)</b>	3585	<b>Hajtómű teljesítmény</b>	2x550kW
<b>Szállítható utasok/deszant (fő)</b>	9/10	<b>Alap tüzelőanyag-töltés (l)</b>	-
<b>Hasznos terhelhetőség/külső függesztmény (kg)</b>	1793/-		

11. táblázat – Az EC645 T2-es főbb műszaki adatai

A konstrukció előnye a nagyobb hatótávolság és hasznos térfogat, a jelentősen megnövelt vezetőfülke térfogat, a csökkentett zajkibocsátás és vibráció szint, illetve az üzemeltetési és karbantartási költségek minimalizálása. A továbbfejlesztett modell az EC645 T2 teljesítményét megnövelték az új Turbomeca Arriel2E hajtóművekkel, kettős-digitális FADEC-et kapott, a Eurocopter burkolt fenestron kialakítású faroklégsavarját (mely biztonságossá teszi a működést) és továbbfejlesztett forgószárny és faroklégsavar redukált.

Javították a vezetőfülke kialakításán és az alrendszeren. Vezetőfülkéje modern képernyős, robotpilótája négycsatornás. Változattól függően személyszállítóként, üzleti szállítóként, sürgősségi orvosi ellátóként (Emergency Medical Supporter), kutató-mentőként és közüzemi feladatokra forgalmazzák. Változata az EC645T2-es kiképzésekre, ellátásra, egészségügyi mentésre, felderítésre és könnyű csapat szállítási feladatokra is alkalmas.

Az alpesi mentők is az EC135-ös mellett tették le voksukat. Németország is használja a típust, illetve Thaiföld is megrendelte. Észak-Rajna-Vesztfália rendőrsége hat EC145 T2-es gépet vásárolt. Tavalay Baden-Württemberg tartományi rendőrsége is vett a modelltől.

## 2.7. További vizsgált típusok [9]

Lehetséges váltó típusként felmerült még néhány további, melyek azonban nem kaptak túl nagy sajtóvisszhangot.

Szóba jöhető típusok a Kamov Ka-226-os vagy a Kazanyi Helikoptergyár Anszat nevű konstrukciója, bár ezek mögött nem áll még exportsiker így referencia nélkül beszerzésük is fokozottan kockázatos.



Az Agusta AW-109-es könnyű kategóriájú, így inkább kiképzési célokra, futárgépként esetleg könnyű szállítási célokra lenne használható hazánkban.

A Sikorsky Aircraft cég mellett ugyancsak amerikai cég a Bell, mely a könnyű típusok terén élvonalbeli. A régi Jet Ranger-en alapuló felfegyverezhető 407-es típusát nem régen mutatták be a kecskeméti repülőnapon.

## ÖSSZEGZÉS, KONKLÚZIÓ [9] [12]

Magyarország forgószárnyas repülőgépeinek naptári üzemideje hamarosan lejár, illetve többségének már le is járt. Azonban a helikopteres képesség megőrzése elsődleges szempont a katasztrófavédelmi és a szövetségi rendszerből adódó feladatok ellátása, valamint az ország védelme érdekében. A jelenlegi és jövőbeni feladatrendszerek vizsgálatával megalapítható, hogy Magyarországon olyan multifunkcionális helikopterre van szükség, mely egyidejűleg alkalmas minden feladatból adódó kihívásnak megfelelni. Bár már több javaslat, ajánlat érkezett különböző gyártóktól, a döntés még nem született meg. A helikoptervásárlás nem olcsó, közel 100 milliárd Ft-os kiadást jelent, ezért fontos figyelembe venni a gazdaságosság és költséghatékonyság kérdését. Ugyanakkor figyelembe kell venni a későbbi várható üzemeltetési költségeket, ugyanis egy repülőgép „élete” során nagyobb összeget emészt fel, mint amennyibe beszerzése kerül. A jelenleg is zajló típusváltási eljárás és az új helikoptertípus rendszerbe állításáig a meglévő flotta néhány helikoptere üzemben tartható, de ehhez el kell végezni rajtuk a szükséges nagyjavítási feladatokat. Vagy kiemelt figyelmet fordíthatnánk a majdnem utolsóként tárgyalt, de abszolút nem utolsó megoldásra, a Mi-8 MSZB-re. Hiszen ez sok szempontból igen jó és előnyös ajánlat.

Persze elgondolkodtató az a kérdés is, hogy nem lenne-e megoldható a helikopterek hazai ipari javítása, nem lenne-e erre lehetőség, mint ahogyan régen a Pestvidéki Gépgyárral, majd utódjával a Dunai Repülőgépgyár Rt-vel, ez megoldható volt. Esetleg a kecskeméti LJÜ (Légijármű Javító Üzem) is számításba vehető, illetve jelenleg az Aeroplex of Central Europe-nál dolgozik a volt Pestvidéki Gépgyár alkalmazottainak zöme, így talán ez is alkalmas lenne a feladatkör elvégzésére. Ez mentesítene bennünket a költséges kiutaztatás problémájától is, különösen USA gyártású helikopter esetén.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **Dailynews Hungary**, url: <http://dailynewshungary.com/airbus-helicopters-plans-to-sell-40-craft-in-hungary-by-2024/#> (2014.11.11.)
- [2] **Délmagyar.hu**, *Két Sikorsky S-70 Black Hawk helikoptert mutattak be a budaörsi repülőtéren*, url: [http://www.delmagyar.hu/belfold\\_hirek/ket\\_sikorsky\\_s-70\\_black\\_hawk\\_helikoptert\\_mutattak\\_be\\_a\\_budaorsi\\_repuloteren/2377479/](http://www.delmagyar.hu/belfold_hirek/ket_sikorsky_s-70_black_hawk_helikoptert_mutattak_be_a_budaorsi_repuloteren/2377479/) , (2014.10.20.)
- [3] **Haditechnikai Kerekasztal**, *Az „ingyenhelikopter” a legolcsóbb?*, url: <http://htka.hu/2012/02/20/az-ingenyhelikopter-a-legolcsobb/> , (2014.10.25.)
- [4] **Haditechnikai Kerekasztal**, *HM: harminc amerikai helikoptert kap a honvédség*, url: <http://htka.hu/2011/09/19/hm-harminc-amerikai-helikoptert-kap-a-honvedseg/> , (2014.10.25.)
- [5] **Haditechnikai Kerekasztal**, *Túl drága az UH-1N rendszeresítése –Visszautasítjuk az amerikai ajánlatot?*, url: <http://htka.hu/2012/10/19/tul-draga-az-uh-1n-rendszerezese-visszautasitjuk-az-amerikai-ajanlatot/> , (2014.10.25.)
- [6] **HVG.hu**, *A brókerbotrányok miatt csúszhat tovább a helikoptertender*, url: [http://hvg.hu/gazdasag/20150422\\_A\\_brokerbotranynok\\_miatt\\_csuszhath\\_tovabb\\_a#utm\\_source=hvg\\_daily&utm\\_medium=email&utm\\_campaign=newsletter2015\\_04\\_22&type-id=HvgDaily&user-id=669C9669&utm\\_content=normal](http://hvg.hu/gazdasag/20150422_A_brokerbotranynok_miatt_csuszhath_tovabb_a#utm_source=hvg_daily&utm_medium=email&utm_campaign=newsletter2015_04_22&type-id=HvgDaily&user-id=669C9669&utm_content=normal) , (2015.04.22.)
- [7] **IHO.hu**, *UH-1N a Magyar Légierőben?*, url: <http://iho.hu/hir/uh-1n-a-magyar-legieroben-1109> , (2014.10.28.)

- [8] **IHO.hu**, *Helikoptertender figyelésen az airbus*, url: <http://iho.hu/hir/helikoptertender-figyelesen-az-airbus-141111> , (2015.03.24.)
- [9] **Jets.hu**, *Forgószárnyas jövő*, url: <http://jets.hu/news?id=441> , (2014.11.03.)
- [10] **Jetfly, EC645 T2**, url: <http://www.jetfly.hu/rovatok/repules/katonai/tipusok/eloszor-levegoben-az-uj-ec645-t2-helikopter/> , (2015.03.24.)
- [11] **Kerozingózós Portál, UH-1N „Twin Huey” magyar felségjellel?**, url: <http://www.kerozingozos.hu/2011/09/25/uh-1n-twin-huey-magyar-felsegjellel/> , (2014.10.28.)
- [12] **Kiss, B.**, *A Magyar Honvédség helikoptereinek típusváltása, modernizálása, annak lehetséges hatási a katasztrófavédelmi feladatok ellátására*, Hadmérnök 2013/9
- [13] **Kun, Szabó, I.**, *Az Agusta AW-139M tűztámogatási potenciálja*, Haditechnika 2013/2, p. 34-38.
- [14] **Légi Huszárok SzolNok, Mi-8**, url: <http://lhsn.hu/helikopter-tipusok/mi-8/> , (2014.10.30.)
- [15] **Óvári, Gy. dr.**, *A főnix neve Mi-8MSzB, Volt egyszer egy Mi-8-as*, AEROMAGAZIN 2014/1, p. 12-15.
- [16] **Óvári, Gy. dr.**, *Biztonság- és repüléstechnikai megoldások katonai helikopterek harci túlélőképességének javítására*, REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK Szolnok, 2005. url: [http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005\\_cikkek/ovari\\_gyula.pdf](http://www.szrfk.hu/rtk/kulonszamok/2005_cikkek/ovari_gyula.pdf)
- [17] **Óvári, Gy. dr., Varga, B. dr.**, *A Mi-8-as típusu helikopterek üzemidő-hosszabbításának egy lehetséges korszerű megoldása (A Motor Szics elgondolása)* Logisztikai Szemle 2014/2 p. 11-31. <https://drive.google.com/file/d/0B2IT5sLzLGdDVXpwSnNPeDRTMwC/view>
- [18] **Papp, I.**, *A Mi-24 harci helikopter típuscsalád fejlődése és fegyverzete*, url: [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2011\\_1/2011\\_1\\_Papp\\_Istvan.html](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2011_1/2011_1_Papp_Istvan.html), (2014.11.01.)
- [19] **Pokorádi, L.**, *Mi-8 helikopter sárkányszerkezet I. rész Szerkezet*, MH Killián György Repülő Műszaki Főiskola
- [20] **Pokorádi, L.**, *Mi-8 helikopter sárkányszerkezet II. rész Rendszerek*, MH Killián György Repülő Műszaki Főiskola
- [21] **Portál-Légimentők, Helikoptereink**, url: <http://www.portal.legimentok.hu/technika/helikoptereink#scrollhere> , (2015.04.28.)
- [22] **Police**, *Átadták a bácskai helikopterbázist*: url: <http://www.police.hu/hirek-es-informaciok/legfrissebb-hireink/szervezeti-hirek/atadtak-a-bacsikai-helikopterbazist-videoval> , (2015.04.28.)
- [21] **Sajtos, Z.**, *Sikorsky S-70i BLACK HAWK, A múlt és a jövő helikoptere*, AEROMAGAZIN 2014/1, p. 40-43.
- [22] **Sáry, Z.**, *Angyalbőrben, Az AW139-es katonai változata*, Aranysas 2014/11, p. 16-19.
- [23] **Tarquinio, Hélio, junior**, Type certificate data sheet No. ER-2005T02, url: <http://www2.anac.gov.br/certificacao/Produtos/Espec/ER-2005T02-06i.pdf> , (2014.11.08.)
- [24] **Wikipedia**, *Mil Mi-8*, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Mil\\_Mi-8](http://en.wikipedia.org/wiki/Mil_Mi-8) , (2014.10.30.)
- [25] **Wikipedia**, *Bell UH-1 Iroquois*, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bell\\_UH-1\\_Iroquois](http://en.wikipedia.org/wiki/Bell_UH-1_Iroquois) , (2014.11.05.)
- [26] **Wikipedia**, *Sikorsky S-92*, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky\\_S-92](http://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_S-92) , (2014.10.25.)
- [27] **Wikipedia**, *Sikorsky UH-60 Black Hawk*, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky\\_UH-60\\_Black\\_Hawk](http://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_UH-60_Black_Hawk) , (2014.10.20.)
- [28] **Wikipedia**, *Mi-24*, url: [http://hu.wikipedia.org/wiki/Mi%E2%80%9324#A\\_g.C3.A9p\\_adatai](http://hu.wikipedia.org/wiki/Mi%E2%80%9324#A_g.C3.A9p_adatai) ,(2014.11.05.)
- [29] **Wikipedia**, *AS532*, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter\\_AS532\\_Cougar](http://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_AS532_Cougar) , (2015.03.24.)
- [30] **Wikipedia**, *EC145*, url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter\\_EC145](http://en.wikipedia.org/wiki/Eurocopter_EC145) , (2015.03.24.)
- [31] **Zord, G., L.**, *Az AW-139-es és családja*, AEROMAGAZIN 2014/1, p. 51-53.

## POLISZTIROLBETON FALPANEL HŐ- ÉS NEDVESSÉGFÜGGŐ HŐVEZETÉSE

### TEMPERATURE AND MOISTURE DEPENDENT THERMAL CONDUCTIVITY OF A POLYSTYRENE CONCRETE WALL PANEL

Orosz Máté

Doktorandusz  
BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék  
orosz.mate@epito.bme.hu

**Kivonat:** A cikk egy új fejlesztésű polisztirolbeton falpanel hő- és páratechnikai tulajdonságait vizsgáló kutatás hővezetésre vonatkozó, bevezető részét mutatja be. Az anyag sűrűsége 160-170 kg/m<sup>3</sup>. Kötőanyagát tekintve cement bázisú, ugyanakkor nagy mennyiségű kalcium-karbonátot is tartalmaz. A hővezetés mérések Taurus TLP 300 DTX hővezetés képesség mérő kamrában történtek. A minták mérete: 15x15x10 cm, ezeket 7,5 cm széles EPS kalodákban, peremvédetten mértem. A hővezetési tényezők 16 db kiszáritott mintán lettek meghatározva: 15, 25, illetve 35 °C-on. Az eredmények alapján az MSZ EN ISO 10456 szabvány szerinti deklarált értékeket is számoltam 10 °C-ra, valamint meghatároztam a hőmérsékleti és a nedvesség konverziós együtthatókat. A nedvességfüggést 3 mintán vizsgáltam; e minták a hővezetési tényező mérése előtt 33, 55, 74 illetve közel 100 %-os relatív páratartalmú kamrában lettek kondicionálva. A szorpciós és deszorpciós izotermák 3 mintán kerültek meghatározásra 23 °C-on, valamint egy mintán 10 és 30 °C-on is. Az eredmények kiértékelésre kerültek, a polisztirolbeton falpanel hővezetésének hő-, illetve nedvességfüggése meghatározásra került.

**Kulcsszavak:** polisztirolbeton, hővezetés, szorpciós izoterma

**Abstract:** The paper aims to investigate the thermal properties of a newly developed polystyrene concrete wall panel. The density of the material is 160-170 kg/m<sup>3</sup>. It is cement-based; however it also contains a great amount of calcium carbonate. The measurements were carried out by a Taurus TLP 300 DTX thermal conductivity measuring instrument with guarded hot plate. The size of samples: 15x15x10 cm, edge protected by 7,5 cm EPS. 16 dried-out samples were investigated at a temperature of 15, 25, and 35 °C. Based on the results, declared value was calculated at 10 °C, furthermore the temperature and moisture conversion coefficients were determined. The moisture dependency was investigated on 3 samples; they were conditioned in sealed chambers with a relative humidity of 33, 55, 74 and almost 100 %. The sorption and desorption isotherms were determined on 3 samples, at a temperature of 23 °C; furthermore one of them was also investigated at 10 and 30 °C. The results were analyzed, the temperature and moisture dependency of the thermal conductivity was determined.

**Keywords:** polystyrene concrete, thermal conductivity, sorption isotherm

## 1. BEVEZETÉS

Az utóbbi években nagy érdeklődés mutatkozik a polisztirolbetonok alkalmazása iránt. A BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén, valamint a Hidak és Szerkezetek Tanszéken is vizsgáltak ilyen anyagokat [2]. Ennek oka a polisztirolbeton előnyös tulajdonságaiban rejlik, úgymint könnyű, viszonylag jó hőszigetelő képességgel rendelkezik, valamint a biológia károsodásokkal szemben is ellenálló [2]. E cikkben egy új típusú falpanelhez kifejlesztett 4 mm átmérőjű polisztirolgyöngy adalékkal készült betont vizsgálok hőtechnikai szempontból. Az anyag vizsgálata során derivatogram is készült, amely szerint a kötőanyag cement bázisú, ugyanakkor a nagy mennyiségű CaCO<sub>3</sub> mészköliszt tartalomra utal.

## 2. EREDMÉNYEK

### 2.1. Deklarált hővezetési tényező

A hővezetési tényezőt 16 db kiszáritott, 15x15x10 cm-es mintán mértem Taurus TLP 300 DTX segédfűtőlapos készülékkel. A mérés 15, 25, illetve 35 °C-on történt, 7,5 cm-es EPS kalodában, peremvédeletten.



1. kép 15x15x10 cm-es minta EPS kalodában

A deklarált hővezetési tényezőt az MSZ EN ISO 10456:2007 alapján határoztam meg. E szabvány szerint a vizsgálatot az alábbi feltételek mellett lehet elvégezni: 10 °C- on vagy 23 °C-on, kiszáritva vagy 50% relatív páratartalom mellett. Ez a méréssorozat kiszáritott mintákon történt 10 °C-os referenciahőmérsékleten. A mért értékeket az 1. táblázat foglalja össze.

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
<b>0,0564</b>	<b>0,0538</b>	<b>0,0560</b>	<b>0,0555</b>	<b>0,0549</b>	<b>0,0559</b>	<b>0,0540</b>	<b>0,0552</b>
9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.
<b>0,0536</b>	<b>0,0540</b>	<b>0,0533</b>	<b>0,0538</b>	<b>0,0528</b>	<b>0,0528</b>	<b>0,0542</b>	<b>0,0547</b>

1. táblázat Hővezetési tényezők, 10 °C (W/mK)

A deklarált érték az MSZ EN ISO 10456:2007 szabványban leírt módon számolható. Ez alapján a deklarált hővezetési tényező 10 °C- on: 0,057 W/mK.

### 2.2. Hőmérsékleti konverzió

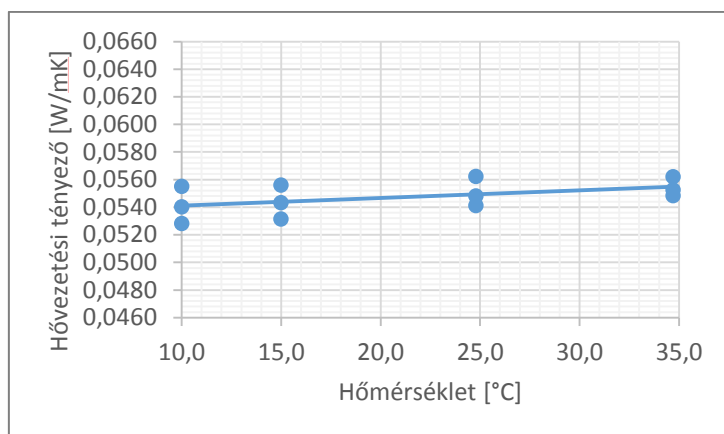
A hővezetési tényező hőmérsékletfüggését az 1. ábra szemlélteti. A hővezetési képesség a hőmérséklet emelkedésével növekszik.

Az MSZ EN ISO 10456:2007 szabvány a hőmérséklet konverziót a következő formula szerint határozza meg:

$$F_T = e^{f_T(T_2-T_1)}, \quad (3)$$

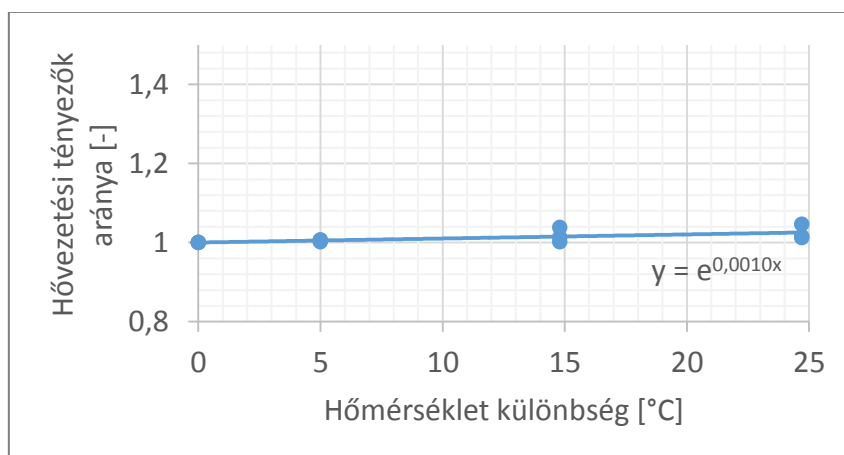
ahol:

$f_T$  – a hőmérsékleti konverziós együttható  
 $T_1, T_2$  – hőmérsékletek



1. ábra A hővezetési tényező hőmérsékletfüggése

A hővezetési tényezők arányának hőmérsékletkülönbségtől való függését a 2. ábra szemlélteti.



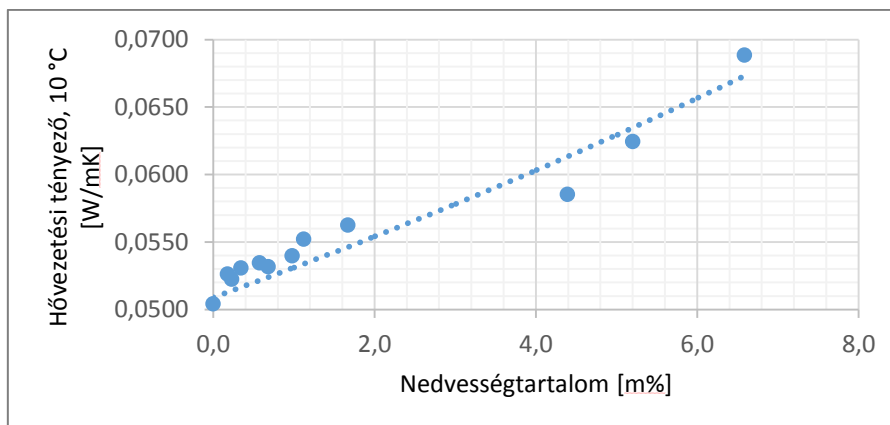
2. ábra: A hőmérsékleti konverzió meghatározása

A pontokra illesztett exponenciális görbe megadja a konverziós együttható értékét, amely:  $f_T = 0,0010$ .

### 2.3. Nedvesség konverzió

A nedvességfüggést 3 mintán vizsgáltam; e minták a hővezetési tényező mérése előtt 33, 55, 74 illetve 95 %-os relatív páratartalmú kamrában lettek kondicionálva. A kondicionálás különböző sók vizes oldatával illetve desztillált vízzel történt (33% –  $\text{MgCl}_2$ ; 55% –  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 75% –  $\text{NaCl}$ ; 95% desztillált víz).

A hővezetési tényező nedvességfüggését tömeg arányra határoztam meg. (Az MSZ EN ISO 10456 szerint térfogatarányra is meghatározható.) A hővezetési képesség nedvességfüggését a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra A hővezetési tényező nedvességfüggése

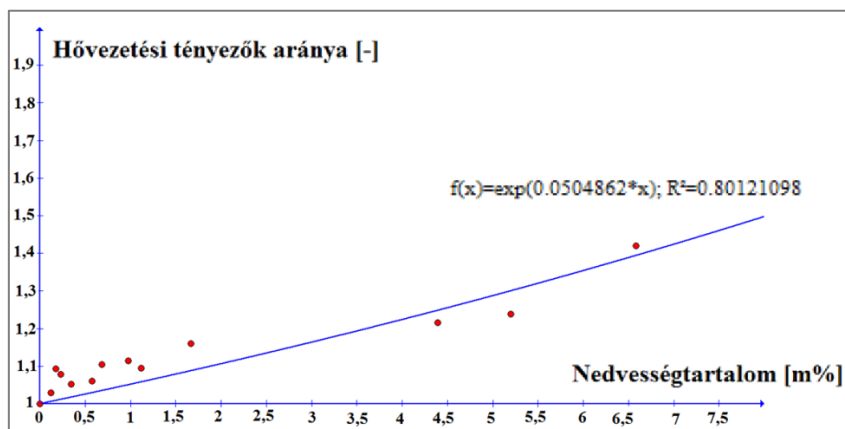
Az MSZ EN ISO 10456:2007 szerint a nedvesség konverziót a következő formula szerint lehet meghatározni:

$$F_m = e^{f_u(u_2 - u_1)}, \quad (4)$$

ahol:

$f_u$  – a nedvesség konverziós együttható  
 $u_1, u_2$  – nedvességtartalom

A nedvességkonverziós tényező meghatározását az 4. ábra szemlélteti. A nedvesség konverziós együttható:  $f_u = 0,0505$



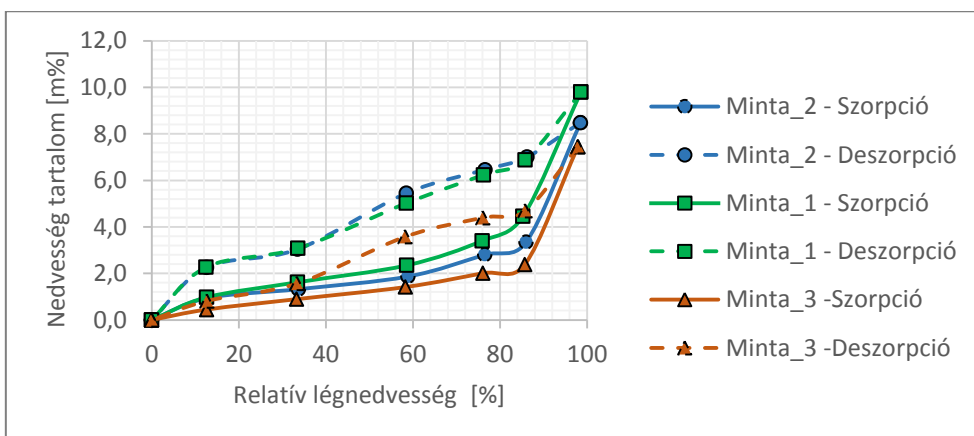
4. ábra A nedvességkonverziós tényező meghatározása

## 2.4. Szorpciós-deszorpciós izoterma

A méréshez a Labmaster AW vízakaktivitásmérő műszert használtam (2. kép). A labormérést az MSZ EN ISO 12571 szerint sóoldatokkal végeztem [3]. A minták kb. 3 cm átmérőjű, 1 cm vastagságú hengerek voltak. A szorpciós és deszorpciós izotermákat az 5. ábra szemlélteti.

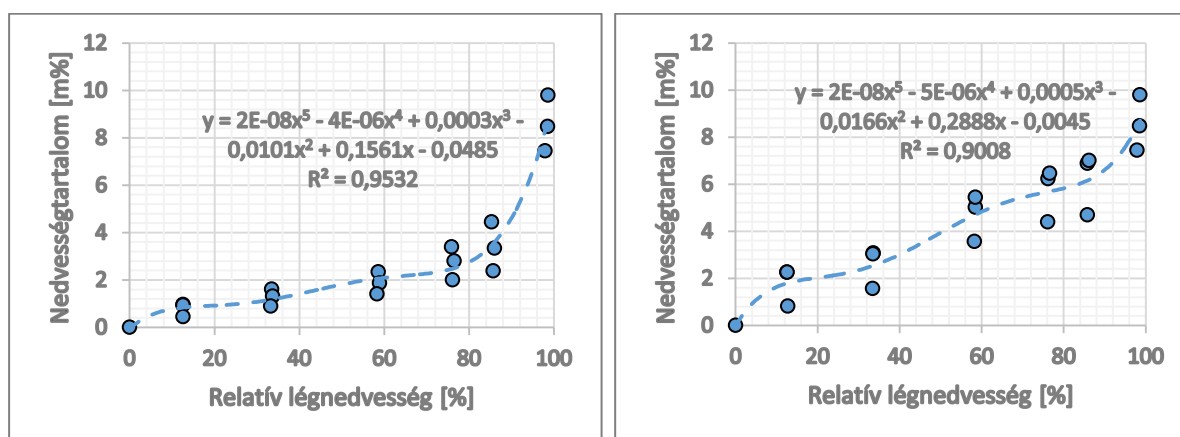


2. kép Labmaster AW vízaktivitásmérő műszer, mellette precíziós mérleg

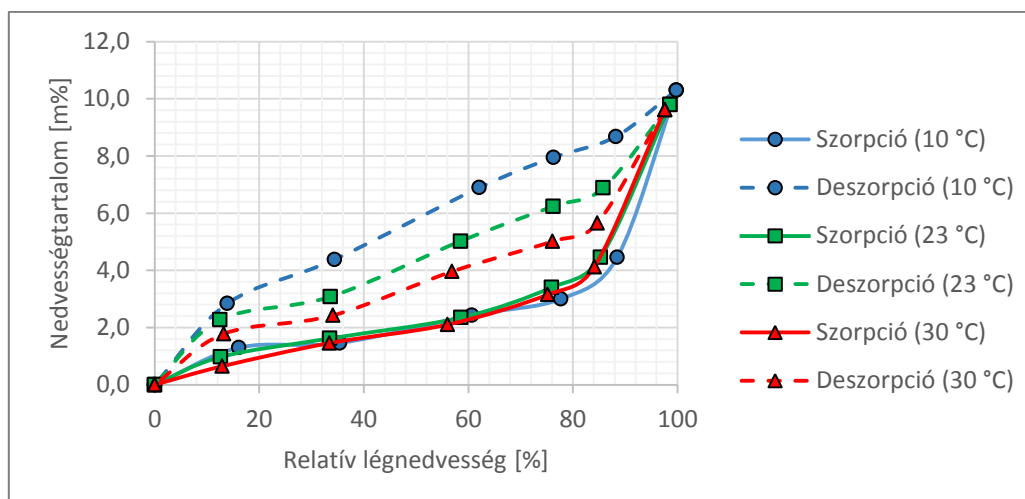


5. ábra Szorpciós-deszorpciós izotermák

A szorpciós és deszorpciós izotermákat egy-egy ötödfokú polinommal közelítettem. (6. ábra). A szorpció-deszorpció hőmérsékletfüggése kapcsán megállapítható, hogy a hőmérséklet elsősorban a deszorpcióra van hatással (7. ábra): minél alacsonyabb a hőmérséklet, annál lassabban csökken a nedvességtartalom a relatív légnedvesség csökkenésével.



6. ábra Szorpciós és deszorpciós izoterma közelítése függvénnyel



7. ábra Szorpciós-deszorpciós izoterma hőmérsékletfüggése

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk egy új fejlesztésű polisztirolbetont vizsgál hőtechnikai szempontból. Meghatározásra került az anyag deklarált hővezetési tényezője, valamint a hőmérsékleti és nedvességkonverziós tényezők is. Szorpciós és deszorpciós izotermát határoztam meg az anyaghoz, valamint vizsgáltam a szorpció-deszorpció hőmérsékletfüggését is. Kimutattam, hogy a hőmérséklet elsősorban a deszorpcióra van hatással.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **MSZ EN ISO 10456:2007**, *Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok. Táblázatos tervezési értékek, eljárások a minősítési és a tervezési hőtechnikai értékek meghatározására* (ISO 10456:2007)
- [2] **LUBLÓY, É., BALÁZS, L.GY., KOPECSKÓ, K., TÓTH, E., DUNAI, L., HEGYI, P., DRÁVUCZ, O.:** *Thermal insulation capacity of concretes with expanded polystyrene aggregate*, In: The fourth international fib congress., Mumbai, India, 2014.02.10-2014.02.14. Mumbai: pp. 750-751. Paper 214. ISBN: 9788173719196
- [3] **NAGY, B.:** *Építőanyagok laboratóriumi vizsgálata dinamikus hő- és páratechnikai modellezéshez*, Műszaki Tudomány az Észak – Kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia, 2015, pp. 6



# EGYHENGES MOTOR SZÍVÓCSÖVÉNEK NYOMÁSHULLÁM VIZSGÁLATA HELMHOLTZ-REZONÁTOR JELENLÉTE MELLETT

## EXAMINATION OF THE PRESSURE WAVES IN THE INTAKE MANIFOLD OF A ONE CYLINDER INTERNAL COMBUSTION ENGINE IN THE PRESENCE OF HELMHOLTZ-RESONATOR

Tollár Sándor<sup>1</sup>, Tóth Róbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tudományos segédmunkatárs, <sup>2</sup>MSc Hallgató  
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari  
Gépészeti Intézet, Áramlás és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék  
arants@uni-miskolc.hu  
roberttoth92@gmail.com

**Kivonat:** A nyomáshullámok elemzésére egy kísérleti berendezést használtam, aminek a motor teljesítményére való hatását vizsgáltam. A Helmholtz-rezonátor megépítése után a szívórendszerbe helyezve mértem a nyomás változását a szívócsőben, ezzel szinkronban pedig a motor működését leíró paramétereket. Az eredményeket összevetve láthatóvá vált a hatást kiváltó ok, ami a rezonátor geometriájából adódik és annak segítségével változtatható. A kiértékelés után további fejlesztési és felhasználási lehetőségeket vettem fel.

**Kulcsszavak:** akusztika, nyomáshullám, szívócső, Helmholtz-rezonátor

**Abstract:** I examined the effect of the pressure waves on an internal combustion engine's moment with the help of a test device. After building the Helmholtz-resonator I placed it into the intake system and measured the changes of the pressure values in the intake pipe with the moment of the engine at the same time. With the comparison of the results, the caused changes became visible and hereby controllable. After the evaluation, I proposed options for improvement and application.

**Keywords:** acoustic, pressure waves, intake manifold, Helmholtz-resonator

### 1. BEVEZETÉS

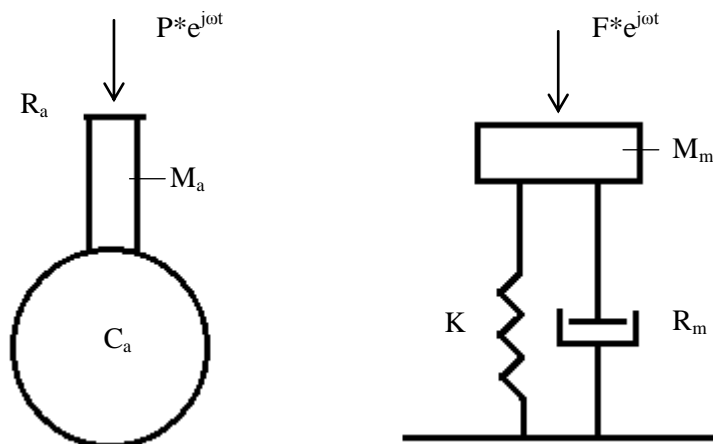
Egy belső égésű motor teljesítményét komolyan befolyásolja a beszívott levegő mennyisége, amit töltési fokkal szokás jellemezni. Ezt a mérőszámot befolyásoló ún. töltést javító eljárásokkal találkozhatunk a járműiparban, például turbó formájában. Az én általam vizsgált terület egy egészen más megközelítésből tekint a feltöltésre, hiszen hozzáadott nyomás nélkül próbálja vezérelni a szívórendszerben kialakult nyomásviszonyokat. A motor periodikus működése során a szelepek által megállított levegőoszlopban nyomáshullámok jönnek létre, amelyek pulzálását kihasználva javítható az oxigén ellátás. Ezt esetemben egy Helmholtz-rezonátor idézi elő, amely a kialakult nyomáslengést befolyásolva avatkozik a rendszerbe. A rezonátor geometriájának változtatásával pedig a motor egész működési tartományának vizsgálatára volt lehetőség. A nyomás és teljesítmény értékek együttes elemzésével érthetőbbé válik a jelenség kialakulásának oka, ezáltal kontrollálható folyamat hozható létre [1].

### 2. ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS

Fontos volt áttekinteni a Helmholtz-rezonátor elméleti alapjait, hogy a kapott eredményeket megfelelőképp lehessen kezelni. A fellelhető források alapján két féle megközelítést mutatok be, amelyek a rezonátor leírására hivatottak. Az egyik egy analógiára vezethető vissza, amelyben egy rugóval ellátott mechanikai rendszerhez hasonlítjuk az akusztikai modellt. A másikban pedig a nyomáshullámok nyomás és sebességértékeit vizsgálják, a szinusz függvény tulajdonságainak segítségével.

## 2.1. Mechanikai megközelítés

Ebben a szemléletmódban a csőrendszerben mozgó légmennyiség a mechanikai tömeghez, a tágasabb térfogatban lévő levegő a rugóhoz hasonlítható, amit az 1. ábra szemléltet.



1. ábra Akusztikai és mechanikai rendszer analógiája

Akusztikai rendszer:

- $C_a$  - akusztikai tér jellemzője
- $P$  - nyomás a nyak nyitott részén
- $M_a$  - a rezonátor akusztikai tömege
- $R_a$  - akusztikai ellenállás

Mechanikai rendszer:

- $K$  - rugóállandó
- $F$  - normális irányú erő
- $M_m$  - mechanikai tömeg
- $R_m$  - mechanikai ellenállás

A rendszer impedanciájának ismeretében kifejezhető annak saját frekvenciája, ha az ellenállás legkisebb értékét vesszük, tehát nullával egyenlővé tesszük a képzetes részt.

Rezonátor akusztikai impedanciája:

$$\hat{Z}_{mres} = \left( R_v + \frac{\rho \cdot c \cdot k^2 \cdot S^2}{2 \cdot \pi} \right) + j \cdot \left( \omega \cdot \rho \cdot L \cdot S - \frac{\rho \cdot c^2 \cdot S^2}{\omega \cdot V} \right), \quad (1)$$

ahol:  $\omega$  – körfrekvencia

$S$  – rezonátor nyaki részének keresztmetszet,

$L$  – hossza,

$V$  – rezonátor dobtérfogata,

$c$  – hangsebesség,

$\rho$  – sűrűség,

$k$  – hullámok száma,

$R_v$  – viszkozitásból adódó veszteség.

Ebből a rezonátor saját frekvenciája:

$$\omega_0 = c \cdot \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}}, [2], [3]. \quad (2)$$

## 2.2. A nyomáshullámok akusztikai leírása

A motor működéséből fakadó nyomásviszonyok egy hangsebességgel terjedő longitudinális hullámot hoznak létre, amelynek csúcsait és völgyeit a nyomás és a sebesség maximális és minimális értékei jelentik. Az értékek meghatározására a következő képleteket használhatók:

$$\Delta p(x, t) = \Delta p_{max} \cdot \sin 2\pi \frac{x}{y} \cdot \sin 2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot t \quad (3)$$

$$\Delta v(x, t) = v_{max} \cdot \sin 2\pi \frac{x}{y} \cdot \sin 2\pi \frac{c}{\lambda} \cdot t \quad (4)$$

Amelyek segítségével kifejezhető a hullám frekvenciája, amely a szívórendszerben keletkezik:

$$f = \frac{c}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{L \cdot V}} \quad (5)$$

Ez az előző fejezetben kapottal azonos egyenlet, ahol esetünkben az S a szívócső keresztmetszete, L annak hossza és V a henger lökettérfogatának fele. Az általam hozzáadott rezonátor hasonlóképp leírható, amennyiben egy csatlakozó „nyak” részből ( $S_{rez}$  keresztmetszettel és  $L_{rez}$  hosszal) és egy  $V_{rez}$  térfogatú dobból áll. A két rendszert tekintve, azok összeadott jelét kell majd figyelembe venni [4].

## 3. A KÍSÉRLETI BERENDEZÉS ÉS A MÉRŐÁLLOMÁS

### 3.1. Hozzáadott Helmholtz-rezonátor

Az elméleti háttér ismeretében a célnak megfelelő egyszerű rezonátort terveztem és a tanszék segítségével megépítettük majd beépítésre került a motor szívórendszerébe. Az elkészült kísérleti berendezés legfontosabb tulajdonsága, hogy a rezonátordob térfogata változtatható, így az őt jellemző saját frekvencia változtatható, ezáltal a motor működésének teljes tartományában vizsgálhatóvá válik a kiváltott hatás. Ezt a hengeres dobban elhelyezett, két, egymáshoz képest mozgó lappal értem el, amik ezáltal a dob hasznos térfogatát zárták be.

### 3.2. Méréshez használt eszközök

A motor működése során a vizsgált értékeket két területen kísértem figyelemmel.

Az általam használt fékpad tartalmazott egy mérőegységet, amely lehetővé tette a fordulatszám és a nyomaték változásának regisztrálását. Egy gázkar segítségével tudtam változtatni a motor fordulatszámát, adott fordulaton pedig mértem a fékpad által a motorra kifejtett terhelést. Emellett a nyomáshullám vizsgálatához is szükség volt külön mérőműszerre. Ehhez nyomásmérő szenzorokat helyeztem el a szívócső egyes részein, amelyek által mért értékeket egy mérésadatgyűjtőn keresztül kapott meg a számítógép, ahol a kirajzolódó periodikus változást lehetett figyelni.

A szinkronban végzett mérések összehasonlításával a különböző működési tartományokban létrejövő jelenségek nyomon követhetők és megmagyarázhatóak.

## 4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉS

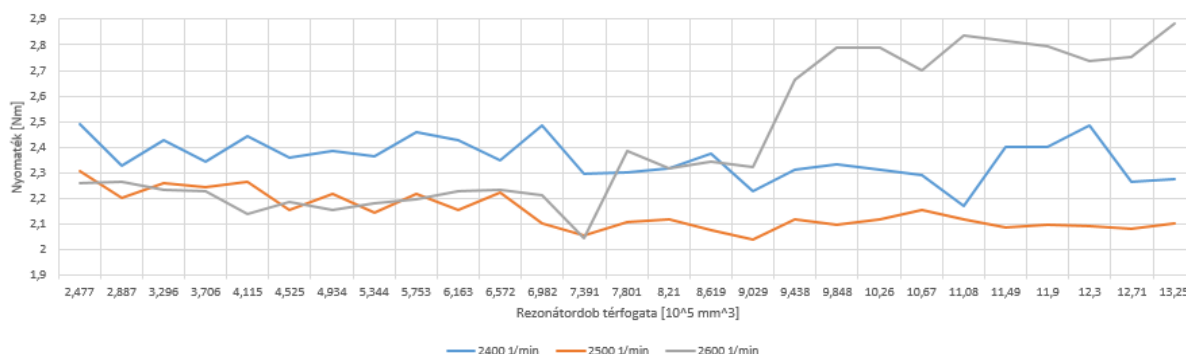
A méréseket 3 perces ciklusokban végeztem, amit újabb 3 perc követett a következő mintavételezéshez tartozó értékekre való beállításához. Egy ciklusban a fékpad által mért nyomatékértékeket átlagolta a hozzátartozó szoftver, amelyet egy táblázatban, a többi jellemző paraméterrel együtt lehetett kimenteni. A motor működése közben, ezalatt elvégeztem a nyomásmérést is, ami a nyomásérzékelőhöz tartozó programban beállított mintavételezési idővel és felbontással történt, az adott nyomástartományon. az így kapott diagramokat az őket alkotó értékekkel együtt mentettem el későbbi felhasználásra. A szünetekben beállítottam a következő méréshez használt állapotot. Megváltoztattam a rezonátordob térfogatát, ezalatt a fordulatszám állandó maradt, tehát a nyomaték változása csak a rezonátor által befolyásolt állapot miatt jött létre [5], [6].

### 4.1. Motor alapadatait szolgáltató mérés

Elsőként több, rövidebb mérést készítettem, tehát több fordulatszám és kevesebb dobtérfogat esetén. Ezt arra használtam, hogy megmutassa, melyik tartományban fejt ki a legnagyobb hatást a rezonátor. Így egy szűkebb fordulatszám tartományon folytathattam kísérletet.

Az első méréssorozat alatt az egyes fordulatszámokon mért nyomatékértékeket foglaltam össze a különböző dobtérfogatokon. A táblázatban szereplő adatok szerint két helyen található nagyobb kitérés, egyszer az alacsonyabb fordulatszámú régióban, valamint a 2400-2700 1/min tartományban. Kisebb fordulaton a motor működése egyenetlen, időben is változó jelleget mutatott, a rezonátordob jelenlététől függetlenül, ezért ennek a résznek a közelebbi vizsgálatától eltekintettem. Ezáltal a következő méréssorozat céltartományaként az utóbb említett, magasabb fordulatu régiót választottam.

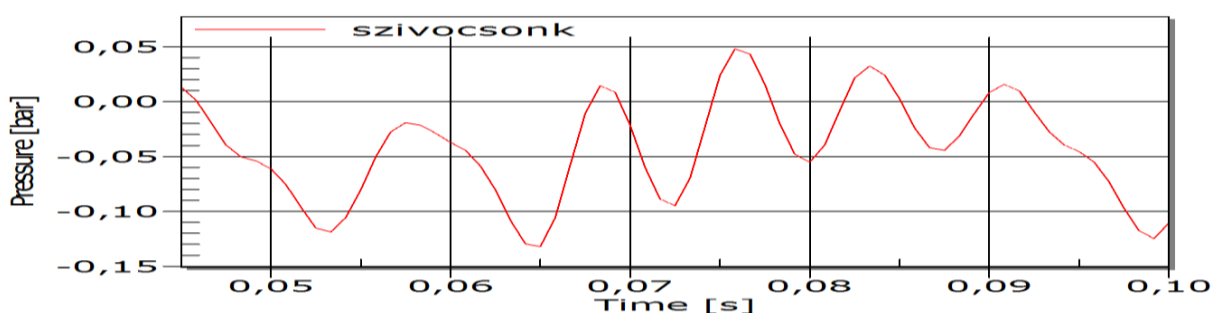
Ezúttal a méréseket jóval több dobtérfogaton végeztem, de csak 3 fordulatszámon, így a nyomaték megváltozása nagyobb precizitással követhető nyomon. A mért adatokat a 2. ábra mutatja be, ahol a 3 görbe a 3 fordulatszámon figyelt nyomatékértékeket mutatja, a dobtérfogat változásával. Egyértelműen látszik, hogy a 2600 1/min fordulatszámon mért nyomatéggörbe erős ugrást mutat a rezonátor geometriájának változtatásával. Ez azt jelenti, hogy a berendezés hatással van a motor működésére, az ezt kiváltó okra pedig a nyomásszenzor által biztosított eredményektől vártam a választ.



2. ábra Nyomatékváltozás az egyes fordulatszámon

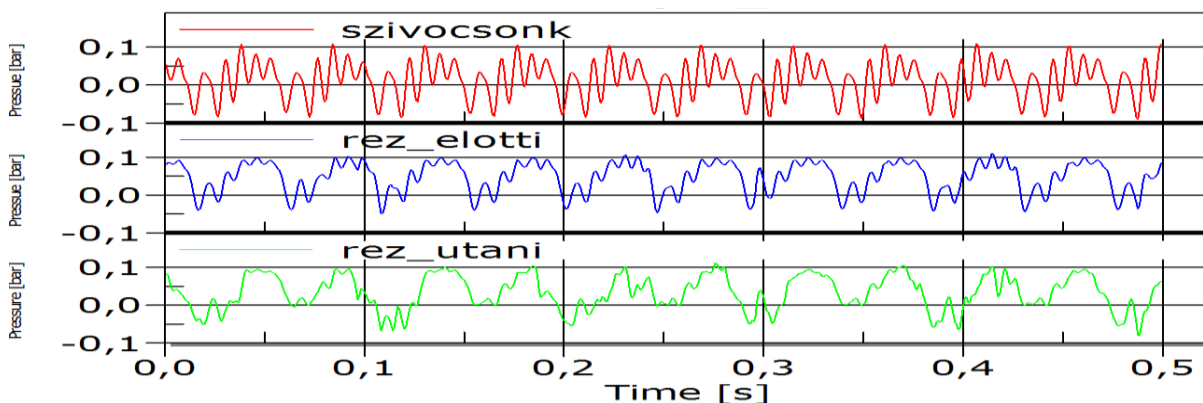
## 4.2. Nyomásmérés eredményei

Ezúttal az előző részben meghatározott fordulatszámokon mért nyomásértékeket vizsgáltam részletesebben, hogy kiderüljön milyen hatás áll a változások mögött. Mindenek előtt fontos volt egy görbe elemzése, annak érdekében, hogy tudjam, milyen részekkel rendelkezik a nyomáshullám. Segítségül szolgál a 3. ábra, ahol a 2600 percenkénti fordulatszámokon mért nyomásértékek láthatóak az idő függvényében. A diagram egy periódust mutat, amennyi idő alatt a motor ezen a fordulatszámokon beszívja, elégeti, majd kipufogja a levegőt és a hozzá adagolt tüzelőanyagot. Esetünkben 2 szakaszra bontható a tartomány, amikor a szívószelep nyitva van és a levegő a hengerbe áramlik, valamint annak zárt állapotában, ekkor a szívórendszerben lévő levegőoszlop nyomáslengései láthatóak. A periódus kezdetén és végén a szívószelep nyitását a 0,048 s és 0,094 s időpillanatokban megfigyelhető törések mutatják.

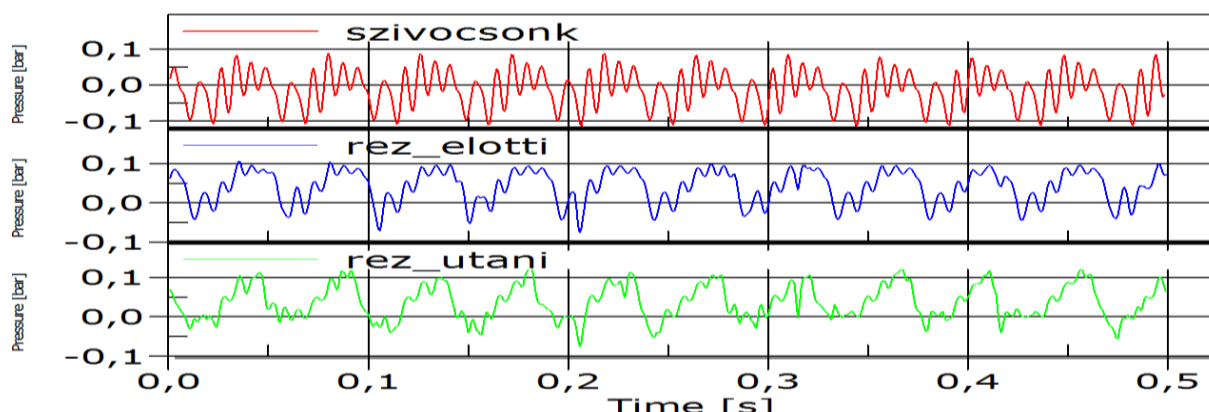


3. ábra Egy periódus nyomásviszonyai

A mérőeszközök ismertetésénél említett több szenzor, 3 érzékelőt foglal magába, amik a szívócsonknál, valamint a rezonátor előtt és után helyezkedtek el. Ezen eszközök által mért értékeket egy diagramon jelenítettem meg az adott mérés során, hogy az eltérések láthatóak legyenek. Két ilyen képet mutat a 4. és 5. ábrán, amik a 2600 1/min fordulatszámokon létrejövő nyomatóknövekedést megelőző és azt követő állapotban mértem. Az első, alacsonyabb nyomatórtékeket mutató mérés esetén felfedezhető egy periodikus minta a rezonátor utáni görbén, ami a szívócsőben lévő hullám gyengítését eredményezi. Ezzel ellentétben a másik mérésnél, a rezonátor által gerjesztett hullám erősíti az alap rezgést, így jön létre a szívócsonknál látható alacsonyabb nyomás, ez nagyobb nyomatórtéket eredményez.

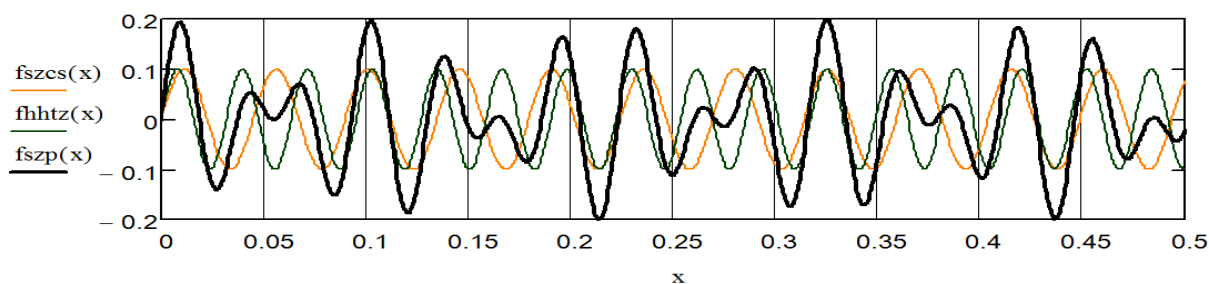


4. ábra Nyomásértékek a kisebb dobtérfogaton



5. ábra Nyomásértékek a nagyobb dobtérfogaton

Az eredmények megértését egy szinuszos jelekkel modellezett diagram segíti, ahol a 3 görbe a szívócsőben létrejövő hullámot (fszcs), a Helmholtz-rezonátor által gerjesztett változást (fhhtz), valamint a kettőből összeadódott hullámot szemléltetik. Az x értékek az időt helyettesítik.



6. ábra A hullám kialakulását szemléltető diagram

## 5. ÖSSZEGZÉS

Az eredmények azt mutatják, hogy a Helmholtz-rezonátor szívórendszerbe való elhelyezése hatásos lehet a motor működésének optimalizálására. Habár nyomtéknövekedést nem, de megfelelő hangolással maximális teljesítmény érhető el az adott fordulatszám tartományon. Így passzív feltöltésként meghibásodási lehetőség nélkül használható a hatásfok növelésére. Ha pedig a térfogatát változtatjuk, a motor egész működési tartományán javulás érhető el.

A kísérlet folytatásaként cél lehet egy adott motorhoz gyártott, gyakorlatban is használható rezonátor összehasonlítása már meglévő töltést javító eljárásokkal. Ezzel együtt a szívórendszerben lezajló áramlási folyamatok részletesebb vizsgálata is indokolt.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] TOLLÁR S.: *Négyütemű belsőégésű motorok töltetcserejét befolyásoló tényezők vizsgálata*, Miskolci Egyetem, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Tanszéke, 2010; [http://epa.oszk.hu/00000/00028/00052/pdf/msz\\_EPA00028\\_2013\\_60\\_33-38.pdf](http://epa.oszk.hu/00000/00028/00052/pdf/msz_EPA00028_2013_60_33-38.pdf)
- [2] L. KINSLER, A. FREY, A. COPPENS, and J. SANDESR. *Fundamentals of Acoustics*. John Wiley and Sons, New York, NY, Third edition, 1982.
- [3] On the theory and design of acoustic resonators. The journal of the Acoustical society of America, 25(6):1037-1061, 1953.

- [4] **KALMÁR I., STUKOVSKY ZS.:** *Belsőégésű motorok folyamatai*, Műegyetemi Kiadó, 1998, (ISBN 963 420 565 8)
- [5] **LAKATOS I.:** *Diesel motorok diagnosztikája és javítása*, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008;  
[http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/13\\_0675\\_004\\_101015.pdf](http://www.kepzesevolucioja.hu/dmdocuments/4ap/13_0675_004_101015.pdf)
- [6] **GARY GOMS:** The pressures of intake manifolds vacuum tests;  
<http://www.underhoodservice.com/diagnostic-dilemmas-the-pressures-of-intake-manifold-vacuum-tests/>

# VÁLLALATOK KÖZÖTTI STRATÉGIAI EGYÜTTMŰKÖDÉS

## STRATEGIC COOPERATION BETWEEN COMPANIES

Korponai János<sup>1</sup>, Bányainé Tóth Ágota<sup>2</sup>, Illés Béla<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc., doktorandusz, Miskolci Egyetem, [janos.korponai@gmail.com](mailto:janos.korponai@gmail.com)

<sup>2</sup>Ph.D., egyetemi docens, Miskolci Egyetem, [altagota@uni-miskolc.hu](mailto:altagota@uni-miskolc.hu)

<sup>3</sup>Prof. habil, intézetigazgató egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, [altilles@uni-miskolc.hu](mailto:altilles@uni-miskolc.hu)

**Kivonat:** Az üzleti kapcsolatokban rejlő, a vállalat számára realizálható érték elemzésekor nem hagyhatjuk figyelmen kívül a vállalatok közötti együttműködés egy magasabb integráltsági, fejlettségi fokát, azaz a vállalatok közötti, hosszú távra szóló kooperációt, a vállalati stratégiai szövetséget. Bármely motivációból is alakuljon az együttműködés, a vállalatokat érintő piaci környezet dinamikus változása miatt fontos figyelemmel kísérni az együttműködés fenntartására fordított erőfeszítések és a realizálható hasznok alakulását, valamint az egymástól való függőségben rejlő kockázatok mértékét. A vállalat célrendszere idővel változik, illetve az egyes kapcsolatoktól elvárt hozam és maga a kapcsolat is átértékelődik, így időről-időre szükséges felülvizsgálni, hogy a célok eléréséhez mely kapcsolatok milyen szintű menedzselésére van szükség.

**Kulcsszavak:** stratégiai szövetség, együttműködés, célrendszer, erőviszony

**Abstract:** During analyses of the business relationships value which can be realized for the company, we may not leave the higher integration of the companies out of consideration; it means the long-term cooperation between the companies, the corporate strategic alliance. Should the cooperation be formed from any motivations, due to the dynamic changes in market conditions affecting the companies it is important to monitor the effort of the maintenance of cooperation and development of realizable benefits and also the level of risk inherent in the mutual dependence. The company's target system changes with time, and also the expected benefits of the the various relationships re-evaluate, in order to achieve the targets it is necessary to review which relationship has to be managed on which level.

**Keywords:** strategic alliance, cooperation, target system, power relations

### 1. A STRATÉGIAI SZÖVETSÉG FOGALMA, ÉRTELMEZÉSE

A piacok világméretűvé válása, a technológia rohamos gyorsulása, a kutatás-fejlesztési tevékenység felértékelődése és a fokozódó globális verseny válaszlépésre készíti a piaci szereplőket. A tartós, kölcsönösen érvényesíthető versenyelőnyök kihasználása érdekében a piaci versenyben egyébként hagyományosan szembenálló, azonos iparágban tevékenykedő vállalatok között stratégiai szövetség alakulhat ki. Vállalati stratégiai szövetség alatt a következő jellemzőkkel leírható vállalatközi együttműködést értjük:

- „az üzleti felek viszonylagos szervezeti, jogi és stratégiai önállóságát megőrző,
- hosszabb távra szóló (stratégiai célokat szolgáló),
- kölcsönösen előnyös együttműködés, amelynek keretében megvalósul
- a szövetség rendelkezésére bocsátott erőforrások (anyagi eszközök és ismeretek) révén
- a partnerek bizonyos mértékű tevékenységi integrációja”
- meghatározott üzletági vagy funkcionális területeken [2].

Nem beszélhetünk stratégiai szövetségről azon együttműködési formák esetében, ahol – a kooperáció időtartamától függetlenül – az együttműködés alacsony integráltsági fok mellett jön létre (pl. hosszú távú, nem stratégiai szintű szállítói keret-megállapodás), illetve – az integráltság fokától függetlenül – a kooperáció rövid távra szól (pl. hagyományos alvállalkozói kapcsolat, illetve az egyszeri, speciális feladat megvalósítására irányuló projekt jellegű kooperáció). A stratégiai szövetségre jellemző továbbá, hogy az erőforrások közös felhasználása mellett a tevékenység során felmerülő kockázatokat bizonyos mértékig közösen kezelik és vállalják, a közös kockázatvállalás során elért hasznot megosztják [5].



Stratégiai célokat szolgáló együttműködés azonban nemcsak az ellátási láncban helyet foglaló szállítók és vevők között jöhet létre (vertikális szövetség), hanem az egymással rivalizáló versenytársak között is (horizontális szövetség), illetve a gazdaság eltérő szektorában tevékenykedő és egymással különben nem beszállító-vevői, vagy versenytársi kapcsolatban álló piaci szereplők között is (diagonális szövetség).

### 1.1. A stratégiai szövetség célja

Mint az üzleti szférában tevékenykedő vállalatok maguk is a legkülönbözőbb jellemzőkkel bírnak (eltérő üzemméret, anyagi eszközök, know-how, különböző gazdasági szektor), az egyes vállalatok közötti kapcsolatok is sokrétűek, valamint a szövetséget összetartó együttműködés szintje, irányultsága, motivációja is eltérő jellemzőket mutat.

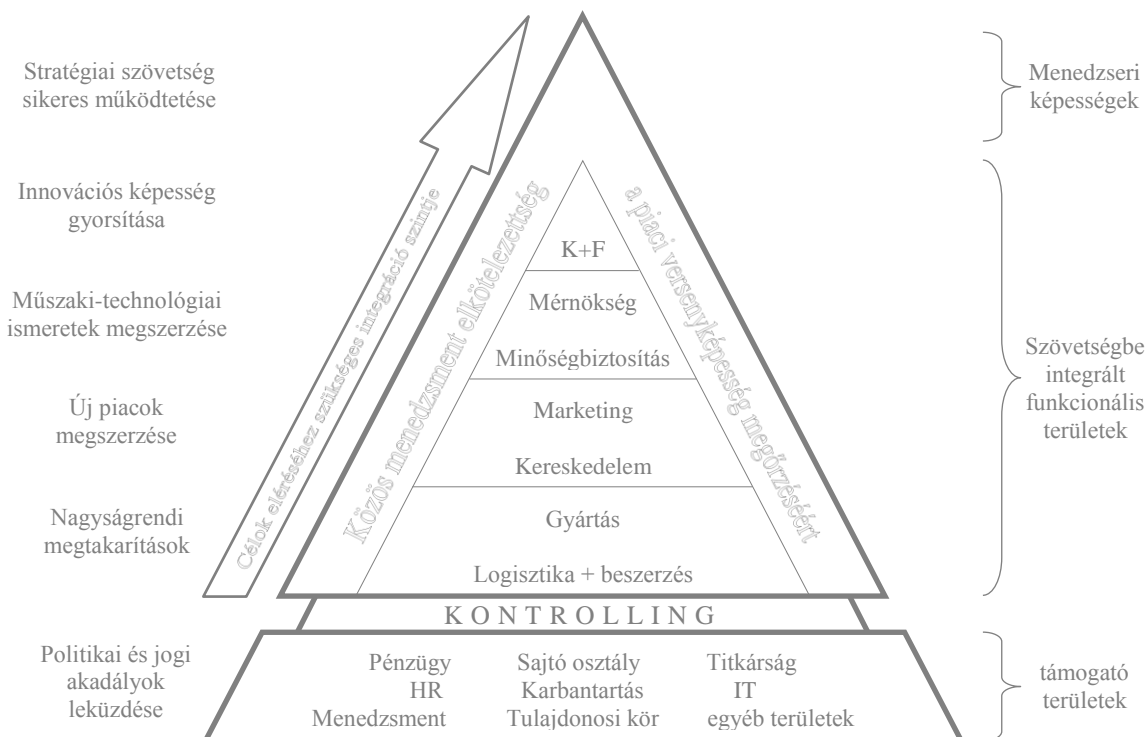
A stratégiai szövetségek létrejöttének és hosszú távú fenntartásának leggyakoribb motivációs tényezői négy fő csoportba sorolhatók:

- „nagyságrendi megtakarítások elérése,
- műszaki-technológiai és menedzsment ismeretek szerzése, kiegészítése és kombinálása, valamint az időtényezőhöz kapcsolódó előnyök kihasználása,
- új piacok meghódítása, globális versenyelőnyök szerzése,
- politikai és jogi természetű akadályok leküzdése” [1].

A stratégiai szövetségek létrehozásának elsődleges célja nem a költségek csökkentésére irányul, fő mozgatórugója a versenyképesség megőrzése, a piaci pozíció megtartása. A költségek csökkentése gyakran csak eszköz – vagy következmény – a hosszú távú célok megvalósításában.

## 2. A STRATÉGIAI SZÖVETSÉGEK MOTIVÁCIÓS MODELLJE

Az alábbi modell segítségével összefoglalható a stratégiai szövetség célrendszere és a célok megvalósításához szükséges erőforrások (1. ábra).



1. ábra: A stratégiai szövetségek célrendszere, és szükséges erőforrásai (saját szerkesztés)

A stratégiai szövetség működtetéséhez, felügyeletéhez szükséges vállalati funkciókat és a hozzájuk rendelt célokat, és az azok eléréséhez szükséges integráció szintjét egységes szerkezetbe foglalva ábrázolható a vállalatközi kooperáció résztvevőinek belső kapcsolatrendszer.

A piramis felső részében azok a – stratégiai szövetség magját alkotó – funkcionális területek foglalnak helyet (pl. kereskedelem, műszaki osztály stb.), amelyek a vállalatközi együttműködések során operatív szinten, napi munkájukat egymással összehangolva a leggyakrabban vállalnak szerepet a kapcsolattartásban. A piramis középső részében található funkcionális területek azonban csak a szövetség tagjainak elkötelezett menedzsment támogatásával tudják rész céljaikat elérni. Napjainkban a piaci verseny sikerességének kimenetele jelentős mértékben függ a vezetői képességektől, a vállalat stratégiájának érdekében külső és belső forrásokat, kapacitásokat, a beszállítókból, vevőkből, hitelező cégekből és egyéb partnerekből álló hálózatokat hatékonyan koordinálni képes menedzsmenttől.

A piramis mellett (bal oldalt) felsorolt rész célok ugyan – a célok megvalósításához leginkább hozzájárulni képes – adott funkcionális területekhez lettek sorolva, azonban minden egyes rész célok eléréséhez szükséges a vállalat egészének szerepvállalása, persze eltérő intenzitással. Az egyes rész célok között esetenként nincs sem éles határ, sem alá-fölérendeltség.

A piramis alapját – mint a stratégiai szövetségbe integrált funkcionális területek támogató háttérét – képezik az együttműködésbe operatív szinten nem, vagy csak ritkán bevont területek, pl. humán erőforrás-menedzsment, üzemfenntartást, stb.

A modell három részre osztja a vállalatokat (jobb oldal). Ennek megfelelően tehát szükséges a támogató háttér, az együttműködésben részt vállaló területek, és az együttműködést irányító, felügyelő vezetők képességeinek összessége.

Fontos szerepet kap a felügyeletet támogató kontrolling osztály munkája. A kontrolling osztály ellátja mind a három célcsoportot a megfelelő részleteket tükröző mutatószámokkal. Elhelyezkedését tekintve a támogató területek és az operatív kapcsolatban részt vállaló területek között foglal helyet, ezzel egyrészt a központi irányításhoz nélkülözhetetlen szerepvállalása is ábrázolható (minden célcsoporttal van közös felülete), másrészt ellátja a vállalatok egyéni (piramis alsó része) és a közös céljai (piramis felső része) közötti kontroll felügyeletét.

A kontrolling terület helye a piramis két fele között azzal is magyarázható, hogy míg a háttér területek csak ritkán, illetve az integrált területek napi szinten tartják a kapcsolatot a szövetséges vállalkozással, addig a kontrolling a kapcsolattartás gyakorisága szerint is átmenetet képez a két véglet között. Operatív szinten tehát nincs napi kapcsolata az üzleti partnerekkel, azonban a stratégia kidolgozásakor, és felülvizsgálatakor megkérdőjelezhetetlen a személyes részvétele.

A célok és a hozzájuk rendelt felelős területek egymásra épültségének piramisszerű ábrázolása ugyanakkor azzal is indokolt, hogy míg a méretgazdaságosságból eredő megtakarítások realizálásához – pl. az „egyszerű” közös beszerzési stratégia kialakításához – alacsonyabb integráltság szükséges, azaz a célok az egyéni stratégia tervek, illetve az üzleti titkok viszonylag alacsony szintű (szövetségen belüli) nyilvánossá tétele mellett is megvalósíthatók, addig a közös kutatás-fejlesztési tevékenység összehangolásához igen szoros integráltság és kölcsönös egymásra utaltság jellemző.

Közös kutatás-fejlesztési tevékenység folytatásához az üzletfeleknek nagyon komoly bizalmi kapcsolatot kell kiépíteniük, az üzleti titkuknak nagyobb részét meg kell osztaniuk egymással.

A piramisszerű felépítés az egyes célok megvalósításából adódó előnyök kihasználása érdekében létrejött szövetségek számát is tükrözi, azaz a gyakorlatban nagyobb számban fordulnak elő méretgazdasági szempontokra alakult szövetségek, mint a fejlettebb együttműködési szintet igénylő K+F tevékenységre.

A részcélok, illetve funkcionális területek egymás feletti ábrázolása nem jelent azok között hierarchikus viszonyt, hanem a sikeres megvalósításhoz szükséges integráltságot tükrözi, mintsem a célok egymásra épültségét, alá-fölérendeltségét. Ez azzal magyarázható, hogy a szorosabb integritást igénylő motivációból kiindulva is lehet szövetséget létrehozni anélkül, hogy az alatta ábrázolt célok teljesülnének, vagy egyáltalán a szövetség céljaként megfogalmazódnának.

A szövetség kialakulásának tehát számos motivációs tényezői sorolhatók fel, azonban az egyes csoportok egymástól élesen nem elhatárolhatóak. Egy vállalkozási együttműködés gyakran nem egyetlen konkrét célból, hanem több cél egyidejű megfogalmazása mellett jön létre. Gyakran a szövetségbe lépő vállalkozásoknak külön motivációi vannak, mely részcélok azonban jól összeegyeztethetőek egymással.

## 2.1. A stratégiai szövetségek irányai

Stratégiai szövetségek megalakulásához nem feltétlenül szükséges az együttműködés kereteinek szerződésbe foglalása. A gyakorlatban előfordul, hogy az egyes vállalatok bizonyos tevékenységeiket – kimondatlanul – hosszabb ideje szoros integrációban végzik, miközben a stratégiai szövetség, vagy maga az összefogás, mint cél meg sem fogalmazódik. Ez főleg beszállító-vevői partnerkapcsolatokra jellemző, mikor is a vevő a kezdetektől bevonja egyes beszállítóit a fejlesztésekbe, illetve nagy ráhatással van azok belső gyártási folyamataira, mintegy operatíván irányítva azt.

Ezek a „szövetség kezdemények” amennyiben kimondott, megfogalmazott célokkal párosulnak és elkötelezett menedzsment, illetve tulajdonosi körrel találkoznak, könnyen szerződéses szintre emelkedhetnek.

A stratégiai szövetség tagjainak iparági hovatartozása alapján megkülönböztethetünk versenytársak és nem versenytársak közötti stratégiai szövetséget. Az együttműködő felek üzleti viszonyától függően a partnerkapcsolatok lehetnek:

- versenytársak közötti horizontális szövetségek,
- nem versenytársak közötti vertikális, azaz beszállító-vevő közötti szövetségek,
- nem versenytársak közötti diagonális, vagy szektorközi stratégiai szövetségek [2] [3].

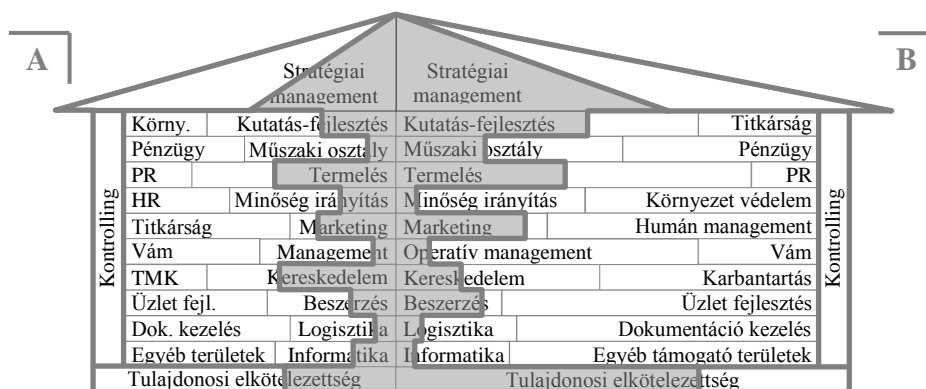
Egy vállalkozás egyidejűleg több szövetségnek is tagja lehet, főként, ha az egyes szövetségek eltérő célok elérésére szerveződnek, így az adott vállalkozást érintő szövetségek tagjai között nem állnak fenn érdekellentétek.

## 3. A VÁLLALATKÖZI EGYÜTTMŰKÖDÉSBEN MUTATKOZÓ ERŐVISZONYOK ÉS A TAGOK BELSŐ SZERVEZETI FELÉPÍTÉSE

A gyakorlatban számos példa bizonyítja, hogy stratégiai szövetség kialakulhat eltérő üzemmérettel rendelkező vállalkozások között is. A vállalkozási együttműködésben rejlő erőviszonyokat és belső szervezeti felépítést a 2. ábrában szerkesztett modell mutatja be.

Az ábra két vállalkozás együttműködését jeleníti meg, melyben az egyes vállalkozások funkcionális területeik egy részét bevonják a közös cél elérése érdekében, miközben számos terület kizárólag a vállalkozás önálló érdekeit szolgálják.

Az ábrából az is kitűnik, hogy a szövetségbe integrált szakterületek is csak bizonyos mértékig vannak az együttműködéshez rendelve (szürke terület), egy meghatározott részük szintén csak a vállalkozás érdekeit képviselik (fehér terület). Az együttműködő vállalkozások között gyakran fordul elő, hogy az egyik vállalkozás egy adott szakterületének csak elenyésző részét fordítja a közösen megvalósítható célok érdekében, miközben ugyanazt a tevékenységet a másik fél saját adottságaihoz mérten lényegesen nagyobb arányban bocsátja a szövetség rendelkezésére. Az ábrában ilyen terület pl. a kutatás-fejlesztés, ahol a „B” vállalkozás nagyobb arányt képvisel a közösen végzett kutatás-fejlesztési tevékenységből.



2. ábra: A vállalatközi együttműködésben mutatkozó erőviszonyok és a tagok belső szervezeti felépítése (saját szerkesztés)

Az ábrából az is kitűnik, hogy a vállalkozások egy része önállóan működik tovább, miközben egy másik része (közös metszet) a partnerek együttműködésével úgy viselkedik, mint egy közös vállalat.

Látható továbbá az is, hogy bármely tag által a közösbe vitt funkcionális területnek megtalálható a másik partner szervezetében is a párja, még ha az adott funkcionális területnek az egyik fél esetében olykor jelentéktelen is a mérete. Ilyen esetben is minimum a kapcsolattartás szintjén kiépül az adott funkció, pl. ha a marketing tevékenység folytatására kizárólag az egyik fél vállalkozik, a másik félnél akkor is legalább a minimális tevékenység megfigyelhető, ha más nem is, de az egyéni érdekek védelmében felmerülő kontrolling funkció.

Az ábra egy épületként jeleníti meg a vállalkozások együttesét, mely épület két részből áll. Az egyes részek, azaz az együttműködő felek a gyakorlatban általában eltérő üzemmérettel rendelkeznek, így az ábrázolt épület részei – mint ez esetben – nem feltétlenül azonos méretűek. A két fél találkozásánál kialakult – szürkével jelölt rész – a vállalkozások közötti szövetség.

Az épület alapját, stabilitását képezi a tulajdonosi elkötelezettség, melynek hiányában sem az adott vállalkozás önállóan, sem a szövetség együttesen nem képes a piacon helyt állni.

Az épület alkotókövei a vállalkozásokban megtalálható egyes területek. A gyakorlatban előfordul, hogy a szövetség tagjainál eltérő területek fejlődtek ki, illetve bizonyos funkciókat az egyik vállalkozás összevont, míg a másik vállalkozás külön funkcionális területként működtet, vagy esetleg egyáltalán nem kap szerepet a szervezet működtetése során. Abban az esetben, ha az egyes vállalkozásokon belül az adott funkciók más lebontásban jelennek meg – különböző szervezeti felépítéssel rendelkeznek – a kooperáció sikeres folytatásához szükséges a hasonló szervezeti felépítés, vagy a partner szervezeti felépítéséhez igazodó kapcsolattartás. Ezt jeleníti meg az ábrában egymás mellett megtalálható azonos funkcionális területek.

Az épület tartópillérét jelenti maga a kontrolling tevékenység, azaz a vállalkozás tevékenységeinek számszerűsítésével, adatszolgáltatással, az egyes területek teljesítményeinek adatok formájában történő megjelenítésével foglalkozó terület. Adatszolgáltatás nélkül sem az egyes funkcionális területek, sem a menedzsment, sem a tulajdonosi kör nem tud hatékonyan és gyorsan döntéseket hozni, éppen ezért a kontrolling funkció a vállalkozás összes területéhez hozzá van rendelve, minden érintettel kapcsolatot építve.

Az épület csúcsát képező, az épületet összefogó terület a stratégiai menedzsment szintje. Egy része szintén a közös stratégiát szolgálja, miközben egy meghatározott mértékig a vállalkozás önálló stratégiai céljait is képviseli.

Minden szövetség esetében felrajzolható egy pontos – méretarányos – ábraként az egyes tagok, és azok belső területeinek felépülése. A gyakorlatban viszonylag kevés befektetéssel

kétféle kiindulási alaptól is felvázolható a struktúra. Az eljárás azonos, csak a vetítési alapok különböznek. Az egyik esetben az egyes területekre, illetve a közös célok elérésére elhatárolt budget keretből indulunk ki, a másik esetben az adott feladatokra fordított időből.

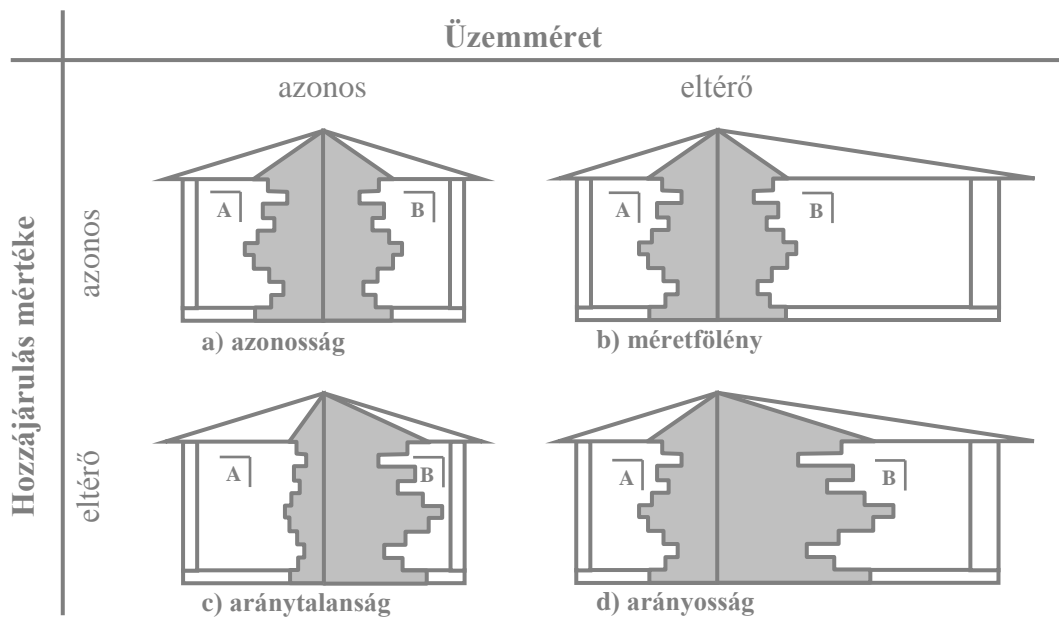
Az időkeretből kiindulva elsőként meg kell határozni az egyes vállalkozások funkcionális területeit, elkülönítve, melyek kizárólag az egyéni célokat szolgálják, és melyek azok, amik többé vagy kevésbé a közös célokhoz vannak rendelve.

A kizárólag egyéni célok eléréséhez hozzájáruló területeket nem feltétlenül szükséges tovább bontani funkcionális területekre, azok az egyszerűbb modellezés érdekében – mint támogató területek – egy összevont egységet is képezhetnek.

A közös célok érdekében a szövetségbe bevont területeket funkcionális területekre kell tovább bontani. Az így meghatározott funkcionális és támogató területek esetében meg kell határozni az adott kategóriához rendelhető munkaidőkeretet (illetve másik esetben a költségekből kiindulva a költségkeretet). Ezt követően a számszerűsített keretet tovább kell részletezni, kiemelve, hogy mekkora hányada szolgálja az egyéni, és mekkora a közös érdekeket.

Az adatok ismeretében felvázolható a szövetséget alkotó „épület”, pontos arányokkal megjelenítve az egyes partnereket, és azok egyéni és közös feladatok ellátására irányuló idő- vagy költségkereteit. Az így ábrázolt együttműködési formában jól megjeleníthetők az erőviszonyok is.

Az egyes vállalkozások belső szervezeti felépítését nem részletezve, a funkcionális területeket nem nevesítve az üzemméretük és a szövetségbe adott hozzájárulás dimenziói szerint az alábbi négy kategória különböztethető meg (3. ábra). Az egyes kategóriák az adott dimenzió szerinti végpontokat jelenítik meg, a valóságban ezen szélső értékek között számtalan variáció figyelhető meg.



3. ábra: A szövetség tagjai közötti kapcsolat a felek üzemmérete és hozzájárulása szerint (saját szerkesztés)

Azonosság esetében az összehasonlított felek mind üzemméretük mind a szövetség közös céljainak eléréséhez való hozzájárulásuk tekintetében azonos, vagy közel azonos mértéket tükröznek. Az egyes funkcionális területek szerint részletezett hozzájárulások mértéke ugyan eltérő lehet (pl. egyik fél a fejlesztésre koncentrálnak, míg a másik a marketingből veszi ki részét), ugyanakkor a teljes hozzájárulást tekintve nincs közöttük lényeges méretbeli különbség.

Arányosság esetében bár az üzemméretetek eltérőek, mégis a felek a saját erejükhöz képest arányos mértékben részesülnek a terhekből és a haszonból.

Aránytalanság esetében azonos üzemméretből kiindulva a felek jelentősen eltérő szintű hozzájárulása figyelhető meg.

Méretfölény esetén a ráfordításokból a lényegesen eltérő méretű vállalkozások azonos mértékű részt vállalnak.

Egy stratégiai szövetség keretében több vállalkozás együttműködésére is sor kerülhet. Ilyen esetben az egyes feleket párba rendezve az összehasonlítást páronként végezzük el.

A vállalatok közötti erőviszonyok, a szövetséghez való „hozzájárulás” és a belső szervezeti felépítés e módon történő vizuális megjelenítése a gyakorlatban segítséget nyújt az üzletfeleknek egységes álláspontjuk kialakításához. A megjelenített struktúra tárgyalási alapot képezhet a felek között a hozzájárulásuk mértékének a kívánt irányban történő elmozdításához.

Ha pl. az egyik fél – méretfölényéből adódóan – saját adottságaihoz képest elenyésző időt és költségkeretet fordít a szövetségre, miközben a nála sokkal kisebb fél számára az azonos mértékű hozzájárulás jelentős terheket ró, akkor az ábra segítségével könnyen megjeleníthető, mekkora kockázatot jelent az együttműködés sikerességének kimenetele az egyik, illetve a másik fél számára.

Azonos, vagy közel azonos üzemmérettel rendelkező vállalkozások esetében is jól ábrázolja az egyes tevékenységekből vállalt rész arányát, így az adott tevékenység és a kapcsolatban rejlő értéket. Ha a fenti példát folytatva az egyik fél alig vesz részt a fejlesztésben, miközben a marketing tevékenységet túlnyomórészt magára vállalja, akkor az időráfordításból és a költségkeretből kiinduló ábrázolással megjeleníthető, melyik fél mekkora értéket fordított a kooperációra, és hogy a saját tevékenységük a másik fél milyen arányú munkavégzésével egyenértékű, tehát az adott funkcionális területen vállalt ráfordítások és értékek más területekhez viszonyítva átkonvertálhatóak.

Időnként megismételt felméréssel ábrázolható tehát, hogy a vállalt együttműködés milyen ráfordítással és előnnyel jár a felek számára, illetve újabb tárgyalási alapot képez a „hozzájárulások” összegének meghatározására.

Ez azért is szükséges, mert az előbbi példánál maradván a felek megállapodnak, hogy egyikük a fejlesztéssel foglalkozik, míg a másik a marketing stratégiának szenteli erőforrásait, azonban idővel az egyik, vagy a másik tevékenység ráfordítás igénye idővel jelentősen változhat, így aránytalanságot képezve a korábbi egyensúlyhoz képest. Az aránytalanságot a felek gyakran érzik, kimondva vagy kimondatlanul megfogalmazódik bennük, igazságtalannak vélik terheik változását, miközben a partnerük tevékenységét egyre kevesebbnek érzik.

A tényadatok időről-időre történő megjelenítése tehát dinamikus módon mutatja az arányokban bekövetkező változást, egymás közötti elszámolás alapját képezve lehetőséget nyújt a célok objektív felülvizsgálatához, és a partnerkapcsolat újratárgyalásához.

#### **4. A STRATÉGIAI SZÖVETSÉGEK ÁTALAKULÁSA, FELBOMLÁSA**

A vállalatokat érintő piaci környezet dinamikus módon változik, valamint az egyes partnerekkel szemben kialakított kapcsolatok is időben fejlődnek, illetve az egyes kapcsolatoktól elvárt hozam és maga a kapcsolat is átértékelődik, ezért fontos a vállalat céljainak és küldetésének rendszeres felülvizsgálata.

A célok ismételt meghatározását követően elemezni kell, hogy a célok eléréséhez mely kapcsolatok milyen szintű menedzselésére van szükség.

Azon vállalkozási szövetségek, melyek esetében a részt vevő partnerek összehangolt tevékenységeiket kifejezetten tartós és szoros kooperáció keretein belül folytatták, az együttműködés integráltsága tovább erősödhet, és fúziók vagy felvásárlás során átalakulhat teljes szervezeti integrációt felölelő közös vállalattá.

A közös érdekek megszűnését, illetve a partnerkapcsolatban bekövetkező negatív irányú változást követően a szövetség tagjai kezdeményezik az együttműködés felbontását. Mivel az integráció során kölcsönös egymásrautaltság épült ki, az átalakulást és az esetleges megszűnést is meg kell tervezni.

Az ellátási lánc minden elemére kiterjedően végig kell gondolni, hogy az együttműködés keretében korábban egymás számára előállított teljesítményt a jövőben milyen formában, és mely üzleti partner bevonásával fogják pótolni, pl. a hosszú távú együttműködésbe bevont beszállító leváltása jelentős átfutási idővel és bizonytalansággal párosul.

A stratégiai szövetség megszűnésének másik módja, ha a tagok más partnerekkel újabb együttműködési megállapodást kötnek. A kapcsolatváltás azonban a vállalt kockázat mellett jelentős költségekkel és idővel is jár, így új kapcsolatok létrehozásakor az együttműködéstől várható összes számszerűsíthető és nem számszerűsíthető hozamot szembe kell állítani a kooperáció érdekében vállalt ráfordításokkal [4] [6] [7].

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ANTAL-MOKOS Z., BALATON K., DRÓTOS GY., TARI E. (1997):** *Stratégia és szervezet.* Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.
- [2] **BALATON K., TARI E. (szerk.) (2007):** *Stratégiai és üzleti tervezés. Stratégia, tervezés, módszerek.* AULA, Budapest.
- [3] **CHIKÁN A. (szerk.) (2005):** *Vállalatgazdaságtan.* AULA, Budapest.
- [4] **FÜLÖP GY., LUKÁCS E., SZEGEDI K. (szerk.) (1997):** *Szemelvények a stratégiai management irodalmából.* Bíbor Kiadó, Miskolc.
- [5] **PÁLINKÁS J. (2005):** *Piacfejlesztési döntések.* INOK Kft., Budapest.
- [6] **SZINTAY I. (2000):** *Stratégiai menedzsment.* Bíbor Kiadó, Miskolc.
- [7] **TARI E. (1998):** *Stratégiai szövetségek az üzleti világban.* Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest.

## MATEMATIKAI SZOFTVEREK ALKALMAZÁSA MŰSZAKI SZÁMÍTÁSOKBAN

### APPLYING MATHEMATICAL SOFTWARE IN ENGINEERING CALCULATIONS

Kézi Csaba Gábor<sup>1</sup>, Kocsis Imre<sup>2</sup>, Sziki Gusztáv Áron<sup>3</sup>, Vámosi Attila<sup>4</sup>, Vinczéné Varga Adrienn<sup>5</sup>

<sup>1</sup>tanársegéd

<sup>2</sup>tanszékvezető, főiskolai tanár

<sup>3</sup>főiskolai tanár

<sup>4</sup>tanársegéd

<sup>5</sup>adjunktus

Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Műszaki Alaptárgyi Tanszék

<sup>1</sup>kezicsaba@science.unideb.hu

<sup>2</sup>kocsisi@eng.unideb.hu

<sup>3</sup>szikig@eng.unideb.hu

<sup>4</sup>vamosi.attila@eng.unideb.hu

<sup>4</sup>vargaa@eng.unideb.hu

**Kivonat:** Műszaki problémák megoldásában fontos szerepet játszanak a matematikai számítások. A bonyolultabb számítások hagyományos módszerekkel történő elvégzése időigényes és esetenként nehezen megvalósítható. Mára a számítástechnika fejlődése és a matematikai szoftverek széles körben történő elterjedése lehetővé tette, hogy a műszaki számítások elvégzéséhez matematikai szoftvereket használhatunk, mellyel időt és energiát spórolhatunk meg. A szerzők által megalkotásra került egy digitális tananyag, mely különböző műszaki területeken (szilárdságtan, mozgástan és gyártásstatisztika) felvetett problémák megoldását mutatja be különböző, szabadon hozzáférhető matematikai szoftverek használatával.

**Kulcsszavak:** műszaki matematika, matematikai szoftverek, műszaki számítások

**Abstract:** Mathematical calculations play an important role in solving engineering problems. Performing complex calculations using conventional methods is time-consuming and sometimes difficult to realize. Today, the development of informatics and widespread mathematical computing software made it possible to solve engineering problems using computer and mathematical software, which saves time and energy. The authors developed a digital learning material, which presents problems of different technical fields (solid mechanics, kinematics, statistics) and the solutions with freeware mathematical software.

**Keywords:** engineering mathematics, mathematical software, engineering calculations

## 1. BEVEZETÉS

Műszaki feladatokban jelentős szerepet kapnak a matematikai számítások. Ezek között vannak bonyolultabbak, melyek megoldása hagyományos módszerekkel időigényes, ezért a műszaki életben inkább közelítő értékekkel, táblázatokból történő kiolvasással, stb. helyettesítik az eredményeket a feladat megoldása helyett. A számítástechnika fejlődése és a matematikai szoftverek széleskörű elterjedése lehetővé tette, hogy ezeket a számításokat is könnyen és gyorsan elvégezhessük, ezáltal pontosabb eredményeket kapva. Ennek gazdasági hatása is van, mert a becslésen, közelítő értékeken alapuló, ezáltal feleslegesen túlméretezett alkatrészek helyett olcsóbb, de a célnak megfelelő alkatrészeket tervezhetünk, használhatunk.



A mérnökök körében a szoftverhasználat elterjesztését már az iskolában, a mérnökképzésben el kell kezdeni, hogy a frissdiplomás mérnökök ezen ismeretek birtokában kezdhessenek el dolgozni. Ehhez nem csak a hallgatókat, hanem a tanárokat, oktatókat is fel kell készíteni a feladatra. Ennek okán a TÁMOP-4.1.2.B.2-13/1-2013-0002 számú, A műszaki és humán szakterület szakmai pedagógusképzésének és képzők hálózatának fejlesztése című pályázat keretében, 2014-ben a Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Műszaki Alaptárgyi Tanszékének oktatói által elkészült a **Matematikai szoftverek alkalmazása műszaki számításokban** című digitális tananyag.

A tankönyv szerkesztője Dr. Kocsis Imre tanszékvezető, főiskolai tanár, szerzői Dr. Kézi Csaba Gábor tanársegéd, Dr. Szíki Gusztáv Áron főiskolai tanár, Vámosi Attila tanársegéd és Vinczéné Dr. Varga Adrienn főiskolai docens. A tananyagot Dr. Kovács Zoltán főiskolai tanár lektorálta.

A tankönyv megszületése kapcsolódik annak az új módszernek a bevezetéséhez, melynek célja a műszaki matematika hatékonyabb oktatása a Debreceni Egyetem Műszaki Karán. A módszer lényege az, hogy a matematikai tárgyak keretében a hallgatók megismerkednek valamely általános célú szoftverrel, majd műszaki tartalmú, lehetőleg a szakjukhoz kötődő, a matematikai számítások tekintetében összetett projektfeladatok kapnak. A projektfeladatok összeállításában együttműködnek a mérnöki tanszékek munkatársai.

A projektfeladatok fontos célja, hogy a mérnökhallgatókban alakuljon ki az az érzés, hogy képesek a matematikát alkalmazni akkor is, ha a szükséges számítás számukra „technikai” nehézséget okoz, és hasznos eszközként, ne elkerülendő dologként tekintsenek a matematikára. Ez a megközelítés nem csökkenti a matematika tananyag „hagyományos” feldolgozására irányuló figyelmet, annak kiegészítése

Ebben a cikkben ismertetjük az elkészült tananyag felépítését, és példán keresztül röviden bemutatjuk a módszertani elemeket.

## 2. A JEGYZET FELÉPÍTÉSE

### 2.1. Fő fejezetek

A jegyzet 4 fő fejezetből áll:

- Matematikai szoftverek (szerző: Vámosi Attila)
  - o Áttekintés
  - o Az alkalmazott szoftverek bemutatása
  - o Az alkalmazott szoftverek összehasonlítása
- Szilárdságtani számítások (szerző: Vinczéné Dr. Varga Adrienn)
  - o Tenzorok, sajátértékek, sajátvektorok
  - o Súlypont, másodrendű nyomatékok
- Mozgástan (szerző: Dr. Szíki Gusztáv Áron)
  - o Anyagi pont mozgását leíró pálya menti mennyiségek
  - o Az anyagi pont mozgásegyenlete
  - o Munka, munkatétel és teljesítmény
- Gyártási folyamatok statisztikai elemzése (szerző: Dr. Kézi Csaba Gábor)
  - o Leíró statisztika
  - o Statisztikai hipotézisek vizsgálata
  - o Illeszkedés és függetlenségvizsgálat

## 2.2. Matematikai szoftverek

Ebben a fejezetben először áttekintjük a matematikai szoftvereket, a teljesség igénye nélkül felsorolunk ismert kereskedelmi célú és elterjedten használt szabad felhasználású (ingyenes) szoftvereket. A tananyag fejlesztése során szempont volt az ingyenesen elérhető szoftverek használata azért, hogy az olvasó anyagi ráfordítás nélkül kipróbálhassa és használhassa a tananyagban tanultakat.

Ezen megfontolás alapján az alábbi 4 matematikai szoftvert választottuk ki:

- GeoGebra
- wxMaxima
- R
- WolframAlpha (ingyenes online változata)

A tananyagban szerepel még egy ötödik szoftver is, amely ugyan nem ingyenes, de elterjedése mind az oktatásban (ingyenes hallgatói licenc), mind a napi munkában jelentős. Ez a Microsoft Office csomagjának Excel táblázatkezelő szoftvere.

A fejezet második részébe a kiválasztott szoftverek bemutatása került. Nem volt célunk egyik szoftver preferálása sem, a feladatmegoldások során több szoftverrel is megoldottuk ugyanazt a feladatot, és megjegyzéseket tettünk az esetleges hiányosságok esetén.

A választott szoftverek mind máshogy épülnek fel, különböző módon kezelik az egyes témaköröket. A fejezet harmadik részében táblázatosan összefoglaltuk, hogy a feladatmegoldás során fellépő matematikai problémákat az egyes szoftverek meg tudják-e oldani, és ha igen, milyen parancsokat kell ehhez beírunk. Az 1. ábrán erre láthatunk egy példát: a leíró statisztika a különböző szoftverekben milyen parancsokkal érhető el.

Művelet	GeoGebra	wxMaxima	R	Excel	WolframAlpha
<b>Darabszám</b>	- nincs -	length(minta)	length(minta)	DARAB(tartomány)	length {minta}
<b>Összeg</b>	Összeg[minta]	sum(minta[i],i,1, length(minta))	sum(minta)	SZUM(tartomány)	total {minta}
<b>Átlag</b>	Átlag[minta]	mean(A)	mean(minta)	ÁTLAG (tartomány)	mean {minta}
<b>Minimum</b>	Minimum[minta]	smin(minta)	min(minta)	MIN(tartomány)	min {minta}
<b>Maximum</b>	Maximum[minta]	smax(minta)	max(minta)	MAX(tartomány)	max {minta}
<b>Terjedelem</b>	Max[]-Min[]*	range(minta)	range(minta)	MAX()-MIN()*	range {minta}
<b>Medián</b>	Medián[minta]	median(minta)	median(mint)	MEDIÁN(tartomány)	median {minta}
<b>Módusz</b>	Módusz[minta]	- nincs -*	- nincs -	MÓDUSZ(tartomány)*	mode {minta}
<b>Variancia</b>	SzórásNégyzet[]	var(minta)	var(minta)	VAR(tartomány)	var {minta}
<b>Szórás</b>	Szórás[minta]	std(minta)	sd(minta)	SZÓRÁS(tartomány)	sd {minta}
<b>Ferdeség</b>	- nincs -	skewness(mint)	skewness (minta)*	FERDESÉG(tartomány) *	skewness{minta}
<b>Csúcsosság</b>	- nincs -	kurtosis(minta)	kurtosis (minta)*	CSÚCSOSSÁG(tartom) *	kurtosis{minta}

1. ábra Példa a leíró statisztika parancskészletére

Egyfajta segédletet alkottunk, melyet az önálló feladatmegoldások során jól lehet használni.

Természetesen vannak határaik ezeknek a szoftvereknek, nem minden feladatot lehet mindegyik szoftverrel megoldani, esetenként ajánlunk alternatív megoldásokat, de találtunk olyan problémát is, melyet a jegyzet készítésének időpontjában egyik szoftver sem tudott megoldani.

### **2.3. Alfejezetek felépítése**

A három további alfejezetet egymáshoz hasonlóan, az alábbi felépítéssel készítettük el:

- Alkalmazott szaktárgyi ismeretek
- Alkalmazott matematikai ismeretek
- Kidolgozott feladatok
  - o Megoldás számítógép használata nélkül
  - o Megoldás szoftverek alkalmazásával
- Gyakorló feladatok
- Projektfeladatok
  - o Kidolgozott projektfeladat
  - o Gyakorló projektfeladat
- Hivatkozott irodalomjegyzék

#### **2.3.1. Alkalmazott szaktárgyi ismeretek**

A tananyagot széleskörű felhasználásra szántuk. Potenciális felhasználó lehet egy olyan oktató vagy egy hallgató, akinek még nincs meg a szilárdságtani, mozgástani szakmai ismerete, de a matematikai szoftverek használatát gyakorlati példákon szeretné elsajátítani. Azért, hogy a példát megértsük, minden alfejezet az alkalmazott szaktárgyi ismeretek összefoglalásával kezdődik. Ez csak egy rövid szakmai összefoglaló, de a fejezet végén található irodalomjegyzékre történő hivatkozásokból az érdeklődők további ismereteket is gyűjthetnek.

A tananyag három szakterületet ölel fel: a szilárdságtan, a mozgástan és a gyártási statisztika területét. E három különböző terület jól mutatja a matematika alkalmazásának széles lehetőségét, ugyanis mindhárom területhez egészen más matematikai ismeret szükséges.

#### **2.3.2. Alkalmazott matematikai ismeretek**

A felhasználók széles körének másik véglete azok a szakmailag jártas emberek, mérnökök, akik rendelkeznek a szakmai ismeretekkel, de nincsenek tisztában a mögöttes matematikai ismeretekkel. Ebben a fejezetben foglaljuk össze, hogy az adott szakmai problémák megoldásához milyen matematikai ismeretek szükségesek, vagyis mit fog helyettünk a szoftver elvégezni. A már említett három szakterülethez különböző matematikai ismeretek tartoznak. A tananyag egy-egy fejezete ezáltal részletesen foglalkozik a mátrixműveletekkel, függvényműveletekkel (integrálás, deriválás, differenciálegyenletek megoldása) és a statisztikával (leíró statisztika és hipotézisvizsgálat).

#### **2.3.3. Kidolgozott feladatok**

A szoftverhasználatot kidolgozott feladatok megoldásán keresztül mutatjuk be. Első lépésként a kidolgozott feladatot hagyományos, „kézi” módszerrel oldjuk meg számítógép használata nélkül. Ezzel az volt a célunk, hogy megmutassuk a feladathoz szükséges matematika

műveleteket és azok időigényes megoldását. Az egyre nehezedő feladatok között van olyan, melynek több oldalnyi a megoldás menete. Ez jól szemlélteti azt is, hogy a szoftverhasználat milyen óriási mértékben segíti a felhasználót a feladat megoldásában. Lényegesen lerövidül a megoldási idő, csökken az esetleges tévesztés, elírás, számolási hiba lehetősége. Valójában a feladat szoftverekkel történő megoldásához a felhasználónak csak azzal kell tisztában lennie, hogy milyen matematikai műveletet kell elvégezni, és ezt milyen paranccsal lehet az adott szoftverben végrehajtani, de a művelet megoldását a felhasználónak nem feltétlenül kell ismernie.

A feladatok megoldásánál több szoftverrel is bemutatjuk a megoldást (természetesen csak ott, ahol ez lehetséges). Átadjuk ezzel a választás lehetőségét a felhasználónak, azzal a szoftverrel oldja meg a feladatot, amelyikkel szeretné. Bár a szoftverek alkalmazhatóságának területe elég széles, vannak átfedések, de egyes szoftverek bizonyos feladatokra jobban használhatóak. Így egy szoftver használatának ismerete nem biztosítja az összes feladat megoldhatóságát, de egyes területeken elegendő lehet (pl. ha a felhasználó csak statisztikával foglalkozik).

**Megoldás WolframAlpha alkalmazásával:**

A függvény:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2}{3} \cdot x + 2, & \text{ha } x \in [-3, 0] \\ -\sqrt{1 - (x - 1)^2} + 2, & \text{ha } x \in [0, 2] \end{cases}$$

Ezt kell integrálni -3 és 2 között, melyhez az alábbi parancsot kell kiadni:

**WolframAlpha**

(integrate 2/3\*x+2 from -3 to 0) +  
(integrate -sqrt(1-(x-1)^2)+2 from 0 to 2)

---

Input:

$$\int_{-3}^0 \left(\frac{2}{3}x + 2\right) dx + \int_0^2 \left(-\sqrt{1 - (x - 1)^2} + 2\right) dx$$

Result:

$$7 - \frac{\pi}{2} \approx 5.4292$$

Tehát a függvény alatti terület  $A = 5,4292$ .

2. ábra Integrálszámítás WolframAlpha alkalmazásával

**Megoldás az R alkalmazásával:**

Adjuk meg a két függvényt az alábbi módon:

**R Console**

```
> f1=function(x) {2/3*x+2}
> f2=function(x) {-sqrt(1-(x-1)^2)+2}
```

és számítsuk ki a határozott integrálok összegét:

**R Console**

```
> A=integrate(f1, -3, 0)$value+integrate(f2, 0, 2)$value
> A
[1] 5.429203
```

3. ábra Integrálszámítás az R szoftver alkalmazásával

#### **2.3.4. Gyakorló feladatok**

Miután a kidolgozott feladatok megoldásainak áttanulmányozása során a szoftverhasználatot elsajátítottuk, jöhet az ellenőrzés. Minden témakörben adtunk meg számos gyakorló feladatot, melyek a kidolgozott feladatok mintájára, az azok megoldásában bemutatott műveletekkel, alkalmazásokkal megoldhatóak. Ezeknek a feladatoknak nem adtuk meg a megoldását, csupán egy segítségét adtunk arra vonatkozóan, hogy a feladatot melyik kidolgozott példa mintájára lehet megoldani. A gyakorló feladatok megoldása szoftverfüggetlen, mindenki azt a szoftvert használhatja, amelyiket szeretné (persze a szoftverek korlátainak figyelembe vételével). A gyakorló feladatok megoldása során a kidolgozott feladat minták mellett nagy haszna van az első fejezetben szereplő összefoglaló, összehasonlító táblázatoknak is. Ezek felhasználásával lehet ellenőrizni, hogy az egyes szoftverek képesek-e megoldani az adott feladatot, és ha igen, akkor ehhez milyen parancsok állnak rendelkezésünkre.

#### **2.3.5. Projektfeladatok**

Minden fejezet projektfeladatokkal zárul. Ez egy olyan nagyobb volumenű összetett feladat, mely a fejezetben szereplő összes kis részfeladatot egy téma köré rendezi, azaz összefogja. Ennek az összetett feladatnak a megoldása még szoftverhasználattal is hosszabb időt vesz igénybe, így egy ilyen projektfeladatot célszerű kiadni például féléves tervezési feladatnak, házi feladatnak. Ezeket a feladatokat ilyen jellegű felhasználásra szántuk mintaként. Minden fejezet végén található kidolgozott projektfeladat, annak megmutatása céljából, hogy hogyan kell egy ilyen összetett feladat megoldását felépíteni. Ugyanakkor adtunk meg gyakorló projektfeladatot is, mely a kidolgozott minta alapján önállóan is megoldható.

### **3. A JEGYZET ELÉRHETŐSÉGE**

A tananyag digitális formátumban készült el, papír alapú megjelenítését a projekt nem támogatja. A tananyag elsősorban a mérnök-tanár-képzéshez készült, ezért az a BME Tanárképző Központ Moodle oktatási környezetében érhető el. Mivel a kész tananyag szélesebb körben is alkalmazható, ezért a zárt Moodle rendszer mellett egy nyílt, szabad felhasználású elérhetőséget is biztosítanak az érdeklődők számára. A tananyag HTML formátumban hamarosan elérhető lesz a <http://www.tankonyvtar.hu> weboldalon is.

## EDC SZENNYEZŐANYAGOK VIZEKBŐL TÖRTÉNŐ ELTÁVOLÍTHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

### INVESTIGATION OF EDC CONTAMINATIONS FROM WATERS

Zákányiné Mészáros Renáta<sup>1</sup>, Zákányi Balázs<sup>2</sup>, Demény Anita<sup>3</sup>

<sup>1</sup> egyetemi adjunktus, <sup>2</sup> egyetemi tanársegéd, <sup>3</sup> BSc hallgató  
Miskolci Egyetem, <sup>1</sup> Kémiai Intézet, <sup>2</sup> Környezetgazdálkodási Intézet, <sup>3</sup> Műszaki Földtudományi Kar BSC-s  
hallgató, 3515, Miskolc-Egyetemváros,  
fkmmr@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** Kutatásunk célja az volt, hogy a kiválasztott EDC és PPCP (Pharmaceuticals and Personal Care Products – Gyógyszerészeti és kozmetikai termékek) anyagok koncentrációját vizsgáljuk különböző (hagyományos) víztisztítási eljárások alkalmazását követően. Vizsgálati mintaanyagként koffeint (EDC) és oxibenzont (EDC- PPCP) választottunk, mivel ezek a szennyezők között gyakran előforduló anyagok. Először aggregációs technológiák alkalmazásának hatékonyságát vizsgáltuk: flokkuláltatással, illetve koaguláltatással. Az aggregációs technika mellett a másik alkalmazott kísérleti módszer az ózonos roncsolás volt.

**Kulcsszavak:** EDC, PPCP, víztisztítás

**Abstract:** The major aim in our research was to analyse the concentration of the chosen EDC and PPCP pollutants, if some water- treatment procedures are applied. We chose for the tests the caffeine (EDC) and the oxybenzone (PPCP), because they are common pollutants.

First the efficiency of aggregation techniques were analysed: the flocculation and the coagulation. Beside the aggregation techniques we also analysed the method of the fracture with ozone. The basic of the assessment was the solution of caffeine, and we explored how decreased the amount of caffeine when more and more ozones were added to the system. The detection also was made with spectrophotometry.

**Keywords:** EDC, PPCP, water treatment

## 1. BEVEZETÉS

A víz életünk meghatározó eleme, hiszen napi szükségletünk az ivóvíz. Mindemellett számottevő a kommunális és az ipari vízhasználat [1]. A tiszta víz iránti igény már az ókori kultúrákban is megjelent, amikor a nagyvárosokat körülvevő folyók szennyezettségét csatornarendszerrel próbálták megakadályozni, a már megjelent lebegő szennyezőket pedig igyekeztek eltávolítani. A világ igen nagy fejlődésen ment keresztül az elmúlt több mint 2000 évben, mely fejlődés mintegy generátorként idézte elő az újabb- és újabb szennyezőanyagok megjelenését, melyek már túlnövik az egyszerű lebegőanyagok kategóriáját [2]. Ilyenek például az élőlények hormonrendszerét befolyásoló anyagok.

Az 1930-as évektől kezdve fokozatosan került felfedezésre és megismerésre, hogy bizonyos mesterséges, valamint természetes vegyületek olyan tulajdonságokkal rendelkeznek, mely tulajdonságok nagymértékben hasonlítanak az élőlények hormonrendszerében szerepet játszó anyagokhoz [3]. Ezek a vegyületek befolyással lehetnek az emberi szervezet működésére olyan specifikus hatások által, mint például a hormonháztartás befolyásolása, illetve az immunrendszer károsodása. Napjainkban ezek az anyagok jelentős mennyiségben megtalálhatóak a különböző felszíni- és felszín alatti vizekben. A fő problémát az jelenti, hogy ezek az EDC- típusú (Endocrine Disrupting Compounds) szennyezőanyagok ugyan bizonyos mértékig eltávolíthatóak a hagyományos vízkezelési eljárások során, azonban 100%-os hatékonyságú módszer jelenleg nem ismert. Éppen ezért szükséges, hogy a

különböző eljárások alkalmazása során minél jobban megismerjük ezen anyagok tulajdonságait, viselkedését, hogy ez által a már ismert módszereket továbbfejleszthessük, illetve újabbakat dolgozhassunk ki.

Kutatásunk során éppen ezért arra törekedtünk, hogy a vizsgálati módszerül választott aggregációs technika és ózonos roncsolás alkalmazása esetén információkat nyerjünk arra vonatkozóan, hogy a vizsgálati mintaanyagok (koffein és oxibenzon) hogyan viselkednek az eljárások során, illetve, hogy milyen mértékben távolíthatóak el az adott rendszerekből.

## 2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 2.1 A vizsgált anyagok

Kutatásunk során a fő célunk az volt, hogy különböző vízkezelési eljárásokkal vizsgáljuk, hogy a hormonháztartást befolyásoló anyagok milyen mértékben távolíthatóak el vizekből. Ahhoz, hogy a gyakorlati életben is hasznosítható tapasztalatokat nyerhessünk, az anyagok megválasztásánál az alábbi szempontokat kellett figyelembe venni:

- a vizekben nagy gyakorisággal, ténylegesen fellelhető; valódi problémát jelentő szennyezők legyenek;
- jól oldódjanak vízben;
- jól lehessen őket detektálni;
- modellezésre alkalmasak legyenek;
- a mérések elvégzése során a laboratóriumban dolgozókra ne jelentsenek veszélyt.

Ezen kritériumok alapján a választás a koffeinre és az oxibenzonra esett.

### 2.2 Koagulációs/flokkulációs eljárások vizsgálata koffein és oxibenzon eltávolítására

A koagulációs/flokkulációs technika vizsgálatokor kétféle módszert alkalmaztunk. Először polielektrolitok hozzáadásával próbáltuk eltávolítani az oxibenzont, illetve a koffeint bentonit szuszpenzióból; másodsor pedig hidrolizáló só - különböző pH érték melletti- hatását vizsgáltuk koffeines oldatra vonatkozóan.

### 2.3 Ózonos roncsolás alkalmazása koffein eltávolítására

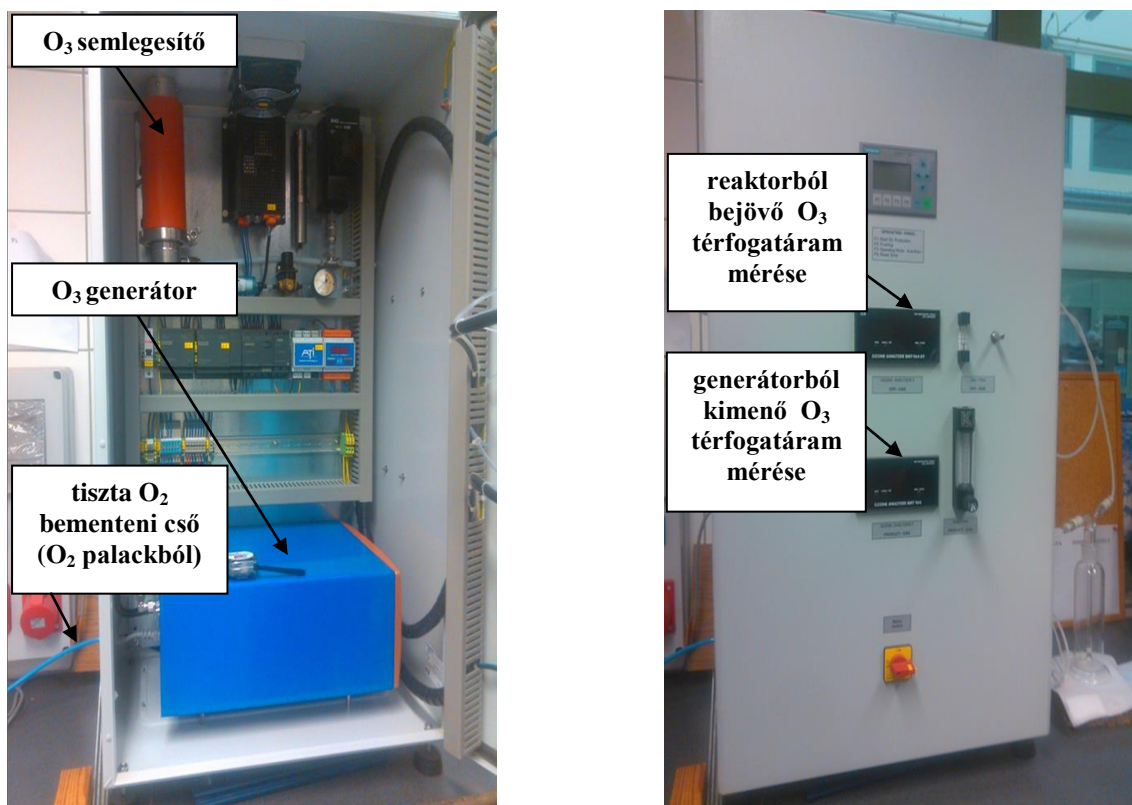
Az ózon az oxigén háromatomos változata ( $O_3$ ). A tartalmazott extra oxigénatomot normál légköri nyomáson és körülmények között könnyen le tudja adni; mely ionleadás a hőmérséklet és a nyomás hatására egyre gyorsabban megy végbe. Emiatt az ózon jóval reakcióképesebb, mint a stabil oxigénmolekula. A természetben az ózon csak a magas légkörben, a Föld természetes védőpajzsában fordul elő.

A víztisztításban alkalmazott, ipari méretű felhasználása 1906-ban, Franciaországban kezdődött. A víz ózonos kezelése úgy történik, az elektromos árammal működtetett ózonfejlesztőkkel előállított ózont bevezetik a víztartályok alján elhelyezett perforált csövekbe; ahonnan az apró buborékok formájában a felszín felé kezd áramolni. Áramlás közben reakcióba lép a vízben található anyagokkal, vegyületekkel, mely során lebomlik oxigénre, és a leadott oxigénion a különböző szennyeződések oxidálja. A megkötött majd lebontott szennyezőanyagokat el lehet távolítani egy egyszerű utószűréssel.

Kutatásunk során az ózonos roncsolás kísérleti modellje a koffein 0,07 g/l-es koncentrációjú oldata volt. Erre engedünk rá laboratóriumi körülmények között generált, különböző koncentrációjú ózont: 1, 20 majd 50g/Nm<sup>3</sup>-t. A reakció után a mintában

benmaradó koffein mennyiségének detektálása az előzőekhez hasonlóan UV látható diódasoros spektrofotométerrel történt.

Az ózonos roncsolás elvégzéséhez C-Lasky series C-L010-DH/C-L010-DS ózongenerátort, valamint BMT964 ózon elemzőt használtunk. Ezek szerkezeti elrendezése, illetve működési elve az 1. ábrán látható.



1. ábra C- LAsky series C-L010-DH/C-L010-DS ózongenerátor és a hozzá kapcsolódó berendezések

### 3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

#### 3.1 Oxibenzon és koffein polimeres flokkuláltatásának eredménye

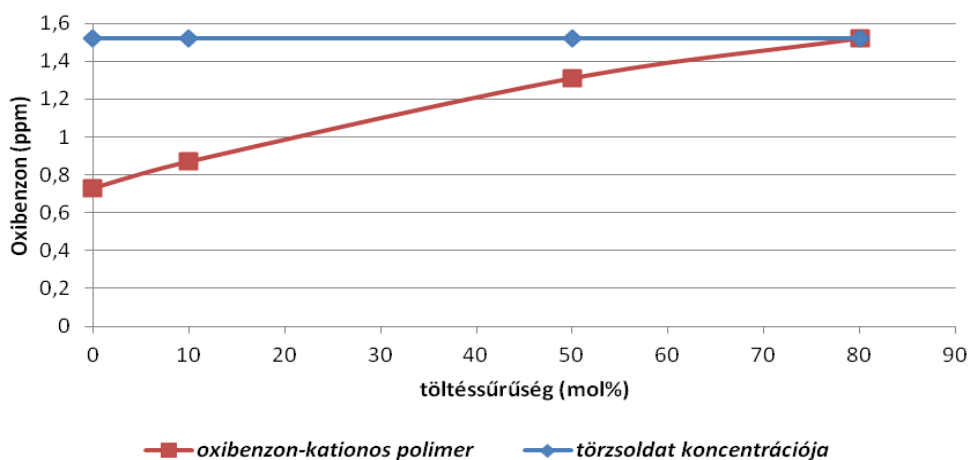
A vizsgálati eredmények bemutatásakor a bentonitot nem, azonban oxibenzont és koffeint egyenként 0,07 g/l-es koncentrációban tartalmazó oldatban detektált mennyiségek a törzsoldat koncentrációjaként jelennek meg a diagramokon.

A 2. ábra az oxibenzon mennyiségének alakulását mutatja abban az esetben, ha a rendszerhez különböző töltéssűrűségű, ugyanolyan mennyiségű kationos polielektrolitot adtunk.

Az ábrán az oxibenzon- kationos polimer görbe legelső eleme az az állapot, amikor csak bentonit szuszpenziót, polimert nem tartalmaz a minta. Ekkor jól látható, hogy a törzsoldatban oldódott oxibenzon mennyiség felét az agyagásvány részecskék megkötik a felületükön. Ezt követően a rendszerhez adtunk 0,2 ml kationos, 5 mol%- os töltéssűrűségű polielektrolitot (görbe 2. elem). Ennek hatására az oldatban detektálható oxibenzon mennyisége megnövekedett, majd a továbbiakban hozzáadott, egyre nagyobb töltéssűrűségű polimerek hatására folyamatosan tovább nőtt. A legnagyobb töltéssűrűségű (80 mol%) polielektrolit esetében mért koncentráció pedig már megegyezik a törzsoldatban detektáltal.



Ezen tapasztalatok alapján elmondhatjuk, hogy az oldatba bevitt polielektrolitok, a töltéssűrűségük növekedésével folyamatosan kiszorítják a bentonit felületéről az előzőleg megkötődött oxibenzont.



1. ábra Oxibenzon mennyiségi vizsgálata kationos polimerekkel való flokkuláltatás esetén

A koffein vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a bentonit részecskék megkötik a koffein mennyiségének majdnem felét; majd amikor a rendszerhez kationos polimert adunk, akkor hiába növeljük ennek mennyiségét és töltéssűrűségét, akkor sem fejt ki hatást.

### 3.2 Koffein hidrolizáló sóval történő koaguláltatásának eredménye

A koffein eltávolíthatóságára vizsgált következő módszer a hidrolizáló sóval történő koaguláltatás volt. Minden mérésnél a viszonyítási alap a 0,07 g/l-es töménységű koffein oldat (vak minta). Ehhez képest vizsgáltuk azokat az eseteket, amikor különböző mennyiségű alumínium- szulfáttal kezeltük a rendszert különböző pH értékei mellett. A mágneses keverési sebesség változatlan maradt (150 rpm).

Minden mérés esetén 7-8-9-es pH- jú oldatokat vizsgáltam, ahol a minta alapjául bemért 50 ml (0,07 g/l) koffeines oldathoz adott alumínium- szulfát mennyisége az alábbiak szerint változott (a 3. ábrán jelölt mintasorozat száma szerint):

- mintasorozat: 5 ml  $Al_2(SO_4)_3$  (2 g/l);
- mintasorozat: 10 ml  $Al_2(SO_4)_3$  (2 g/l);
- mintasorozat: 15 ml  $Al_2(SO_4)_3$  (2 g/l);
- mintasorozat: 20 ml  $Al_2(SO_4)_3$  (2 g/l).

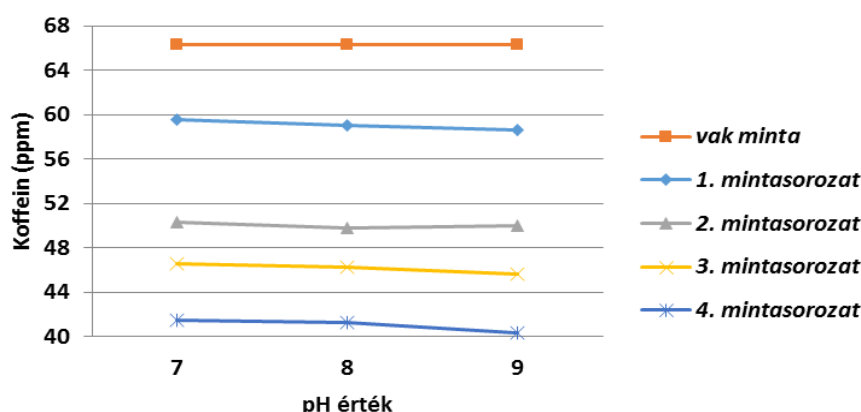
A vizsgálat során szabad szemmel is megfigyelhető volt, hogy a különböző rendszerekben alumínium-szulfát hidrolízis termék részecskéi jöttek létre. Ezek keletkezésük közben mechanikus módon befogják a vízben található szennyezőket- esetünkben a koffein részecskéket, tehát érvényesül az úgynevezett sepregető koaguláció elve.

Kutatásunk során azt tapasztaltuk, hogy ha növeljük az alumínium-szulfát koncentrációját a rendszerben, akkor a koffein mennyisége fokozatosan csökken, mely csökkenést a lúgosabb közeg csak tovább fokoz.

### 3.3 Koffein eltávolíthatósága ózonos roncsolással

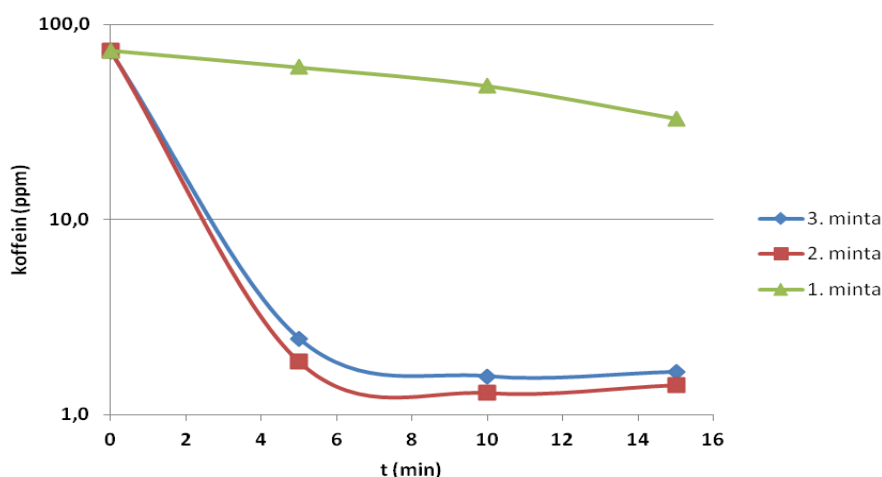
A koffein eltávolíthatóságát az ózonos roncsolás technikájával is megvizsgáltuk. A viszonyítási alap maradt a 0,07 g/l-es töménységű koffein oldat (vak minta). Ezt reagáltattuk

ózzonnal, melynek hozzáadott mennyiségei a következők szerint alakultak (a 4. ábrán jelzett minták száma szerint):



3. ábra Koffein koaguláltatása különböző mennyiségű alumínium- szulfáttal eltérő pH értékeken

- 1. minta: 1 g/Nm<sup>3</sup> ózon;
- 2. minta: 20 g/Nm<sup>3</sup> ózon;
- 3. minta: 50 g/Nm<sup>3</sup> ózon;



4. ábra A koffein ózonos roncsolása különböző ózommennyiségek esetén

A vizsgálat során azt tapasztaltuk, hogy a koffein mennyisége minden esetben csökkent. Ez a jelenség megegyezik a szakirodalomban korábban leírtakkal [4]. A leghatékonyabb módszernek a 20 g/Nm<sup>3</sup> ózon hozzáadása bizonyult. Megfigyeltük továbbá, hogy a nagyobb ózonkoncentrációk esetén 10 perc elteltével már nem érdemes továbbfolytatni a kezelést, mert a koffein rendszerbeli mennyisége nem állandósul. Kisebb ózommennyiséget használva a koffein csökkenése 10 perc után is folyamatos, azonban a hatékonysági fok ebben az esetben jóval alacsonyabb.

Problémát jelent azonban a feladat, hogy a koffein bomlástermékeit detektáljuk, meghatározzuk. A roncsolásos módszer tehát annak ellenére, hogy hatékonynak tekinthető, hiszen az eredeti anyag jelentős mennyiségét eltávolítja a vizsgált rendszerből, azonban annak bomlástermékei megjelennek, melyek élővilágra gyakorolt hatása lehetséges, hogy sokkal negatívabb, mint a kiinduló anyagé, vagy esetleg nem is ismert. A környezeti ártalmak mellett a módszer ellen szól a nagy energiaszükséglet miatti magas költségvonzat is.

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK, ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatásaink során kapott vizsgálati eredmények alapján levonható következtetéseket az alábbiakban ismertetjük.

1. Tapasztalataink azt mutatják, hogy a polimerekkel való flokkuláltatás nem hatékony sem az oxibenzon, sem a koffein eltávolítása szempontjából.
2. Mindezzel szemben, az alumínium-szulfát *Hidrolízis Termék Részecskék (HTR)* a „sepregető” koaguláció révén csökkentették a vizsgált oldat koffein mennyiségét. Ez a hatás az alumínium- szulfát mennyiségének növekedésével, és a közeg lúgosításával tovább fokozódott (pH 9-es értékig vizsgálva).
3. Az ózonos roncsolás a koffeinre vizsgálva a következő eredményeket hozta. A módszer már a legkisebb ózón mennyiség esetén is hatásos volt, és 20 g/Nm<sup>3</sup> esetén értük el a legkiválóbb eredményt. Azt is megfigyeltük, hogy nagyobb ózónmennyiség esetén elegendő a kezelést 10 percre lefolytatni, ugyanis ezt követően a koffein mennyisége állandósul a rendszerben. A módszer igen jelentős határfoka ellenére problémaként adódik a tény, hogy az oxidáció során a roncsolni kívánt szennyezőanyagból olyan bomlástermékek keletkezhetnek, amelyek detektálása nehézkes; környezeti hatása pedig akár súlyosabb is lehet a kiinduló anyagétól. További problémákat jelent még a módszer alkalmazásának magas energia-, és így költségigénye.

Összességében azt mondhatjuk el, hogy a koffein és az oxibenzon szennyezők esetén a flokkulációs eljárás nem alkalmazható sikerrel. Koffein eltávolítására hatékony módszer a koaguláció (39,2% -os hatásfok 20 ml 2 g/l koncentrációjú alumínium- szulfát esetén, 9-es pH-jú oldatban), viszont a leghatékonyabb az ózonos roncsolás (98,3 %-os hatásfok 20 g/Nm<sup>3</sup> ózón esetén). Azonban előző esetben a keletkező iszap kezelése nehézkes, utóbbi esetben pedig a bomlástermékek és a költségvonat jelent problémát.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZŰCS P, RITTER GY** (2002): *Improved interpretation of pumping test results using simulated annelating optimization*. ACTA UNIVERSITATIS CAROLINAE GEOLOGICA 46:(2-3) pp. 238-241.
- [2] **SZUCS P, MADARASZ T** (2006): *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary*. Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management. 651 p. Wessex Institute of Technology Press, 2006. pp. 177-184.
- [3] **FRY D. M., TOONE C. K., SPEICH S. M. AND PEARD R. J.** (1987): *Sex ratio skew and breeding patterns of gulls: demographic and toxicological considerations*. Stud. Avian. Biol. 10, 26-43.
- [4] **ROSAL R., RODRÍGUEZ A., PERDIGÓN-MELÓN J. A., PETRE A., GARCÍA-CALVO E., GÓMEZ M. J., AGÜERA A. AND FERNÁNDEZ-ALBA A. R.** (2009): *Degradation of caffeine and identification of the transformation products generated by ozonation*. Chemosphere. 74, 825–831

# HOGYAN BEFOLYÁSOLJA A TERRORIZMUS A REPÜLŐTEREK BIZTONSÁGÁT A TECHNIKA SZEMSZÖGÉBŐL?

## HOW DOES TERRORISM INFLUENCE THE AIRPORT SECURITY SYSTEM? MONITORING FROM THE TECHNIC VIEW

Szegedi Péter<sup>1</sup>, Szabó Vivien<sup>2</sup>

<sup>1</sup>alezredes, egyetemi docens

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,  
Katonai Üzemeltető Intézet, Katonai Repülő Tanszék  
H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: [szegedi.peter@uni-nke.hu](mailto:szegedi.peter@uni-nke.hu)

<sup>2</sup>honvéd tisztjelölt

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,  
Katonai Üzemeltető Intézet, Katonai Repülő Tanszék  
H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: [vivienszabo92@gmail.com](mailto:vivienszabo92@gmail.com)

**Kivonat:** A globalizálódó világunkban biztonsági kockázatként megjelent a terrorizmus, amely egyre nagyobb fenyegetettséget jelent a világ minden országában. Napjainkban a legfontosabb, hogy akár humán, akár technikai eszközökkel védjük az emberi életet. A terrorszervezetek által legjobban fenyegetett helyek az olyan közlekedési eszközök vagy épületek, ahol minél nagyobb számban lehetnek áldozatok. A vasútállomások, a buszpályaudvarok, de főleg a repülőterek elsőszámú célpontok, hiszen ott mindenféle nemzetiségű ember megfordulhat. Minden egyes terrorcselekmény bizonyítja, hogy a légi katasztrófák és a tömegszerencsétlenségek elkerülése érdekében az utasbiztonsági ellenőrzésnek tartani kell a lépést az egyre nehezebben felderíthető terror módszerekkel és eszközökkel szemben. A cikkben a repülőteri utasbiztonsági ellenőrzésen használt berendezések működési alapelveiről írunk.

**Kulcsszavak:** Biztonságtechnika, terrorizmus, mechatronikai rendszerek, repülőterek biztonsági rendszerei

**Abstract:** Nowadays the terrorism means bigger and bigger threat everywhere in the world. Our main goal is to protect with human factor or with technical devices our life. The terror organizations offense the public transport vehicles, building or everything else where are a big mass of people. The bus stations, railway stations and the airports are the first targets. Terrorists develop newer and newer methods to try to destroy our safety. Every terror event shows that we always need to develop our systems. In our thesis we would like to show what kind of devices exist in the airport and how they work.

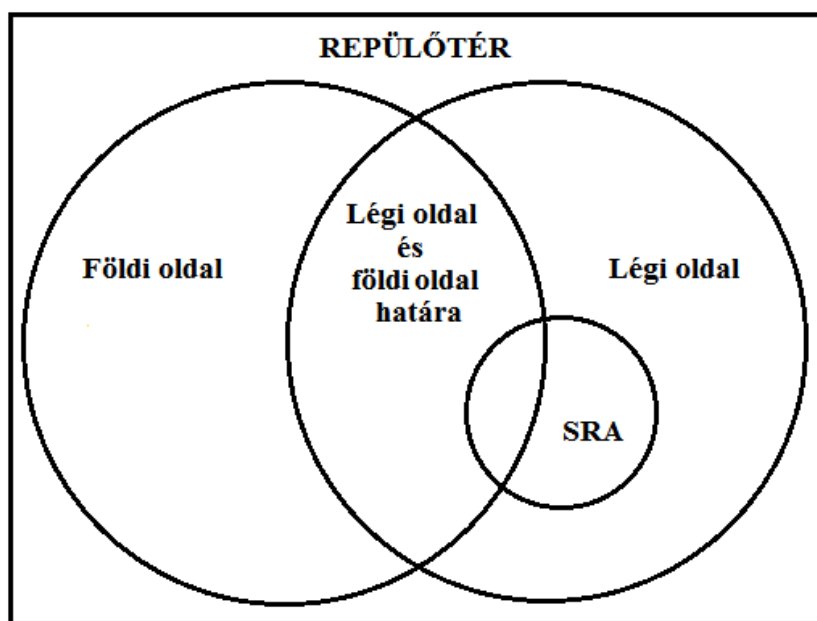
**Keywords:** safety, terrorism, mechatronic systems, airport security system

### 1. BEVEZETÉS

Manapság egyre elterjedtebbé válik a repülés, és ezt a terrorszervezetek ki is használják. Újabb és újabb technikákat fejlesztenek és újabb és újabb támadásokat viteleznek ki. A számos példa közül néhányat megemlítve: Feljutattak egy plasztikbombát a repülőtér csomagterébe, amely fel is robbant és Lockerbie városára zuhant. A 2011. szeptember 11-i terrortámadásokat mindenki ismeri. 2011 karácsonyán folytatódtak a terrorcselekmények, mikor is egy utas a cipője talpába szerelt robbanóeszközt vitt egy repülőgép fedélzetére. 2014-ben egy utas próbálkozott gépeltérítéssel, amely során egy borotvapengével fenyegette az utaskísérőt. 2015 tavaszán pedig bozótvágó késsel és rovarirtó spray-vel támadt a biztonsági ellenőrökre egy utas, akinek a táskájában Molotov-koktélok, gyújtószerkezeteket és

füstbomba-maradványokat találtak. A felsorolt példákból látható, hogy a terroristák célpontként tekintenek a repülőterekre, próbálkozásaik folyamatosak. A veszély csökkentése érdekében az ellenőrzések szigorítása indokolt. Az biztonsági rendszerekben alkalmazott felderítő eszközök folyamatos korszerűsítése és a humán erőforrás rendszeres továbbképzése állandó feladatot jelent. [1, 2]

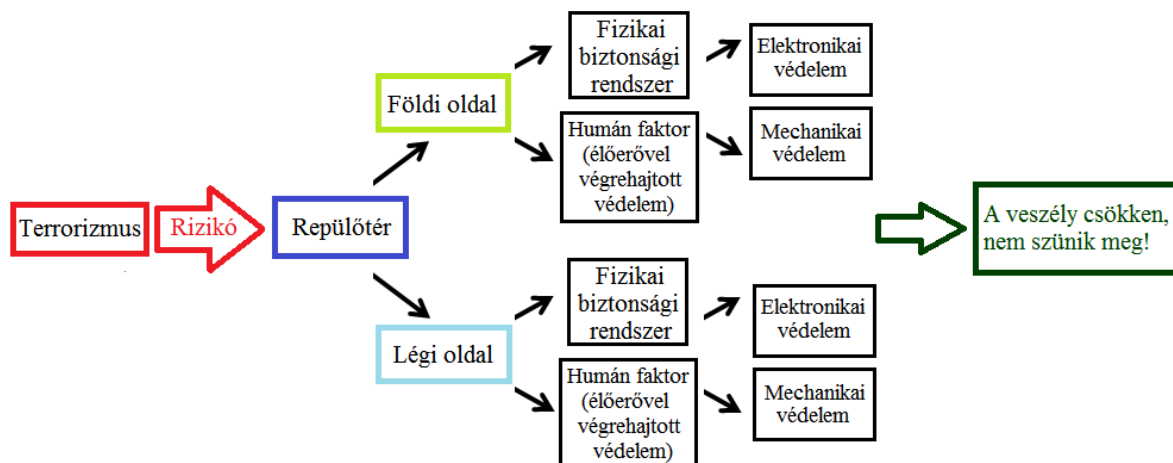
## 2. REPÜLŐTEREK BIZTONSÁGI TERÜLETEINEK FELÉPÍTÉSE



1. ábra A repülőtér biztonsági területei

A repülőtér biztonsági szempontból több kategóriába osztjuk fel. A **Földi oldal** (nyilvános területek) a repülőtér magánterülete létesítményeivel, illetve indulási és érkezési csarnokok területe. A **Légi oldal** (nyilvánosság elől elzárt, őrzött területek) nem nyilvános terület, ahova csak előírt rendelkezést követve léphetnek be a megfelelő engedéllyel rendelkező személyek és járművek. A **légi és földi oldal határa** a légi oldalon a kerítés, amelyen csak a kijelölt belépési ponton lehet áthaladni. Az utascarnok és a tranzitterület határvonala a terminál indulási oldalán, az érkezési oldalán pedig az utascarnok és a vámterület határvonala, ahol szintén csak a kijelölt pontokon lehet belépni. Az **SRA** a Security Restricted Area mozaik szava, amely szigorított biztonsági területet jelent.

Az utasbiztonsági terület a földi és légi oldal határán található és kiemelt figyelmet, fokozott ellenőrzést igényel, hiszen itt a legnagyobb az előfordulási esélye egy-egy támadásnak. A 2. ábra jól szemlélteti, hogyan védik a repülőtereket. A védelemben részt vesznek/vehetnek a különböző terror elhárítással és felderítéssel foglalkozó állami és nem állami szervezetek szakemberei az utasbiztonságon használt ellenőrző felderítő, detektáló, és egyéb eszközökön, berendezéseken és operátorokon kívül. Az repülőtéri ellenőrző rendszerek valójában mechatronikai rendszerek, amelyek a környezeti információkat (van-e drog, van-e fegyver, van-e valamilyen veszélyes anyag, stb.) a szenzoraikon keresztül gyűjtik be és dolgozzák fel. [1]



2. ábra A reptéri biztonsági rendszer elvi vázlata (forrás: saját szerkesztés)

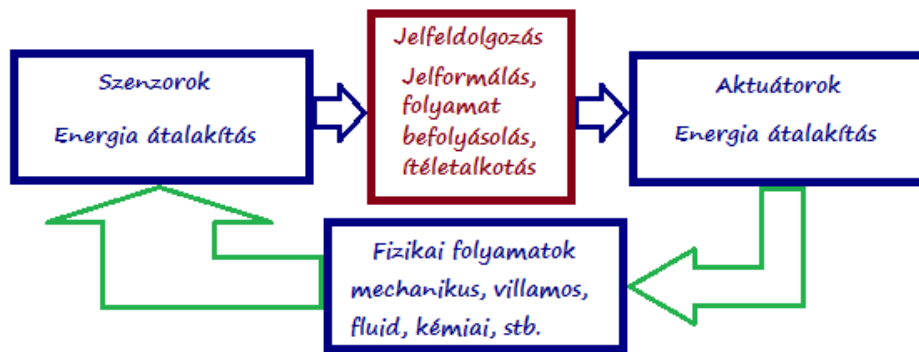
### 3. A MECHATRONIKAI RENDSZEREK ÁLTALÁNOS FELÉPÍTÉSE

A mechatronika<sup>1</sup> rendszerek a gépészet az elektronika és az informatika elveivel, törvényeivel magyarázható és ezen tudományterületeken elfogadott törvényszerűségek alapján működő szerkezetek, amelyek érzékelőiken keresztül felismerik környezetüket, azok meghatározott változásait, rendelkeznek kiértékelő, döntést hozó és végrehajtó alrendszerrel, egységekkel. A feladattól függően az optimális működés, feladat végrehajtás érdekében tervezik és valósítják meg. Ezek a berendezések mindennapi életünk részeként az élet különböző területein segítik munkánkat, életünket, ott vannak például:

- otthonainkban, mint "okos" konyhai berendezések, játékok, stb.;
- az iparban, mint automata gyártósorok, vagy NC megmunkáló eszközök, ipari robotok, stb.;
- de jelen vannak a repülésben is, mint repülőgép-irányító, és navigáló rendszerek vagy éppen biztonsági, utasbiztonsági rendszerek, stb.

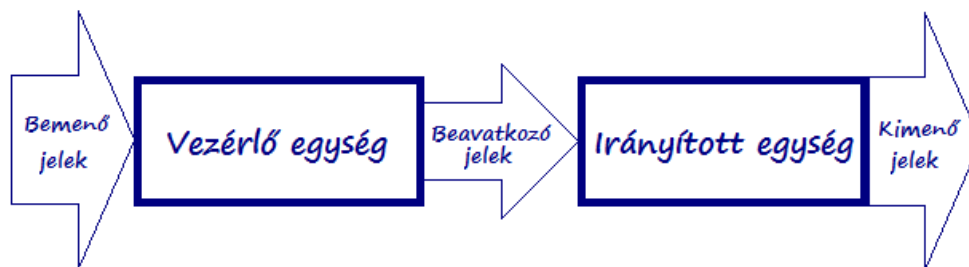
Megtalálhatók bennük azok a funkcionális egységek, amelyek biztosítják a feladat végrehajtását. A rendszerben fellelhetők a szenzorok (érezékelők), amelyek biztosítják a környezet, illetve változásának detektálását, a jelfeldolgozó, döntéshozó egység, amely az érzékelőtől érkező jeleket kiértékelik, majd egy szabályrendszer alapján létrehozzák az aktuátorok (végrehajtó egységek) bemenő jeleit, amelyek hatnak a környezetre, illetve befolyásolják a szabályozott jellemzőt, válaszokat generál (1. ábra). A kimeneten megjelenő jelek (időfüggvények) rendszerint elő van írva, például hogy a rendszer adott pontján milyen legyen például az elmozdulás, kitérés vagy akármilyen más mechanikai, egyéb paraméter.

<sup>1</sup> "Napjainkra világossá vált, hogy a mechatronika inkább tekinthető korszerű mérnöki személetmódnak, ..."; [http://www.mogi.bme.hu/letoltes/MECHATRONIKAI%20&%20IR%C3%81NY%C3%8DT%C3%81STECHNIKAI%20T%C3%81RGYAK/MECHATRONIKA%20ALAPJAI%20%28MECHATRONIKA%20BSC%29/Mechatronika\\_alapjai\\_bevezeto.pdf](http://www.mogi.bme.hu/letoltes/MECHATRONIKAI%20&%20IR%C3%81NY%C3%8DT%C3%81STECHNIKAI%20T%C3%81RGYAK/MECHATRONIKA%20ALAPJAI%20%28MECHATRONIKA%20BSC%29/Mechatronika_alapjai_bevezeto.pdf)



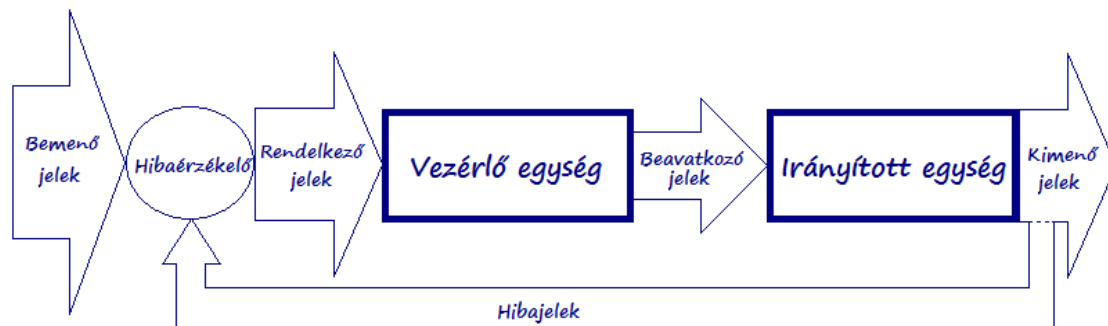
3. ábra A mechatronikai rendszer általános felépítése

Egy mechatronikai rendszert több alrendszerre lehet felosztani (3. ábra), amelyek kölcsönös kapcsolatban vannak egymással, amelyek működését és kapcsolatát egymással fizikai elvek alapján, matematika összefüggések felhasználásával írhatunk le, vagyis modellezhetjük illetve érthetjük meg működésüket. Mindkét esetben a cél, hogy az elvárt, meghatározott feladat végrehajtás érdekében tisztázott legyen a rendszer működése. Az ok-okozati kapcsolatok ismertek és a működés külső, belső paraméterei beazonosítottak legyenek. A rendszer adatokat fogad, átalakít, jeleket dolgoz fel és jelez, vagy éppen beavatkozik. Szabályzástechnikai értelemben ezeket a rendszereket két alapegységre bonthatjuk, 2.; 3. ábrákon látható módon, egy vezérlő és egy irányított egységre.



4. ábra A vezérlés elv vázlata

Amint a 4. ábrán és az 5. ábrán látható, a bemenőjeleket a vezérlő egység alakítja át beavatkozó jelekké, majd ezek képezik az irányított egység gerjesztéseit. A bemutatott működési vázlatok a vezérlési, illetve szabályozási folyamatokat szemléltetik.



5. ábra A szabályzás elvi vázlata

A folyamatok irányításának legegyszerűbb megoldása a vezérlés (4. ábra), a pontosabb irányítást, az eredmény követését csak a szabályozás (5. ábra) teszi lehetővé. [3, 7, 9, 11, 13]

## 4. AZ ÉRZÉKELŐK

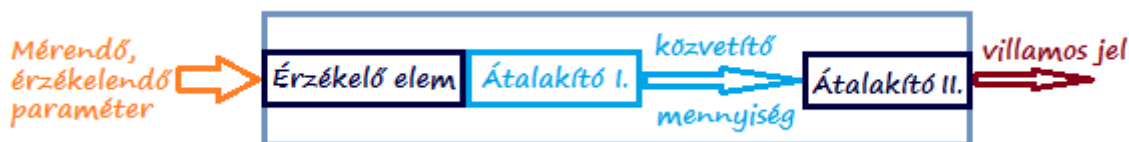
A szenzorikában számos fizikai effektust használnak fel információgyűjtésre. Általános értelemben a szenzor (érzékelő) egy fizikai, kémiai, biológiai, technológiai, stb. (mint pl. hőmérséklet, távolság, nyomás, pH érték, szerszámélesség, helyzet, sebesség, stb.) hatásra, mint gerjesztésre, válasz jel (általában villamos mennyiség (feszültség, áram), de lehet pneumatikus, hidraulikus, vagy más jellegű mennyiség is kibocsájtására alkalmas eszköz, egy jelátalakító, amelyet egy rendszer értelmez, feldolgoz. Vagyis képes detektálni a bemenetére érkező különböző megjelenítési formájú energiát és a kimenetén azzal arányos kimeneti jelet (pl.: villamos) létrehozni, amelyet a különböző jelfeldolgozó, jelátalakító egységek feladatuk függvényében fel tudnak dolgozni, ki tudnak értékelni. A szenzorok kimenő jele, amely a bemeneten levő mennyiséggel arányos lehet analóg és digitális jelformátumú.

A mérés technikában, irányítástechnikában és napjainkban már fogyasztói elektronika készülékeiben is elterjedten használják a rendszer működéséhez szükséges információk összegyűjtésére. A mérendő mennyiség, paraméter, állapotváltozó, időbeni változásával arányos információt pl. villamos jellé alakít, amely alkalmazható olyan szabályozó rendszerekben, mint például a repülés szabályozó rendszerek. Ezekben a rendszerekben a megfigyelt folyamatok jellemzőinek kijelzése, illetve a folyamatba történő közvetlen beavatkozás történhet meg a paraméterek módosítása érdekében. Az érzékelés, adott esetben a mérés eredménye gyakran visszacsatolt, beavatkozó jel, vagy akár valamilyen más fizikai megjelenésű információ (4. ábra).

Megkülönböztethetünk aktív (a kimeneti jel energiáját az érzékelő a mérendő rendszerből veszi) és passzív érzékelőket (a működésükhöz független segédenergiára van szükség). Fontos szempont, hogy a mérendő tulajdonság, és az érzékelő által szolgáltatott jel egymásnak kölcsönösen egyértelmű függvényei legyenek, és ezt a kapcsolatot más paraméter lehetőleg ne befolyásolja. A gyakorlatban ez ritkán valósítható meg, mert a szenzor kimeneti jelét általában, zavaró hatások befolyásolják kisebb-nagyobb mértékben, illetve a szenzorok is elektromágneses jeleket sugározhatnak, amelyek a többi érzékelő működését befolyásolhatja (elektromágneses kompatibilitás). [3, 4, 5; 6, 13]

### 4.1 Az érzékelők általános felépítése

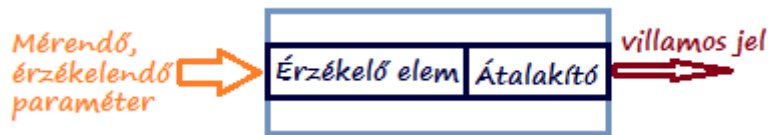
A jelek feldolgozásának foka szerint egyszerű szenzor, integrált szenzor, intelligens szenzorokat különböztetjük meg. Ha a mérendő mennyiséget, amennyiben azt az ismert fizikai elvek szerint nem lehet közvetlenül villamos jellé átalakítani, akkor először egy tranzit mennyiséggé kell alakítani, „közvetett mérés”, 5. ábra. A közbülső mennyiséget elsődleges villamos mennyiséggé kell átalakítani, melynek során különféle fizikai hatások jöhetnek szóba.



6. ábra: Egyszerű érzékelő, „közvetett mérés”

Ha erre az „Átalakító I.”-re nincs szükség, akkor a „közvetlen mérés” lehetősége áll fenn, (7. ábra).





7. ábra Egyszerű érzékelő, „közvetlen mérés”

A 8. ábrán látható integrált érzékelőben az elsődleges villamos jel feldolgozására egy kiértékelő elektronika szolgál, amely a jel erősítésén kívül ellátja a nullponteltérések kompenzálását; a zavarjelek szűrését; a jel linearizálását; a méréshatár illesztését és a kimenőjel normálását.



8. ábra Integrált érzékelő

A jel digitális feldolgozásához az analóg kimenő jelet digitális jellé kell átalakítani, erre a feladatra szolgál egy A/D átalakító, 8. ábra. A mikroelektronikai alkatrészek fejlődése lehetővé tette, hogy a digitális kiértékelő egységet is (mikrokontrollert) a szenzorral közös házba integrálják. [10]



9. ábra Intelligens (SMART) érzékelő

A szenzorok osztályozása, csoportosítása sokféle szempont szerint történik a [3, 4, 5, 6, 10, 13] szakirodalmakban:

- mérendő mennyiség szerint;
- a jel megjelenítési formája alapján;
- a kimeneti jel létrehozásában szereplő kölcsönhatások szerint;
- működéséhez szükséges-e külső energiaforrás.

A konkrét mérési feladatra alkalmas szenzor kiválasztásához: a milyen fizikai jellemzőt, milyen méréstományban, milyen pontossággal kell mérni kérdésekre adott válaszok ismerete szükséges. [10] Függetlenül a csoportosításuktól, osztályozásuktól közősek a velük szemben támasztott követelmények, mint:

- a be-, kimenő jel közötti kapcsolat egyértelmű és reprodukálható legyen;
- a kimenőjel csak a bemenőjeltől függjön;
- lineáris kapcsolat legyen a bemenet és a kimenet között;
- a mérőrendszer ne hasson vissza a mért rendszerre;
- érzéketlenség külső zavarokkal szemben;
- a kimenőjelet normálható legyen;
- egyszerű tápellátás;
- ellenőrizhető működőképesség.

A szenzorokat számos paraméterrel lehet jellemezni, amelyek különböző csoportokba rendezhetők. Fontosabb jellemzők a statikus jelleggörbe, vagy karakterisztika, illetve a mérési tartomány és az élettartam.

## 5. REPÜLŐTEREK UTASBIZTONSÁGI ELLENŐRZÉSÉN HASZNÁLT ESZKÖZÖK

A repülőtereken a következő utasbiztonsági ellenőrző berendezéseket használják [1]:

- átvilágító berendezések (kézipoggyász + feladott poggyász)
- fémérzékelő kapuk
- kézi fémérzékelő berendezések
- nyomfelderítő műszerek
- folyadékvizsgáló gépek
- postai küldemény és kis csomag ellenőrző röntgenek
- rakomány ellenőrző röntgenek
- konténer- és járműátvilágítók
- repülőtéri check-in berendezések
- hordozható röntgenberendezések
- milliméter hullámú berendezések.

### 5.1 Átvilágító berendezések (kézipoggyász + feladott poggyász)

A csomagjaink, amelyeket magunkkal viszünk, egytől-egyik a röntgensugaras átvilágító berendezéseken mennek keresztül. A repülőtereken kettős-energiájú röntgen rendszereket használnak, amelyek jelforrása előállítja a jellemzően 140-160 kV amplitúdójú és  $10^{-8}$  m-től  $10^{-12}$  m hullámhossz tartományú vizsgáló jeleket, amellyel átvilágítják a poggyászokat. Miután a sugarak áthaladnak a tárgyakon, egy szenzor érzékeli őket. A különböző anyagok eltérő mértékben nyelik el és verik vissza a jeleket, ez lehetővé teszi, hogy a monitoron jól láthatóan megkülönböztethetők legyenek az anyagok és az eszközök. A tárgyak, az elnyelt energia függvényében, más és más színeképet mutatva jelennek meg a monitoron. A színek függvényében különböztetik meg a szerves, szervetlen és fémes anyagokat. Ahhoz, hogy meg tudjuk állapítani, mit láthatunk a képen, ismernünk kell a színek jelentését.

Kék: kemény anyagokat, mint például műanyagokat, ötvözeteket jelent. Például egy fegyver, kés kék és fekete illetve annak keverékeként jelenik meg a monitoron.

Narancssárga: a biológiai anyagokat mutatja ki. Gumi, bőr, élelmiszer, dinamit, más robbanóanyagok (kivétel a műanyagok, mert az egy kicsit kékes), folyadékok, gélek és szerves porok (mint például a liszt).

Zöld: műanyagot, ötvözeteket mutat ki, amelyek sűrűsége nem elég nagy, ahhoz, hogy kék vagy fekete színeként jelenjen meg. Lehet még kerámia, de abból is a sűrűbbek. A normális kerámiák (mint például kések) narancsszínnel fognak megjelenni a monitoron. [14]



10. ábra Átvilágító berendezés

## 5.2 Automata feladott poggyászellenőrző rendszer (Hold Baggage System=HBS)

A feladott poggyász átvizsgálása:

- kézzel történő átkutatás vagy
- röntgensugaras berendezés vagy
- robbanóanyag-felderítő eszköz vagy
- robbanóanyagnyom-felderítő eszközök alkalmazásával történik.

Általánosságban a feladott poggyászellenőrző rendszer egy 5 szintű átvilágító folyamatot hajt végre. Az ellenőrző gépek automatikusan hoznak döntést a röntgenképek alapján, hogy a csomagot a repülőgép rakterébe küldjék vagy egy további alaposabb átvizsgálásra, amelyben a humán erőforrásnak is részt vesz. [1]

A repülőterek többsége a következő 3 rendszert használja:

- Közepes röntgensugárzású rendszerek: Ezek képesek egy egész raklapnyi árut átvizsgálni egyszerre.
- Mobil röntgensugárzású rendszerek: lényege, hogy mi mozgatjuk lassan őket.
- Fix- oldalú rendszerek: ez egy egész épület, amelyben egy hatalmas röntgensugárzású szkennel van. A teljes anyagot behúzzák a rendszerbe és ott teljesen teljes egészében szkennelik. [15]

## 5.3 Fémérzékelő kapu

A terminálon keresztül nem csak a poggyászellenőrző berendezésekkel, hanem a fémérzékelő kapuval is találkozhatunk utasként. Szinte az összes repülőtéri fém-detektor a váltakozó áram által létrehozott mágneses tér elvén alapul (pulse induction). Az impulzus indukciós rendszer egy „adó” és egy „vevő” tekercset tartalmaz, nagy intenzitású rövid idejű áram halad át a tekercsen. Minden egyes impulzus mágneses mezőt alakít ki. Egy tipikus impulzus indukció elven működő fém-detektor 25 és 1000 impulzust bocsájt ki másodpercenként. Ha egy fémtárgy áthalad a fém-detektoron, akkor az impulzus létrehoz egy ellentétes mágneses mezőt a tárgyban. Amikor az impulzus mágneses mező összeomlik, egy visszavert impulzus hoz létre, és az objektum mágneses mezeje a visszavert impulzust kioltja. A kézi fémérzékelő berendezések működési alapelvei ugyanaz, mint az áteresztő kapuké. [15]

## 5.4 Nyomfelderítő műszerek

Sok repülőtéren bevezették a kémiai „szimatolást”. Lényege, hogy a robbanóanyag nyom felderítő eszközön található textil darabot végig húzzák a gyanúsnak vélt tárgyon, ami lehet emberi test, textil, műanyag, fém. Az ellenőrzés lényege, hogy a teszt eszközön található kémiai részecskék elemzésével eldönti, hogy található-e a vett mintában olyan összetevő, amely utalhat robbanóanyag származékra. Ha talál robbanóanyag nyomot, a készülék figyelmezteti a biztonsági ellenőröket. Ezeket az eszközöket használják az elhagyott csomagok vizsgálatakor is. Alkalmasak egyéb törvényileg tiltott anyagok, mint például drogok detektálására is. [1,16]

## 5.5 Folyadékvizsgáló gépek – ElectroMagnetic Analyzer (EMA)

Egyre elterjedtebben használják a röntgensugaras gépeket mechanikus és elektromos elemek integrációjaként. A folyadékvizsgáló szkanner működési elve 3 különböző technikát foglal magába: állapot érzékelés, digitális jelfeldolgozás és számítógépes képmegjelenítés. A folyadék szkanner a mágneses rezonancia elvén alapulva elemzi a különböző folyadékok molekuláris szerkezetét. Ezek a gépek képesek analizálni a 3 liternél nem nagyobb üvegben vagy műanyag palackban tárolt folyadékot, anélkül hogy kinyitnánk őket. Amikor fénnel átvilágítunk egy anyagot, az adó és a vevő hullámhossza eltérő lesz. Ezen eltérés alapján azonosíthatjuk a különböző összetételű folyadékokat. [16]

## 6. BEFEJEZÉS

A terroristák a már ismert technikai eszközök kijátszásával, újabb és újabb módszereket, szerkezeteket, taktikákat fejlesztenek, illetve viteleznek ki. Minden egyes terrorcselekmény bizonyítja, hogy a biztonsági intézkedéseket szigorítani, a humán erőforrást képezni, a használatban levő ellenőrző rendszereket pedig fejleszteni kell. A cikkben bemutattuk, hogy az utasbiztonsági ellenőrzésen a felderítő, detektáló berendezések (fémdetektáló kapu, kézi fémkereső, a nyomfelderítő és a folyadékvizsgáló gép) milyen elveket alkalmazva működnek, gyűjtik be az értékeléshez szükséges adatokat. A légi katasztrófák és tömegszerencsétlenségek elkerülése érdekében az utasbiztonsági ellenőrzésnek tartani kell a lépést az egyre nehezebben felderíthető terror módszerekkel és eszközökkel szemben.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZABÓ V., SZEGEDI P.:** *A repülőtereken alkalmazott utasbiztonsági ellenőrzésen használt berendezések bemutatása*, Szolnok, 2014, TDK
- [2] *Airport machete attack suspect dies.* [www.edition.cnn.com/2015/03/20/us/new-orleans-airport-incident](http://www.edition.cnn.com/2015/03/20/us/new-orleans-airport-incident) (Letöltés: 2015.06.27)
- [3] **BANLAKI P., LOVAS A.:** *Szenzorika és anyagai*, Typotex kiadó, Budapest, 2012, [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/0018\\_Szenzorika/Banlaki\\_Lovas\\_Szenzorika\\_es\\_anyagai\\_1\\_1.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/0018_Szenzorika/Banlaki_Lovas_Szenzorika_es_anyagai_1_1.html) (2015.04.22.);
- [4] **LAMBERT M.:** *Szenzorok – elmélet és gyakorlat*, INVEST-MARKETING BT, Budapest, 2009, ISBN 978-963-87401-1-3;
- [5] **G. S. HEGDE:** *Mechatronics*, New Jersey: Princeton University Press, 2010, ISBN: 978-0-691-14921-9;
- [6] **CLARENCE W. DE SILVA:** *Mechatronics An Integrated Approach*, Boca Raton London New York: CRC Press, 2005, ISBN: 0-8493-1274-4;
- [7] *Mechatronika alapjai*, Munkapéldány, utolsó változtatás: 2014. augusztus 24.

- [http://www.mogi.bme.hu/letoltes/MECHATRONIKAI%20&%20IR%C3%81NY%C3%8DT%C3%81STECHNIKAI%20T%C3%81RGYAK/MECHATRONIKA%20ALAPJAI%20%28MECHATRONIKA%20BSC%29/Mechatronika\\_alapjai\\_bevezeto.pdf](http://www.mogi.bme.hu/letoltes/MECHATRONIKAI%20&%20IR%C3%81NY%C3%8DT%C3%81STECHNIKAI%20T%C3%81RGYAK/MECHATRONIKA%20ALAPJAI%20%28MECHATRONIKA%20BSC%29/Mechatronika_alapjai_bevezeto.pdf); letöltve: 2015. 04. 19.;
- [8] **NAGY V.:** *Gépészeti Rendszertechnika*, kézirat Győr, 2001. <http://rs1.szif.hu/~szauter/rendszertechnika.pdf>, letöltve: 2015. 04.22.;
- [9] **REVICZKY L., BARS R., HETTHÉSSY J., BARTA A., BÁNYÁSZ CS.:** *Szabályozástechnika*, Széchenyi István Egyetem, Universitas-Győr Kht., Győr, 2006;
- [10] **HORVÁTH P.:** *A mechatronika alapjai*, Értékünk az ember Humán erőforrás-fejlesztési Operatív Program, 2006, [http://109.74.55.19/tananyagok/tananyagok/Jegyzetek/A\\_mechatronika\\_alapjai.pdf](http://109.74.55.19/tananyagok/tananyagok/Jegyzetek/A_mechatronika_alapjai.pdf) letöltve: 2015. 04.22.;
- [11] **CSÁKI F., BARS R.:** *Automatika*, Tankönyvkiadó, Budapest, második bővített kiadás, 1972.;
- [12] **FORGÓ Z.:** *Bevezetés a mechatronikába*, Műszaki Tudományos Füzetek 6., ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET, Kolozsvár, 2009, ISBN 978-973-8231-80-1; <http://mek.oszk.hu/07300/07377/07377.pdf>;
- [13] **PÓDÓR B.:** *Mikroelektronikai érzékelők I. előadás*; [http://jano.digitaltrip.hu/data/sandorfalvi/11%20%C3%89rz%C3%A9kel%C5%91k/Forr%C3%A1sanyag/sensor\\_1.pdf](http://jano.digitaltrip.hu/data/sandorfalvi/11%20%C3%89rz%C3%A9kel%C5%91k/Forr%C3%A1sanyag/sensor_1.pdf)
- [14] *How To Read An Airport Security X-Ray Image*. [www.snallabolaget.com/page\\_id=666](http://www.snallabolaget.com/page_id=666) (Letöltés: 2015.06.27)
- [15] [www.science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/airport-security5.html](http://www.science.howstuffworks.com/transport/flight/modern/airport-security5.html)
- [16] *Explosives Detection in Security – How it Works, and Decoding “Alarm Resolution”* [www.snallabolaget.com/?page\\_id=3098](http://www.snallabolaget.com/?page_id=3098) (Letöltés: 2015.06.27)
- [17] [www.ceia.net/pdf/CEIAPresentationGB.pdf](http://www.ceia.net/pdf/CEIAPresentationGB.pdf) ; [www.eastimagesecurity.com/IndustrtyNews/A-Brief-Introduction-toLiquid-Scanner-Working-Principles.html](http://www.eastimagesecurity.com/IndustrtyNews/A-Brief-Introduction-toLiquid-Scanner-Working-Principles.html)

## EGY NEMZETKÖZI, PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK VERSENYÉNEK TAPASZTALATAI

### THE EXPERIENCES OF AN INTERNATIONAL COMPETITION OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

**Békési Bertold<sup>1</sup>, Szegedi Péter<sup>2</sup>, Molnár András<sup>3</sup>, Stojcsics Dániel<sup>4</sup>, Makkay Imre<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>alezredes, egyetemi docens

Nemzeti Közszerológálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,

Katonai Üzemeltető Intézet, Katonai Repülő Tanszék

H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: [bekesi.bertold@uni-nke.hu](mailto:bekesi.bertold@uni-nke.hu); [szegedi.peter@uni-nke.hu](mailto:szegedi.peter@uni-nke.hu)

<sup>3</sup>dékán, egyetemi docens; <sup>4</sup>adjunktus

Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Kar

1034 Budapest, Bécsi út 96/B, Email: [molnar@uni-obuda.hu](mailto:molnar@uni-obuda.hu); [stojcsics.daniel@nik.uni-obuda.hu](mailto:stojcsics.daniel@nik.uni-obuda.hu)

<sup>5</sup>egyetemi tanár,

3000 Hatvan, Munka u 29. Email: [drmi48@gmail.com](mailto:drmi48@gmail.com)

**Kivonat:** A Török Légierő Akadémia parancsnoka 2014 októberében levélben megkereste a Nemzeti Közszerológálati Egyetem rektorát és egy egyben meghívta az egyetem UAV fejlesztéssel foglalkozó csapatát a "Future Flight Designe 2015" nemzetközi versenyre. Az eseményre a versenykiírásnak megfelelően egy csapattal "HUNOK" néven jelentkeztünk. Az UAV fejlesztéssel foglalkozó csapat az Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Kar oktatói és hallgatóival kiegészülve indult a versenyen. A szerzők és egyben a csapat tagjai is a Török Légierő Akadémia szervezésében immár harmadik alkalommal kiírt és megrendezett nemzetközi verseny tapasztalatait kívánják bemutatni.

**Kulcsszavak:** UAV, HUNOK, FFD 2015

**Abstract:** In October 2014, the Commander of the Turkish Air Force Academy invited the UAV development team of the National University of Public Service to participate in a competition named Future Flight Design 2015. A joint team, which included the UAV development team of the National University of Public Service and the UAV development team of University of Óbudai John von Neumann Faculty of Informatics participated in the competition. The competition was held on 08-10 May 2015 at Istanbul Hezarfen Airport, Istanbul, Turkey. The paper will try to present the experience of the international competition.

**Keywords:** UAV, HUNOK, FFD 2015

## 1. BEVEZETÉS

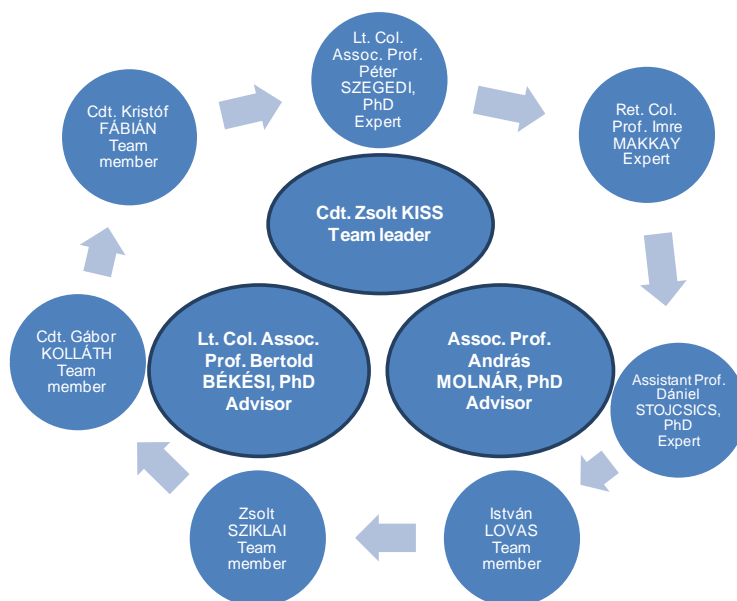
A Török Légierő Akadémia parancsnoka 2014 októberében egy levélben kereste meg a Nemzeti Közszerológálati Egyetem (NKE) rektorát, amelyben meghívta az egyetem pilóta nélküli repülő eszközök (Unmanned Aerial Vehicles UAVs) fejlesztésekkel foglalkozó csapatát az Isztambulban, 2015 május 8-10 között megrendezett FFD 2015 "Future Flight Designe 2015" nemzetközi pilóta nélküli repülő eszközök versenyére. a TurAFA (Turkish Air Force Academy, Törökország) által, az idén harmadik alkalommal megrendezett nemzetközi megmérettetésnek az isztambuli Hezarfen repülőtér adott otthont.

Egy saját tervezésű, fejlesztésű és gyártású távirányított repülőeszközzel lehetett nevezni a dinamikus versenyre, ahol az eszköz "életképességét" is bizonyítani kellett.

A felkészülési idő rövidege, a feladatok összetettsége a versenykiírás nyújtotta lehetőségeket és korlátozásokat figyelembe véve az NKE csapat úgy döntött, hogy az eseményre hazánkban ezen a területen kimagasló eredményeket elérő Óbudai Egyetem Neumann János Informatikai Karának oktatóival és hallgatóival (akik már évek óta terveznek, fejlesztenek, készítenek különböző UAV-kat) közösen alkotott csapattal jelentkeznek. A nemzetközi megmérettetésre több mint 10 különböző országból 49 csapat nyújtotta be jelentkezését a múlt év decemberében.

## 2. A HUNOK CSAPAT

A versenyen intézetek, főiskolák, akadémiák, egyetemek csapatai indulhattak. A csapatok tagjai (kivéve a pilóta) az intézmény teljes idejű hallgatói kellett, hogy legyenek és egy intézmény több csapattal is nevezhetett, illetve az intézmények összefogva közös csapatként indulhattak. 2014 december 23.-án nyújtotta be a jelentkezését a versenyre a HUNOK csapat. Prof. dr. Makkay Imre ny. ezredes egyetemi tanár, dr. Békési Bertold alezredes, egyetemi docens, dr. Szegedi Péter alezredes, egyetemi docens és Fábian Kristóf, Kiss Zsolt és Kolláth Gábor honvéd tisztjelöltek képezték a HUNOK csapat Nemzeti Közszerológiai Egyetemről, míg dr. habil. Molnár András egyetemi docens, dékán, dr. Stojcsics Dániel egyetemi adjunktus és Lovas István és Sziklai Zsolt hallgatók alkották a csapat Óbudai Egyetemről érkező részét 1. ábra.



1. ábra A HUNOK team

## 3. A VERSENYKIÍRÁS ÉS A SZABÁLYOK

Az FFD 2015 célja volt egyrészt, hogy lehetőséget teremtsen pilóta nélküli légi járművek tervezésére és építésére, ösztönözve az eredeti és egyedi tervek megvalósulását, másrészt, hogy teret biztosítson a repülő eszközök működőképességének bizonyítására, az elkészült járművek széleskörű bemutatására, megmérettetésére.

A nevezés elfogadásának feltétele volt egy technikai jelentés benyújtása és a szervezők általi elfogadása. Ennek a jelentésnek maximum 60 oldalban tartalmaznia kellett:

- egy összefoglalót a teljes felkészülési folyamatról, indokolva, hogy miért esett a választás az alkalmazott technológiákra, a megépített repülőgépre,
- egy leírást a rendszer képességeiről, elemzést az előzetesen meghatározott követelményrendszer teljesítéséről,

- a csapat szervezésének folyamatát, felépítését, feladatkörök meghatározottságát, teljesíthetőségét, és szabályozottságát,
- időtervet, fő fázisok, döntési és ellenőrzési pontok megjelölésével.

A szervezők egy kategóriában hirdették meg az FFD 2015-t, a "MOTHER SHIP UAV"-k versenyeként (a végső kiírásban módosították a téma megnevezését "UAV Mothership & Swarm"-ra, ami a kezdeti tartalmat nem befolyásolta).

Mi az a "MOTHER SHIP UAV"?

A "MOTHER SHIP" egy olyan rádió távirányított repülőgép, amely egyrésztől minél több kis méretű repülésre alkalmas eszközt (MAV, Micro Air Vehicle) képes szállítani és a 2. 3. feladatoknak megfelelő módon repülés közben a fedélzetről indítani, kidobni, másrésztől amelyet a csapatok erre a versenyre terveztek és építettek, kereskedelmi forgalomban kapható alapanyagokat és alkatrészeket felhasználva. Az eszköznek önerőből kellett felszállnia (semmilyen külső energia forrás használatát nem tették lehetővé a szabályok) és a felszálló út hossza nem lehetett hosszabb 20 méternél. Az elektromotoros légszavart hajtóművel hajtott repülőgép energia ellátó rendszerébe 40 A-es biztosítékot kellett építeni, hogy az előírt áramkorlátozás garantálva legyen. A fedélzeten elhelyezett maximálisan 3 kg tömegű villamos energiaforrás (LiPo, NiCad, NiMH akkumulátor egyaránt engedélyezve volt) felhasználásával működtetett eszközről a repülés alatt nem lehet ledobni, illetve elveszteni semmilyen alkatrészt (mint például futómű, stb.), kivéve ha a repülési feladat megkövetelte (pl. 2., 3. feladatok esetén).

Csak kereskedelmi forgalomban kapható légszavart lehetett alkalmazni, akár a feladatokként váltva az alkalmazott típust, méretet, de a repülőgépek konfigurációjának megváltoztatására (pl.: biplánról monoplánra változtatni) nem adtak lehetőséget a szabályok. Az RC és a szervók működtetéséhez független energia forrásokat kellett használni.

A biztonság szemelőt tartása a repüléssel foglalkozók számára nem ismeretlen. A repülési feladatok megkezdése előtt biztonsági és technikai bevizsgálásnak kellett alávetni az elkészített UAV-eket. Az előre megadott biztonsági követelmények teljesítése feltétele volt a repülési feladatok megkezdésének.

Az átvizsgálás kiterjedt:

- a repülőeszköz minden elemének rögzítettségének, sértetlenségének, integritásának (minden felszerelést, hasznos terhet úgy kellett biztosítani, hogy a repülés alatt ne veszélyeztessen a működtetést (a tömegközéppont ne mozdulhasson el)),
- a légszavart és a motor megfelelő integritásának,
- a villamos rendszer műszeres ellenőrzésére,
- a gyors "áramtalanítás" lehetőségének ellenőrzésére (a repülőgéptörzs könnyen elérhető részére áramtalanító szerkezetet kellett beépíteni, amelyet csak a repülés megkezdése előtt a felkészülési körletben lehetett "élesíteni"),
- a rádió távvezérlő előre meghatározott módon való működésének (a motor indul, motor leáll funkciójának, a kormányok működésének) ellenőrzésére.

Fokozottan ellenőrizték a Radio fail-safe funkció működőképességét (automatikusan be kellett, hogy kapcsoljon, amikor az összeköttetés a légi jármű és a földi irányítás között megszakadt), minden alkalommal a feladatok megkezdése előtti földi ellenőrzéskor be kellett mutatni, hogy az RC adó kikapcsolására működésbe lép a rendszer. Ekkor a biztonsági üzemmódban az eszköz vevője "motor állj", "magassági kormány teljesen fel", az "oldal kormány teljesen jobbra", a "csűrő lap teljesen kitérítve" (jobbra, vagy balra), és a "fékszárny teljesen le" állásba vezérli a megjelölt berendezéseket. A csapatok csak a verseny bíróság által a szabályoknak megfelelőre értékelt repülő eszközzel kezdhették meg a repülési feladatok teljesítését.



## 4. A REPÜLÉSI FELADATOK

A versenyt az isztanbuli 681 méter hosszú kifutópályával rendelkező szilárd (aszfalt) burkolatú Hezarfen repülőtérén rendezték, 2. ábra.

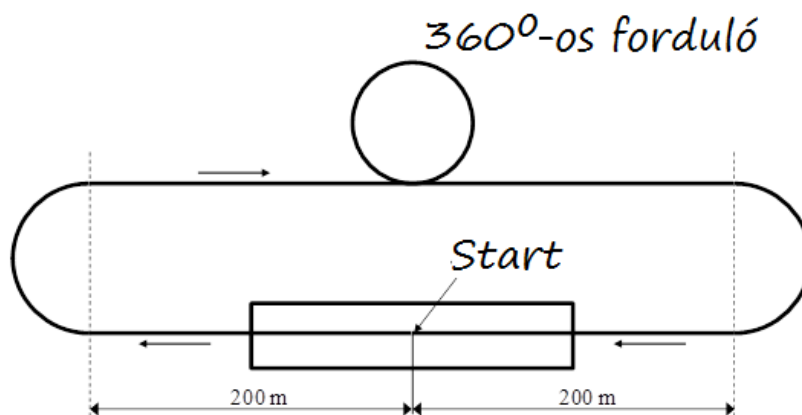


2. ábra Hezarfen repülőtér

Három repülési feladatot kellett teljesíteni a technikai ellenőrzésen átesett repülőeszközökkel. A repülés előtti felkészítésében a pilóta és maximum 2 fő (csak hallgatók, honvéd tisztjelöltek) vehetett részt. Az előkészítő területen a 3 fős felkészítést végző teamnek 5 percen belül kellett repülésre kész állapotba hozni a repülőt, beleértve a hasznos teher behelyezését a gépbe. Az értékelő bizottság hívásra a startvonalra kellett állítani a repülőt, a feladat teljesítés csak közvetlen utasításra volt megkezdhető. A következő feladat megkezdésének feltétele volt a megelőző feladat sikeres teljesítése. Az egyes feladatok teljesítésére 5-5 kísérlet volt engedélyezve. A feladatok értékelhetőségének a kifutón történő sikeres landolás minden esetben feltétele volt. A repülési magasság megfelelő megválasztásának követelménye a folyamatos vizuális kontaktus megléte volt.

### 4.1 Az első repülési feladat

Az első feladat, repülés végrehajtása volt 4db félliteres az adott országban kereskedelmi forgalomban kapható ásványvizes palack vízzel, mint szállítandó hasznos teherrel az 3. ábrán látható repülési útvonalon. A 20 méteren belüli felszállást követően a pályát háromszor kellett végig repülni a lehető leggyorsabban, majd sikeresen leszállni a feladat eredményes teljesítéséhez. A hasznos terhet, a palackokat biztonságosan kellett rögzíteni a repülőgép belsejében, bennük a fél liter víz meglétét a repülés után ellenőrizték.



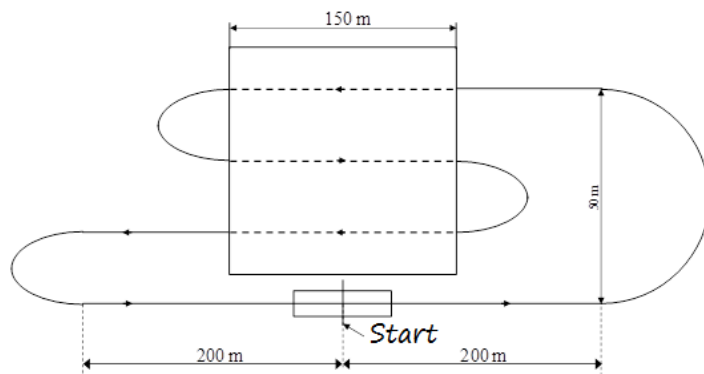
3. ábra Az első repülési feladat

Az első feladat pontozása az  $M_1 = \frac{t_{ref}}{t_{team}}$  összefüggés alapján történt, ahol  $t_{ref}$  az első feladatot leggyorsabban teljesítő csapat ideje, a  $t_{team}$  az adott csapat számára szükséges idő.

#### 4.2 A második repülési feladat

A második repülési feladat egy zárt hurok teljesítése volt, a 4. ábrán látható repülési útvonalon 3 darab MAV-val a fedélzeten. Az első feladatban begyakorolt rövid felszállást követően a 150 méteres célterület felett minden forduló alkalmával egy-egy MAV-t kellett leoldani a "MOTHER SHIP"-ből. A fedélzetről katapultált MAV-oknak bizonyítaniuk kellett repülési és leszállási képességeiket. Ha egynél több MAV-ot indítottak egyszerre, illetve bármi más kiesik a szállítógépből a feladat nem teljesítettnek számított.

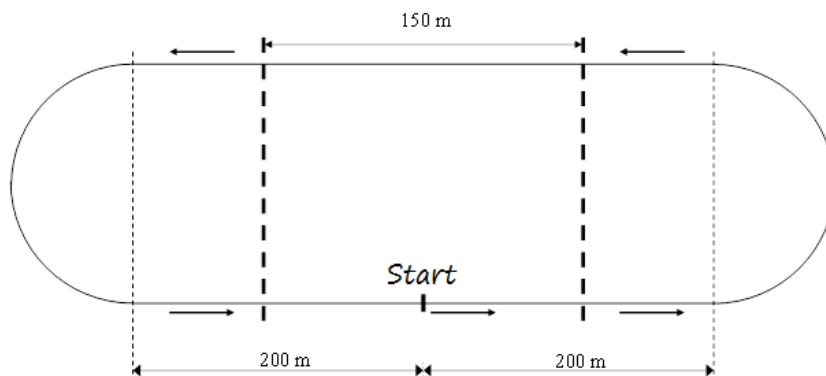
A feladat pontozása az  $M_2 = 100 \cdot R$  összefüggés alapján történt, ahol az  $R$  a sikeresen katapultált, repült és landolt MAV-ok számával arányos szám (3 sikeres MAV esetén  $R=1,5$ ; 2 sikeres MAV esetén  $R=1,0$ ; 0, 1 sikeres MAV esetén  $R=0,5$ ).



4. ábra A második repülési feladat

#### 4.3 A harmadik repülési feladat

Az utolsó repülési feladatban a lehető legtöbb MAV-ot (2. feladatban alkalmazottal azonos típusú, méretű MAV) kellett indítani a "MOTHER SHIP"-ről a 5. ábrán látható repülési útvonalon megjelölt 150 méteres célzóna felett. A feladat megkezdése előtt a hordozó repülőgépen szállított (törzsön belül, illetve külső függesztményként egyaránt), leoldott MAV-ok számát meg kellett adni a verseny bíróság számára. A felszállásnak ennél a feladatnál is az előzőekben meghatározott 20 méteren belül kellett megtörténnie és a három kört lerepülve. Az utolsó körben a MAV-ok leoldása egyesével történhetett a 150 méteres célterület felett (5. ábra).



5. ábra A harmadik repülési feladat

Ebben az esetben is, ha bármi más kiesett a szállító repülőgépből a feladat nem teljesítettnek számított. A "MOTHER SHIP" biztonságos landolása a feladat teljesítésének itt is a feltétele volt. A feladat pontozása az  $M_3 = 100 \cdot \left(\frac{n_{team}}{n_{ref}}\right)$  összefüggés alapján történt, ahol  $n_{team}$  a verseny során a legtöbb sikeresen a célterület felett kidobott, repült és landolt MAV-ok száma, az  $n_{ref}$  az adott csapat által sikeresen katapultált MAV-ok száma. Látható, hogy az előző összefüggés egy viszonyszámot generálva a legtöbb MAV-ot katapultáló csapat minden más résztvevő feladatra kapott pontszámát csökkentette, így növelve saját győzelmi esélyeit.

## 5. FELKÉSZÜLÉS A VERSENYRE

A tervezés megkezdéséhez alapvetően a versenykiírásban szereplő követelmények jelentették a kiindulási szempontrendszer. Elemezve a követelményeket és a rendelkezésre álló lehetőségeket megkezdtük az elvégzendő feladatok ütemezését, és a végrehajtás erőforrás igényeinek meghatározását. Egy több síkon zajló tervező és szervező munka vette kezdetét. A második és harmadik feladat teljesíthetőségének alapkövetelményei a gyorsaság, a jó manőverezhetőség és a rövid felszállási út (20 méter) teljes terheléssel. Az első feladatnál ez a nagy teherbíró képességgel egészült ki. Ezeknek a képességek együttes elérése komoly előkészítő munkát igényelt. Közös beszélgetések, ötletelések, kutatások kezdődtek, hogy milyen legyen az elkészítendő repülőgép felépítése, milyen olyan ismert megoldások jöhetnek szóba, amelyekre alapozva elkészíthetjük a MOTHER SHIP-et, majd később pedig a MAV repülőeszközeinket.

A számos tervezési követelményt csoportosítottuk és priorizáltuk. Elsődleges szempontként jelöltük ki a bekerülési, üzemeltetési és egyéb költségek minimalizálását. A tervezési és méretezési feladatok kidolgozása időigényes folyamat, így a rendelkezésünkre álló idő korlátos volta miatt számos tervezési és méretezési lépés pontos, számításokon alapuló kivitelezését tapasztalati úton határoztunk, illetve valósítottuk meg. A tesztrepülések alkalmával vizsgáltuk feltételezéseink életképességét, javítottuk hibáit küszöböltük ki hiányosságait.

A mielőbbi elemelkedéshez és a stabil repüléshez szükséges felhajtóerő létrehozásához a vonóerő irányának változtatásával létrehozott emelőerő komponensben ítéltük meg a megfelelő megoldást (ESTOL, Extremely Short Takeoff and Landing).

Arra a következtetésre jutottunk, hogy a rövid nekifutást ESTOL megoldás alkalmazásával biztosítjuk, majd a tesztrepülések alkalmával a gyakorlatban próbáljuk ki működőképességét. A konfiguráció kiválasztásánál a Bell Boeing V-22 Osprey<sup>1</sup> multifunkcionális katonai repülőgépet vettük alapuk. Megvizsgáltuk a repülőgép tulajdonságait (a függőleges fel-, és leszálló (VTOL, Vertical Takeoff and Landing), illetve a rövid fel-, és leszállási (STOL, Short Takeoff and Landing) képességét) és úgy döntöttünk, hogy alap tervezési modelként használjuk fel a "MOTHER SHIP" szállító repülőgép elkészítéséhez.

A szárnyakon elhelyezett iker motoros gondolás megoldás kivitelezhetőnek tűnt és a gondola mozgatásával a légszavarak által létrehozott vonóerő vektorának iránya változtatható. A repülőgépet a szárnyra szerelt két (a törzs két oldalán elhelyezett) motorgondolával építettük meg, amely gondolák a vízszintes síkból felfelé 15 fokban téríthetők el, hogy a rövid felszállás során a szükséges emelő erő biztosítható legyen a teljesítmény korlát (a motoronkénti 40 A-s áramkorlát) betartásával (6. ábra).

---

<sup>1</sup> A repülőgépet úgy tervezték, hogy egyesítsék, egy hagyományos helikopter fel-, és leszálló képességét egy légszavarak repülőgép nagy hatótávolságával nagy repülési sebességével.



6. ábra A motorgongolák elhelyezése

Feltételeztük, hogy a két motor által biztosított vonóerő, illetve a hatékonyabb csűrő hatás (és stabilizáló hatás) lehetőségének kihasználásával a fordulók rádiusza is csökkenthető, aminek következményeként a repülési idő (a feladatok teljesítésének ideje) csökkenni fog. Ennek a képességnek az alkalmazása a pilótától nagyobb fokú felkészültséget követel, amit vele egyeztetetten vállaltunk, úgy ítélve meg a lehetőséget, hogy jelentő előnyökkel járhat a bennerejlő veszélyekhez képest is.

Az egyik legfontosabb részegység a törzs volt, melynek az elsődleges funkciója a repülőgép fő egységeinek összefogása mellett a hasznos teher szállítása. A törzssel szemben támasztott követelményeink a következők voltak: legyen könnyű, tartós, kellően merev és erős, hogy elviselje az üzemeltetés során (felkészülés és verseny) felmerülő igénybevételeket. A meghatározott követelmények teljesítése érdekében a törzse EPP habból készült, és balsa fával és szénszálalás téglalap keresztmetszetű csövekkel erősítettük meg (7. ábra).



7. ábra A törzs megerősítése balsa fával és szénszálalás téglalap keresztmetszetű csövekkel

A légi jármű másik fontos része a szárny, aminek tervezése számos paramétertől függ. A tervezéshez és kivitelezéshez szakirodalomban megtalálható elveket és módszereket követtük. Ennek során szembesültünk olyan korlátozó tényezőkkel, mint például a stabilitás, az irányíthatóság, gyárthatóság, költség, és a repülésbiztonság problémaköre.



8. ábra MELÁK a háromrésztes szárnyal

Figyelembe véve a lehetőségeinket (pl.: a verseny helyszíne, a szállítás), úgy döntöttünk, hogy a szárny három részből fog felépülni (8. ábra). Külső részei (fehér színű) könnyen lecsatlakoztathatók a szárnyközép részről (fekete). Utóbbi négy műanyag csavarral kapcsolódik a törzshöz. A kapcsolódó felületek balsa fával megerősítettek (9. ábra). A fa alkatrészek számítógép vezérlésű lézer vágóval készültek.



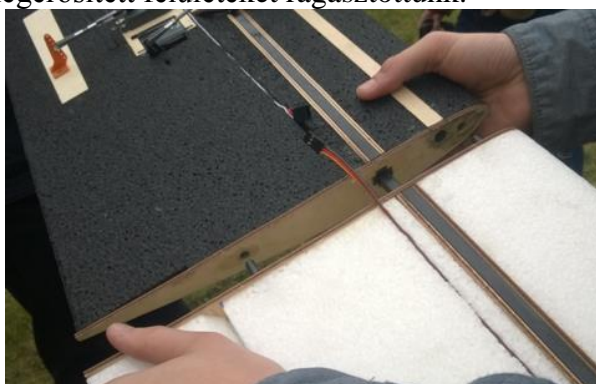
9. ábra A szárny rögzítése a törzshöz

A szárnyközép és a szárnyvég részek közötti teherviselő kapcsolatot egy szénszálás zártszelvény biztosítja, amit kiegészít két kör alakú szénszálás cső, hogy a szárny csavarodását megakadályozza (10. ábra).



10. ábra A szárnyvégek kapcsolódása a szárnyközéphez

A vezetékek, csatlakozások a habba lettek integrálva. Az elektromos kapcsolatok könnyen bonthatók (11. ábra). A nagy kormány felületek mozgatásához szükséges erőt biztosító szervókra balsa fával megerősített felületeket ragasztottunk.



11. ábra Elektromos csatlakozás a szárnyon

A 12. ábrán látható hagyományos farok kialakítást választottuk, mert egyszerűen legyártható és könnyen felszerelhető (biztonságosan rögzíthető) a törzsre (ragasztható).



12. ábra A modell farokrésze

Egy a levegőnél nehezebb légi járműnek, hogy képes legyen megfelelő manőverezésre a levegőben valamilyen meghajtó rendszerre is szüksége van. A versenykiírásnak megfelelően villamos motorokat használva biztosítottuk a légi jármű mozgásához szükséges meghajtó erőt. Figyelemmel az előírt meglehetősen nagy tömegű hasznos teherre és a viszonylag rövid felszállási útra, két villanymotor alkalmazása mellett döntöttünk. A két motort a szárnyközépre telepítettük, így elég hely maradt a törzsben az akkumulátoroknak és a vizes palackok elhelyezésére.

A két villanymotor fordultszáma külön-külön vezérelhető, így lehetőségünk volt a vonóerő vektor nagyságának változtatásával is befolyásolni a légi jármű hossz- és keresztengely körüli mozgását. A differenciált meghajtás úgy viselkedik, mint egy aktív csűrőkormány. Háromfázisú, kefenélküli villanymotorokat alkalmaztunk, mivel ezeknek rövid a reakció idejük (a motorok fordulatszámának gyors szabályozását követelmény), és megbízható a működésük. A motor típusa: AXI 282612 kV-os 760 (13. ábra).



13. ábra A MOTHER SHIP erőforrása

A 14. ábrán látható villanymotorok egy-egy mozgatható motorgondola alkalmazásával a szárnyközépen történő felszerelése.



14. ábra A motorgondolák elhelyezkedése a szárnyközépen

A 15. ábra a repülőgép három részből álló futómű rendszerét mutatja be.



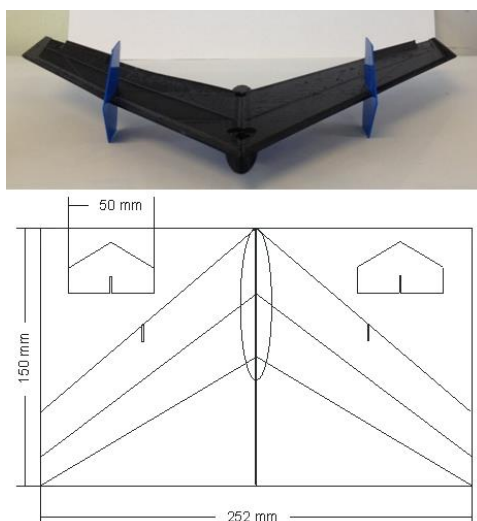
15. ábra A futómű rendszer

A "főfutók" EPP alapanyagból készültek és egy hajlítottlemez szerkezetű futószár segítségével a törzs oldalára lettek rögzítve. Az orr-futóművet, a törzs első harmadán félíg súlyesztve építettük be. A futómű rendszer harmadik része a törzs utolsó harmadára ragasztott a balsa fából készített csúszó sín.

## 6. A MIKRO REPÜLŐESZKÖZÖK, A MAV-OK

A "MOTHER SHIP" fedélzetéről indított MAV (Micro Unmanned Vehicle) önálló repülési (vitorlázó) képességgel rendelkező, hagyományos, vagy csupaszárny elrendezésű pilóta nélküli repülőszerkezet egyaránt lehetett, amely biztonságosan (károsodás nélkül) volt képes landolni. A MAV tervezésekor a könnyű és gyors sorozat gyárthatósági kritériumot önmagunknak fogalmaztuk meg és döntöttünk a 3D nyomtatóval elkészíthető felépítés mellett. A 3D technológia lehetővé tette a könnyű, gyors és nagyon pontos sorozatgyártást. A prototípus modell könnyen elkészíthető volt közvetlenül a számítógépen készített vezérlő program segítségével. A tartós ABS-ből készített modellek erősek, festhetők, csiszolhatók és forgácsolhatók és rugalmasak voltak.

A 16. ábrán az első próba MAV látható, amely teljesítette a meghatározott verseny követelményeket (súly, méret). Az elvégzett tesztrepülések azonban felfedték, hogy nem képes önálló repülésre, illetve biztonságos landolásra.



16. ábra Az első MAV

A további probléma volt, hogy a kioldó berendezésre csak öt darab fért el belőlük. Az eredmények figyelembevételével módosítottuk a MAV-ot a 17. ábrán látható kivitelre.



17. ábra A módosított MAV

A függőleges vezérsíkokat eltávolítottuk, és pótlásukra a hátra nyilazott szárnyra  $45^\circ$ -ban döntött szárnyvégeket ragasztottunk. Ez a módosítás azt eredményezte, hogy több MAV-ot lehetett felfűzni a kidobó mechanizmusra (18. ábra). Ezen kívül javította a MAV siklási képességét.



18. ábra MAV-ok a kidobó mechanizmuson

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A két egyetem alkotta HUNOK team első alkalommal jelentkezett erre a versengésre. A hallgatók képzésük során megszerzett elméleti ismereteik gyakorlati hasznosulását, illetve az ezen a területen kutató oktatóknak értékes gyakorlati tapasztalatok megszerzését biztosította a szigorú előírások és elvárások szerint megrendezett vetélkedés, vagyis a mérnöki munka "soft" és "hard" részének megtapasztalása.





A versenyre való felkészülésünkről tudomást szerezve a BHE Bonn Hungary Electronics Hungária Kft. támogatásra érdemesnek érezve a csapat erőfeszítéseit egy nagylelkű szponzori segítséget ajánlott fel, amit ezúton is nagyon szépen köszönünk. Külön köszönet Dr. Kazi Károly igazgató úrnak, címzetes egyetemi docensnek, és Papp Tímeának a szíves és segítőkész támogatásért és segítségért.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FFD 2015 Technical Report of the MELÁK unmanned aerial vehicle by HUNOK TEAM 2015;
- [2] **MOHAMMAD H. SADRAEY:** *Aircraft Design A Systems Engineering Approach*, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, Chennai, India. 2013, ISBN 978-1-119-95340-1
- [3] **CHRISTOS KASSAPOGLOU:** *Design and analysis of composite structures with applications to aerospace structures*, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, Noida, India. 2010, ISBN 9780470972632;
- [4] **IAN MOIR, ALLAN SEABRIDGE:** *Design and development of aircraft systems*, A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, New Delhi, India, 2013, ISBN: 978-1-119-94119-4;
- [5] **JAN R. WRIGHT, JONATHAN E. COOPER:** *Introduction to Aircraft Aeroelasticity and Loads*, John Wiley & Sons Ltd, 2007, West Sussex, England;
- [6] FFD 2015 Competiton Rules;
- [7] **PÁSZTOR M.:** *Műanyagok alkalmazása, utóműveletek* -  
<http://www.muanyagipariszemle.hu/2012/01/uj-muszaki-habtipusok-14.pdf>, letöltve:  
(2015.03.24.)

# FORRÁSOKBAN ÉS KUTAKBAN MÉRT VÍZSZINTCSÖKKENÉSEK JELLEGZETESSÉGEIBŐL KINYERHETŐ INFORMÁCIÓK A BÜKKI KARSZT PÉLDÁJÁN

## FEATUERES OF RECESSION CURVES OF WELLS AND SPRINGS IN THE BÜKK MOUNTAIN

Szegediné Darabos Enikő<sup>1</sup>, Lénárt László<sup>2</sup>, Hernádi Béla<sup>3</sup>

<sup>1</sup>MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport,

<sup>2</sup>Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet <sup>3</sup>Miskolci Egyetem, Kútffó Projekt

e-mail: daraboseniko@gmail.com

**Kivonat:** Az ivóvíz ellátás zavartalan biztosítása érdekében folyamatosan történt és jelenleg is történik a Bükkből kitermelhető vízkészletek mennyiségének meghatározása. Az ivóvízellátás mennyiségi biztosításának szempontjából kritikus helyzetet a csapadékmentes időszak jelent, ez indokolta, hogy a karsztvízszintek előrejelzésének lehetőségeit ilyen időszakban vizsgáltuk. A vizsgálati hely kiválasztásakor első sorban a Nagyvisnyó-17 nevű monitoring kútra összpontosítottunk, ezután természetesen további mérőhelyeket is bevontunk a vizsgálatokba (6 db megfigyelő kút és 2 db forrás). Minden mérőhelyre előállítottuk a jelleggörbéket, ami nem más, mint a karszt kiürülésének menete csapadékmentes időszakban. Az Nv-17 esetben meghatároztuk a görbe egyenletét, mely alapján extrapolációt is végeztünk. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy minden mérőhelyre egy jellemző alakú és meredekségű pontsorozat határozható meg, úgy véljük, hogy az egyes görbék alakját a földtani adottságok határozzák meg. Analitikus módszerek alkalmazásával a görbék alapján áramlási modellek alkotása is lehetséges.

**Kulcs szavak:** Bükk, karszt, vízszint előrejelzés, csökkenési görbék

**Abstract:** To determine the amounts of exploitable water resources is necessary to sustain the continuous drinking water supply. From this aspect the rainless periods are critical moments of the water supply so the forecast of karst water level change is useful for waterworks. Firstly, the Nv-17 monitoring well was investigated and later other measurement points were also studied (6 monitoring wells, 2 spring). The characteristic curve was made for all investigation point. This characteristic curve shows the draining process of the karst in rainless periods. In case of Nv-17 monitoring well not only the characteristic curve was made but also extrapolation of curve was executed. By results of investigations we experienced each measuring point has a typical characteristic curve with typical shape and slope which could be related to geological properties. It is possible we can make flow models based on the recession curves when we use analytical methods.

**Keywords:** Bükk, karst, water level forecast, water level characteristic curve

## 1. BEVEZETÉS

A vízföldtani monitoring keretében zajló adatgyűjtés (információgyűjtés) lényegében a hidrológiai körfolyamat pillanatnyi állapotának megismerése érdekében történik, az ember vízigényének kielégítése, avagy a víz kártételeinek elkerülése érdekében. [1]

A Bükk-térség esetében a társadalmi vízigények döntő többségének (esetenként teljes mennyiségének) kielégítése karsztvízből történik. Emiatt vált igen nagy jelentőségűvé a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer létrehozása, működtetése és adatainak feldolgozása. A mérőrendszer alapjainak számító kutakat 1983-ban hozták létre, a jelenlegi rendszer kialakítása 1992-ben kezdődött meg a folyamatos, elektronikus műszeres mérések beindításával. [2] Jelenleg a bükki karszt területén összesen 34 helyen – kutakban, megfigyelő-kutakban és forrásokban – regisztrálják folyamatosan a vízszint, esetleg a vízhőmérséklet és a vezetőképesség értékeit a Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer keretein belül. A rendszer egyik nagy előnye, hogy a Bükk-hegység csaknem teljes területét lefedi,

ezáltal lehetőségünk van komplex hidrogeológiai kutatások végzésére az egyes mérőhelyekről származó vízszint, vezetőképesség és hőmérséklet adatok alapján. [3, 4]

Az elektronikus vízszint, vízhőmérséklet, vezetőképesség és radon méréseket folyamatosan mérő és rögzítő mérőműszerekkel végzik. A mérési gyakoriság zömében 15-60 perc, de elvétve előfordult 10, ill. 240 perces gyakoriságú mérés is. [5]

A hegységet sújtó hosszú száraz periódusok idején nagy jelentősége van a csökkenő vízszintek pontos előrejelzésének, a dolgozatban szereplő jelleggörbék is részben ez a célt szolgálják.

## 2. A BÜKK-HEGYSÉG ÉS A KARSZTVÍZ SZINTJE

A Bükk-hegység a Borsodi nagyszerkezeti egység része; a Darnó-zóna és a Középmagyarországi-zóna közötti térben fekszik. A fő szerkezeti egységek DNy-ÉK-itől ÉNy-DK-ig változó csapásban elnyúlt, néhány km vagy 10 km széles vetőszeletek meredek dőlésű, oldal eltolódásos jellegű határokkal, amelyek sokszor a réteghatárokkal közel párhuzamosan alakultak ki. A réteghatárok meredek helyzete egy korábbi, redőződéssel és palásság kialakulásával járó képlékeny deformáció eredménye. A hegységben megtalálhatók paleozoós, triász, júra, eocén, oligocén, neogén és negyedkori képződmények egyaránt. [7]

A karsztvíz a rétegvizekhez hasonlóan a csapadékból és a mélység felől pótlódhat. Hazai viszonyaink között a karsztok utánpótlódása lényegében csak csapadékból történik. Felszínig érő karszterületeken helyesen járunk el, ha egyedüli utánpótlódként a csapadék beszivárgó, ill. elnyelt fázisát vesszük csak figyelembe. A karsztvíz egyik jellegzetes tulajdonsága a csapadék hatására változó szintje. [8]

## 3. AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

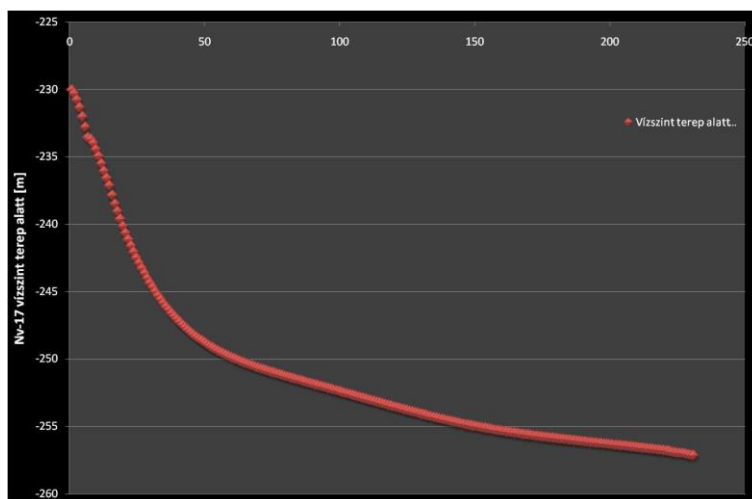
Vizsgálataink alapját az 1992-óta folyamatosan működő Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer, több, hidrogeológiai szempontból fontos mérőhelyén mért vízszint adatai jelentették, ami 7 db megfigyelőkútból és 2 db forrásból állt.

A vizsgálatok kiinduló pontját az Nv-17-mérőhelyen regisztrált napi vízszintek jelentették 1993 és 2011 között, melyekről megállapítottuk, hogy az egyes években a vízszintek „zavartalan” csökkenéseinek meredeksége egymáshoz igen hasonló volt. [9]

Az iménti megfigyelésből arra a következtetésre jutottunk, hogy adott mérőhelyre létezik egy csapadékmentes időszakban érvényes, jellemző csökkenési görbe. Ezután célként a kiválasztott mérőhelyekre e görbék meghatározását tűztük ki. A görbék segítségével egyrészt pontosíthatjuk a vízszint és ezáltal a vízkészlet előrejelzéseket, másrészt úgy véljük, hogy a hidrogeológiai szempontból lényeges földtani heterogenitásokat is jól tükrözik majd a jellemző görbe alakok, ill. meredekség változások.

## 4. EREDMÉNYEK

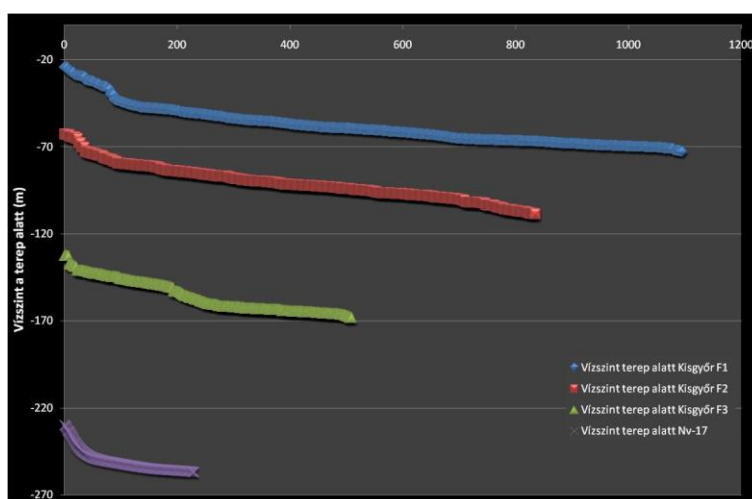
A mérőhelyekről származó 22 éves adatsor alapján előállítottuk az általunk jelleggörbének nevezett pontsorozatot, melynek lényege, hogy a rendelkezésre álló adatokból kiragadtuk azokat a részeket, ahol a vízszint görbe zavartalanul csökkent (csapadékmentes időszakból származó csökkenés, minimum 5 nap), majd ezeket - vízszinteknek megfelelően - egymáshoz illesztettük. Így egy csapadéktól csaknem teljesen mentes csökkenési görbét kaptunk eredményül, mely átfogja az eddig mért maximum és minimum által meghatározott teljes tartományt. A vízdomborzat szempontjából tetőhelyzetben lévő Nv-17 mérőhely mért adatokból előállított jelleggörbéjét mutatja az 1. ábra.



1. ábra: Az Nv-17 jelleggörbéje

Ha a vizsgált mérőhelyek elhelyezkedését földtani szempontból vizsgáljuk, elmondható, hogy az Nv-17 Bükkfennsíki Mészköbe, a Kisgyőr F1-es kút Bükkfennsíki Mészköbe és Gyulakeszi Riolittufába, míg az F2-es Bükkfennsíki mészkőbe, az F3-as kút pedig Felsőtárkányi Mészkö Formációba mélyült. Az alaphegységi formációk vízföldtani adottságairól azt tudjuk, hogy a Bükkfennsíki Mészkö kitűnően karsztosodik, jó vízvezető. A Felsőtárkányi Mészkö közepesen-gyengén karsztosodó és ugyan ilyen vízvezető, míg a fedőhegységi képződmények közé sorolható Gyulakeszi Riolittufa közel vízrekesztőnek tekinthető.

A 2. ábrán együtt láthatjuk az eddig említett kutak jelleggörbéit, megállapítható, hogy a Kisgyőr F1, F2 kutak görbéje a kezdeti szakaszt leszámítva egymáshoz igen hasonló, a kezdeti eltérést okozhatja a kutak különböző mélysége, de adódhat földtani különbségekből is. Mindenképpen szem előtt kell tartani a porozitás mélység felé történő csökkenését is [8], akár ez is okozhatja, a görbék első szakaszainak különbözőségét. Látható, hogy a Kisgyőr F3 figyelőkút görbéjén több töréspont is megfigyelhető, úgy gondoljuk, hogy ezt szintén a kőzetminőség különbsége okozza. Pontosabb információkat a vízföldtani naplók, ill. mérőhelyek vizsgálatával tudunk majd megállapítani.



2. ábra: Az Nv-17 és a Kisgyőr K1, K2 és K3 figyelő-kutak jelleggörbéje

Az ismertetett jelleggörbéket jelenleg elsősorban vízkészlet meghatározásra, vízkészlet előrejelzésre használjuk. Ehhez adott esetben szükségünk lehet a mérési adatokból előállított

görbék extrapolációjára is, ebben az esetben viszont meg kell határoznunk a görbék egyenletét. Az Nv-17 esetében a mért pontsorozatból előállított görbe egyenletét különböző típusú trendvonalakkal próbáltuk meghatározni. A logaritmikus görbével kapott eredmények jó illeszkedést mutattak. Ezzel a megoldással a jelleggörbe pontsorozat és a logaritmikus egyenlet alapján meghatározott jelleggörbe között a korreláció 0,98, ami kiválóan minősíthető.

Továbbá az 1. ábrán azt is láthatjuk, nagyon magas vízszintek esetében (~550-530 mBf) a csökkenés meredeksége is jelentős, majd megfigyelhető egy határozott töréspont ~530 mBf-i vízszint értékeknél (250 m a terepszint alatt). Emiatt, hogy a számítások még pontosabbak legyenek két részre osztottuk a görbét 530 mBf-i vízszintértéknél.

Következő lépésként a jelleggörbe „alsó” szakaszára próbáltuk „kézi” módszerrel meghatározni a görbe egyenletét. Ennek érdekében kijelöltünk az összesen 178 pontból álló alsó jelleggörbe szakaszon 3 jellegzetes pontot, egyet az elején (10. adat:  $x_1=10$ ,  $y_1=529,80$ ), egyet a középső szakaszon (115. adat:  $x_2=115$ ,  $y_2=525,00$ ) és egyet a végén (230. adat:  $x_3=230$ ,  $y_3=522,57$ ).

Erre a 3 pontra állítottunk fel egyenletrendszeret, melyek közül az alábbi általános képlettel jellemezhető görbe hozta meg az eredményt

$$y = \frac{a}{x+b} + c, \quad (1)$$

ahol:

y – az adott napon mért vízszint  
 x – a vizsgált nap sorszáma  
 a, b, c – konstansok

Tehát, ha az (1) általános képletbe behelyettesítjük a 3 mért pont ismert koordinátáit, kapunk 3 egyenletet a 3 db ismeretlenhez (a, b, c). Az egyenletrendszer megoldása után megkaptuk az eddigi legtökéletesebben illeszkedő jelleggörbét ( $R^2=0,9980$ ), melyet az alábbi egyenlettel számolhatunk:

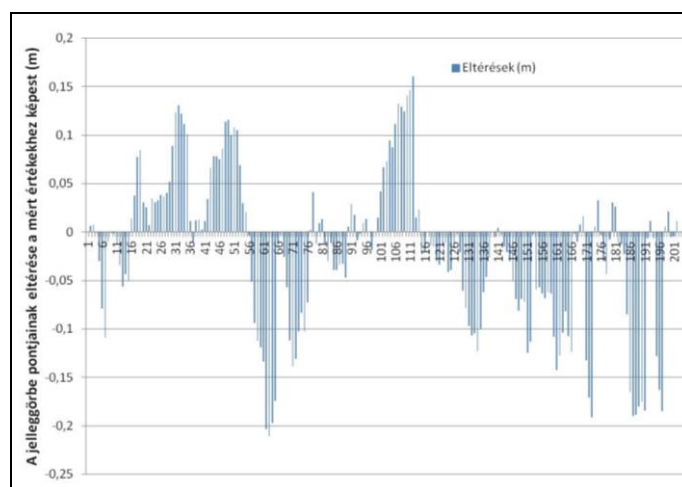
$$y = \frac{2522,4168}{x+178,19507} + 516,3968 \quad [mBf], \quad (2)$$

ahol:

y – az adott napon mért vízszint  
 x – a vizsgált nap sorszáma

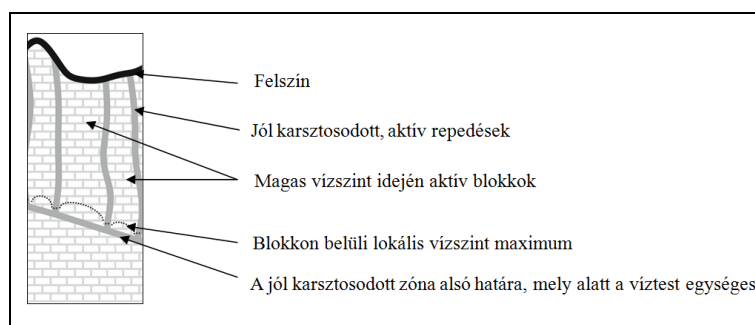
Ezen eredménygörbe segítségével már kedvező feltételek mellett extrapolálhatunk. Mindezek ismeretében már könnyen előre jelezhetjük a vízszint görbe csapadék mentes esetben várható menetét. Ehhez nem kell mást tennünk, csak az extrapolálni kívánt görbe utolsó pontjában mért vízszint adatot leolvasni, majd a számított jelleggörbén megkeresni az ehhez a ponthoz illeszthető pontot és ettől az értéktől kezdve a jelleggörbével helyettesítjük, hosszabbítjuk meg az adatsorunkat. Ezáltal megtudjuk, hogy milyen ütemben várható a vízszint csökkenése, ha a vizsgált időszakban nem hullik érdemi csapadék.

Az előállított csökkenési görbét ellenőriztük is, olyan szakaszokat próbáltunk előre jelezni, ahol mérési adatok is rendelkezésre álltak. Az eredmények eltéréseit mutatja a 3. ábra, ahol láthatjuk, hogy a legnagyobb eltérés 22 cm, amit jó eredménynek tekintünk.



3. ábra: A jelleggörbe ellenőrzések eredménye

Biswal és Marani 2010-es cikke szerint [10] a hozam a lassú csökkenési periódus alatt meghatározható, tekintettel a hullámterjedés karakterisztika idejére a repedéshálózaton keresztül és a repedések fő tagjaira a felszín alatti tárolási rendszerben. Ezért a vízgyűjtőről kilépő hozam bármely időpontban hozzávetőlegesen megegyezik a különböző felszín alatti egységekben tárolt vízmennyiséggel adott pillanatban. Ezen megállapítás alapján a jelleggörbék alkalmasak geomorfológiai adatok meghatározására is. Ezt támasztja alá az a kutatási eredményünk is, mely szerint analitikus módszerrel határoztuk meg a Bükk-fennsík jellemző, áramlási szempontból egységesnek tekinthető blokk méreteket. Arra a megállapításra jutottunk, hogy árvízi időszakban a jó vízvezető közettest 400-600 méteres blokkokra szakad, viszont kis víz idején egységes, hegységnyi méretű karsztvízrendszert képez. (4. ábra)



4. ábra: Elméleti áramlási modell csökkenő vízszintek esetén

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy minden mérőhelyre egy jellemző alakú és meredekségű pontsorozat határozható meg, úgy véljük, hogy az egyes görbék alakját a földtani adottságok határozzák meg.

Mint azt a korábbiakban említettük az előállított jelleggörbéknek alapvető hasznosítási lehetősége a vízszintek előrejelzésekor van. Az előrejelzésre alkalmas görbét az Nv-17 esetében ellenőriztük is, ismert szakaszokon jeleztük előre a vízszinteket, a legnagyobb eltérés 22 cm volt, amit jó eredménynek tekintünk.

A későbbiekben mindenképpen célunk a további mérőhelyekre jellemző görbék egyenletének meghatározása is, ill. annak bizonyítása, hogy a görbék alakja pontosan milyen kapcsolatban áll a földtani adottságokkal.

A jelleggörbék segítségével a Bükkre jellemző áramlási modellt is sikerült elkészítenünk, mely alapján úgy gondoljuk, hogy magas vízszintek esetén a jól karsztosodott zónán belül lokális maximumokkal rendelkező blokkok jönnek létre, míg alacsony vízszintek esetén ezek megszűnnek és a víztest hegység szinten egységes lesz.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0003 jelű projekt részeként, Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LÉNÁRT L.**, *Környezet Informatikai Tankönyv Kézirat 3.1-3 fejezet*, Miskolc, 2006 (a), pp. 13-15.
- [2] **LÉNÁRT L.**, *A Bükk-térség karsztvízpotenciálja – a hosszú távú hasznosíthatóságának környezetvédelmi feladatai*. Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek. III. évf. 2. sz., Miskolc, 2006 (b), pp. 17-28.
- [3] **SZÜCS P., RITTER Gy.**, *Improved interpretation of pumping test results using simulated annealing optimization*, Acta Universitas Carolinae – Geologica 2002, 46 (2/3), pp. 238-241.
- [4] **SZÜCS P., MADARÁSZ T.**, *Complex hydrogeological modeling of multifunctional artificial recharge options of the Great-Forest Park in Debrecen, Hungary*. Water Pollution VIII, Modelling, Monitoring and Management, WIT Press, 2006, pp. 177-184
- [5] **LÉNÁRT L.**, *A bükki karsztvízkutatás történeti áttekintése*. A bükki karsztvízkutatás legújabb eredményei c. konferencia. Miskolc, 2002. január. 24-26. Karsztvízkutatás Magyarországon I., Budapest, 2002, pp. 1-18.
- [6] **LÉNÁRT L., HERNÁDI B.**, *Bükki Karsztvízszint Észlelő Rendszer*, Karszthidrogeológiai mérési objektumok és víznyomjelzési eredmények, Térkép, Miskolc, 2013
- [7] **PELIKÁN P.**, *A Bükk hegység földtana*, benne: KOVÁCS S.: A Bükk fejlődéstörténete, MÁFI, Budapest, 2005, pp. 148-152.
- [8] **JUHÁSZ J.**, *Hidrogeológia*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1987, pp. 58-60, 606-607.
- [9] **E. DARABOS**, *Examining relationships is data recorded with the Bükk Karst Water Monitoring System*, Karst Development Volume 1., Issue 1, Szombathely, 2011, pp. 6-12.
- [10] **B. BISWALL, M. MARANI**, *Geomorphological origin of recession curves*. Geophysical Research Letters, VOL. 37, Issue 24, 2010, pp. 1-5

## BIOAKKUMULÁCIÓ VIZSGÁLATA PIXE MÓDSZERREL

### EXAMINATION OF THE BIOACCUMULATION BY PIXE METHOD

**Czédli Herta**

adjunktus  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék  
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
[herta.czedli@eng.unideb.hu](mailto:herta.czedli@eng.unideb.hu)

**Szíki Gusztáv Áron**

főiskolai tanár  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék  
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
[szikig@eng.unideb.hu](mailto:szikig@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A XXI. századi civilizáció egyre intenzívebb ipari tevékenysége kémiai elemek felhasználásán alapszik. A környezet igénybevétele emelkedő tendenciát mutat, miközben a Föld eltartó képessége csökken. Az antropogén eredetű potenciálisan toxikus elemek biogeokémiai ciklusok résztvevőiként jelentős környezeti kockázati tényezők az élővilág számára. Az utóbbi években egyre szélesebb körben alkalmazott gyakorlat, hogy a környezetet ért szennyezés kimutatását és nyomon követését az élő szervezetekben felhalmozódott nehézfémek mérésére alapozzák. A vizeket érő nehézfém terhelés vizsgálatának célja, hogy feltárjuk a nehézfémeknek a vízben élő szervezetekre kifejtett hatását. A vízi élőlények nehézfémtartalmának vizsgálata a szennyezettség tekintetében igen nagy jelentőségű. A minták elemanalitikai vizsgálatát a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézetében végeztük PIXE módszerrel.

**Kulcsszavak:** nehézfém, bioakkumuláció, PIXE-módszer

**Abstract:** In the 21th century the more and more intense industrial activity of human civilization is based on the utilization of chemicals. A significant part of these chemicals gets into the environment and pollute it. The amount of these pollutants shows a continuous increase. Toxic elements – like heavy metals – from anthropogenic sources take part in biochemical cycles and can accumulate in plants and animals. This way they mean a significant risk to the living environment. In the last few years it is more and more accepted that the detection and tracking of heavy metal pollutants is based on their detection in living organisms. The detection and tracking of pollution e.g. in water can be realized by the analysis of the accumulated heavy metals in fish and water plants. This method has a growing importance nowadays. The elemental analysis of the fish samples was performed in the Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences in Debrecen.

**Keywords:** heavy metal, bioaccumulation, PIXE-method

## 1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre több ökológiai, környezeti probléma megoldásában kapnak szerepet az elemanalitikai módszerek, melyek nélkülözhetetlen eszközei a természettudományi kutatásoknak. Az antropogén eredetű, potenciálisan toxikus elemek biogeokémiai ciklusok résztvevőiként jelentős környezeti kockázati tényezők az élővilág számára. A mikroelemek és toxikus nyomelemek élőlényekre gyakorolt hatásának leglényegesebb tulajdonsága, hogy az



élő szervezetek metabolizmusuk során nem képesek megszabadulni tőlük [1], ezért akkumulálódhatnak. Az Európai Unió Víz Keretirányelve rögzíti, hogy az európai felszíni és felszín alatti vizek ökológiai vízminőségének meghatározása során a vízi élőlények állapotának vizsgálatára kell alapozni a kutatómunkát. A vízfolyások, állóvizek élővilágának jó ökológiai állapota megköveteli az élő szervezetekre káros nehézfémek interdiszciplináris vizsgálatát, nyomon követését. A környezetanalitikai vizsgálatok [9], [10], [11] során a víz és üledék vizsgálatok csak a pillanatnyi állapotokról adnak képet. A vízfolyásokat érő nehézfém szennyezések következményeinek vizsgálatára és felmérésére az élőlények a legalkalmasabbak [14], [15], [16], [17], [18], mivel a megfelelően kiválasztott tesztélőlényekben a fémfelhalmozódás kimutathatóan arányosan változik a terhelés mértékével és idejével [3], [4], [5], [6]. A vizsgált halfajok életkorának ismerete, továbbá a nehézfémeknek szöveteikben való felhalmozódása lehetővé teszi, hogy az elvégzett vizsgálatokkal következtetni tudjunk a korábbi években lezajlott szennyezésekre, azok fokára. A fölmerülő összetettebb problémák megoldása során elengedhetetlen a vizsgált mintákban jelenlevő fő - és nyomelem komponensek koncentrációinak pontos ismerete. Indokolt a nagy érzékenységgű elemanalitikai módszerek fejlesztése, amelyek biztosítják a biológiai minták elemi összetevőinek gyors, szimultán, széles rendszámtartományban végezhető elemzését. Vizsgálataink során célunk a multieleemes röntgenanalitikai analízis alkalmazhatóságának vizsgálata volt. Méréseinket a Magyar Tudományos Akadémia Atommagkutató Intézetében végeztük PIXE (Particle Induced X-Ray Emission) módszerrel.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A pikkelyek növekedése a szélükön, felső és alsó felületükön történik. A periodikusan tömörülő csontképző sejtek által termelt csontszerű anyag kalcifikálódik. A rárakódó újabb rétegek, növekedési gyűrűk (scleritek) formájában látszódnak. Az évszakosan eltérő növekedési ütem miatt a téli időszakban sűrűbben álló scleritek évgyűrűt (annulus) hoznak létre. A pikkely vizsgálata képet ad a hal egész élettörténetéről. A növekedési gyűrűk vastagsága jelzi a táplálkozási viszonyokat vagy a kedvezőtlen egészségi állapotot. Az évgyűrűk alapján pedig megbecsülhető a hal életkora, valamint a növekedés gyorsasága. Munkánk során a fő kérdés az volt számunkra, hogy egy adott víztér nehézfém szennyezésének időbeli lefolyása rekonstruálható-e a területen élő halak pikkelyeinek utólagos analízisével. Célunk volt továbbá annak vizsgálata, hogy a növekvő halpikkelyekbe folyamatosan beépülő nehézfém szennyezők sugár-irányú eloszlásából meghatározható-e a szennyezés időbeli lefolyása. A pikkely sugár-irányú eloszlások felvétele – egy-egy nagyobb halpikkely esetében – rendkívül időigényes folyamat, így nagyszámú pikkely esetében gyakorlatilag kivitelezhetetlen. Következésképpen valamilyen gyors, és egyben költségkímélő analitikai módszerrel előszelektációs méréseket kell végezni, amellyel meghatározzuk az egyes pikkelyek teljes szennyezőelem-tartalmát.

Ezt követően már kiválaszthatjuk azokat a pikkelyeket, amelyekben a legmagasabb a kérdéses elem koncentrációja, és a további, részletes  $\mu$ -PIXE vizsgálatokat csak ezeken végezzük el. Az előszelektációs mérésekhez a röntgen-fluoreszcenciás analízis (XRF), valamint a kihozott és belső makro-nyalábos PIXE módszerek tűntek ígéretesnek. Abból a célból, hogy eldöntsük, hogy a három módszer közül melyik a legalkalmasabb a feladatra, ugyanazon pikkelyen mindegyikkel méréseket végeztünk. Ezután meghatároztuk az egyes elemekre az egyes módszerekkel elérhető minimális kimutathatósági határokat (MDL). Egy adott elem esetében előszelektációra nyilvánvalóan azt a módszert kell alkalmazni, amellyel a

legalacsonyabb kimutathatósági határ érhető el. A meghatározott minimális detektálási határok alapján már levonható a következtetés, hogy melyik elem esetében melyik módszert célszerű előszelektációs mérésekhez alkalmazni.

### 3. EREDMÉNYEK

A pikkely átfogó elemanalitikai vizsgálata során Ca, P, K, S, Mn, V, Se, Sr, Br, Cu, Zn, Ni, Fe, Pb, Ti elemek eloszlását vizsgáltuk a pikkely középpontjától sugár irányban fokozatosan a pikkely széle felé haladva, 2000-3000  $\mu\text{m}$  távolságig. A vizsgált elemek között makro- és mikroelemeket, átmeneti fémet, nehézfémet egyaránt találunk. A pikkely külső csontos rétegén történt a mérés. Az egyes elemek eloszlását tanulmányozva a következő megállapítások tehetők: a vizsgált elemek közül legnagyobb koncentrációban Ca, Sr, Zn, Fe volt jelen a mintában. Tekintettel arra, hogy hidrobiológiai kutatások során halmintákban akkumulálódott mikroszennyezők, nehézfémek vizsgálatára alkalmazható módszerfejlesztés volt a cél, a mért távolságon belül kiválasztottuk a 2450-2630  $\mu\text{m}$  intervallumot, amelyben a Ti, Cu, Zn, Fe, Pb elemek eloszlását külön megvizsgáltuk és ábrázoltuk (1. ábra).

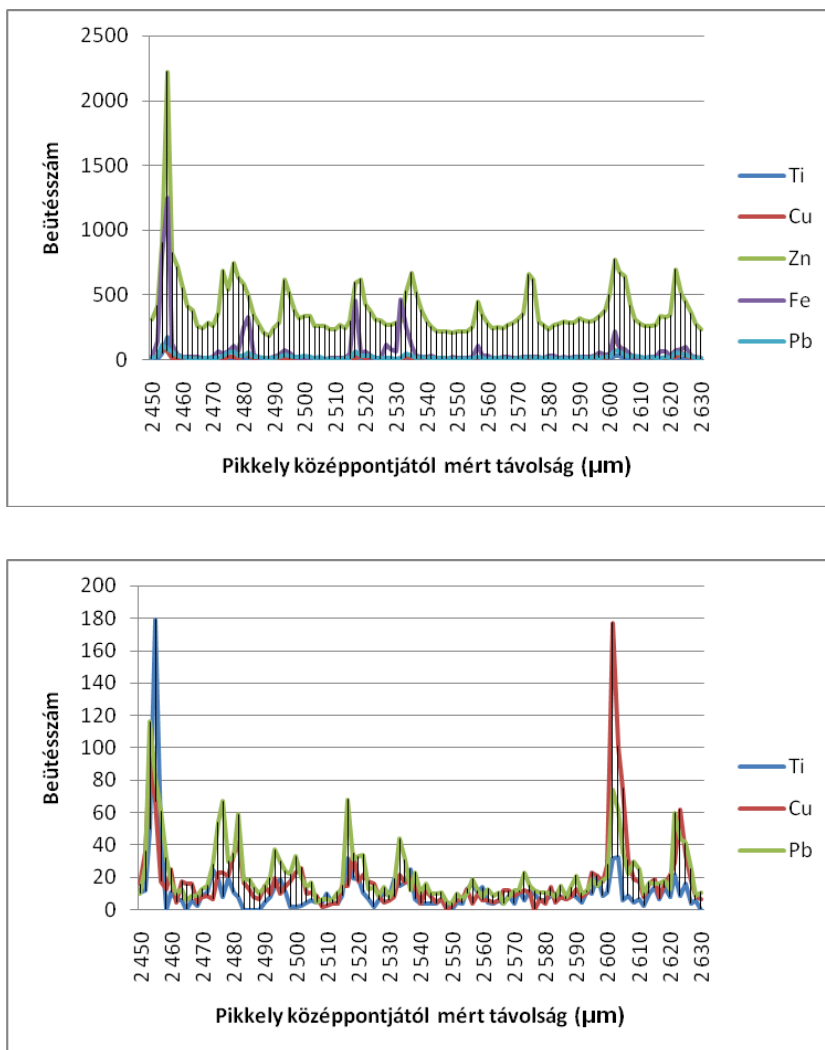
Amíg a Ca, P, K esetében az eloszlás nem mutat jelentős ingadozást, addig a Mn, S esetében már nagyobb mértékű eltérések mutatkoznak. A Se, Sr, Br eloszlása csökken a pikkely széle felé haladva. A Ti, Cu, Zn, Fe, Pb eloszlását vizsgálva megállapítható, hogy jól elkülönülő csúcsok figyelhetők meg, ahol a beütésszám értéke jelentősen eltér a többitől.

A távolság függvényében ábrázolt röntgenfoton-beütésszámok folytonosan változóknak adódnak mangán, nikkell, szelén, bróm és stroncium esetében (a minta jellegéből adódó periodicitáson felül). A titán, vanádium, vas, réz, cink és ólom esetében lokális akkumulációk figyelhetők meg a vonal mentén felvett eloszlásgörbéken.

A vizsgált mikroszennyezők pikkelyben való feldúsulása külső környezeti hatásra mehetett végbe. A környezeti monitoring vizsgálatok eszközrendszerei közül a biológiai módszercsoport adja az élőlények reakcióira épülve a legmegbízhatóbb képet a környezeti veszélyekről. A Tisza hossz-szelvény vizsgálata során gyűjtött egyedből származó pikkely elemzése során betekintést nyertünk a hal „élettörténetébe”. A tiszai cianid- és nehézfém szennyezést túlélte, a szennyezés levonulása után került kiemelésre. A pikkely vizsgálat igazolta, hogy a havaria szennyezést megelőzően is érte az egyedet nehézfém terhelés, továbbá az eredményekből látható, hogy ezek a szennyezők együttesen is kimutathatók a mintában adott mérési pontokban.

Méréseink igazolják, hogy egy-egy élőhelyen lévő halfauna pikkelymintái alapján nemcsak az élőhelyet ért nehézfém-szennyezettség mértékére lehet következtetni, hanem az eleműdúsulások előfordulását a pikkelyek évgyűrűihez kötve, következtetni lehet a nehézfém-szennyezések történetiségére is.

Az 1. ábrán látható, hogy a kiemelt elemek esetén a beütésszámokat ábrázolva a pikkely középpontjától mért távolság függvényében a mért koncentrációk összefüggést mutatnak az egyes elemek esetében. Ahol magas Zn koncentráció mérhető, ott a Fe, Pb, Cu, Ti is nagyobb koncentrációban van jelen. Megállapítható, hogy ezek a csúcsértékek összefüggésbe hozhatók külső mikroszennyező terheléssel. A nehézfém-szennyezés ugyanis ritkán jelent egyetlen elemmel való szennyezettséget, a kémiai elemek csoportjai okozzák a környezeti elemek terhelését [12], [13] [14].



1.ábra: Ti, Cu, Zn, Fe, Pb eloszlása a halpikkelyben

#### 4. ÖSSZEGZÉS

A balin halpikkely elemanalitikai vizsgálatát ED-XRF és PIXE módszerrel végeztük [2] [7], [8]. Röntgenfluoreszcenciás analízissel „szelektív vizsgálatként” vizsgáltuk a pikkelyben felhalmozódott fémtartalmat. Ezt követően PIXE módszerrel kihozott nyalábbal, illetve belső nyalábbal végeztük el a nehézfémek detektálását. Megállapítható, hogy a  $Z < 31$  elemek esetén a belső nyalábos PIXE módszer [8] használata célszerű, míg a  $Z > 31$  elemek esetén a röntgenfluoreszcenciás analízis egy hatékony előszelektációs eljárás. A kihozott nyalábos elrendezés esetében a könnyű elemekhez (P, Ca,) tartozó röntgensúcsok jobban, míg a nehezebb elemekhez tartozó röntgensúcsok (Zn, As, Se, Br, Sr) kevésbé intenzívek. Makro- és mikroelemeket, átmeneti fémeket, nehézfémeket egyaránt kimutattunk a pikkelyben. A Ti, V, Fe, Cu, Zn, Pb esetében lokális akkumulációk figyelhetők meg a vonal mentén felvett eloszlásgörbéken. Ahol magas Zn koncentráció mérhető, ott a Fe, Pb, Cu, Ti is nagyobb koncentrációban van jelen. Megállapítható, hogy ezek a csúcsértékek összefüggésbe hozhatók külső mikroszennyező terheléssel. A nehézfém-szennyezés ugyanis ritkán jelent egyetlen elemmel való szennyezettséget, a kémiai elemek csoportjai okozzák a környezeti elemek terhelését. A Ca és Zn PIXE módszerrel történt felületi eloszlásának meghatározása során a kalciumeloszlás a kalcifikálódás mértékének megfelelően volt detektálható, a

cinkeloszlás és a pikkelynövekedés intenzitásának ismeretében megadható, hogy a detektált fémterhelés időben mikor érte az adott egyed.

## 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BEUMER J. P., BACHER G. J.** 1982: *Species of Anguilla as indicators of mercury in the coastal rivers and lakes of Victoria, Australia.* J. Fish Biol. 21, p.87-94.
- [2] **CZÉDLI, H., SZÍKI, G. Á.** 2011: *Elemanalitikai módszerek összehasonlítása halak nehézfém-tartalmának kimutathatósága szempontjából.* Miskolci Egyetem, Multidiszciplináris tudományok, 1. kötet, 1. szám, 349-356.
- [3] **FLEIT E., BÁLINT M.** (2001): *A tiszai üledék és halak nehézfém-tartalma a 2000. évi szennyezések után,* Vízügyi Közl. 2001/3.
- [4] **FLEIT E.** (2002): *Bioakkumulációs hatások és a nehézfémek eloszlási mintázata a Tiszán és a Szamoson – Acta Biologica Debrecina Suppl. Oecol. Hung (in press).*
- [5] **FÖRSTNER U., PROSI F.** 1979: *Heavy metal pollution in freshwater exosystem.* In Biological Aspects of freshwater Pollution (Edited by Ravera O.), Pergamon Press, Oxford and New York, p. 129-161.
- [6] **FÖRSTNER U.** 1993: *Környezetvédelmi technika,* Springer Hungarica Kiadó.
- [7] **S. A. E. JOHANSSON AND J. L. CAMPBELL:** *PIXE, A Novel Technique for Elemental Analysis,* John Wiley & Son, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore, 1988.
- [8] **KERTÉSZ ZS., SZIKSZAI Z., UZONYI I., SIMON A., KISS Á.Z.** 2005. *Development of a bio-PIXE setup at the Debrecen scanning proton microprobe.* Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 231, p. 106-111.
- [9] **MATSUI S.** 1991: *Movement of toxic substances through bioaccumulation.* Toxic Substances. Managment in Lakes and Reservoirs; Guidelines of Lake Manag., ILEC, p. 27-41.
- [10] **MAY T., MCKINTEY L.** 1981: *Cadmium, lead, mercury, arsenic, and selenium concentrations in freshwater fish,* 1976-77; Pesticides Monitoring Journal 15, p.14-37.
- [11] **MEILI M.** 1991: *Mercury in Boreal Forest Lake Ecosystems.* Acta Universitatis Upsaliensis, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the faculty of Science, 336.
- [12] **NAGY S., TAKÁCS P., CZÉGÉNY I.** 2005: *A Lónyai-Főcsatorna vízrendszerében előforduló halfajok nehézfém-tartalmának elemzése a veszélyeztetettségi állapot (perniciozítás) szemszögéből,* Hidrológiai Közlöny 85, 6. szám, p. 102-105.
- [13] **NAGY S., DÉVAI GY., CZÉGÉNY I.** 2000: *Javaslat egy új mutató, a veszélyeztetettségi állapot (perniciozítás) bevezetésére a vízminősítésben és a halászatbiológiában – Halászatfejlesztés 24,* p.184-191.
- [14] **NAGY S. A., CZÉGÉNY I., CZÉDLI H., DÉVAI GY.** 2002: *Adatok a tiszai halfajok nehézfém-tartalmának felméréséhez – Halászatfejlesztés 27,* p.55-62.
- [15] **PHILIPS D.** 1980: *Toxicity and accumulation of cadmium in marine and estuarine biota.* Nriagu (Ed.), Cadmium in the environment 1, p. 426-570.
- [16] **SALÁNKI J., VARANKA I.** 1978: *Réz- és ólomkomponensek aktivitása édesvízi kagylókban.* Anna. Biol. Tihany 43, p. 21-27.
- [17] **SHAW BENJAMIN J., HANDY D.** (2005): *Dietary copper exposure and recovery in Nile tilapia, Oreochromis niloticus;* Aquat. Toxicol. 76, pp.111.
- [18] **ZAROOGIAN G. E., CHEER S.** (1976): *Accumulation of cadmium by the American oyster, Crassostrea virg.;* Nature 261, p. 408-410.

## A MŰEMLÉKVÉDELEM FUNKCIÓI

### FUNCTIONS OF MONUMENT PROTECTION

**Csanády Gábor**

főiskolai tanár  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
csanady@eng.unideb.hu

**Kivonat:** A műemlék épületeknek gyakran adnak valamiféle funkciót és a műemlékvédelem igyekszik lehetőség szerint az eredeti funkció visszaállítására. Felmerül azonban a kérdés, hogy egyáltalán elvileg lehetséges-e ez a helyreállítás, tekintettel arra, hogy általában az épület eredeti építési ideje óta eltelt némi idő, sokszor több száz év, és az élet megváltozott azóta. Másrészt a műemlékvédelem tervezés során megismert gyakorlatával kapcsolatban a műemlékvédelem, mint tevékenység funkciója is vizsgálat tárgyát képezi. Két konkrét eset a vizsgálat alapja, a barokk műemlék kastély (intézői lak) Patvarcon és a barokk plébániaház Környén. Vajon a műemlékvédelem mai gyakorlata mennyiben hatékony, miben tudja segíteni a konkrét épület fennmaradását és miben akadályozza azt, azaz mennyiben működik az eredeti szándékoknak megfelelően, és mennyiben diszfunkcionális.

**Kulcsszavak:** műemlékvédelem, funkció, műemlékvédelmi hivatal, műemlék, hasznosítás

**Abstract:** Historic buildings often has given some kind of functions and office monuments trying to restore the original function if it is possible. However, the question arises as to even theoretically possible to restore it's function in view of that, in general, since the building's original construction has elapsed often hundreds of years and life has changed since then. On the other hand, the protection of monuments in relation to encountered during the design and practice of monument protection, also function as an activity under review. Two concrete cases form the basis of the investigation, the Baroque castle (administrator's house) of Patvarc and the Baroque parish house of Környe. Will the practice of monument protection today how efficient, how you can help the concrete building's survival and what hinders it, that is how it works as originally intended and how dysfunctional.

**Keywords:** function, monument, protection, utilization, monuments office

## MŰEMLÉK

Műemlék. A szó a megőrzendő alkotásokra utal. Ahogy az angol monument szó őrzi a latin 'monere' 'emlékezni' szót, ez a szó is a múlt egy részének megőrzéséről szól a nem természetes, azaz a művi részről, ide értve elsősorban természetesen az épületeket. Ez az őrzés azonban egy műemlék épület esetén nem valamely támadás elleni védelem ellátását jelenti, hanem sokkal inkább egyfajta gondoskodást, ápolást. Kétféle veszély fenyegeti ugyanis a műemlék épületeket, az elhanyagolás, és a bontás vagy átépítés. Ha a műemlékvédelem, mint tevékenység célját tekintjük, ennek a két veszélynek az elhárítása a cél.

A műemlékvédelem mint államilag hatósággal támogatott tevékenység célja, azaz a funkciója ezen védelem biztosítása. Egyrészt tehát a gondozás, épület fenntartás támogatása, másrészt a nem kívánatos, szakszerűtlen beavatkozások és bontások megakadályozása, minimumra

csökkentése.

## FUNKCIÓ

Egy műemléknek nincs a szó eredeti értelme szerint funkciója. A funkció, mint egy épület rendeltetése, mint a cél, amelyért létrehozuk egy műemlék esetében nyilván nem értelmezhető. Műemléket, jó esetben nem építünk, hanem az eltelt idő, a történelem tovább haladta avatja, avathatja műemléki értékévé, így a szó alapjelentése, a cél amelyért építjük, nem alkalmas, hacsak abban az értelemben nem, hogy az a cél, amelyre felújítjuk. Ez a műemléki funkció azonban szükségképpen meglévő épület átalakítása, amely épületet az átalakítás révén lehet alkalmasabbá tenni, mint anélkül volna, de a dolog természete szerint a meglévő volta szükségképpen kompromisszumokat jelent.

Vajon rekonstruálható-e az eredeti funkció? Egy vár esetében könnyen belátható, hogy a védelmi funkció nem állítható helyre, hiszen a hadászat másképp működik ma, valójában a valós védelmi cél nem érhető el vele: esetleg bemutatható rajta az egykori cél: ebben az esetben a funkció múzeum, ahol a látogatók a maguk látogatók szerepe szerint fognak viselkedni. Egy kastély esetében látszólag a lakás helyreállítható volna mint funkció, de a működés végleg megváltozott. Elvileg elképzelhető a reprezentatív lakóépület funkció, de a hőtechnika, kényelmi funkciók, berendezés, s a többi annyira változott meg, hogy kétséges, hogy egyáltalán ugyan arról beszélhetünk-e?

A működtetés jelentős részben cselédekre épült, állatokra és gazdálkodásra, amelyek ebben a formában nem működtethetőek gazdaságosan. Másképpen fogalmazva a működtetés célja csak múzeumi funkcióval vegyesen képzelhető el. Ugyanez egy plébániáról is elmondható: ma nem a reprezentáció helye, holott korábban ez is szempont volt. Mára viszont a közösségi funkció fontossá vált. A plébánia nem paplak többé elsősorban, hanem a közösség lakhelye, ami a terekben is új igényeket támaszt. Ráadásul gépeket használunk a háztartásban, és az épületben is megjelenik a korszerű épületgépészet iránti igény: energiatakarékos rendszerek, új kényelmi funkciók. A legkonzervatívabb műfajok egyike talán a templom. Úgy vélhetnénk hogy ott talán tényleg az eredeti funkció használható érintetlenül. Nos, nem is tévedünk nagyot, a legtöbb templom, ha változtatással is, de alkalmas az eredeti funkcióra. Funkcióváltásról ebben az esetben nem beszélhetünk: pl. egy katolikus templom esetében, de a rítus a II. Vatikáni zsinattal változott annyit, hogy a liturgikus változások mértéke szinte funkcióváltással ér fel: előtérbe került a közösségi oldal, ami a berendezésben, és a funkcióban is megjelenik. Mi marad akkor?

Két esettanulmányban tudjuk megvilágítani a kérdéskört. Ebből az egyik a Majláth kastély Patvarc községben, a másik a barokk plébánia ház Környén.



1. ábra Patvarc, Majláth kúria 1960 körül

## PATVARC

Patvarc úgy vélem elég tanulsággal szolgál e tekintetben. Az itt lévő barokk kastélyt a Nyáry grófok birtokolták a XVII. század óta, ami elég megbízhatóan adatolható, (1823-ig Szentiványi Ferenc országbíró birtoka) sok egyéb ingatlannal együtt, így, bár a XVIII. században lakott itt egy családtag, jobbra intézői lakként szolgált. Az ötvenes években elvett ingatlant a család egy szerencsés helyzetben kárpótlási jegyekből visszavásárolta, felújította és előbb családi nyaralónak használta a kiterjedt rokonság részére, majd két nyugdíjas családtag állandó jelleggel beköltözött. Látszólag tehát az épület eredeti funkciója helyreállt: lakóépület lett a tulajdonosok részére. Látszólag, mert az épület elvesztette a gazdasági alapját, és a gazdasági épületeit is, ami egész sor kérdést vet fel:

- Hova álljon be az autó? Építsünk garázst?
- Miből tartjuk fenn az épületet? Lévén, hogy a gazdasági alapját, vagyis a hozzá tartozó földeket és gazdaságot elveszítette.
- Kie az ingatlan, azaz ki látogathatja? Csak a tulajdonos vendégei, vagy van ebben állami - nemzeti - eszmei tulajdon is, vagyis eltitkolhatja-e a tulajdonos, vagy be kell mutatnia valamilyen feltételekkel? Pl. tudományos kutatóknak vagy látogatóknak?



2-3. ábra Környe, Plébániaház 2002 körül

## KÖRNYE

A másik példaépületünk a barokk plébániaház, Környe községben. Ez az épület is adatolható a XVIII. század közepétől. Gróf Eszterházy János építtette, talán Fellner Jakab irodájában készült. Mindvégig plébánia volt. Az utolsó itt lakó plébános halálával testvére maradt az épületben késő öregségére. Ameddig ő élt, az épület felújítására nem kerülhetett, (valószínűleg nem élte volna túl a néni), noha erősen lepusztult addigra az épület. Később a pénzhiány volt a felújítás akadály. Ebben az esetben a funkció úgy tűnhet nem változott, hiszen eddig is plébánia, azaz a pap lakása volt és ezután is ez a célja az épületnek. A látszat azonban csal, hiszen noha a szó azonos, a belső tartalom tekintetében jelentős a különbség, azaz mást jelent a plébánia ma, mint amit jelentett akár csak ötven évvel ezelőtt.

Ma egy plébánia például nem képzelhető ez a kert végébe helyezett gravitációs WC-vel, holott pl. itt éppen ez volt a helyzet. Nem csak az angol WC hiányzott, nem volt fürdőszoba sem, ezért az utolsó plébános a tornácon rendezett be ad hoc jellegű megoldásokkal egy "fürdőszobát". Manapság egy családi ház nem ilyen berendezéseket használ. Egyszerűen fogalmazva elavult a korábbi lakásfunkció. Ma már ehhez korszerűen felszerelt konyha, elektromos gépekkel, zuhanyzós, vagy kádás fürdőszoba, mosógép központi korszerű fűtés stb. tartozik alpból. És nem csak az igényszint változott meg.

Más a mai papi ellátás helyzete is, kevés a pap, ezért egy papra több település ellátásának terhe hárul. Ebben a helyzetben a települések versenyt futnak a helyért, azaz hogy náluk lakjon a pap. Ebben a szituációban egy korszerűtlen, azaz kényelmetlen, elavult gépészetű épület egyszerűen versenyképtelen, másképp fogalmazva nem fogja tudni ellátni a feladatát, mert nem fog beköltözni ide pap.

A plébánia funkció nem csak mint lakás avult el, megváltozott a funkció maga is. Manapság egy plébánia (plébánia központ) nem csak paplak, hanem a közösségnek a gyülekező helye is, azaz közösségi térrel kapcsolatos igények is vannak. Nem csak adminisztrációs iroda helyiség szükséges, hanem olyan hely is, ahol a közösség össze tud gyűlni egy ünneplésre, tárgyalásra, közös együttlétre, imára, előadásra. (Jelen helyszínen egy helytörténeti gyűjtemény elhelyezése



is felmerült feladatként.)

Összefoglalva tehát: ebben az esetben a funkció változott annyit, hogy elavult a korábbi épület, és a funkció fenntartása kívánta meg az épület átalakítását.

## A MŰEMLÉKVÉDELMI HIVATAL SZEREPE

A továbbiakban a műemlékvédelmi hivatal szerepét vizsgáljuk a továbbiakban a konkrét két példában.

### PATVARC

Kétféle szerepkört is magára vállalt a hivatal ebben az esetben. Egyrészt az ÁMRK-n keresztül a tervezést, másrészt az építéshatósági szerepkört. Az épület a közvetlen megelőző időszakban állami tulajdonban volt, az utolsó időszakban a termelő szövetkezet kezelésében. A TSz, nem lévén elég haszna az épületből, azt gazdaságosan fenntartani nem tudta, ezért felajánlotta kárpótlási alapként. Így vált lehetővé a magántulajdonba kerülés. Az utolsó használati cél óvoda volt, előtte pedig kultúrház. A (régi-) új tulajdonos lakni, (nyaralni), szeretett volna az épületben, ami kisebb átalakítási igénnyel járt. Az ÁMRK (Műemlékek állami gondnoksága), ingyen tervezte az épületet, amivel a szakmaiság is biztosítottnak látszott. Ez az együttműködés azonban emberi problémák miatt elakadt: így került a szerzőhöz a tervezési feladat, amivel az építető bízta meg. Ezzel a műemlékvédelem tervezési szerepe lezárult, mondhatni eredménytelenül.

### A MŰEMLÉKVÉDELMI HIVATAL, MINT HATÓSÁG PATVARCON

A hatósági szerepben a hivatal kezdetben bizalmatlanul állt a tervezéshez, inkább gátolva mint segítve a tervezést. Nagy könnyebbség volt azonban, hogy a kutatási előzmények rendelkezésre álltak. A tervezés és kutatás során a barokk állapotot sikerült egy vázlat erejéig rekonstruálni, aminek a visszaállítására az eredeti formában nem volt lehetőség. Az akkori épület elé ugyanis később, aminek az idejét nem sikerült megállapítani, egy boltozott tornácot húztak az épület elé, ami eltakarta a korábbi vakolatdíszes homlokzatot, ami azonban a tornác boltozata felett nyomokban megmaradt. Az épületről fennmaradt fotók tanúsága szerint a huszadik század elején neogótikus stílusú díszítést kapott az épület, ami a szocialista időszak alatt lekerült az épületről. Ez lévén az utolsó biztonságosan rekonstruálható periódusa az épületnek, a terv ennek az állapotnak a visszaállítását irányozta elő, a hivatal teljes egyetértésével. A belsőben egy-két később bekerült válaszfal bontáson és a kultúrterem eredeti helyiségfelosztásán túl nem terveztünk átalakításokat. Az ablakokat csak fel kellett újítani. Az ajtókat szerettem volna az eredeti méretű egyszerű, de korhű szárnyakkal megoldani, amiben szintén bírtam a hivatal egyetértését. Az építés során azonban már nem támogattam ezen törekvésemben a hivatal, hanem elfogadta az építetőtől az egyszerű (igaz váztaablázatos), Tüzép telepi ajtót, noha annak mérete,

sőt aránya sem felelt meg a kornak, és a különbség nem verte volna az építetőt kifizethetetlen, vagy irreális költségekbe. Nem kevésbé érdekes, hogy a tervezett neogótikus díszítőelemek nem kerültek fel az épületre, viszont felkerültek olyan elemek, amelyek kvázi az eredeti barokk díszítőelemeket tették vissza a homlokzatra a rekonstrukciós vázlatomat felhasználva, ami persze nem jelent rekonstrukciót, hiszen azok egy olyan falra kerültek fel, amelyen nem lehettek. Ráadásul ez a fal lényegesen alacsonyabb is, mint az eredeti volt, így az arányok is mások. És kialakítása is erősen eltér a stílustól, amit rekonstruálni hivatott a szándék szerint.



4. ábra Patvarc, Majláth kúria 2013 körül

## KÖRNYE

Kétféle szerepkört vállalt magára a hivatal ebben az esetben is. Egyrészt az ÁMRK-n keresztül a tervezést, másrészt az építéshatósági szerepkört. Az egyház tulajdonosként lakni szeretett volna az épületben, ami kisebb átalakítási igénnyel járt a funkció korszerűsítése miatt, másrészt az épület állapota feltétlenül szükségessé tette a felújítást. Az ÁMRK (Műemlékek állami gondnoksága), ingyen tervezte az épületet, amivel a szakmaiság is biztosítottnak látszott. Ez az együttműködés azonban elakadt: az egyház azt látta, hogy egyre csak folyik a pénz a tervezetésre, de nincs még engedély se az épület igen erősen szükséges felújításához, ezért elveszítették a bizalmukat a tervező csapatban, így került a szerzőhöz a tervezési feladat, amivel az építető bízta meg. Ezzel a műemlékvédelem tervezési szerepe lezárult, mondhatni eredménytelenül.

## A MŰEMLÉKVÉDELMI HIVATAL, MINT HATÓSÁG KÖRNYÉN

A hatósági szerepben a hivatal kezdetben bizalmatlanul állt a tervezéshez, de a környezet elég hamar konstruktívvá vált. Nagy könnyebbség volt, hogy a kutatási előzmények rendelkezésre álltak. A tervezés és kutatás során az eredeti barokk állapotot sikerült egy vázlat erejéig rekonstruálni, aminek a visszaállítására az eredeti formában nem volt lehetőség. A tervezés ezzel együtt csak egy korábbi szerkezeti zavart okozó átalakításának visszaállítására korlátozódott: áthelyeztek ugyanis egy főfalat, ami a födémeket hordta. A fafödémeket felkötötték ugyan, de az a felkötés is elkorhadt és már csak dúcok tartották a tetőt. Kinyitottunk egy befalazott ablakot az utca felé. Természetesen terveztünk egy kis fürdőszobát a funkció korszerűsítése céljából, és az épület végében néhány késői válaszfal bontásával létrehoztunk egy helyiséget a helytörténeti gyűjtemény részére. A födémeket felülről vasbetonnal terveztük megerősíteni, és kibontottunk néhány késői beüvegezést a tornácból, mondhatni rendet raktunk.

A tervezés nyomán a hivatal némi egyeztetés után kiadta az építési engedélyt, de az építkezés nem nyert a pénzügyi pályázatokon, amelyre a tervek készültek, sem akkor sem a következő években.

Közel tíz év telt el, mire az első pénzt sikerült megszerezni az épület felújításához. Ez az épület födémére és tetőfelújítására volt elég. Eddigre a korábban is törött szaruzat teljesen elengedett, a korábban is szétfagyott kémények részlegesen ledőltek, a csapos gerendás födém nagyobb területeken beszakadt az alatta lévő helyiségbe, hogy a padlástérre nyitottá vált a helyiség.

A műemlékvédelmi hivattal újra egyeztetve módosítottuk a tervet abban az értelemben, hogy a fafödém korábbi megtartását el kellett vetni, mert az közben gyakorlatilag megsemmisült, az álmennyezetként sem volt megtartható. A tető és a födém elkészült. A pénzügyi pályázat lezárása igényelte az építési eljárás lezárását, ami meg is történt.

Az építést ez esetben már az önkormányzat koordinálta, és rövidesen sikerült egy újabb pályázaton szerezni annyi pénzügyi forrást, amiből a homlokzat felújítását szerették volna megoldani, ami azért volt szükséges, mivel az eltelt időben jelentősen átépült a település központ és központi helyre kerülve az épület felújítatlan éktelenkedése kimondottan zavaróvá vált. Az építési engedély megújítása során a műemléki hivatal korábban támogató hozzáállása megváltozott: műemléki tervtanácsra küldték a tervet (ahol megjegyzés nélkül engedték át), és újabb feltételekkel álltak elő olyan helyzetben, ahol a kiviteli tervek régóta rendelkezésre álltak amelyek ma is megfelelnek a korszerűség követelményének. Jogosan észrevételezte a hivatal, hogy a tető hajlásszögében kisebb hiba történt az építésnél, ami befolyásolta az oromzat homlokzati kialakítását is. A nyílászáró keretezések újratervezése ugyanakkor nyilvánvalóan értelmetlen és a folyamatot akadályozó gesztus volt.

Ez a folyamat nem zárult le, de annyit el lehet mondani, hogy korántsem egységes a viselkedés a támogatás tekintetében.

## A MŰEMLÉKVÉDELMI HIVATAL FUNKCIÓJA

Összefoglalva: A műemlékek fenntartásában végzett feladat, mint rendeltetés tekintetében két esettanulmány tükrében azt lehet mondani, a hivatal hatékonysága erősen kétséges.

Egyik esetben sem vált be a tervezőként a hivatal, de az eset kiválasztás sajátossága miatt ez nem tekinthető mérvadónak. Engedélyező szervként a hivatal meglehetősen bizonytalan hatékonyságú: egyik esetben olyan megoldásokban is lágynak mutatkozott, amelyben nem ártott volna szakszerűbb kialakítás megépítésére szorítani az építetőt, a másik esetben a korábbi támogató magatartást váltotta fel egy az épület fenntartását akadályozó viselkedés, amely a szakszerűség címén történik, valójában azonban kontraproduktív.

Tanulmányként fogalmazható meg (éppen Környe kapcsán), hogy akárhogyan viselkedik is a hivatal, ha nem szerezhető kellő támogatás akár egy országos jelentőségű műemlék esetében, az tönkremegy, minden támogató hozzáállás ellenére.



5-6. ábra Környe, Plébániaház felújítása 2012, 2015

## FORRÁSOK

Az esettanulmányok a szerző tervezési gyakorlatából valók. Az előadásban bemutatott ábrák, fotók a Csanády és Csanády Építész Stúdió Kft archívumából valók és szerzői jogi védelem alatt állnak.

A tanulmány fenti fotóiból az 1. ábra az ÁMRK ill. a műemlékvédelmi hivatal gyűjteményéből való, a 4. számú az internetről, a többi szerző fotója.

## A TANULÁSI EREDMÉNYEK MEGHATÁROZÁSA A MÉRNÖKKÉPZÉS FOLYAMATÁBAN

### DETERMINATION OF LEARNING OUTCOMES IN THE ENGINEER-EDUCATION PROCESS

**Tóth József**

főiskolai docens

Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar, Katonai Üzemeltető Intézet,  
Katonai Repülő Tanszék  
toth.jozsef@uni-nke.hu

**Kivonat:** A felsőoktatásban végbemenő, és a bolognai folyamattal fémjelzett tendenciák azt mutatják, hogy a mérnökképzés vonatkozásában a képzési programokat tanulási eredmények formájában célszerű és szükségszerű megfogalmazni. A tanulási eredmények fontosak a tudás, vagyis a képzési program során megszerzett kompetenciák elismerése szempontjából, és a munkaerő piaci szereplők számára nyújt kiemelt jelentőségű információt. A tanulási eredmények megfogalmazása a képzési programok és modulok módszeres tervezését is jelentősen meghatározza. A tanulási eredmények tulajdonképpen olyan állítások, amelyek azt írják le, hogy a hallgatóknak milyen célt kell elérniük egy tanulási folyamat sikeres teljesítése után. A képzési programok kialakítása egy komplex folyamat. Jelen tanulmányban ezt a folyamatot kísérlem meg egy egységes modellbe foglalni, s egy képzési programrész kidolgozásával szemléltetni.

**Kulcsszavak:** tanulási eredmények, kompetencia, alapképzés, program

**Abstract:** In higher education happening, and tendencies hall-marked with the from Bologna process are indicating, that at relevance of the engineer-education the training programs in the form of learning outcomes to draught. The learning outcomes important the knowledge, namely it obtained in terms of acknowledgment of competencies during the training program, and for labour market operators is stretching out information. advantaged importance. Composition of the learning outcomes write a systematic description of methodic design. of the training programs and moduloes also remarkably. The learning outcomes as a matter of fact statements, which are writing it off the students have to hit target after fulfilment crowned with success of a learning process. Establishment of the training programs is a complex process. Present in paper I attempt this process into an unified model to book, and education to make development of routine contemplate.

**Keywords:** learning outcomes, competency, education, program

## 1. BEVEZETÉS

Az ezredfordulón kiteljesedő, és Magyarországot is elérő globalizációs folyamatok a felsőoktatási intézményeket is új, a globális környezet felől jövő kihívások elé állították. Amíg a felsőoktatási intézmények irányítása meghatározó módon a kormányzat felől jelentkezett, addig a folyamatosan, és gyakran hektikusan változó körülmények a piaci szabályozás kiszélesedését jelentették. A Magyarországon megjelent multi- illetve transznacionális vállalatok meghonosították saját humán erőforrás gazdálkodással kapcsolatos szemléletüket, melyben a kompetenciák alkalmazása a kiválasztás, munkakörtervezés, és más funkcionális területek központi kategóriája.

A felsőoktatásban is végbemenő, és a bolognai folyamattal kiteljesedő tendenciák azt jelzik, hogy a mérnökképzés vonatkozásában a képzési programok kidolgozásában a kompetenciáknak napjainkban meghatározó szerep jut. A képzés kimenetén meghatározott, és pontosan definiált kompetenciák meglétét követelik meg, melyek kialakítását a képzési programokban tanulási eredmények formájában célszerű és szükségszerű megfogalmazni és leírni.

A tanulási eredmények fontosak a tudás, vagyis a képzési program során megszerzett kompetenciák elismerése szempontjából, és a munkaerő piaci szereplők számára nyújt kiemelt jelentőségű információt. A felsőfokú végzettségű műszaki szakemberek vonatkozásában a felhasználók az adott feladatrendszerrel, munkakörrel összefüggő kompetenciák meglétét igénylik, s a kiválasztás során kevésbé hagyatkoznak a szakmai végzettséget igazoló okirat puszta meglétére.

A tanulási eredmények megfogalmazása ezzel összefüggésben a képzési programok és modulok módszeres tervezését is jelentősen meghatározza.

A tanulási eredmények tulajdonképpen olyan állítások, amelyek azt írják le, hogy a hallgatóknak milyen célt kell elérniük, vagyis hogy a hallgatóknak milyen információhalmazról legyen ismeretük, mit kell átlátniuk egy a feladataik megoldása kapcsán, valamint hogy a gyakorlatban mit kell tudni elvégezniük egy tanulási folyamat sikeres teljesítése után.

A képzési programok kialakítása azonban egy komplex folyamat, amely a konkrét tantárgyi és tananyagtartalmak kialakítása a képzés kimeneti követelményein túl figyelembe kell, hogy vegyen a képzés külső és belső környezetét jelentő számos követelményt.

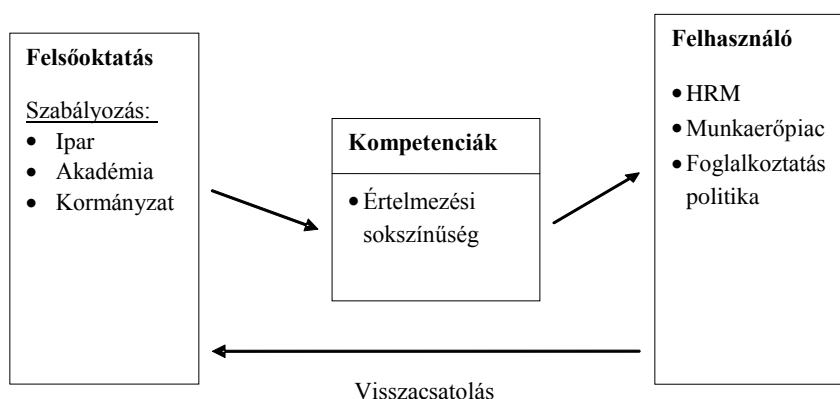
Jelen tanulmányban ezt a folyamatot kísérlem meg egy egységes, holisztikus szemléletű modellbe foglalni, s egy képzési programrész kidolgozásával szemléltetni.

## 2. A KOMPETENCIÁK SZEREPE A KÉPZÉS RENDSZERÉBEN

A korszerű alapképzések (BsC, BA, MsC) programjai az adott szakma kompetenciáiból, mint az alapképzési rendszer központi kategóriájából indulnak ki. A programok kialakítása során kiemelkedő fontosságú a kimeneti elvű szabályozás megléte. A kimeneti elvű szabályozásról jelenleg három – egyaránt fontos – állítás fogalmazható meg.[1]

- a kompetenciákat fogalmazza meg,
- a célokat, a követelményeket úgy rögzíti, hogy abban egyaránt megjeleníti az akadémiai és a munkaerő-piaci elvárásokat,
- a folyamatot rögzíti, az eszközöket nem.

Ezt a folyamatot, és a szabályozás rendszerét szemlélteti az alábbi ábra.



1. ábra A kimeneti elvű szabályozás rendszere

A kimeneti elv alkalmazása azt jelenti, hogy a hangsúly a tartalomról a kimenetre helyeződik. Kompetenciák fejlesztése nem csak oktatás, tudás közlése. A szakmai és pedagógiai szempontok érvényesítése mellett a piachoz kell igazodni. Nem hagyományosnak

mondható képzési rendszert igényel, jóval nagyobb önállóságot ad a képző intézménynek és a képzésben résztvevő hallgatóknak is. Az egyszeri képzés mellett az élet egészét végigkísérő tanulást hangsúlyozza, és megfelelő rugalmasságot biztosít a külső környezeti elemek felől érkező változásokra történő alkalmazkodáshoz, és megfeleléshez.

Mint az az 1. ábrából is kitűnik a kompetenciáknak kitüntetett, központi szerep jut az egyes szakok képzési programjainak kialakításánál. A kompetenciákra vonatkozóan meglehetősen sok és sokféle definíció terjedt el. A meghatározások kezdeti sokféleségéből mára egy viszonylag egységes, és a gyakorlat számára is jól alkalmazható szemlélet alakult ki.

A kompetencia fogalmát úgy határozhatjuk meg, mint egy személy alapvető, meghatározó jellemzői, melyek okozati kapcsolatban állnak a kritériumszintnek megfelelő hatékony és/vagy kiváló teljesítménnyel.[2]

A munkakörelemzésen alapuló tananyag fejlesztés során jól alkalmazható a következő meghatározás, mely szerint a kompetencia egy foglalkozás adott feladatának az elvégzéséhez szükséges ismereteket, magatartásformákat (attitűdöket) és képességeket jelenti.

Összességében a kompetenciáknak három fő tulajdonságát különíthetjük el. A kompetencia mindig valamilyen cselekvéshez kapcsolódik, valamilyen feladat végrehajtását teszi lehetővé adott teljesítmény kritériumoknak megfelelően. A kompetencia mindig egy meghatározott szituációhoz kapcsolódik, és végezetül kompetencia személytől, és problémamegoldástól függetlenül nem létezhet, vagyis magában hordozza az ember problémamegoldó eljárását, cselekvését.

A kompetenciák egy meglehetősen összetett fogalom, melynek elemei:

Ismeretek, a tudás: információk, amivel a személy rendelkezik;

Készségek, jártasságok melyek bizonyos fizikai és szellemi feladatok teljesülésének képességét adják;

Önértékelés, szociális szerepek, melyek személyes értékek mentén szerveződnek, tehát olyan attitűdök, értékek, melyeket a személy fontosnak ítél, hogy legyenek vagy megtegye őket pl. siker, karrier;

Személyiségvonások, vagyis pszichikai-fizikai jellemzők és a helyzetekre, információkra adott válaszok;

Motivációk, melyek irányítják, befolyásolják, szelektálják a viselkedést bizonyos magatartások, célok felé

Fontos megjegyezni, hogy bizonyos elemek jól alakíthatók a képzési folyamatokban, azonban vannak olyan elemek is, melyek meglehetősen stabil elemei a személyiségnek, és csak kis mértékben alakíthatóak. Így az alapképzés nem vállalkozhat a kompetenciák stabil elemeinek direkt módon történő változtatására.

### **3.TANULÁSI EREDMÉNYEK**

Az oktatás terén végbemenő nemzetközi tendenciák azt mutatják, hogy a hagyományos oktatóközpontú megközelítés a diákközpontú megközelítés felé mozdul el: azaz a súlypont nem csak az oktatáson, mint ismeretközlésen és annak számonkérésén van, hanem azon is, hogy a hallgatóktól milyen tudáselemeket várunk el az adott program elvégzésekor. Ez a megközelítés egyben azt is jelenti, hogy a képzésben a tananyagtartalmak kevésbé igazodnak diszciplínákhoz, sokkal inkább a kimeneti célokhoz igazodó ismerethalmazok együttesét jelenti.

A tanulási eredmények állítások formájában fogalmazódnak meg, ezen állítások pedig arról szólnak, hogy a hallgatóknak mit kell tudniuk, mit kell átlátniuk és/vagy mit kell tudni a gyakorlatban bemutatniuk egy sikeres tanulási folyamat teljesítése után.

A tanulási eredmények tehát olyan állítások, amelyek azt fogalmazzák meg, hogy a

hallgatóknak mit kell elérniük, és hogyan kell igazolniuk azt, hogy az adott tudástartalmakat, ismerethalmazokat valóban birtokolják.

A tanulási eredmény az ismeretek, a megértés, az alkalmazás, az elemzés, a szintézis és az értékelés terén elérendő eredményeket írja le. Ezt a területet kognitív tartománynak nevezik. A másik két fő területet affektív tartománynak (attitűdök, érzelmek, értékek) és pszichomotoros tartománynak (testi, fizikai képességek) nevezzük.

A tanulási eredmények megfogalmazásakor leggyakrabban a Bloom- féle taxonómiát alkalmazzák alapvetően a kognitív tartományban.[3] Bloom szerint a tudás hat, egymásra épülő, egymással hierarchikus viszonyban álló szinten rendezhető el. Ezek:

6. értékelés
5. szintézis
4. elemzés
3. alkalmazás
2. megértés
1. tudás

A felsorolásban a fordított számozás azt jelzi, hogy a tudás fokként egyre bonyolultabb szintű, kezdve az egyszerű tények előhívásától (1. szint) az értékelés jelentette folyamatokig (6. szint). Az egyes szinteket célszerű pontosan definiálni, a szintek elérését, teljesülését pedig cselekvő igék formájában leírni. Szemléltetésként a hierarchia két végpontját jelentkező tartalmakat vizsgáljuk meg részleteiben.

A tudást úgy határozhatjuk meg, mint annak a képességét, hogy tényeket felidézzünk, vagy azokra emlékezzünk akár anélkül, hogy feltétlenül értenénk is ezeket. A tudás értékeléséhez használt aktív igék a következők lehetnek:

Elrendez, összegyűjt, meghatároz, leír, felidéz, elmagyaráz, megvizsgál, gondol, azonosít, megnevez, felsorol, felvázol, bemutat, felismer, visszaemlékezik, feljegyez, újra felidéz, elismétel, reprodukál, rendszerbe foglal, elmond.

Az értékelést úgy határozhatjuk meg, mint azt a képességet, hogy egy adott dolog értékét képesek vagyunk annak egy bizonyos célra történő felhasználása viszonylatában meghatározni. Az értékelés minősítéséhez használt aktív igék:

Eldönt, álláspontját megvédi, megkülönböztet, elmagyaráz, értékel, osztályoz, értelmez, bírál, indokol, lemér, előre jelez, osztályba sorol, ajánl, összekapcsol, megold, összefoglal, jóváhagy, értékel.

#### **4.KÉPZÉSI PROGRAMOK KIALAKÍTÁSÁNAK FOLYAMATA**

Az egyes szakok létesítése, valamint a képzési program kialakítása kapcsán alapvető kiindulás a képzés kimenetén célként megjelölt kompetenciák rögzítése, és a képzés tartalmának, és tantárgyi struktúrájának ezen kompetenciáknak való megfeleltetése. E felfogás szerint a kompetenciák olyan jellemzők dinamikus egységét jelentik, amelyekkel leírhatók egy képzési program eredményei, illetve az, hogy a tanulók hogyan képesek teljesíteni a képzési folyamat végén.

Fontos kritérium, hogy a kompetenciákból legyenek levezetve a tartalom- (folyamat-) jellegű szabályozási elemek (modulok aránya, tartalma, kreditek megosztása stb.), mert csak így érhető el, hogy a tanulási folyamat során valóban kialakuljanak a szükségesnek tartott kompetenciák.

Mindezek figyelembevételével a képzési programok kialakítása a következő folyamattal írható le:

- 1. A kimeneten megjelenő kompetenciák meghatározása és leírása**
- 2. A képzési kimeneti követelmények (KKK) meghatározása**



3. Tantárgyi, struktúra kialakítása
4. A tantárgyakhoz illesztett tananyagok, ismerethalmazok kijelölése
5. Monitoring, kontrolling rendszer kialakítása, és programhoz illesztése

Kiemelt fontosságú, hogy a folyamat egyes elemei szigorú hierarchiát kell, hogy kövessenek. A monitoring, valamint a kontrolling rendszerelem biztosítja a folyamat szabályozottságát, illetve a változások implementálására való gyors reagálás képességét.

Az eddig elmondottakat jól szemléltetheti a repülőgép üzemeltető mérnöki szak képzési programjának elemei.

A szakmával kapcsolatosan a következő kulcskompetenciák fogalmazhatók meg:

- Vezetői (menedzsment) képességek,
- Problémamegoldó képesség
- Döntésképeség
- Pontos feladat-végrehajtás
- Szabálykövetés

Ezeket a kompetenciákat tükrözik a Képzési Kimeneti Követelmények (KKK) dokumentumban megfogalmazott elvárások. Ennek megfelelően a képzési program elvégzése után a hallgató képes lesz:

- a légi járművek légi- és földi üzemen tartással kapcsolatos műszaki problémák felismerésére, analizálására, azok megoldásához műszaki és repülésbiztonsági szempontból helyes döntések meghozatalára,
- a légi járművek gépészeti, fedélzeti rendszereinek üzemen tartásának megszervezésére, irányítására,
- hatékony munkavégzésre önállóan és csapatban,
- hatékony kommunikációra.

Mindezekből a kimenet felől levezethető a tantárgyi struktúra, figyelembe véve, hogy az egyes tananyag tartalmak és tanulási eredmények egymásra kell, hogy épüljenek.

Mindezeket szem előtt tartva például a szilárdságtan témakörének tanulási eredményei az alábbiak szerint fogalmazhatóak meg:

A tantárgy célja, hogy a hallgatók megfelelő tudással rendelkezzenek a szilárdságtan klasszikus elméletéről és speciálisan a repülő eszközökhöz szükséges könnyűszerkezeti építés területéről

Az elérni kívánt tanulási eredmények:

A tantárgy teljesítésekor a hallgatóknak képesnek kell lennie:

- statikailag határozott tartók feszültségi állapotának és alakváltozásának számítására
- tartók stabilitás vizsgálatának elvégzésére.
- statikailag határozatlan szerkezetek feszültségeinek meghatározására
- vékony lemezek, héjak, valamint dobozos szerkezetek szilárdságtani értékelésére
- a légi járművek szerkezeti elemei tönkremenetelének szilárdságtani elemzésére

Látható, hogy a tantárgy céljának megfogalmazása dominánsan az oktadni kívánt tananyag tartalmára koncentrál, vagyis, hogy milyen információhalmazt kell a hallgatóknak átadni. A tanulási célok azonban a megszerezni kívánt tudás tartalmára, és szintjére összpontosít. Ennek megtervezésénél azonban, figyelembe kell venni, hogy ezt a megszerzett tudást milyen, a programban a tantárgyat követő tárgyak használják fel. Ebből következik, hogy az egyes információhalmazok tanulási eredményeit a követő tárgy bemeneti követelményeit felhasználva kell kialakítani. Az így tervezett tanulási eredmények képesek az tananyagtartalmak egymásra épülését, interdependenciáját figyelembe venni, ami a képzés

hatékonyságának fontos kritériuma.

Végezetül megállapíthatjuk, hogy egy alapképzési szak képzési programjának a fentebb vázolt modell alapján történő kialakítása biztosíthatja a képzés hosszú távú, korszerű és hatékony működését. Mindemellett az így kialakított programok önmagukban még nem biztosítják a képzés sikerét, szükséges a megfelelő, a képzést támogató korszerű módszerek, és eszközök alkalmazására is. Ennek részletezése azonban túlnyúlik jelen tanulmány tartalmi keretein.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TEMESI J.**, *Kompetenciák, ismeretkörök és tanulmányi kimenetek összefüggései és tervezése.* Társadalom és Gazdaság, Akadémiai kiadó, 2006
- [2] **KLEIN B.-KLEIN S.**, *A szervezet lelke*, EDGE Kiadó, Budapest, 2012, p.66-68.
- [3] **KENNEDY, D.**, *Tanulási eredmények megfogalmazása és azok használata*, University College

## ÖTÖDIK GENERÁCIÓS VADÁSZREPÜLŐGÉPEK FEJLESZTÉSÉNEK FILOZÓFIÁI

### THE PRINCIPLES BASED ON DEVELOPMENT OF THE FIFTH-GENERATION JET FIGHTERS

Békési Bertold<sup>1</sup>, Szegedi Péter<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>alezredes, egyetemi docens

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztoképző Kar,  
Katonai Üzemeltető Intézet, Katonai Repülő Tanszék

H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: [bekesi.bertold@uni-nke.hu](mailto:bekesi.bertold@uni-nke.hu); [szegedi.peter@uni-nke.hu](mailto:szegedi.peter@uni-nke.hu)

**Kivonat:** A negyedik generációs vadászpilóta nélküli repülőgépek felváltásának gondolata már a 80-as években felmerült. A kilencvenes évek közepén az Egyesült Államok elsőként fejlesztette repülőképesé az ötödik generációs vadászpilóta nélküli repülőgépet. Ebben az időben a Szovjetunióban - az ország felbomlása miatt - értelemszerűen derékba tört ezen kezdeményezés. Az F-22 és az F-35 volt a két első rendszerbe állított ilyen repülőgép. A cikk az ötödik generációs repülőgépek jelenlegi fejlesztési, aktuális helyzetét mutatja be, illetve néhány gondolat erejéig bepillantást nyújt, hogy milyenek lehetnek a jövőbeni fejlesztést megalapozó technológiák, kutatási eredmények, filozófiák.

**Kulcsszavak:** vadászpilóta nélküli repülőgépek, F-22, F-35, T-50, J-20, 6. generáció

**Abstract:** In the 80's it has been suggested to change the 4th generation fighter aircrafts. The first 5th generation fighter aircraft was developed by United States of America in the middle of 90's. Because of the Soviet Union collapse Russians were not able to achieve the same results. The first 5th generation fighter aircrafts are called F-22 and F-35. The article is about the current and future innovation of these aircrafts, basic of developments, result of researches and philosophy behind them.

**Keywords:** fighter aircrafts, F-22, F-35, T-50, J-20, 6th generation

## 1. AZ ÖTÖDIK GENERÁCIÓS REPÜLŐGÉPEK

Az ötödik generációs gépek a legmodernebb harci repülőgépek. Komoly áttörés következett be a katonai repülőgépek végeláthatatlannak tűnő fejlesztési folyamatában az elmúlt időszakban. Nagy különbségek a kilencvenes években alakultak ki. A legismertebb negyedik generációs repülőgépek az F-16 Fighting Falcon A/B/C/D változatai, de ebbe a kategóriába tartozik a MiG-29, a Szu-27, az F-15 Eagle, az F/A-18 Hornet A/B/C/D változatai, és a Mirage 2000. Az ötödik generációs repülőgépek kifejlesztése rendkívül lassan halad, mind nyugaton, mind keleten. Ezért kialakítanak egy úgynevezett (4+) generációt, mely a negyedik generációsok fejlesztései. Ilyen repülőgép a JAS 39 Gripen, az Eurofighter Typhoon, a Rafale, a Szu-34 és a J-10, valamint az F-16AM/BM/E/F/I, az F/A-18E/F Super Hornet és EA-18G Growler, a korszerűsített F-15C/D/E-k és az F-15I/K/SG-k.

A követelmény annyival nőtt, hogy a nagy sebességű manőverező képességet fejlesszék, és lehetőleg legjobban láthatatlan legyen a radarok számára. Az első igény azért fontos, mert nagy sebességű manőverezéskor a repülőgépek nagy része rendkívül gyorsan veszít sebességéből. Ezért olyan hajtóművet kellett kifejleszteni, amely manőverezéskor is nagy sebességen tudja tartani a gépet. A másik elvárás a láthatatlanság. Az új igény tehát kézzel fogható lett, a radarok számára minél kevésbé látható repülőgép, és ha véletlen észreveszik, akkor felvehesse a harcot, tehát harci repülőgép legyen. [2][14]

A világ legmodernebb, szolgálatban álló harci repülőgépei, az amerikai F-22A Raptor mellett szépen lassan megjelent az új generáció többi tagja: az amerikai Lockheed-Martin F-35 Lighting II., az orosz Szuhoj PAK-FA (T-50), illetve a kínai Chengdu J-20-as, a Shenyang J-31-es és a Japán Mitsubishi ATD-X.

Az ötödik generációs repülőgépek jellemzői:

- alacsony észlelhetőség a rádiólokációs és infravörös tartományokban;
- a törzsbe süllyesztett fegyvertérben elhelyezett intelligens bombák és rakéták (a sisakba épített célzórendszerek pedig a pilóta fej- és szemmozgását követve dolgoznak);
- szupercirkáló üzemmód<sup>1</sup>
- nagy manőverező képesség hangsebesség feletti üzemmódon;
- hangsebesség feletti utazó sebesség a hajtómű utánégető üzemmódja nélkül;
- sokoldalúság (vagyis nagy harci hatékonyság a légi, földi és tengeri célpontok megsemmisítésekor);
- A körkörös látást és érzékelést lehetővé tevő különleges optikai és elektronikai érzékelők.

Mindezeket kifinomult, számítógépek százaiból álló informatikai rendszer irányítja. A repülőgépek részben kompozit anyagokból készülnek, a sárkányszerkezetet hatalmas teljesítményű, akár tolóerő-vektorálható<sup>2</sup>, azaz a gáz sugar-eltérítésen alapuló, szuper manőverező képességet biztosító hajtóművek emelik a levegőbe. [4][5]

## 1.2 Az orosz és az amerikai koncepciók közötti különbségek

Az egyik legfontosabb követelmény az orosz ötödik generációs vadászgépnél a manőverező képesség - képes fenntartani repülőgép irányíthatóságát és stabilitását szuperkritikus állásszögeken nagy túlterhelések mellett, megtartva a harci manőverek biztonságát, valamint a repülőgép azon képességét, amely lehetővé teszi, hogy közvetlenül fegyvereket a célba juttassa. Meg kell jegyezni, hogy az USA ötödik generációs vadászrepülőgépeinél is követelményként szerepelt a fordulékonyág, de később több kísérleti vizsgálat után, az amerikaiak úgy döntöttek, hogy inkább a harci repülőgép teljes dinamikai harcászati rendszerére összpontosítanak. [4]

Az USA visszalépése a szuper manőverezhetőség terén, a repülőgépek fegyverzetének gyors fejlődésének köszönhető (sisakra szerelt célmegjelölő rendszerek és az új önirányító rakéták rendszerek, amelyeknek már nincs szükségük az ellenség háta mögé kerüléséhez). Azt feltételezték, hogy a légi csaták közepes hatótávolságokon történnek és csak a végső esetben lesz szükség csak a manőverező légi harcra "ha valami nem úgy sikerül mint, ahogyan azt tervezték". A csökkentet radar észlelhetőség lehetővé teszi a megtervezett cél — elsőnek megláttam elsőnek lőttem — elvet, amely szintén erősítette a szupermanőverezhetőség gondolatának elvetését. Másrészt, az amerikai monopólium fokozatos eltűnése az ötödik generációs vadászrepülőgépeknél mégis rámutatott, hogy fontos a "szuper irányíthatóság". Ha két lopakodó repülőgép találkozik (feltételezve mindkettő radarja egyforma), akkor ezen repülőgépek harci taktikája visszatér a korábbi generációknál alkalmazottakhoz. [4]

<sup>1</sup> azt jelenti, hogy a repülőgépek képesek utánégető nélkül is hangsebesség feletti sebességgel haladni.

<sup>2</sup> a hajtóművekből kiáramló gáz irányának megváltoztatását, módosítását jelenti, ezzel nagyban javítva a repülőgép manőverező képességét

## 2. AZ AMERIKAI REPÜLŐGÉPEK

### 2.1 F-22 Raptor

Az F-22 Raptor amerikai gyártású Fejlett Taktikai Vadászgép<sup>3</sup>, a világ első ötödik generációs harci repülőgépe. Az Amerikai Légierőnél az F-15 Eagle és az F-117 Nighthawk repülőgépek helyettesítésére hozták létre fejlesztették ki. Az is várható volt, hogy az új típus a 90-es évek vége felé szolgálatba állhat, és az új évezred kezdetére az USAF<sup>4</sup> új alaptípusává lehet. Kiemelkedő manőverező képessége, lopakodó kialakítása, fejlett avionikája és fegyverzete miatt jelenleg kevés olyan repülőgéptípus van, amely a siker reményével vehetné fel vele a harcot. Repülési képességei és manőverezőképessége a többi vadászipülőgéppel szemben a szuperszonikus sebességtartományban is jó, utánégető használata nélkül is tartósan képes 1,5 Mach sebességgel repülni. A tolóerővektor-eltérítéssel felszerelt hajtóműve miatt igen kis sebességgel repülve is képes intenzív manőverezésre. [3] [6]

A csökkentett észlelhetőségű gép kiváló radarral és fejlett adatátviteli rendszerrel rendelkezik, így az egy vagy több generációval korábbi ellenfeleivel szemben óriási előnyrel rendelkezik. Még azok érzékelési zónáján kívül a teljes légi helyzetkép birtokában támadó pozícióba manőverezheti magát.

A csökkentett észlelhetőség fogalmának használata nem véletlen, a köznyelvben általában lopakodóknak nevezett harci gépek ugyanis korántsem teljesen láthatatlanok, pusztán arról van szó, hogy különféle műszaki megoldások kombinált alkalmazásával elérhető, hogy a detektálási távolság drasztikusan lecsökkenjen. Az ellenfél radarján gyakorlatilag csak akkor jelenik meg a Raptor, amikor már késő. Jellemző az F-22-es fontosságára és az alkalmazott technológia titkosságára, hogy még az Egyesült Államok legközelebbi szövetségesei sem vehettek a gépből. [1]



1. ábra F-22 Raptor<sup>56</sup>

#### 2.1.1 Szerkezeti felépítés és tervezési sajátosságok

Az F-22 hagyományos aerodinamikai elrendezésű, vállszárnyas konstrukció. A szárnyak belépőélén orrsegédszárnyat, a kilépőéleken fékszárnyat és csűrőlapokat helyeztek el. Az osztott függőleges vezérsíkokat kifelé megdöntötték (így nem zárnak be derékszöveget a szárnyakkal és a vízszintes vezérsíkokkal, ez csökkenti a rádiólokátoros észlelhetőséget). A vízszintes vezérsíkok teljes egészében elfordíthatóak, és magassági kormányként és, aszimmetrikusan kitérítve, csűrőként is szolgálnak. A két hajtóművet a törzs hátsó részében,

<sup>3</sup> ATF - Advanced Tactical Fighter

<sup>4</sup> United States Air Force - Az Amerikai Egyesült Államok Légierője

<sup>5</sup> [http://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--oD90DXU1--/c\\_fit,fl\\_progressive,q\\_80,w\\_636/acrg8c748nvtmfq91s.jpg](http://i.kinja-img.com/gawker-media/image/upload/s--oD90DXU1--/c_fit,fl_progressive,q_80,w_636/acrg8c748nvtmfq91s.jpg) (2015.05.15)

<sup>6</sup> [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/F-22\\_Raptor\\_Internal\\_Weapons\\_Bay.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/F-22_Raptor_Internal_Weapons_Bay.jpg) (2015.05.15)

egymás mellett helyezték el, fűvócsövük függőlegesen  $\pm 20^\circ$ -ban kitéríthető, javítva a manőverező képességet. A repülőgép a levegőben utántölthető, a merev csöves rendszer fogadóberendezését a törzs felső részén helyezték el. Törzsféklapot nem alakítottak ki, az aerodinamikai fékezést kizárólag a kormányoszlopok megfelelő kitérésével végzik: a megosztott függőleges vezérsíkon lévő oldalkormányokat szimmetrikusan kifelé, a csűrőket, szintén szimmetrikusan felfelé, a fékszárnyakat pedig szimmetrikusan lefelé térítik ki. A repülőgép csűrőit és orrsegédszárnyait a megszokottól eltérően úgy alakították ki, hogy azok teljesen a törővéig érnek, így azok kitérített helyzetükben nem vernek vissza több radarsugárzást. Az oldalkormányok kialakítása hasonló a függőleges vezérsíkon. Az F-35 vadászpilóta repülőgépen hasonló megoldást alkalmaznak.

A repülőgép sárkánya titánötvözetekből (39%), kompozit anyagokból (24%) és alumíniumötvözetekből (16%) áll. A futómű hagyományos tricikli elrendezésű. Az F-22 tervezésének lelegejétől figyelembe vették az alacsony észlelhetőségre vonatkozó követelményeket, így a gép sárkányának kialakításánál nem csak az aerodinamikai szempontok érvényesültek. A repülőgép hatásos visszaverő keresztmetszete az USAF állítása szerint egy üveggolyóéval megegyező, azaz körülbelül  $1\text{--}10\text{ cm}^2$ . Ez mintegy százada-ezrede az F-117, tizede-százada a B-2, hetede-kilencede az F-35, valamint kevesebb mint kétezrede a PAK FA hatásos visszaverő felületének. [6]

## 2.2 F-35 Lightning II

Az F-35 Lightning II (korábbi nevén X-35 JSF, azaz Joint Strike Fighter, angolul „Közös Csapásmérő Vadászpilóta repülőgép”) ötödik generációs, egy hajtóműves könnyű vadászbombázó repülőgép, melyet kiterjedt nemzetközi kooperációban a Lockheed Martin, valamint fő partnerei a BAE Systems és a Northrop Grumman fejlesztettek, az Egyesült Államok és több más ország (Egyesült Királyság, Ausztrália, Hollandia, Olaszország) számára. A repülőgéppel az F-16 Fighting Falcon, az F/A-18 Hornet, a Harrier és az F-117 Nighthawk repülőgépeket tervezik leváltani. Az F-35 program a várttól eltérően tetemes késésben és költségtúllépésben van a kezdetektől.

A Lockheed Martin bejelentette, hogy sikeresen elvégezték az F-35A Lightning II típusú, ötödik generációs vadászbombázó nagy állásszögű tesztjeit. A JSF (Joint Strike Fighter) program még 2012 őszén ért az F-35A nagy állásszögű tesztjeihez, melyek során próbára tették a gép repülési tulajdonságait és a digitális vezérlőrendszert egyaránt különböző üzemenyagszint és függesztmény konfigurációk mellett. A tesztek 100 százalékos biztonsággal zajlottak, egyszer sem kellett fékernyőt nyitni veszélyes bedugózás vagy irányíthatatlanná válás miatt. A 2. ábrán a Lockheed Martin F-35A egyik tesztrepülését láthatjuk. [7][8]



2. ábra F-35A Lightning II<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/bf/b2/28/bfb228986304144d9b8d60eb67bec89b.jpg>

### 2.2.1 Szerkezeti felépítés és tervezési sajátosságok

A repülőgép hagyományos aerodinamikai elrendezésű, felső trapézsárnyas konstrukció, osztott függőleges vezérsíkokkal. Az orrsegédszárny kivételével a kormányfelületek mozgását a hagyományostól eltérő módon oldották meg. Az EHAS (Electro-Hydrostatic Actuation System, elektro-hidrosztatikai mozgatórendszer), ellentétben a hagyományos repülőgépek központi hidraulika-rendszerével, minden egyes munkahengernél külön elektromos berendezéssel tartja fenn a hidraulikanyomást, de a berendezések energiaellátása elektromosan történik. A rendszer jóval nagyobb túlélőképességet biztosít a repülőgépnek, a korábban tervezett gépeknél a hidraulika-rendszer nyomásvesztése a gép kormányozhatatlanná válását eredményezte, ezért azt meg is többszörözték.

A repülőgéphordozó-fedélzeti F-35C szárnyfesztávja és vízszintes vezérsíkjának felülete nagyobb, hogy alacsonyabb leszállósebesség legyen elérhető.

A gép hárompontos, tricikli-rendszerű futóművel rendelkezik, egy-egy orr- és főfutókerékkel, a haditengerészeti változat erősebb, kétkerekes orrfutót kapott. Az F-35A-t a légierőnél használt merev csöves, a többi változatot hajlékony csöves légi utántöltő berendezéssel is ellátták.

Hajtóművéül a Pratt & Whitney F119-ből kifejlesztett F135-öt választották, de a megrendelések nagy száma miatt alternatívaként lehetővé teszik az F120 beépítését is, így egyik hajtóműgyártó sem szerez monopóliumot. A F-35B emelő csőlégsavarját a hajtómű hajtja meg egy tengelyen keresztül. A légsavart a Rolls-Royce és az Allison gyártja, és 80 kN emelőerőt szolgáltat. A hátsó, ellipszis keresztmetszetű fűvócső elfordítását két, ferde csapággal oldották meg. Az oldalirányú stabilitás megteremtése miatt a szárnyak alatt is van két fűvócső. [8]

## 3. AZ OROSZ REPÜLŐGÉPEK

A Szovjetunió összeomlását követően Oroszország mint az egykori birodalom vezető állama hosszú mélyrepülésbe ment át társadalmi, gazdasági és katonai téren is. A nyilvánvaló nehézségek ellenére megőrizték azt a szellemi háttérrel, melynek révén a tervezők figyelemre méltó konstrukciók egész sorával álltak elő, ahogy a helyzet javulni kezdett. Ezek közül a PAK-FA - a furcsa típusjelölés a "légierő perspektivikus repülő komplexuma"<sup>8</sup> projekt megnevezés orosz eredetijének mozaikszavából keletkezett - a legfigyelemreméltóbb. [1]

### 3.1 Szuhoj PAK-FA (T-50)

Amerikai vetélytársaihoz hasonlóan számos újítást alkalmaztak: gyakorlatilag az egész szerkezet egy óriási lapos aerodinamikai felület. A gépen tetten érhető a csökkentett észlelhetőségre való törekvés jelei. Ám nagy figyelmet fordítottak arra is, hogy a hagyományos orosz iskolának megfelelően a gép kiemelkedő manőverező képességgel rendelkezzen. Ezt vektorálható hajtóművek beépítésével fokozták. Valós képességeit egyelőre nehéz megítélni, az azonban kijelenthető, hogy nagy lehetőségeket magában rejtő konstrukciót alkottak az orosz mérnökök. [1]

---

<sup>8</sup> Перспективный авиационный комплекс фронтовой авиации (ПАК ФА)



3. ábra Szuhoj PAK-FA<sup>910</sup>

### 3.1.2 Szerkezeti felépítés és tervezési sajátosságok

A lopakodó kialakítású repülőgép felszálló tömege a két leváltani tervezett típusé, a MiG–29 és a Szu–27 között van. Két hajtóműves, válszárnyas, hagyományos aerodinamikai elrendezésű repülőgép, melynek kompozitból készült, teljesen elforgatható, osztott függőleges vezérsíkjait kifelé döntötték. Viszonylag kis felületű, teljesen elforgatható vízszintes vezérsíkja szolgál magassági kormányként, emellett az előre felé megnyújtott szárnytő (LERX<sup>11</sup>) is elforgatható kacsaszárnyként működik. Ez a négy vízszintes vezérsíkos megoldás már korábban megjelent a Szuhoj vadászgépein, például a Szu–30-ason. Trapéz formájú szárnya az F–22-eséhez hasonló formájú, a törővég felé majdnem teljesen lecsökkenő húr hosszal, de belépőéle annál erősebben nyilazott, valószínűleg a nagyobb sebességre történő optimalizálás miatt. A belépő élen orrsegédszárnyat, a kilépőél belső felén fékszárnyat, a külsőn csűrőket helyeztek el. Futóműve hárompontos, tricikli elrendezésű, a főfutók és a kétkerekes orrfutó is a törzsbe, előre felé húzódnak be. A pilótakabin teteje hátra felfelé csúsztatva nyílik. A prototípust, sok más orosz repülőgéphez hasonlóan, fékernyővel látták el, ez a törzs hátsó részének tetejéből engedhető ki.

A repülőgép radarkeresztmetszetének csökkentése elsősorban a mellső oldalon szembetűnő, a LERX, a szárny és a vízszintes vezérsík nyilazási szöge megegyezik. Hátról a gép könnyebben észlelhető, a hajtóművek elrejtése kevésbé volt fontos szempont. Hajtóműve a Szu–35BM-be beépített AL–41F1 utánégetős gázturbinás sugárhajtómű<sup>12</sup>, melyet a jobb manőverező képesség elérése érdekében tolóerővektor-eltérítéses fűvócsővekkel szerelnek fel. A fűvócső mozgatása háromdimenziós, azaz a repülőgép mindhárom tengely körüli kormányzásába besegít (a két hajtómű nagy távolsága miatt az orsózó irányú manővert is tudja segíteni). A repülőgép alkalmas a szupercirkálásra, azaz képes a hangsebesség átlépésére vízszintes repülés közben is, az utánégetők használata nélkül is. [9][10][11]

<sup>9</sup> [http://htka.hu/wp-content/uploads/2012/02/PAK-FA\\_T-50\\_03.jpg](http://htka.hu/wp-content/uploads/2012/02/PAK-FA_T-50_03.jpg)

<sup>10</sup> <http://www.ausairpower.net/VVS/Sukhoi-T-50-PAK-FA-First-Flight-8S.jpg>

<sup>11</sup> Leading-Edge Root Extension

<sup>12</sup> Jelenleg a T-50 repülőgépen kettő darab AL-41F1 (117 típusjelzésű) hajtómű van, amely a SzU-35Sz (117Sz típusjelzésű) modernizált változata, amely az AL-31F alapjain lett továbbfejlesztve (utánégetéskor 147 kN, utánégető nélkül 93 kN, összehasonlítva az AL-31F 125/75 kN tolóerejével). Úgy tűnik, hogy a jövőben, a T-50 megkapja a 176/107 kN tolóerővel rendelkező hajtóművet.



## 5. KÍNAI REPÜLŐGÉPEK

### 5.1 Chengdu J-20

Az ötödik generáció tagjai közül a kínai szereplőről tudunk a legkevesebbet. A dinamikusan fejlődő ázsiai nagyhatalom sokáig teljes titokban fejlesztett gépeiről egyelőre az állapítható meg, hogy két teljesen különböző konstrukcióról van szó. A nagyobb J-20-as inkább tűnik nagy hatótávolságú vadásznak és/vagy csapásmérőnek. A kisebb és egyszerűbb J-31-es pedig olyan nagy példányszámban készül repülőgép lehet, mint amilyenek az F-35-öst szánják az amerikaiak, bár külső kialakításában inkább az F-22-esre hasonlít.[1]



4. ábra Chengdu J-20 repülőgép<sup>13</sup>

Nem férhet hozzá kétség, hogy az elektronika terén Kína nincs komoly lemaradásban az amerikai és az orosz ipar mögött. A hajtóművek esetében van még hova fejlődnie a háttériparnak, az ilyen problémákat azonban hatékonyan hidalja át a kínai ipar. A kínai volumenű tömeggyártás megindulása után azonban lesz mi miatt aggódnia a többi ötödik generációs típus pilótáinak és a hadműveletek tervezőinek. [1]

Kínában 6 prototípus kísérletei folynak. Az első repülőgép tesztrepülésére 2011. január 11-én került sor. Oroszországban 2011 óta folynak a T-50-es repülőgép kísérletei, de mindösszesen 4 db repülő képes prototípus van és 1 db pedig a földi tesztelések céljára szolgál. 2014-ben kísérletek céljára 2 db J-20-as repülőgép jelent meg, míg Oroszországban ezen időszak alatt egyetlen T-50 repülőgép sem emelkedett a levegőbe. Jelentheti-e ez azt, hogy Kínában felgyorsult az 5. generációs repülőgépek gyártása? Igen is meg nem is. Ahhoz, hogy a repülőgépeket át lehessen adni a honvédség részére kb. 5-6 évnyi berepülési, tesztelési időre van szükség. Például a J-10 repülőgép az első repülését 1998-as évben hajtotta végre, a kísérletek pedig 2003-as év végére fejeződtek be. A J-10B 2008 végére szállt fel és csak a 2014-es évben állt szolgálatba, a J-11B 2003-ban emelkedett a levegőbe és 2008-ban állt szolgálatba, a J-15 első repülése 2009-ben volt és sorozatgyártása 2014-ben kezdődött meg. A tervek szerint a J-20 vadászrepülőgépet 2017-re szerelik fel az összes fedélzeti berendezésekkel és fegyverzettel és ekkor kezdi el az üzemeltetését. Azonban a legfrissebb jelentések szerint, a tervek ki kell igazítani, és az üzemeltetése legkorábban 2018-ban kezdődhet el. [12][25][26]

A Chengdu J-20-as fedélzeti rádiótechnikai berendezések működésének tesztjeit a TU-204 repülőgépen folynak, csakúgy mint annak idején az F-22 repülőgép tesztjeit a Boeing 767 repülőgépen tökéletesítették.[12]

<sup>13</sup> [http://2.bp.blogspot.com/\\_rQoK9r\\_ycs/TSx6AM1jgVI/AAAAAAAAAGs/B\\_L5kpQKqQs/s1600/j-20-si-j-10.jpg](http://2.bp.blogspot.com/_rQoK9r_ycs/TSx6AM1jgVI/AAAAAAAAAGs/B_L5kpQKqQs/s1600/j-20-si-j-10.jpg)

[http://1.bp.blogspot.com/\\_rQoK9r\\_ycs/TSxQjSQVWLI/AAAAAAAAAGc/5s-YdYr30Z4/s1600/1294746388\\_40915.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_rQoK9r_ycs/TSxQjSQVWLI/AAAAAAAAAGc/5s-YdYr30Z4/s1600/1294746388_40915.jpg)

<https://resboiu.files.wordpress.com/2011/05/chengdu-j-20-black-eagle-04.jpg>

A J-20-asnak hasonló utat kell bejárnia - A fázistól B fázisig. A jelenlegi formájában a vadászpilóta kiváló lopakodó képességekkel és nagy sebességgel rendelkezik, hogy a "repülőgép-hordozók", AWACS repülőgépek és földi ellenséges radarok gyilkosává váljon. [13]



5. ábra Chengdu J-20, F-22, Szuhov T-50/PAK-FA<sup>14</sup>

Azt tudjuk, hogy az alap elvárásokat és a koncepciót az oroszok is ismerték, az elkészült repülőgépek láthatóan felhasználták az F-22 tapasztalatait. Sok elgondolás azonban más. Míg az USA tökélyre akarta fejleszteni láthatatlanságát, addig az oroszok nem foglalkoznak azzal, hogy a gép hátulról mennyire bemérhető, a hajtóműveket nem rejtették el. Ezzel, és a szárny kialakításával viszont nagyobb manőverezést és nagyobb sebességet értek el. A kínai gép ugyanezt a koncepciót követi, a hasonlóság szembetűnő a hajtóművek kiképzésében (sőt, mivel van ilyen jellegű szerződés a két ország között, lehet hogy ugyanazon hajtóművekről van szó). Most, hogy már van pénz fejlesztésre, az oroszok és a kínaiak is behúztak, az indiaiak pedig az orosz fejlesztésbe szálltak be. A kínai gép azonban meglepte a világot. Miután a kínaiak lézerrel lelőttek egy USA kéműholdat, a műholdas kémkedés nullára csökkent Kína felett. Tehát ilyen jellegű képek nem álltak rendelkezésre. Ráadásul Kínában nem bánnak éppen kesztyűs kézzel a kémekkel, tehát ez is nehéz kérdés volt. Olyannyira, hogy még a nevét sem nagyon tudták kideríteni. Pár héttel ezelőtt kezdtek képek kiszivárogni a gépről, mivel megkezdődtek a pályafutási tesztek, és nem lehet láthatatlannak maradni. Tehát a minisztérium látva a gép kiszivárgásának hírért, maga is közzé tett pár fotót a repülőről. A gép az elvárásoknak megfelelő formai kialakítást kapta, szögletes tervezés, rejtett fegyverzet, radarelnyelő felületkezelés. Az viszont, hogy Kína itt tart a gép fejlesztésével, láthatóan meglepte a világot.[1]

## 5.2 Shenyang J-31

A J-31-es lopakodó-vadászpilóta prototípusa 2012. október 31-én emelkedett a levegőbe először Shenyang-ban (Liaoning tartomány), melynek fejlesztéseit a Shenyang Repülőgépgyártó Vállalat készíti. A 31001 fedélzeti számú (6. ábra) repülése több mint 10 percig tartott és a tesztpilótája Li Guoen volt. A J-31 tesztrepülését J-11BS repülőgép kísérte. A Shenyang J-31 más néven "Merlin", meg kell jegyezni, hogy a légi jármű hivatalosan nem

<sup>14</sup> [https://resboiu.files.wordpress.com/2011/09/chendu\\_j\\_20\\_us\\_f\\_22\\_sukhoi\\_t\\_50\\_pak\\_fa\\_stealth\\_fighters\\_1.jpg](https://resboiu.files.wordpress.com/2011/09/chendu_j_20_us_f_22_sukhoi_t_50_pak_fa_stealth_fighters_1.jpg)

került bevezetésre, és neve korábban az internet mint J-21 volt ismert az interjúban nevezték mint "Merlin" (más néven is lehetett róla hallani mint J-31 és F-60)

2013. augusztus 23-án a J-31-es már a negyedik tesztrepülését hajtotta végre, amelynek az intenzitása jóval nagyobb volt, mint a júliusban végrehajtott vizsgálatoknak (a "mil.news.sina.com.cn. hírportál szerint". Az elemzők úgy vélik, hogy ez a vadászrepülőgép a jövőben elfoglalhatja méltó helyét az ötödik generációs vadászrepülőgépek export piacán. Ezen repülőgép hatékonysága összemérhető lesz az F-35-el vagy meg is haladhatja.[25]



6. ábra Shenyang J-31 repülőgép<sup>1516</sup>

## 6. JAPÁN REPÜLŐGÉPEK

### 6.1 Mitsubishi ATD-X Shinshin

A japán Mitsubishi Heavy Industries 2012. március 28-án megkezdte az első ötödik generációs vadászrepülőgépe, az ATD (ATD-X Shinshin) első repülési prototípusának összeszerelési munkálatait. A prototípus építése a japán védelmi minisztériummal kötött megállapodás alapján történik. A repülőgépet a lopakodó- és szuper manőverező képességhez szükséges technológiák fejlesztésére kívánják használni, amelyeket a későbbiekben japán vadászrepülőgépeken fognak alkalmazni.

Japán 2004 óta foglalkozik saját lopakodó vadászrepülőgépének fejlesztésével. Napjainkra a Mitsubishi Heavy Industries két statikus repülőgépet épített, amelyeken a gép konstrukciós kialakítását, valamint a berendezések elhelyezését dolgozták ki. Az ATD-X repülési prototípusa várhatóan 2015-ben fog levegőbe emelkedni, míg a repülőgép fejlesztése 2017-re fejeződhet be. A repülőgép „szűzfelszállása” előtt a repülőgépet gyártó cég elvégzi a repülőgép szerkezeti tesztjeit, beleértve a hajtóművek megbízhatóságát is.

Az előzetes tervek szerint a Shinshin fejlesztése során több lopakodó technológia is megvalósításra kerül; a rádióhullámokat szétszóró geometriai forma, rádióhullámokat elnyelő- és kompozit anyagok. A repülőgépet többek között Multimode Radarral (MMR), rádióelektronikai-harc és ellentevékenységi rendszerrel, valamint egyedi információs rendszerrel látják el.

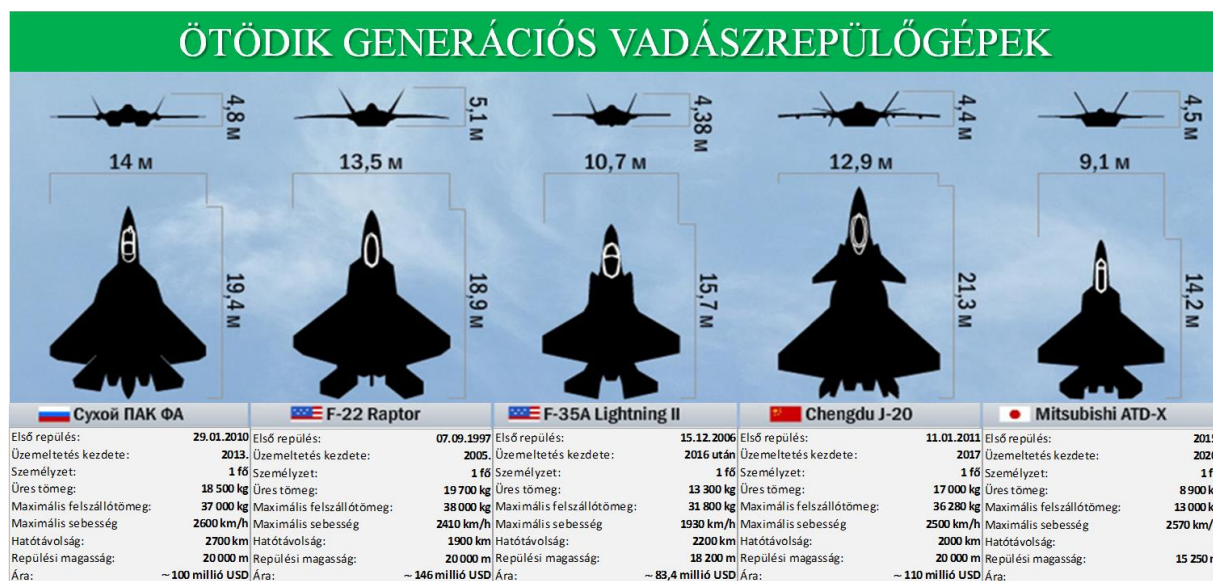
Még az ATD-X tervezésének megkezdése előtt olyan információk láttak napvilágot, hogy a repülőgép fejlesztése során megvalósul az „önjavító, önellenőrző repülésvezérlés képessége” (Self Repairing Flight Control Capability – SRFCC). A rendszernek köszönhetően a fedélzeti számítógép meghatározhatja az egyes konstrukciós elemek elszenvedett sérülésének mértékét, és képes a megfelelően működő berendezések segítségével teljes mértékben helyreállítani a repülőgép irányíthatóságát.

2010-ben a japán védelmi minisztérium megkezdte a Shinshin vadászrepülőgép prototípusához megfelelő hajtóművek felkutatását. A hajtóművek teljesítménye maximál

<sup>15</sup> [http://bastion-karpenko.ru/VVT/J-31\\_01.jpg](http://bastion-karpenko.ru/VVT/J-31_01.jpg) (2015.06.24)

<sup>16</sup> [http://bastion-karpenko.ru/VVT/J-31\\_02.jpg](http://bastion-karpenko.ru/VVT/J-31_02.jpg) (2015.06.24)

üzemmódon (utánégetés nélkül) el kell, hogy érje a 89 kN-t. A katonai vezetés kiemelt érdeklődést mutat a General Electric F404, a Snecma M88-2 és a Volvo Aero RM12 típusú hajtóművei iránt. Hajtóműtendert ez idáig nem írt ki a japán védelmi minisztérium.[15][16][21][22]



7. ábra Ötödik generációs repülőgépek összehasonlítása [17]<sup>17</sup>

## 7. HATODIK GENERÁCIÓS REPÜLŐGÉPEK

Míg az ötödik generációs repülőgépek iránt a szakmában létezik bizonyos követelményrendszer, egyebek között az észrevétlenség, a szupermanőverezés, a szuperszonikus sebesség, addig a hatodik generációs gépek tekintetében a kritériumok még nem egységesek.

Az USA és Franciaország fejleszt ilyen komplexumokat konceptuális tervezés keretében. Így, a Lockheed Martin tavaly egy ilyen gép perspektivikus ábráját mutatta be. Vélhető, hogy a repülőgép pilóta nélküli lesz és újabb osztályú fegyvereket kap, többek között, elektromágneses ágyúkat vagy lézerfegyvert, valamint még nagyobb sebességet fejthet ki az ötödik generációs gépekhez képest.

Mindazonáltal az Egyesült Államokban a repülőgépek hatodik generációjának kifejlesztése még a követelmények kidolgozása kezdeti stádiumában tart. E tekintetben az amerikai légierő és haditengerészet szintén kutatásokat folytat. Feltételezhető, hogy a hatodik generációs gépek leghamarabb 2030-ban, de meglehet, hogy csak a 2040-es–2050-es években jelennek meg.[18]

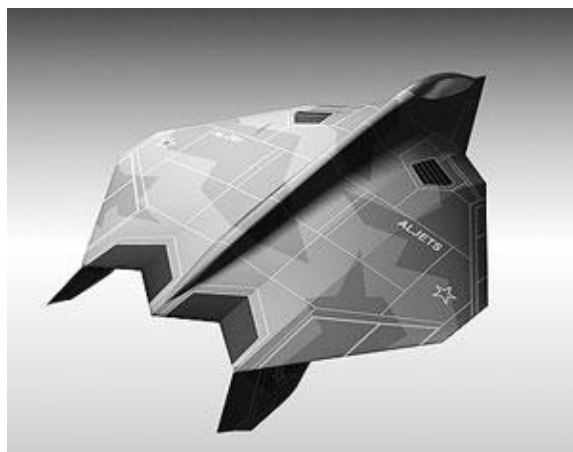
A nyugati projektekhez képest még kevesebbet lehet tudni arról, hogy a kínai katonaság milyen követelményeket támaszt a hatodik generációs gépek iránt.

A repülőgépek hatodik generációjának kidolgozása az ötödik generációs programok mellett további bizonyítéka annak, hogy Kína távlati perspektívában katonai szuperhatalomként látja magát, amely az USA-val egy szinten áll, sőt bizonyos tekintetben meg is előzi azt.

Ugyanakkor az USA és Japán után Oroszország is elgondolkozott a 6. generációs repülőgépek kifejlesztésének gondolatával, mivel már az 5. generációs gépek repülési tesztjei folynak. Elképzelhető, hogy az első ilyen gép csak 10 év múlva száll fel. Hogy milyenek is

<sup>17</sup> Szerkesztették a szerzők

lesznek a jövő repülőgépei azt már most is lehet sejteni. A hatodik generáción várhatóan nem csak a szokásos multifunkciós LCD képernyők vagy a sisakra szerelt célmegjelölő rendszerek lesznek, hanem a homloküvegen megjelenő információk teljes körű megjelenítése a pilóta sisakján. Mindenesetre, hasonló fejlesztések, munkák az ilyen rendszereken már évek óta folynak, például - az amerikai sisakra szerelt kijelző az F-35 részére. Ide sorolhatnánk az "átlátható fülkét", de nem csak ezt. Nem zárhatjuk ki azt sem, hogy a célzó navigációs komplexum<sup>18</sup> (CNK) néhány eleme a mesterséges intelligencia jegyeivel lesz felruházva. Legalábbis meg kell különböztetnie a célokat, meg kell határozza a prioritásokat, és a pilóta számára csak a legfontosabb információkat kell megadnia, hogy ne kelljen az energiáját olyan dolgokra fordítania, amit meg tud tenni az automatizálás. Ideális esetben az CNK-nak kell kiadnia a képernyőre a cél alapvető paramétereit: hatótávolság, magassága, típus, stb, valamint az ajánlott eszközt a megsemmisítéséhez. Azaz, a pilóta a fedélzeti számítógép ajánlatát megerősíti, és indítja a rakétát vagy a bomba kioldását, vagy nem erősíti meg és a számítógép saját maga választja ki, amelyben a CNK segítséget nyújt számára. Az elektronika fejlődése ellenére a legvalószínűbb, hogy az utolsó szó akár a hatodik, és még a hetedik generációs repülőgépek esetében is az emberé lesz. [19][20]



8. ábra Hatodik generációs repülőgép terv<sup>19</sup>

Egy másik kötelező eleme a repülőgépek elektronikájának a jövőben - a különböző irányítási rendszerek és a célmegjelölés integrációja. A vadászrepülőgép a cél keresésekor és támadásakor, együtt kell dolgoznia más repülőgépekkel és földi rendszerekkel. Például, ha az egyik egység vadászrepülőgépe vagy a földi radar észleli a célt, arról azonnal meg kell tudni mindent - mind a földön, mind a levegőben. Hasonló rendszerek már most is léteznek, de a jövőben teljesen automatizálnak kell lenniük, egészen addig, hogy vadászrepülőgép pilótája egyidejűleg kap információkat a célról, és a támadás optimális módszeréről, ha az adott célt az ő repülőgépével sokkal kényelmesebb lesz megsemmisíteni mint másoknak.

Mellékes kérdés ebben az esetben az lesz, hogy védeni kell a vadászrepülőgépeket számítógépes támadások ellen. Nem elképzelhetetlen, hogy egy ilyen rendszer aktív lesz, vagyis képes lehallgató adatfolyamokra az ellenséges védelmi rendszerekről, majd ezen információk továbbítására torz formában.

Ha röviden is de így néz ki ma a hatodik generációs vadászrepülőgépek koncepciója - mint az ötödik generáció folytatólagos fejlődése. Azonban a sok újítások és technológiák, mielőtt azokat az új repülőgépekbe be lehet vezetni, azokat az előző generációs vadászgépek korszerűsítési munkálatai és élettartam meghosszabbításai során kell elmélyíteni. De a légi- és űrjárművekhez, amelyek elérik a hiperszonikus sebességet, lézerekkel és más arzenállal

<sup>18</sup> ПНК - Прицельно-навигационный комплекс (CNK)

<sup>19</sup> <http://img.vz.ru/upimg/m72/m727673.jpg> (2015.05.15)

felfegyverezve az űr fantáziában, még várni kell akár közel 50 évet, vagy akár 100-at is - egészen a hetedik, és esetleg a nyolcadik generáció megjelenéséig. [20][23]

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TEMESVÁRI P:** *Ezek a repülők döntik el a jövő háborúit.* <http://www.origo.hu/techbazis/internet/20130412-ezek-a-harci-repulok-fogjak-eldonteni-a-jovohaboruit.html> (letöltés: 2015.04.29.)
- [2] *Negyedik generációs vadászrepülőgép.* [https://hu.wikipedia.org/wiki/Negyedik\\_gener%C3%A1ci%C3%B3s\\_vad%C3%A1szrep%C3%BCI%C5%91g%C3%A9p](https://hu.wikipedia.org/wiki/Negyedik_gener%C3%A1ci%C3%B3s_vad%C3%A1szrep%C3%BCI%C5%91g%C3%A9p) (letöltés: 2015.03.15.)
- [3] *Lockheed Martin F-22A Raptor. Lockheed Martin F-22A Raptor – Az ATF pályázat győztese* <http://htka.hu/2007/11/23/yf-22-lightning/> (letöltés: 2015.03.15.)
- [4] *Истребитель пятого поколения.* [https://ru.wikipedia.org/wiki/Истребитель\\_пятого\\_поколения](https://ru.wikipedia.org/wiki/Истребитель_пятого_поколения) (letöltés: 2015.05.14)
- [5] *Истребитель 5 поколения.* [http://vpk.name/library/5-e\\_porolenie.html](http://vpk.name/library/5-e_porolenie.html) (letöltés: 2015.06.22)
- [6] *F-22 Raptor.* [http://hu.wikipedia.org/wiki/F%E2%80%9322\\_Raptor](http://hu.wikipedia.org/wiki/F%E2%80%9322_Raptor) (letöltés: 2015.05.15)
- [7] *Befejeződtek az F-35A nagy állásszögű tesztjei.* <http://htka.hu/2013/05/21/befejezodtek-az-f-35-nagy-allaszogu-tesztjei-video/> (letöltés: 2015.04.29)
- [8] *F-35 Lightning II.* [http://hu.wikipedia.org/wiki/F%E2%80%9335\\_Lightning\\_II](http://hu.wikipedia.org/wiki/F%E2%80%9335_Lightning_II) (2015.04.29)
- [9] *PAK FA.* [http://hu.wikipedia.org/wiki/PAK\\_FA](http://hu.wikipedia.org/wiki/PAK_FA) (letöltés: 2015.04.29)
- [10] *T-50 с двигателями «изд. 30» совершат первый полет в 2017 году.* [http://www.militaryparitet.com/ttp/data/ic\\_ttp/7166/](http://www.militaryparitet.com/ttp/data/ic_ttp/7166/) (letöltés: 2015.05.15)
- [11] *Первые образцы двигателя второго этапа для ПAK ФА выпустят в 2015 году.* [http://vpk.name/news/134072\\_pervyie\\_obrazcyi\\_dvigatelya\\_vtorogo\\_etapa\\_dlya\\_pak\\_fa\\_vyipustyat\\_v\\_2015\\_godu.html](http://vpk.name/news/134072_pervyie_obrazcyi_dvigatelya_vtorogo_etapa_dlya_pak_fa_vyipustyat_v_2015_godu.html) (letöltés: 2015.06.26)
- [12] *В Китае проводится очередная серия испытаний прототипов истребителей нового поколения J-20 Chengdu.* <http://topwar.ru/72829-v-kitae-provoditsya-ocherednaya-seriya-ispytaniy-prototipov-istrebiteley-novogo-pokoleniya-j-20-chengdu.html> (letöltés: 2015.06.24)
- [13] *J-20 «первого этапа» способен стать «убийцей авианосцев» и поступить на вооружение* [http://vpk.name/news/129886\\_j20\\_pervogo\\_etapa\\_sposoben\\_stat\\_ubiiicei\\_avianoscev\\_i\\_postupit\\_na\\_vooruzhenie.html](http://vpk.name/news/129886_j20_pervogo_etapa_sposoben_stat_ubiiicei_avianoscev_i_postupit_na_vooruzhenie.html) (letöltés: 2015.04.29)
- [14] **GYÁRTÓ I.:** *Kína titokban kifejlesztette az 5. generációs vadászgépet.* <http://jovonk.info/2011/01/05/kina-titokban-kifejlesztette-az-5-generacios-vadaszgepet> (letöltés: 2015.04.29)
- [15] *Megkezdődött a japán ötödik generációs vadászrepülőgép prototípusának összeszerelése* [http://www.jetfly.hu/rovatok/repules/katonai/tipusok/megkezdodott\\_a\\_shinshin\\_prototipusanak\\_osszeszerese/](http://www.jetfly.hu/rovatok/repules/katonai/tipusok/megkezdodott_a_shinshin_prototipusanak_osszeszerese/) (letöltés: 2015.04.29)
- [16] *Mitsubishi ATD-X Shinshin.* [https://ru.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi\\_ATD-X\\_Shinshin](https://ru.wikipedia.org/wiki/Mitsubishi_ATD-X_Shinshin) (letöltés: 2015.05.15)
- [17] *Истребитель шестого поколения в России создадут по советским заделам - See more at:* <http://www.nakanune.ru/articles/19565/> (letöltés: 2015.04.29)
- [18] *Vaszilij Kasin: Kína és a hatodik generációs vadászgép* [http://hungarian.ruvr.ru/2012\\_12\\_31/K-na-es-a-hatodik-generacios-vadaszgep/](http://hungarian.ruvr.ru/2012_12_31/K-na-es-a-hatodik-generacios-vadaszgep/) (letöltés: 2015.04.29)
- [19] **ГЕННАДИЙ НЕЧАЕВ:** *Какими будут истребители шестого поколения.* <http://www.vz.ru/society/2015/2/4/727673.html> (letöltés: 2015.06.24)
- [20] *Деловая газета «Взгляд» Какими будут истребители шестого поколения.* <http://news.rambler.ru/29016089/> (letöltés: 2015.06.24)
- [21] *Defense Ministry Reveals Prototype of First Japanese Stealth Fighter* <http://globalaviationreport.com/2014/08/22/defense-ministry-reveals-prototype-of-first-japanese-stealth-fighter/> (letöltés: 2015.03.15.)
- [22] *Kosuke Takahashi: Japanese MoD denies reports of 2015 first flight for ATD-X prototype.* <http://www.janes.com/article/41815/japanese-mod-denies-reports-of-2015-first-flight-for-atd-x-prototype> (letöltés: 2015.05.14)
- [23] *Какими будут истребители шестого поколения* <http://news.rambler.ru/29016089/>

(2015.05.15)

- [24] **A.V.KARPENKO:** *Многоцелевой истребитель 5-го поколения J-20 (Китай)* «Невский Бастион», <http://nevskii-bastion.ru/j-20-china/> ВТС (letöltés: 2015.06.24)
- [25] **A.V.KARPENKO:** *Многоцелевой истребитель 5-го поколения J-31 (Китай)* «Невский Бастион»<http://bastion-karpenko.ru/j-31/> (letöltés: 2015.06.24)
- [26] *J-20 «Первого этапа» способен стать «убийцей авианосцев» и поступить на вооружение.* [http://www.militaryparitet.com/ttp/data/ic\\_ttp/7846/](http://www.militaryparitet.com/ttp/data/ic_ttp/7846/) (letöltés: 2015.05.15)

# ÁLLAMI SZERVEZETEK INFORMÁCIÓBIZTONSÁGÁNAK FEJLESZTÉSE

## IMPROVING SECURITY OF GOVERNMENTAL ORGANIZATIONS

**Dombora Sándor**

PhD hallgató  
Biztonságtudományi Doktori Iskola  
sombora@gmail.com

**Kivonat:** A 2013. évi L. törvény és végrehajtási rendeletei megalapozzák az állami és önkormányzati szervezetek információbiztonságát. Két év telt el a jogszabály hatályba lépésétől, jelentős tapasztalat gyűlt össze az információbiztonság fokozására indított projektek végrehajtása során. A tanulmány összesíti a projektek indításakor az állami szervezetekben tapasztalt információbiztonsági állapotokat és a védelmi intézkedések kialakítása során feltárt nehézségeket, kérdéseket és tanulságokat.

**Kulcsszavak:** információbiztonság, jogszabály, biztonság tudatosság

**Abstract:** The Act L of 2013 with its implementing regulations create basis for information security of governmental organizations. Two years past since the entry into force of the act, significant experience gathered through projects started to enforce security in governmental institutions. The study gathers information security status of organizations before entry into force of the act, difficulties, questions and lessons learned during implementation of security measures.

**Keywords:** information security, law, security awareness

### 1. BEVEZETÉS

Az elektronikus ügyintézés elterjedésével, a papírmentes iroda megvalósításával, az e-kormányzat térhódításával egyre több ügyintézési szolgáltatást vehetnek igénybe az állampolgárok. Ugyanakkor az Advanced Persistence Threat (APT) és kiberhadviselés egyre szélesebb körű elterjedésével megnőtt az állami szervezetek által kezelt kritikus információk veszélyeztetettsége. Magyarország kormánya felismerve az információbiztonság fontosságát az 1139/2013. (III. 21.) Korm. határozat keretében megalkotta az ország kiberbiztonsági stratégiáját, amely rögzíti az ország kiberbiztonsági értékrendjét, jövőképét, céljait, azok eléréséhez szükséges feladatokat és eszközöket [1]. Az állami és önkormányzati szervek információbiztonságának megvalósítása érdekében megszületett a 2013. évi L. törvény [2] (a továbbiakban: Ibtv.) és annak végrehajtási rendeletei, amelyek előírják az állami szervezetek informatikai rendszerének biztonsági osztályokba sorolását és kockázatarányos információvédelmi intézkedések megvalósítását. A jogszabály kötelezővé tette az információbiztonság megvalósítását az állami és önkormányzati szférában, megszüntetve azt a gondolkodásmódot, hogy a nem látható fenyegetettség nem létezik.

Az Ibtv. és az információbiztonság megvalósítása szempontjából legfontosabb végrehajtási rendelete, a 77/2013. (XII. 19.) NFM rendelet [3] (a továbbiakban: NFM rendelet) támaszkodik az ISO/IEC 27001 nemzetközi szabványra [4] és követi annak szemléletét. Elektronikus információs rendszerekre a jogszabály öt biztonsági osztályt határoz meg. Ezekbe kell besorolni az informatikai rendszereket az általuk kezelt adatok alapján. A szervezet információbiztonság szintjének megállapításakor jellemzően a legmagasabb biztonsági osztályba sorolt rendszer biztonsági besorolása a mérvadó. A biztonsági besorolás egyfajta kockázatbecslés is egyben, mivel ez adja a kockázatelemzés alapját. Az informatikai



rendszerek NFM rendelet szerinti állapotfelmérése tükrözi a szervezet által jelenleg elért biztonsági osztályt. A besorolásnak megfelelő biztonsági szint eléréséhez a szervezeteknek az aktuális biztonsági szintjükről elindulva biztonsági szintenként 2-2 év áll rendelkezésükre, ez alól kivétel az 1. biztonsági szint elérése, amelyre 1 év áll rendelkezésre, amennyiben egy szervezet nem teljesíti azt. A kormányzat a szervezetek kockázatarányos védelmének megvalósulását a 2020-as évek elejére várja. A szervezeteket érintő további végrehajtási rendeletek a 26/2013. (X. 21.) KIM rendelet [5], amely a biztonsági szerepköröket betöltő személyek oktatását írja elő, valamint a 73/2013. (XII. 4.) NFM rendelet [6], amely a törvény hatálya alá tartozó szervezetek hatósági nyilvántartásba vételét és a biztonsági események jelentésének és közzétételének rendjét szabályozza. A jogszabály további végrehajtási rendeletei a 301/2013. (VII. 29.) Korm. Rendelet [7] és 1491/2013. (VII. 29.) Korm. Határozat [8] a felügyeleti szervek Nemzeti Elektronikus Információbiztonsági Hatóság (NEIH) és az Nemzeti Biztonsági Felügyelet (NBF) kialakítására és feladataira vonatkoznak.

A jogszabálynak megfelelően a szervezetek elkezdték felülvizsgálni és kialakítani az előírt védelmi intézkedéseket. Érdemes visszatekinteni az elmúlt évek során megvalósított projektekre és azok tanulságaira, hogy a céloknak megfelelő keretek között lehessen folytatni az elkezdett munkát.

## 2. NAPJAINK JELLEMZŐ VESZÉLYFORRÁSAI

**A technológia fejlődése:** Az informatika és kommunikáció fejlődésének köszönhetően új távlatok nyíltak a szervezetek előtt. Az új lehetőségek új veszélyforrásokat is jelentenek. Ma már elképzelhetetlen a szervezetek információtechnológia nélküli működése, ami egyre fokozódik. Az új fejlesztések, a termékek gyártók általi egyre gyorsabb piacra dobása egyre több sérülékenységet megjelenését vonja maga után, amelyek folyamatos fenyegetést jelentenek használói számára. A támadók már nem véletlenszerűen támadják a szervezeteket, hanem céltudatosan, információt gyűjtenek, kihasználják a sérülékenységeket és türelmesen kivárik a megfelelő pillanatot. A biztonsági megoldásokat gyártó cégek statisztikái azt mutatják, hogy egyre több sérülékenység lát napvilágot. Ezek gyártók általi javítása sokszor hónapokba telik és az elkészült javításokat telepítés előtt a szervezeteknek tesztelniük kell, hogy meggyőződjenek arról, nem okoz problémát a saját infrastruktúrájuk működésében, mialatt folyamatosan ki vannak téve a sérülékenységek okozta veszélyforrások érvényre jutásának. A régi termékekre egyáltalán nem készülnek biztonsági frissítések, így azok használói fokozott kockázatnak vannak kitéve.

**Szoftverfejlesztés:** A háromrétegű szoftvertechnológiák megjelenése amelyek: adatbázisszerver – alkalmazásszerver – internet böngésző hármásra építenek, lehetővé teszik az alkalmazások internetböngészőn keresztüli használatát kliens szoftverek nélkül. Ezáltal lehetővé válik az adatokhoz való illetéktelen hozzáférés a böngészők sérülékenységeinek kihasználásával. Megjelent a szolgáltatás orientált architektúra, amely elősegítette a régi alkalmazások integrálását és bonyolult pókhálószerű rendszerek kialakítását.

A The Standish Group Chaos Report [9] alapján az informatikai projektek 16%-a sikeres, 53%-a kompromisszumokkal, a határidő és költségkeret túllépésével, valamint kevesebb funkció megvalósításával zárul, 31%-a pedig sikertelen. A szoftverfejlesztési trendeket figyelembe véve az információbiztonság sokdrangú tényező. A projektetek rendszerint alultervezettek költség és határidő terén, a funkciók meghatározásakor a nem funkcionális követelmények maradnak ki.

**Szabályozási környezet:** A szervezetek törekednek információik védelmére, ennek érdekében előírják a titoktartási megállapodások megkötését munkavállalóikkal és partnereikkel. Az állami szervezetek jogszabályokon alapuló szervezeti és működési rend

alapján végzik ügykezelési munkájukat, amelyek betartásának vizsgálatáról a belső ellenőrzés munkatársai gondoskodnak. Mivel az informatikai üzemeltetés közvetlenül nem része az ügyvitelnek, előfordul, hogy az üzemeltetés megszokáson alapul, reaktív módon, erőforrás hiányában tűzoltásszerűen működik. A szabályozási környezethez köthető veszélyforrások:

- az információbiztonsági szabályzatok és eljárásrendek nincsenek összhangban a szervezet tevékenységeivel;
- hiányoznak létfontosságú, jogszabályok által előírt szabályzatok és eljárásrendek;
- nincs dokumentálva a szabályzatok közötti összefüggésrendszer;
- túlszabályozás: a szabályzatok betartása akadályozza a munkavégzést;
- a szabályzatok követelmények helyett hosszú betarthatatlan leírásokat tartalmaznak;
- nincsenek információbiztonsági besorolási szabályok;
- beszerzési szabályok információbiztonsági hiányosságai.

**Humán erőforrás:** Az információk kezelése, feldolgozása és tárolása szorosan kapcsolódik a szervezetek munkafolyamataihoz és azok végrehajtóihoz, gyakorlatilag szinte minden dolgozót és partnert érint valamilyen szinten. Az adatokkal dolgozó személyzetnek tudatában kell lennie, hogy mely adatokhoz ki férhet hozzá, ez segít az információk bizalmosságának megőrzésében. Az illetéktelen hozzáférés, módosítás és rombolás megakadályozásához ennél többre, felhasználói biztonságtudatosságra és a munkatársak lojalitásának biztosítására is szükség van. A biztonságtudatosságot általános és vezetői szempontból kell megközelíteni. A vezetői biztonságtudatosság hiánya biztonsági funkciók kiépítésének elmaradásához vezethet, ami az egész szervezetre direkt módon hat és magas kockázatot jelent. Az általános felhasználói biztonságtudatosság körébe tartozó jelentősebb veszélyforrások: jelszavak kiszivárgása, jóhiszemű segítségnyújtás illetéktelen személyeknek, eszközök fizikai védelmének hiánya, irodai asztalon vagy képernyőn látható információk, illegális vagy feltört szoftverek telepítése, elektronikus levelezés és internethasználat szabályainak figyelmen kívül hagyása. A véltlen károkozásokon túl előfordulhatnak szándékos károkozások is, például: alulfizetett munkatársak adatokat értékesítenek, kártékony kódok telepítése, amelyek adatszivárgást tesznek lehetővé vagy rombolást végeznek.

**Rendszerek üzemeltetése:** Az informatikai rendszerek üzemeltetése azok beszerzésével és üzembe helyezésével kezdődik. A beszerzési szabályok információbiztonsági előírásainak hiányosságai fokozott veszélyforrást jelentenek, ugyanis itt jelennek meg először a biztonsági tényezők. Az üzemeltetésnek biztosítani kell az adatok bizalmosságát, sértetlenségét és rendelkezésre állását.

Az informatikai rendszerek üzemeltetésében fontos szerepet játszanak a karbantartási feladatok, a rendszerfelügyelet és hibajavások telepítése. Ezek elmaradása kiemelt kockázatot jelent a rendszerek rendelkezésre állásának biztosítására nézve. Rendszerfelügyeleti megoldások üzemeltetésének hiánya, amelyek folyamatosan követik az erőforrások kihasználtságát és működőképességét, nem várt leállásokhoz, túlterhelésekhez és ennek következtében lassulásokhoz vezethetnek. Egy másik kiemelt kockázat az előregedett rendszerek üzemeltetése, ez az információbiztonság mindhárom alappilléret érinti.

A bizalmosság megőrzése szempontjából a biztonsági javítások és rendszerfrissítések rendszeres ellenőrzése, beszerzése, tesztelése és telepítése jelenti a legnagyobb kockázatot, de veszélyt jelentenek a partnerek karbantartást végző felügyelet nélkül hagyott munkatársai; a rendszerek gyenge pontjainak azonosítására indított sérülékenység vizsgálatok elmaradása.

### 3. INFORMÁCIÓBIZTONSÁGI HIÁNYOSSÁGOK ÁLLAMI SZERVEZETKBEN

Az állami szervezetek szabályozott módon működnek, szabályzataik a működésüket előíró jogszabályokra épülnek. Ez jó alapot teremt az információbiztonság kialakítására. Állami

szervezetekre jellemző vonás, hogy az Ibtv. megjelenését megelőzően csak az informatikai biztonsági és jogosultság kezelési szabályzatokkal rendelkeztek. Ezek sok esetben nem vették figyelembe a szervezet sajátosságait vagy nem követték annak átalakulását, így elavultakká és végrehajthatatlanokká váltak. A beszerzési és szerződéskötési eljárásrendek nem tartalmaztak információbiztonsági követelményeket vagy hiányosak voltak.

Egyes szervezetek a mai napig az informatikai szervezet feladatának tartják az információbiztonság kialakítását és fenntartását, így nem teljesül az informatikától való függetlenség elve. Előfordul, hogy a szervezetet vezető személy biztonságtudatosságának hiányossága miatt az információbiztonsági szervezet alulméretezett és nem képes ellátni feladatait: elmaradnak biztonsági beruházások és biztonsági ellenőrzések.

Állami szervezetekben a mobilitást a notebookok használata, távoli eléréssel végzett munka jellemzi. A vezetők körében egyre jobban terjed az iPad- és tablet használat is. Az eszközök titkosításáról sok esetben megfelelnek. A legnagyobb kihívást az eszközök fizikai biztonságának megőrzése jelenti.

Azokban a szervezetekben, amelyekben fejlesztés is zajlik, előfordul, hogy nem rendelkeznek fejlesztési szabályzattal, vagy nem tudtak annak létezéséről. A fejlesztések tervezése során elsődleges szempont a költségek minimalizálása és a funkciók mennyiségének maximalizálása. A pályázati pénzből megvalósított projektek esetében jellemző a közbeszerzés elhúzódása miatti késői kezdés, a források lehívásának határideje miatt rövid a határidő. A biztonsági funkciók tervezése és kivitelezése háttérbe szorul, a tesztek felületesek vagy részlegesek, az elkészült megoldás az üzemeltetés első szakaszában tele van hibákkal.

Folyamatos kockázatot jelent az informatikai üzemeltetés tűzoltásként való működtetése, ami részben a szabályozás hiányosságaira és részben pedig az alulfinanszírozottságra vezethető vissza. A szállított rendszerek dokumentációi hiányosak, nem tartalmazzák a rendszeres karbantartási és üzemeltetési feladatokat. A szervezetek nincsenek vagy csak részben vannak felkészülve a katasztrófák kezelésére. Adataikról és rendszereikről rendelkeznek rendszeres mentéssel, de nem megfelelő azok tárolásának módja, és nem végeznek rendszeresen helyreállítási tesztet. Nincs részletes leírásuk a rendszerek és adatok helyreállításának folyamatáról, működésfolytonossági tervük elavult.

#### 4. AZ INFORMÁCIÓBIZTONSÁG FEJLESZTÉSE

Az állami szervezetek információbiztonságának fejlesztését az Ibtv. írja elő. A jogszabály kötelezi az állami szervezeteket, hogy rendszereiket biztonsági osztályokba sorolják, mérjék fel az aktuális információbiztonsági állapotukat és készítsenek cselekvési tervet az előírt biztonsági osztály védelmi intézkedéseinek megvalósítására. Az előírt védelmi intézkedések között megtaláljuk a biztonságtervezési folyamat létrehozását, naprakészen tartását.

Az információbiztonság céljának meghatározása és megvalósításához szükséges eszközkészlet függ a szervezet méretétől [10], tevékenységétől, a feldolgozott adatok mennyiségétől, az alkalmazott információfeldolgozási és tárolási technológiáktól.

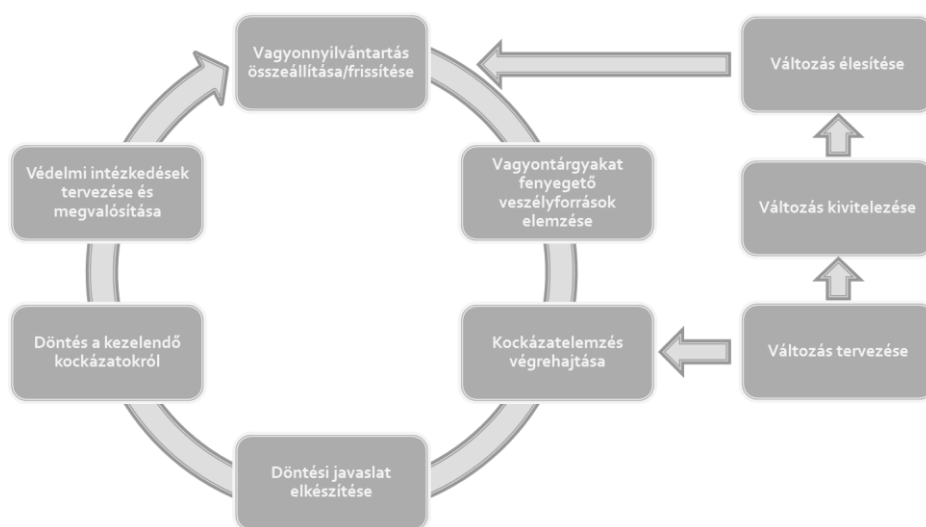
Az információbiztonság kiépítésének illeszkednie kell a szervezet működéséhez, amelynek változása informatikai változásokat von maga után. Ennek következtében az információbiztonság kialakítása, fenntartása érdekében két egymást kiegészítő folyamatra van szükség: egy ismétlődő ciklikus folyamat és egy változáskövető folyamat.

A ciklikus folyamat biztosítja a teljes biztonsági rendszer kiépítését és rendszeres ellenőrzését. Ezt a szervezetnek rendszeres időközönként – általában 1 évente - végre kell hajtania. Ez biztosítja, hogy a szervezet teljes informatikai vagyonának átfogó kockázatarányos védelme megvalósuljon. A folyamat első végrehajtása során ki kell alakítani

és be kell vezetni az információbiztonsági irányítási rendszert (a továbbiakban: IBIR). Ez az Ibtv. által előírt, hierarchiába szervezett szabályzat- és eljárásrend-halmaz a köztük lévő összefüggések meghatározásával. A folyamat további végrehajtásai során a szabályzatok és eljárásrendek felülvizsgálatát és frissítését kell elvégezni.

A változáskövető folyamat biztosítja az információbiztonság folyamatos fenntartását. Lényege, hogy a tervezett változások esetén elvégezze azok kockázatelemzését és még a változások élesítése előtt megtörténjen a biztonság fenntartásához szükséges kockázatarányos védelmi intézkedések megvalósítása. Nagy szervezetek esetében fontos a visszacsatolás, a változások átvezetése az informatikai vagyonyilvántartáson, mivel jelentős méretű informatikai vagyonnal rendelkeznek, amelynek rendszeres felmérése, ellenőrzése és frissítése sok energiát igényel.

A két folyamat összekapcsolódását az 1. ábra mutatja be.



1. ábra Az információbiztonság fejlesztési folyamatai

## 5. ÖSSZEGZÉS

Az információbiztonság kialakítása komplex feladat, amely érinti a szervezet informatikai és ügyviteli folyamatait. A tervezés során figyelembe kell venni a szervezet méretét, adatait, informatikai infrastruktúráját, informatikai kultúráját, és rendelkezésre álló erőforrásait. A sikerhez elengedhetetlen a munkatársak és együttműködő partnerek biztonság tudatosság képzése, mivel az ember a leggyengébb láncszem. Az Ibtv. által előírt irányítási rendszer kialakítása során kiemelt figyelmet kell fordítani a szabályzatok és eljárásrendek összefüggéseinek tisztázására, hatókörének meghatározására. Az elkészített szabályzatoknak és eljárásrendeknek végrehajthatóknak kell lenniük, támogatniuk kell a szervezet ügyviteli munkafolyamatait és nem akadályozzák a napi munkavégzést. Az IT működését támogató ITIL vagy ISO/IEC 20000 alapú folyamatok, szabályzatok és eljárásrendek információbiztonsági előírásokkal való kiegészítése hozzájárul a szervezet kockázatarányos védelmének kialakításához.

Az Ibtv. szerinti felmérések és védelmi intézkedési tervek kialakítása során a teljesség igénye nélkül, a következő nehézségek és kockázatok jelentkeztek:

- biztonság tudatosság hiánya;

- nem megfelelő informatikai biztonsági szervezet kialakítás;
- információbiztonsági szakemberek felkészültségének hiányosságai;
- jogszabályi követelmények értelmezésének problémái;
- jogszabály félreértelmezése;
- védelmi intézkedés hiányosság lista cselekvési tervként való értelmezése;
- a szervezet nem kíván részt venni az IBIR kialakításában.

A cselekvési tervek összeállításánál felmerült kérdések:

- Hogyan biztosítja a szervezet a jól képzett informatikai és információbiztonsági szakemberek megtartását, ha piaci körülmények között sokkal többet kereshetnek?
- Szükséges 5-6 évre előre részletes projekttervet készíteni a cselekvési tervben szereplő feladatok bekerülési költségének meghatározásával?
- Elégséges, ha az új informatikai rendszerek bevezetésekor csak a szervezet aktuális biztonsági szintjének felelnek meg?
- Milyen szinten kell foglalkozni azon elavult rendszerek biztonságának fejlesztésével, amelyek kivételése 2-3 éven belül tervezett.

A szervezetek törekednek a jogszabály betartására, elvégzik, az információbiztonság irányítási rendszer kialakítását és bevezetését, de nem látják biztosítottnak a 4. és 5. biztonsági szintek megvalósításához szükséges pénzügyi források rendelkezésre állását.

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 1139/2013. (III. 21.) Korm. határozat Magyarország Nemzeti Kiberbiztonsági Stratégiájáról, Magyar közlöny, 2013. évi 47. sz. p. 6338-6341.
- [2] 2013. évi L. törvény az állami és önkormányzati szervek elektronikus információbiztonságáról, Magyar közlöny 2013. évi 68. sz. pp. 50241-50255.
- [3] 77/2013. (XII. 19.) NFM rendelet az állami és önkormányzati szervek elektronikus információbiztonságáról szóló 2013. évi L. törvényben meghatározott technológiai biztonsági, valamint biztonságos információs eszközökre, termékekre vonatkozó, valamint a biztonsági osztályba és biztonsági szintbe sorolási követelményeiről, Magyar közlöny 2013. évi 214. sz. pp. 85387-85472.
- [4] MSZ ISO/IEC 27001:2006; Informatika. Biztonságtechnika. Az információbiztonság irányítás rendszerei. Követelmények
- [5] 26/2013. (X. 21.) KIM rendelet Az állami és önkormányzati szervek elektronikus információbiztonságáról szóló törvényben meghatározott vezetői és az elektronikus információs rendszer biztonságáért felelős személyek képzésének és továbbképzésének tartalmáról, Magyar közlöny, 2013. évi 173. sz. p. 74208-74211.
- [6] 73/2013. (XII. 4.) NFM rendelet Az elektronikus információbiztonságról szóló törvény hatálya alá tartozó egyes szervezetek hatósági nyilvántartásba vételének, a biztonsági események jelentésének és közzétételének rendjéről, Magyar közlöny, 2013. évi 201. sz. pp. 84024-84026.
- [7] 301/2013. (VII. 29.) Korm. Rendelet A Nemzeti Elektronikus Információbiztonsági Hatóság és az információbiztonsági felügyelő feladat- és hatásköréről, valamint a Nemzeti Biztonsági Felügyelet szakhatósági eljárásáról, Magyar Közlöny 2013. 129. sz. p. 65020-65028.
- [8] 1491/2013. (VII. 29.) Korm. határozat A Nemzeti Elektronikus Információbiztonsági Hatóság és a Nemzeti Biztonsági Felügyelet, mint szakhatóság kialakításához szükséges személyi és tárgyi feltételek biztosításáról, Magyar közlöny, 2013. évi 129. sz. pp. 65157.
- [9] **The Standish Group**, Chaos Report, Project Smart, 2014, p3.  
<http://www.projectsmart.co.uk/docs/chaos-report.pdf> (letöltés dátuma 2015.03.02)
- [10] **Anas T., Jeremy H., Stephen M.**, Managing Information Security in Small and Medium Sized Enterprises: A Holistic Approach, ISSE Conference, 2007,  
<http://www.tawileh.net/anas//files/downloads/papers/InfoSec-SME-ISSE.pdf?download> (letöltés ideje: 2014.12.07)

## DÖRZSBOLYGÓMŰ HAJLÉKONY ELEMEINEK SZILÁRDSÁGI SZÁMÍTÁSA

### STRESS CALCULATION OF THE FLEXIBLE ELEMENTS OF AN EPICYCLIC TRACTION DRIVE

Németh Géza

Németh Nándor

Péter József

adjunktus  
Miskolci Egyetem  
Gép- és Terméktervezési Intézet  
machng@uni-miskolc.hu

okl. programtervező informatikus  
Graphisoft SE  
nem.nandor@gmail.com

egyetemi docens  
Miskolci Egyetem  
Gép- és Terméktervezési Intézet  
machpj@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** A szerzők bemutatnak egy kevésbé ismert, de régóta használt gördülőcsapágy típust, annak rugógyűrűs változatát, majd a bolygómozgás és a csavarrugó elemek társításával származtatják a vizsgálatuk tárgyát képező dörzsbolygómű változatot, nevezetesen a csavarrugós napkerekest. Felírják a szokatlan terhelésű csavarrugó igénybevételeit, az igénybevételek közül kiválasztják a mértékadót, majd elvégzik a szilárdsági számításokat. Számításokkal bizonyítják a működőképességet, a terheléssel arányos összeszorító erő létrejöttét. Számítják a megcsúszás elleni és a túlterhelés elleni biztonsági tényezőkhöz igazodó napkerék jellemzőket.

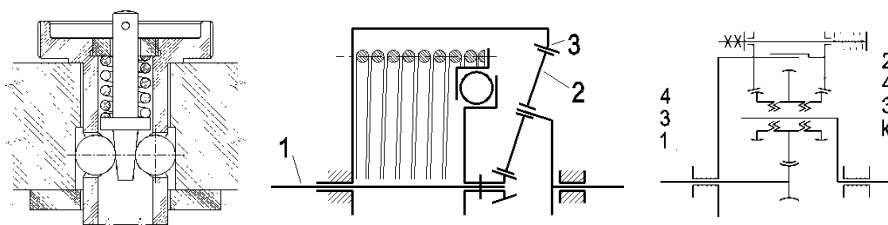
**Kulcsszavak:** dörzsbolygómű, forgató csavarrugó, alakváltozási energia, szabadonfutó, nyomatékatárolás

**Abstract:** The authors reveal an old, but rarely used roller bearing inventions, namely the helical spring bearing, and derive an epicyclic drive where at least one of the rolling wheel (sun, planet or the annular wheel) is a helical torsion spring having rectangular cross-section. The type of stresses of the unusually loaded spring are considered and the decisive one is selected due to the influence on the strain energy. They prove the operability of the drive and proportionality of the contact force to the external loads. The factors of safety against slippage and overloading are also calculated, or due to predetermined factors the ranges of geometry is suggested.

**Keywords:** epicyclic traction drive, helical torsion spring, strain energy, free running clutch, torque limiting

## 1. TECHNIKATÖRTÉNETI BEVEZETŐ

Minden súrlódó hajtás működésének előfeltétele a megfelelő előfeszítő vagy összeszorító erő megléte. A hajtások egy részénél ez az erő a terheléstől függetlenül állandó, másoknál a jobb hatásfok érdekében változó. Dörzsbolygóművek összeszorító ereje kinematikai hajtásokban általában állandó, teljesítményhajtásokban pedig változó. Az 1. ábra harmadik vázolata példázza a terheléssel arányos összeszorító erőt [3], az első kettő nem.

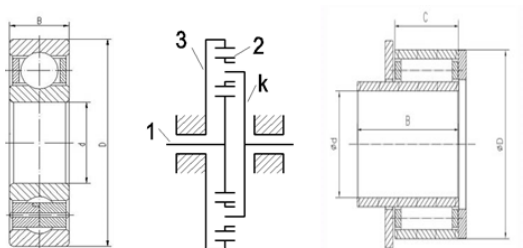


1. ábra Beállító hajtás, miniatűr hajtás [2] és teljesítményhajtás [3]

A példákban az alapelemek és a bolygókerek merevek, csak az összeszorító erőt létrehozó, elemek (rugók) hajlékonyak. Léteznek megoldások, ahol egy alapelem hajlékony

[4], vagy a bolygókerék ékhatás következtében befeszül [5], és nincs szükség előfeszítő mechanizmusra.

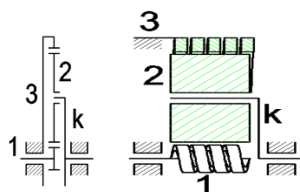
A 2. ábra golyóscsapágyának egyik mozgásállapotában a külső gyűrű áll, és a belső gyűrű forog. A golyók bolygómozgást végeznek, a rendezettségüket fenntartó kosár tengelyhez kapcsolható. Ezáltal egy kb (külső-belső) típusú dörzsbolygóművet kapunk, melynek 1 jelű nap-, 2 jelű bolygó- és 3 jelű a gyűrűkeréke, k a karja. Rugógyűrűs csapágyat is mutat a 2. ábra.



2. ábra Golyóscsapágy, kb típusú bolygómű és rugógyűrűs görgőscsapágy

## 2. A HAJLÉKONY KÖZPONTI KERÉKEK KIALAKÍTÁSA

A 2. ábra ötlete szerint hajlékony elemes dörzsbolygóművet származtathatunk, a 3. ábrának megfelelően. Ez is kb típusú, ahol a napkerék és a gyűrűkerék egy-egy forgató csavarrugó.



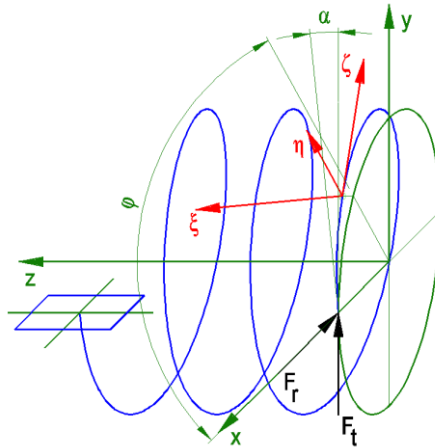
3. ábra Hajlékony elemes dörzsbolygómű [1]

Csavarrugók statikai és dinamikai méretezését sokan elvégezték, számos modellt találhatunk az irodalomban [6], de a 3. ábrabeli hajtásban várható terhelési esetre ezek egyike sem hasonlít.

## 3. A HAJLÉKONY NAPKERÉK TERHELÉSE ÉS MÉRETEZÉSE

A napkerék terhelése szokásos.  $N$  számú bolygókerékről hatnak erők, melyeket sugárirányú és érintőirányú összetevőkre bonthatunk. Egyik végén a napkerék a  $T$  hajtónyomatékot is kapja. Ha a 3. ábra kisebb csavarrugóját szemléljük, mely négyszögszelvényű ( $b \times h$  méretű,  $b > h$ ), menetszáma  $z$ , látjuk, hogy  $S \approx z \cdot N + 1$  helyen kapcsolódik a bolygókerékkel, és terhelése  $S$  számú helyen egy-egy sugár- és érintőirányú erőösszetevő.

### 3.1. A csavarrugó igénybevételei



4. ábra Csavarvonal az 1-es  $xyz$  (világ) és a 2-es  $\xi\eta\zeta$  (helyi) koordináta rendszerekkel

Ismerjük tehát a csavarrugó külső terhelését. Csavarvonal alakú rúdként modellezhetjük. Ha a térgörbe rúd egyik végét befalazzuk, a másik, szabad végét pedig a 4. ábra szerint egy-egy  $F_r$  és  $F_t$  erővel terheljük, akkor az ívhossz mentén bárhol számíthatjuk az igénybevételeket.

Helyezzük az  $r$  sugarú és  $c$  paraméterű csavarvonalat egy jobbsodrású  $xyz$  derékszögű koordináta rendszerbe, szabad végén lévő alapkörének középpontja kerüljön az origóba. Legyen  $z$  a csavarvonal tengelye,  $x$  vízszintes,  $y$  pedig függőleges helyzetű. A csavarvonal  $s = r \cdot \varphi$  ívkoordinátáját is a szabad végtől indítjuk, az  $\alpha$  emelkedési szögének tangense  $c/r$ . Vegyünk fel a csavarvonal mentén egy ugyancsak jobbsodrású és derékszögű  $\xi\eta\zeta$  helyi koordináta rendszert, melynek  $\eta$  koordinátája sugárirányban kifelé mutat,  $\zeta$  érintő irányban, az  $s$  ívkoordináta irányával megegyezően,  $\xi$  pedig ezekre merőlegesen, a 4. ábrán látható módon.

A helyi koordináták irányába mutatnak a kísérő háromél egységvektorai, ezek  $x, y, z$  irányú összetevőit a csavarvonal egyenletének ismeretében számolhatjuk.

Legyen 1-es jelű az  $xyz$  (világ) és 2-es jelű a  $\xi\eta\zeta$  (helyi) koordináta rendszer. A csavarvonalnak a  $\varphi$  koordinátához tartozó pontjai,  $\zeta$  (érintő) irányú,  $\eta$  irányú és  $\xi$  irányú egységvektorai az 1-es rendszerben

$$\underline{P}(\varphi) = r \cdot \begin{bmatrix} \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \\ \operatorname{tg}(\alpha)\varphi \end{bmatrix}, \quad \frac{\underline{P}'(\varphi)}{|\underline{P}'(\varphi)|} = \begin{bmatrix} -\cos(\alpha)\sin(\varphi) \\ \cos(\alpha)\cos(\varphi) \\ \sin(\alpha) \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \\ 0 \end{bmatrix} \text{ és } \begin{bmatrix} \sin(\alpha)\sin(\varphi) \\ -\sin(\alpha)\cos(\varphi) \\ \cos(\alpha) \end{bmatrix}.$$

A két rendszer közötti kapcsolatot az egységvektorokból képzett

$$\underline{\underline{B}} = \begin{bmatrix} \sin(\alpha)\sin(\varphi) & -\sin(\alpha)\cos(\varphi) & \cos(\alpha) \\ \cos(\varphi) & \sin(\varphi) & 0 \\ -\cos(\alpha)\sin(\varphi) & \cos(\alpha)\cos(\varphi) & \sin(\alpha) \end{bmatrix} \quad (1)$$

mátrix teremti meg. A  $\varphi$  koordinátájú pontba helyezett külső terhelések redukált vektorkettőse



$$\underline{F}^{(1)}(\varphi) = \begin{bmatrix} -F_r \\ F_a \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \underline{M}^{(1)}(\varphi) = r \cdot \begin{bmatrix} \operatorname{tg}(\alpha)\varphi F_a \\ \operatorname{tg}(\alpha)\varphi F_r \\ [1 - \cos(\varphi)]F_a - \sin(\varphi)F_r \end{bmatrix}, \quad (2)$$

melyből

$$\begin{bmatrix} \underline{F}^{(2)} \\ \underline{M}^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{B} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{B} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{F}^{(1)} \\ \underline{M}^{(1)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

szerint számítjuk

$$\begin{aligned} V_1(\varphi) &= -\sin(\alpha)\sin(\varphi)F_r - \sin(\alpha)\cos(\varphi)F_t \\ V_2(\varphi) &= -\cos(\varphi)F_r + \sin(\varphi)F_t \\ N(\varphi) &= \cos(\alpha)\sin(\varphi)F_r + \cos(\alpha)\cos(\varphi)F_t \\ M_1(\varphi) &= r \frac{\sin^2(\alpha)}{\cos(\alpha)} \sin(\varphi)\varphi F_t - r \frac{\sin^2(\alpha)}{\cos(\alpha)} \cos(\varphi)\varphi F_r \\ &\quad + r \cdot \cos(\alpha)(1 - \cos(\varphi))F_t - r \cdot \cos(\alpha)\sin(\varphi)F_r \\ M_2(\varphi) &= r \cdot \operatorname{tg}(\alpha)\cos(\varphi)\varphi F_t + r \cdot \operatorname{tg}(\alpha)\sin(\varphi)\varphi F_r \\ T(\varphi) &= -r \cdot \sin(\alpha)\sin(\varphi)\varphi F_r + r \cdot \sin(\alpha)\cos(\varphi)\varphi F_t \end{aligned} \quad (4)$$

igénybevételeket, a  $\xi$  illetve  $\eta$  irányú nyíróerőt, a normálerőt, a  $\xi$  illetve  $\eta$  tengelyek körüli hajlítónyomatékokat, végül a csavarónyomatékokat.

Az igénybevételek egy része jelentéktelen. Tekintsünk egy  $r = 10\text{mm}$  közepes sugarú,  $\pi/2$  ívterjedelmű,  $d = 2\text{mm}$  átmérőjű,  $c = 1\text{mm}$  paraméterű ( $P = 6,28\text{mm}$  emelkedésű,  $\alpha = 5,75^\circ$  emelkedési szögű), egyik végén befalazott, másik végén  $F_r$  és  $F_t = \mu_0 \cdot F_r$  erőkkel terhelt csavarvonal alakú, rugóacél anyagú prizmatikus rudat.  $\mu_0 = 0,08$  tapadási tényező és a megengedett feszültséget létrehozó erők esetén a (4) igénybevételi függvényekkel számolt teljes alakváltozási energiából az  $M_1(\varphi) \approx -r \cdot \cos(\alpha)\sin(\varphi)F_r$  igénybevételi rész részesedése 98,5%,  $d = 4\text{mm}$  esetén 96,5%, és  $d = 6\text{mm}$  keresztmetszetnél 93,8%. Az arányok a  $b = 5\text{mm}$  és  $h = 1\text{mm}$  keresztmetszeteseten is hasonló, tehát elegendő az első keresztmetszeti főtengely, a  $\xi$  körüli hajlításból származó idénybevétel figyelembevétele, azaz

$$M_1(\varphi) \approx -r \cdot \cos(\alpha)\sin(\varphi)F_r. \quad (5)$$

### 3.2. A csavarrugó modellezése

A napkerék egy kis emelkedési szögű csavarrugó, mely terhelését a bolygókerekekről és a bemenő tengelyről kapja. A  $z$  menetszámú forgatórugó  $N$  számú bolygókerékkel  $S = z \cdot N + 1$  helyen érintkezik. A rugó szelvényeinek sugár irányú elmozdulása minden érintkezésben azonos lehet, az  $S$ -szeresen statikailag határozatlan, téglalap keresztmetszetű térgörbe rúdon.

A modellezés lépései:

1. Külső pozitív  $c_1 T_{max}$  nyomatékkal terheljük az  $r + \Delta r$  középsugarú csavarrugót.
2. Behelyezzük az  $N$  számú, mereven egy karba csapágyazott bolygókerék közé,
3. Megszüntetjük a külső nyomatékokat. Az előterhelt  $r$  középsugarú rugó (napkerék) és a bolygókerekek között a rugó előfeszítés mértékétől ( $c_1$ ) függő összeszorító erő alakul ki. A rugó  $S=zN+1$  helyen érintkezik a bolygókerekkel, számítjuk a támaszerőket.

4. Külső negatív  $c_2 T_{max}$  nyomatékkal terheljük a csavarrugót, és megvizsgáljuk a megcsúszási biztonság alakulását a  $d/D$  ( $h/D$  téglalap szelvénynél), a  $c_1$  előfeszítés mértéke, a  $\mu_0$  tapadási tényező és  $z$  menetszám függvényében.

Olyan napkereket tervezzünk, mely

- túlterhelés esetén sem törik össze (pl.  $c_2=1,5$  azt jelenti, hogy a névleges nyomaték 50%-os túllépése esetén megcsúszik a napkerék a bolygókerekeken).
- a működőképességhez elegendő egy kismértékű (pl. 10%-os) előfeszítés,
- a felületeket összeszorító erő igény szerint, a terheléssel arányosan változik
- egyirányú nyomatékátadásra képes,
- szabadonfutóként is működhet.

Tekintsünk egy téglalap keresztmetszetű rugóacél huzalból tekercselt  $z$  menetszámú forgatórugót. Külső csavarónyomaték hatására az igénybevétele hajlítás, az alakváltozása pedig a végek elfordulásában és az átmérő csökkenésében nyilvánul meg. Ez utóbbi, másodlagos alakváltozás számunkra különösen érdekes. A szögelfordulás és sugárcsökkenés

$$\Delta\varphi = \frac{c_1 T_{max}}{IE} 2\pi r \qquad \Delta r = \frac{c_1 T_{max} r}{IE - c_1 T_{max} r} r \qquad (6)$$

Adatok és eredmények:  $\sigma_{meg} = 800MPa$ ,  $r = 10mm$ ,  $b = 5mm$ ,  $h = 1mm$ ,  
 $T_{max} = 667Nmm$ ,  $\Delta r = 0,825mm$ .

A bolygókerekek közé helyezést követően a támasztó erőrendszer

$$IE \frac{IE}{r^3} \underline{q} - \frac{c_2 T_{max}}{r} \underline{I} = \underline{A} \cdot \underline{Q} \qquad (7)$$

összefüggésből, a külső nyomaték megszüntetése után pedig

$$\underline{Q} = \frac{IE}{r^3} c_1 \cdot q_{max} \cdot \underline{A}^{-1} \cdot \underline{I}$$

szerint számítható, ahol  $\underline{Q}$  vektor tartalmazza az  $S$  helyen kialakuló sugárirányú támasztóerőket,  $\underline{A}$  átviteli mátrix tartalmazza a statikailag határozatlan görbe rúd számítása során szükséges Mohr-féle integrálokat (négyzetes, szimmetrikus és a statikai határozatlanság fokának ( $S$ ) megfelelő méretű),  $\underline{I}$  egy  $S$  méretű, kizárólag 1-es értékeket tartalmazó vektor,  $q_{max}$  a  $\sigma_{max} = \sigma_{meg}$  feszültséghez tartozó legnagyobb sugár irányú alakváltozás.

Adatok és eredmények:  $z=3$ ,  $N=4$ ,  $S=zN+1=13$ ,  $c_1=1$  esetén

$$\underline{Q}^T = [61; 39; 106; 82; 91; 88; 89; 88; 91; 82; 106; 39; 61] N. \qquad (8)$$

Üzemi névleges (negatív) nyomatékterhelés hatását a (7) összefüggésből kiindulva vizsgáljuk, illetve a Coulomb-féle súrlódási törvényt is figyelembe vesszük.

$$\begin{aligned} \underline{I}^T \cdot \underline{Q} &= \left( \frac{IE}{r^3} c_1 \cdot q_{max} - \frac{c_2 T_{max}}{r} \right) \cdot \underline{I}^T \cdot \underline{A}^{-1} \cdot \underline{I} , \\ \mu_0 \cdot \underline{I}^T \cdot \underline{Q} &\geq c_2 T_{max} . \end{aligned} \quad (9)$$

A támasztóerő rendszert a nyomatékterhelés befolyásolja, és ez a külső terhelés nem lehet nagyobb, mint a hajtás nyomaték átvivő képessége.  $\mu_0$ ,  $\frac{c_1}{c_2}$  és  $\frac{h}{2r}$  ismeretében a biztonságos nyomatékátvitelhez szükséges kapcsolódó menetszám,  $z$  a

$$\underline{I}^T \cdot \underline{A}^{-1} \cdot \underline{I} \geq \frac{1}{\left(1 + \frac{h}{2r}\right)} \cdot \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{1}{1 + \frac{c_1}{c_2}} , \quad (10)$$

összefüggéssel számítható, az inverz átviteli mátrix és  $z$  közötti egyértelmű kapcsolat miatt.

Adatok és eredmények:  $\mu_0 = 0,08$ ,  $\frac{h}{2r} = 0,1$  ( $h=2\text{mm} \Rightarrow T_{max} = 2667\text{Nmm}$ ),  $\frac{c_1}{c_2} = 0,1$  ( $c_2 = 1,3$ ;  $c_1 = 0,13$ ),  $\underline{I}^T \cdot \underline{A}^{-1} \cdot \underline{I} = 10,33$ ,  $z=2$  ( $S=9$ ).

A tapadási tényező értékének, vagy a vele kapcsolatos jellemzőknek a beállítása egyaránt biztosítja a megfelelő nyomatékátvitelt és a hajtás védelmét szolgáló nyomatékhatárolást is.

### 3.3. A modell és a kialakítás eltérése

Modellezéshez S-szeresen statikailag határozatlan, egyik végén mereven megfogott térgörbe rudat használtunk. A megvalósítandó változatban azonban egy sugárirányban kiegyenlítő tengelykapcsolón keresztül képzeljük a hajtást, a terhelés kiegyenlítés és a terhelések szimmetriája érdekében. Az ellentmondást azáltal igyekeztünk feloldani, hogy a modellben a befalazási pontot elegendően távolra helyeztük, a peremzavarások kizárása érdekében, és ezáltal sikerült megvalósítani a (8) vektorban láthatóan a szimmetriát, és a viszonylag egyenletes támasztóerő eloszlást.

### 3.4. Kialakítási szempontok

A külső nyomatékterhelés hatására a rugó hossz menti terhelés-szimmetriája természetesen elromlik, az egyenszilárdságú alakra [7] cikkünkben már tettünk javaslatot, amint a lehetséges gyártástechnológiákra, többek között [8] írásunkban is. Fontos különbséget tenni a kinematikai és a teljesítményhajtások között, hiszen ezek megszabják a felhasználható anyagok körét, az elemek támasztását és kenését is. Kérdés, hogy mely elemek készüljenek csavarrugóból és mely elemek sugárirányú beállításáról kell gondoskodnunk. Nagysebességű hajtáshoz az álló gyűrűkerék csavarrugó megoldása jelentheti a megoldást, az egyidejűleg merev nap- és bolygókerék pedig a nagyobb terhelhetőségét.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Dörzsbolygóművek területén egy újszerű megoldással, a dörzskerekek rugalmas kialakításával biztosítjuk a működéshez szükséges, terheléssel arányos összeszorító erőt. Megvalósítottuk a funkció összevonás elvét, melytől a feladatát ellátó hajtómű fontos jellemzőinek (egyszerűség, szerelhetőség, megbízhatóság) javulását várjuk. A hajtás csak egyirányú nyomatékátvitelre képes. Felvetettük kiegészítő feladatok ellátásának lehetőségét is, mint a szabadonfutó és a nyomatékhatároló képesség. Elkészítettük a bolygóműbe épített csavarrugó mechanikai modelljét. Javaslatot tettünk a megcsúszás elleni biztonság és a nyomatékhatárolás számításal történő kezelésére. Kialakítási javaslatot tettünk a nagyobb

nyomatékú és a nagyobb sebességű alkalmazások érdekében. A soron következő feladatok egyike a hajtás dinamikai vizsgálata.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

„A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0002 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.”

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **NÉMETH G., PÉTER J., DÖBRÖCZÖNI Á.,** *Csavarrugó alkalmazása dörzsolygóműben*, OGÉT 2012 Konferencia Kiadványa, Kolozsvár, 2012, pp.327-330, ISSN 2068-1267.
- [2] **HORVATH, E.,** Planetary friction drive, US Patent No. 5046996 A, 1991.
- [3] **DEYUAN, Y., JINGJING G., XIAOHONG Z.,** *New Symmetrically Loading Epicyclic Traction Drive Reducer (in Chinese)*. Journal of Beijing University of Astronautics, 1999. Vol. 25 Issue 2 pp.229–231.
- [4] **HAGG, F., VAN BRINK, K. J.,** *Mini friction drive*, European Space Agency Publications, 1999, ESA SP, 438, pp.155-158.
- [5] **NASVYTIS, A.L.,** *Double Toggle Action Planetary Friction Drive*, US Patent No. 3367214
- [6] **ARNOLD M. A. VAN DER HEIJDEN** (ed), *W. T. Koiter's Elastic Stability of Solids and Structures* (3.8 Helical spring with a small pitch pp101-102), Cambridge University Press, Cambridge, 2009, ISBN-13 978-0-511-43674-1, p230.
- [7] **NÉMETH G., PÉTER J. , DÖBRÖCZÖNI Á., NÉMETH N.,** *Forgatórugó fejlesztése dörzsolygóműhöz*, GÉP LXIII:(12) pp. 85-88. (2012)
- [8] **NÉMETH G.,** *Possible Materials and Production Technologies for a Special Purpose Helical Torsion Spring*, Annalecta Technica Szegediensia, Vol. 8, No. 2, pp. 66-71, 2014, ISSN 2064-7964.

# A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL I. RÉSZ. A TŰZ ÉS ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS A TÜZET KÖVETŐEN

## THE FIRE ON THE KÖRÖND BY THE EYES OF AN ENGINEER PART. I. THE FIRE AND STATE'S ESTIMATION AFTER THE FIRE

**Lámer Géza**

főiskolai tanár

DE, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék  
glamer@eng.unideb.hu

**Kivonat:** *A Köröndi tűzben károsodott az Andrassy út 83-85. épület tetőszerkezete és zárófödeme. Ismertetjük a tűz okozta károkat és bemutatjuk az épületet a tűzkár utáni állapotban*

**Kulcsszavak:** *Köröndi tűz, tűzkár, állapotértékelés*

**Abstract:** *The roof and the closing floor of the building located Andrassy Street 83-85. damaged by the fire on the Körönd. We describe the damages caused by fire, and present the state of the building after damage caused by fire*

**Keywords:** *the fire on the Körönd, damage caused by fire, state's estimation*

### 1. BEVEZETÉS

Az Andrassy út 83-85-ben 2014. július hó 15-én, az esti órákban tűz ütött ki. A tűzkárt követően szakértőként részt vettem az épület állapotának értékelésében, valamint a kialakult életveszélyes állapot felszámolásában.

Jelen tanulmányosorozat a Budapest VI., Andrassy út 83-85. sz. alatti épület tűzkár utáni állapotának értékelésével, a tűzkár után létrejött életveszélyes állapot két ütemben történt felszámolásával, és az egyes ütemeket követő állapot értékelésével foglalkozik.

Ebben az előadásban ismertetem az épület állapotát a tüzet követően. A további két közleményben ismertetem a külső, illetve a belső életveszélyes állapot elhárításának folyamatát, valamint az életveszélyes állapot felszámolásának egyes ütemei után az épület állapotának értékelését, végül a felkészülést az állagvédelemre.

Jelen tanulmány-sorozat a Végleges állapotértékelő szakértői vélemény szövegén alapul. Ez úton kívánok köszönetet mondani a Budapest Főváros VI. Kerület Terézvárosi Polgármesteri Hivatal Jegyzőjének, aki hozzájárult ahhoz, hogy az esetet tudományos szempontból közzé tehessem.

### 2. ELŐZMÉNYEK

Az Andrassy út 83-85-ben 2014. július hó 15-én, az esti órákban tűz ütött ki. A tűz elemésztette a tetőszerkezetet és a zárófödém jelentős részét. Ennek okán a Budapest Főváros VI. Kerület Terézvárosi Polgármesteri Hivatal, Építési Osztály végzésben rendelt ki a Budapest Andrassy út 83-85. sz. alatti épületet ért tűzkárt követően tartószerkezeti szakértői feladatok ellátására.

Elsősorban az alábbi kérdésekre kellett a választ megadni.

- Az épület mely része életveszélyes?
- Az épület mely része balesetveszélyes?

- Van-e az épületnek olyan része, amely veszélyeztetés nélkül megközelíthető?
  - Mik a teendők a veszélyes állapot megszüntetéséhez?
  - Van-e az épületnek olyan része, amely használatba vehető a veszélyes állapot megszüntetését követően?
  - Mik annak a feltételei, hogy ezt az épületrészt használatba lehessen venni?
  - Mik azok a teendők, amelyek a tűzkárral érintett részeken el kell végezni ahhoz, hogy a károsodott épületrészek használhatók legyenek?
- Továbbá az alábbi két feladatot kellett elvégezni.
- A Budapest VI. Andrassy út 83-85. szám alatti épületet érintő tüzeset következtében keletkezett élet- és balesetveszély felmérése.
  - A veszélyhelyzet elhárítása érdekében szükséges bontási munkák, azok ütemezésének meghatározása.

### 3. AZ ÉPÜLET ISMERTETÉSE

#### 3.1. Az épület története dióhéjban

Az épületet a Magyar Államvasutak Nyugdíjintézete építtette.

Az épület tervezője Kauser József. Az épület 1882-84. között épült a Körönd délnyugati sarkán. Az épület historizáló, francia reneszánsz stílusú.

Az épület jelen pillanatban a Világörökség része.



1. sz. fénykép. Az épület a Körönd felől

A tetőszerkezete 1929-ben leégett és beomlott. Ezt követően helyreállították.

Az épületben 1940-es évektől több átalakítás, lakásleválasztás történt.

1943-tól a padlásterben irodákat alakítottak ki.

Az épületet 1958-ban tatarozták.

Az épületet 1990-ben újították fel.

A tulajdonosváltások: a kommunista hatalomátvétel után államosították, de a MÁV tulajdonában maradt. 1962-től a tanács vette át. 1992-től került önkormányzati tulajdonba. Az önkormányzat 1999-ben alakította társasházzá.

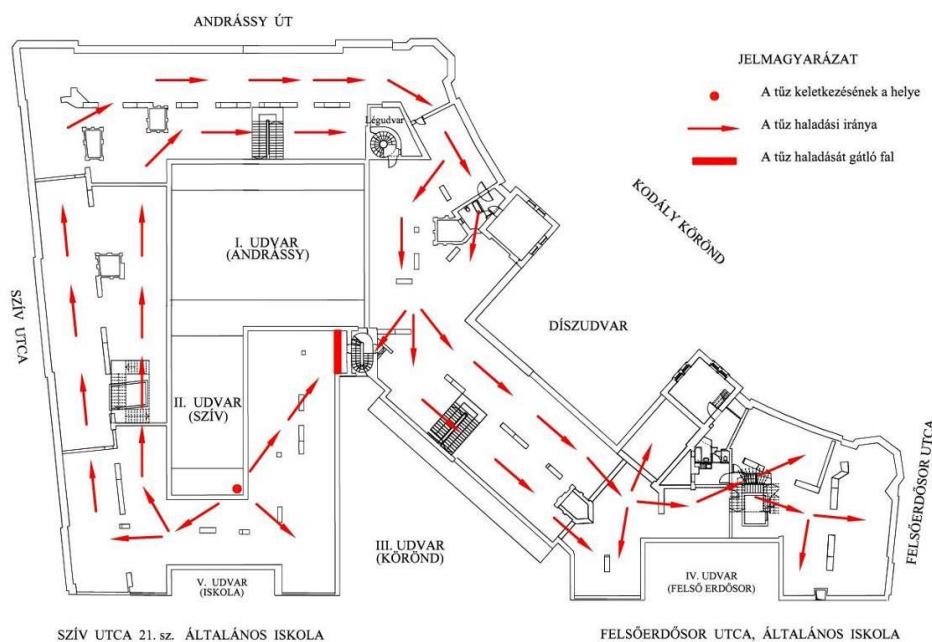


2. sz. fénykép. Az épület tetőfelülnézete

2000-ban a III. emelet és a tetőtér hasznosítása kapcsán egy projekt (az úgynevezett Andrassy Palace Gardens, tervező Sáros László DLA, Ybl Miklós-díjas építész) indult meg, amely célja a III. emeleten lakások kialakítása, a tetőtér beépítése, és azon belül kétszintes lakások kialakítása, továbbá a pince hasznosítása (transzformátorház és fitneszterem kialakítása), valamint az udvar hasznosítása (gépkocsi tároló kialakítása). A projekt nem valósult meg.

### 3.2. Az épület elrendezése

Az épület alaprajzát az 1. sz. ábrán adjuk meg.



1. sz. ábra. Az épület alaprajza, szárnyak és udvarok elhelyezkedése

### 3.3. Az épületben az elmúlt két évben végzett építési munkákról

Az épületben átalakítási munkálatok kezdődtek. Ezek részletes ismertetése kívül esik jelen tanulmány keretein. Az elvégzett munkákkal kapcsolatos különböző szakértői munkákból, tájékoztató jelleggel, az alábbi megállapítások emelhetők ki.

A fa zárófödém gyakorlatilag tönkrement. A fedélszékben könnyező házigomba jelenlétét is kimutatták. A zárófödémét részlegesen megbontották.

A tetőszerkezet és a hozzá kapcsolódó épületszerkezetek károsodtak.

A főfalak gyámolítására „vonó” szerkezetet (rácsos tartókat) építettek be.

A kémények, a légudvarok állapota helyenként veszélyes, egyes kéményeknek a tetősík fölötti részét átépítették.

## 4. A TŰZ

Az Andrássy út 83-85-ben 2014. július hó 15-én, az esti órákban tűz ütött ki.



3. sz. fénykép. A tűz az Andrássy úton

A tűz okaként az Andrássy úttal párhuzamos mellékszárnyban a megsérült tetőszerkezetet javítását jelölték meg: a javításhoz megolvasztott bitumen lemezt kívánták a héjazatra rögzíteni. A melegítés során keletkezett a tűz.



4. és 5. sz. fénykép. A tűzben megmarad bitumen tekercs a tűz keletkezésétől alig két méterre

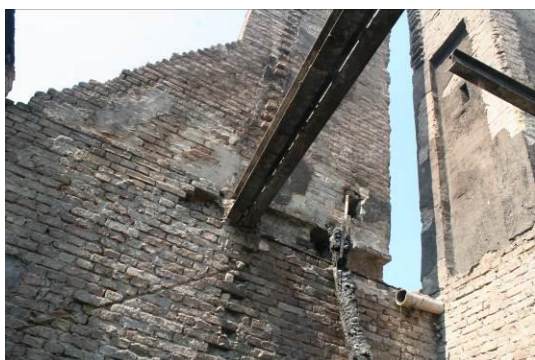


A tűz lángra lobbantotta a Szív utcával párhuzamos szárny tetőszerkezetét, de a tűz az ellipszis alakú csigalépcsőház tűzfalánál megállt. A tűz másik irányú terjedését tűzfal nem akadályozta. A tűz belekapott az Andrassy úttal párhuzamos mellékszárny tetőszerkezetébe, majd ezt követően végighaladt a Szív utcai szárny tetőszerkezetében, az Andrassy úti szárny tetőszerkezetében, ezt követően a Köröndi szárny tetőszerkezetét lobbantotta lángra, végezetül elérte a Felső erdősor utcai szárny tetőszerkezetét is, és azt is meggyújtotta.



6. sz. fénykép. A tűz a Köröndön

Az épületből a tűzfalakat kibontották. Ez az információ ismert korábbi szakértői véleményekből, de nyilvánvalóvá vált a helyszín megtekintését követően is: a tűzfalakat tartó kettős I tartók a tüzet követően is a helyükön maradtak, de sem a kettős I tartókon falat, sem alatta a tűzben összeomlott falak maradványait nem találtunk.



7-8. sz. fényképek. A tűzgátló falat tartó páros I tartó. Acélszerkezet maradványa a hiányzó födém helyén

Az épületből a fa zárófödémeket jelentős mértékben eltávolították. Egyes korábbi szakértői vélemény szerint a felét, vagy annál is többet. A tűz utáni állapotfelmérés szerint nagyjából a födém egyharmada hiányzott, egyharmada elégett, és a II. emeleti födémre zuhant, egyharmada megégett, de még a helyén, a falakon fennmaradt.



9-10. sz. fényképek. A tűzben károsodott fafödém. A tűz után helyén maradt fafödém

A tűz elemészttette a teljes tetőszerkezetet (néhány üszkös szarufa meredezett az égnek, és a bádoglemezek fönnakadtak a kéménytesteken), és a zárófödém jelentős részét (egy része le-  
hullott II. emeleti födémre, egy része elégett, de a helyén maradt).



11-12. sz. fényképek. Az égnek meredező üszkös szarufák

A tűzoltók a tűz oltásának a megkezdése előtt lezárták a Szív utcát, az Andrássy út felét, a Felső erdősor utcát. A tűzoltás előtt az épületbe vezető összes közművet (víz, áram és gáz) lezárták.

A tűzoltók megakadályozták a tűz tovaterjedését a két szomszédos épületre, a lángok tova-  
terjedését az épületben lefelé, végezetül a tüzet eloltották.

## 5. ÁLLAPOTÉRTÉKELEÉS A TŰZ UTÁN

### 5.1. A helyszíni bejáráson látottak

Az első helyszíni bejárást 2014. július hó 16-án tartottuk meg. A bejáráson az alábbiakat lehetett megállapítani.

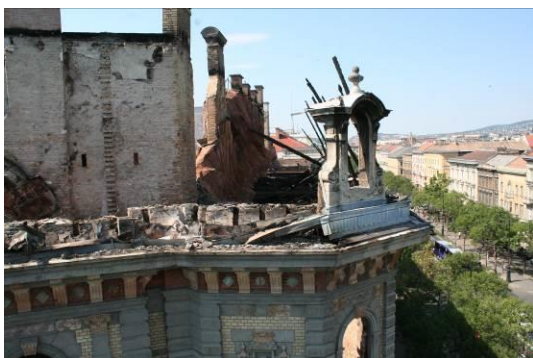
- A tető és ezzel együtt a tetőtér megszűnt létezni.
- A tető ácsszerkezetéből néhány üszkös szarufacsonk maradt meg.
- A zárófödém kb. 50 %-a hiányzik, a többi megégett, üszkös.
- A főfalakon, részben még a fészkekben, részben meghajolva, részben félig lehullva sok acél tartó.
- A látottak alapján a födém fagerendáinak a jelentős részét felkötésekkel és acél alátá-  
masztó gerendázattal gyámoltították.

- Egyes helyeken, különösen a Szív utcai szárnyban, látható volt a tetőtér bejárását szolgáló járda maradványa; elsősorban acéltartók, hevederek, gerendák és pallózat.



13-14. sz. fényképek. Szabadon álló kémények és légudvarok

- A kémények szabadon állnak, a zárófödém és tetőszerkezet (azaz gerinc) szintjén a „merevítésük” megszűnt létezni.
- A tetőfelépítmények homlokzati falazott oromdíszei szabadon állnak, a hátrahorgonyzó fa szerkezeti elemek elégték, az acél szerkezeti elemek sérültek, több falazott oromdíz kimozdult a helyéről.



15-18. sz. fényképek. Az épület sarkain és a tornyokon álló oromdíszek

- Az utcafronton, a középfőfal térségében, a korábban a lapos hajlású tetősíkot fedő bádog a kéményeken lóg.
- A koronázópárkányon, de több belső osztó és egyéb párkányokon sok az égett és törött anyagtörmelék.

- Az épületnek a Felső erdősor és a Szív utcabeli két házhoz, illetve azok belső udvaraihoz négy tűzfalal csatlakozik. Az első tűzfal felső 1 m-es része, és a macskalépcső 1-2 futó téglá mélységgel károsodott. Némi égett ácsszerkezet „gyámolítja”. A második mellől a faszerkezet elégett, maga a tűzfal kissé befelé (Andrássy út felé) dől, részlegesen megégett. A harmadik tűzfal leomlott. A negyedik tűzfal felső 1,5-2 m-nyi szakasza meghasasodott befelé. Ezt is némi égett ácsszerkezet „gyámolítja”.



19-20. sz. fényképek. A kéményeken fennakadt bádogok

- A III. emeleten több helyen az utcai és udvari főfalakat rácsos tartókkal kötötték össze. Ezek az acél szerkezetek (két kivétellel) nem sérültek.



21-22. sz. fényképek. Égett és törött anyag a párkányok felső felületén

- Négy főlépcsőház van: a Felső erdősor felőli szárnyban, a Körönd felőli szárnyban, az Andrássy úti szárnyban, és a Szív utca szárnyban. A lépcsőszerkezetek a III. emeletig nem károsodtak.
- Két melléklépcsőház van. A Körönd×Andrássy szárnyak metszésében lévő lépcsőházban a lépcsőfokok hiányoznak. A tűzkártól függetlenül ez a lépcsőház nem használható állapotú. A Körönd×Szív utcával párhuzamos belső szárny metszésében lévő lépcsőházban a lépcsőszerkezet a III. emeletig nem károsodtak. Fentebb acél rács zárja el a közlekedés lehetőségét. Ebbe az elzárt lépcsőrészbe sok üszkös gerenda, deszka hullott be.



22-23. sz. ábra. A tűzfalak a Felső erdősor utca felől

- A szűrőpróbaszerűen megtekintett földszinti lakások szárazak, nem károsodtak.
- A szűrőpróbaszerűen megtekintett első emeleti lakások többsége száraz, nem károsodtak, de több helyen látható már a II. emeletről lefolyt víz nyoma a mennyezeten.



23-26. sz. ábra. A ledőlt tűzfal helye. A belső lépcsőház melletti tűzfalak

- A II. emeleten a lakások jelentős részét megtekintettük. A II. emelet fölötti földem acélgerendák közé falazott poroszüveg boltozatos földem. A földemek, a falak felső egy méteres sávja többnyire átáztak. Több helyen leesett a gipszdísz a mennyezetről. A víz a járófelületen gyűlt össze. A parketta, a szalagparketta átázott, felpúposodott.
- A légudvarok megtekintésére nem nyílt lehetőség.
- A kémények, a főfalak, a koronázóparkányok részletes vizsgálatára nem nyílt lehetőség.
- A pince megtekintésre nem nyílt lehetőség.
- A Körönd felőli szárny két végén függőfolyosó, amelyet nehéz ácsolattal gyámolítottak. Tűzkár nyomát nem tapasztaltuk.

## 5.2. Szakértői megállapítások a tüzet követően

24 órával a tűz eloltása után, a helyszíni bejáráson látottak alapján az épület állapotát az alábbiakban lehetett összefoglalni.

- Az épület tartószerkezetei közül nem károsodtak a főfalak, a földszint, és az I. emelet feletti közbenső földemek.
- Az épület tartószerkezetei közül károsodtak
  - a II. emelet fölötti közbenső földem, a károsodást az átázás okozta,
  - a záróföldem, amely gyakorlatilag megsemmisült a tűzben, bár a teherbírásra nem alkalmas égett fagerendáknak nagyjából az 50 %-a még a helyükön maradt,

- a tetőszerkezet, amely 100 %-ban megsemmisült.
  - Az épület közlekedő rendszeréből nem károsodtak a négy fölépcsőház lépcsőfokai, pihenői, a lépcsőfokkal rendelkező melléklépcső.
  - Az épület közlekedő rendszeréből nem károsodtak a folyosók falazott szerkezetei. A legfelső szint feletti tetőszerkezetek (mint „előtetők”) viszont károsodtak.
  - Az épület falazott szerkezeti közül károsodott a négy tűzfal, ebből egy, a Szív utca felé eső udvari megszűnt létezni, a Felső erdősor utca felé eső udvari instabil, a két szomszédos épülethez támaszkodó részlegesen károsodott.
  - Az épület falazott szerkezeti közül károsodott a koronázópárkány, illetve a két toronyfelépítmény párkánya fölötti falazott homlokzati oromdíszek, ezek hátrahorgonyzó szerkezetei vagy megsemmisültek, vagy károsodtak. A Felső erdősor utcához közelebbi torony tetején az utcára néző oromdíz kb. 75-80°-ban megdőlt befelé.
- Az épület használhatóságával kapcsolatban az alábbiakat lehetett megállapítani.
- A földszint és az I. emelet sem nem élet-, sem nem balesetveszélyes, formálisan használható állapotban van: biztonságosan megközelíthetők, a használatuk biztonságos. Onnét a lakók a legszükségesebb holmijaikat elvihetik.
  - Az épület II. emeletén lévő lakások biztonságosan megközelíthetők, tartószerkezeti szempontból biztonságosak, az átázott II. emelet feletti födém, az átázott, csúszós burkolatok miatt rendeltetésszerűen nem használhatók. Építési munka végzésére alkalmas állapotban vannak. A II. emeletről a lakók a holmijaikat statikus szakértő felügyelete mellett elvihetik.
  - Az Épület III. emelete **életveszélyes**. Oda senki, még a katasztrófavédelem emberei sem mehetnek be. Az ott található, egyetlen használatban volt lakás kiégett, az értéktárgyak döntő többsége megsemmisült.
  - Az épületnek megszűnt a tetőtere, annak állapotáról nem lehet nyilatkozatot adni.
  - Az épület körüli 3-5 m-es sávban mind az utcán, mind a belső udvarokban **balesetveszélyes** az ott tartózkodás a párkányokon lévő törmelék miatt.
  - A Felső erdősor felőli torony előtt egy 10×10 m-es terület **életveszélyes**, mert az utcára néző falazott homlokzati oromdíz megdőlt, a stabilitását elvesztette, esetleg oda építési törmelék hullhat.
- Az épület helyreállításával kapcsolatban az alábbiakat lehetett nyilatkozni.
- Az épület helyreállítható.
  - A zárófödém és a tetőszerkezet (a vízelvezetés és díszítés elemeivel együtt) teljes mértékű pótlása szükséges.
  - A II. emeleten a víz okozta károkat kell helyreállítani.
  - A víz okozta károk megjelenhetnek a I. emeleten is, ekkor azok is helyreállítandók.
- Az épület részleges helyreállításával kapcsolatban az alábbiakat lehetett nyilatkozni.
- Az épület földszintje, I. és a II. emelete használatba vehető, ha a közműveket a II. és a III. emelet váltásánál elválasztják egymástól, és a közműszolgáltatók csak és kizárólag a földszintet, I. és a II. emeletet látják el közművekkel.
  - Az épület II. emelete használatba vételének külön feltétele, hogy a víz okozta károkat számolják fel.
  - A lift nem üzemeltethető be, mert a liftgépház károsodott. A lift beüzemeléséhez további vizsgálatokra van szükség.
  - Az épület földszintje, I. és a II. emelete használatba vételének további feltétele, hogy épület ideiglenes tetőt kap, és megoldják a tetőről a csapadékvíz elvezetését.

### 5.3. A teendők meghatározása

A teendők az alábbi csoportosításban adhatók meg.

- A biztonságos állapot létrehozása
- A szakértés feladatai
- A helyreállítás feladatai
- A használható épületrészek előkészítése a használatba vételhez

#### *A biztonságos állapot létrehozása*

A biztonságos állapot létrehozásához az alábbi teendőket kell elvégezni.

- A tető ácsszerkezetéből a megmaradt néhány üszkös szarufacsonk eltávolítandó.
- A zárófödém összes fagerendája, legyen az a II. emeleti födémen, vagy még a helyén, eltávolítandó.
- A zárófödémet gyámolító acélgerendákat közül, amelyek megmozdultak, azokat el kell a helyükről távolítani, és főfal mellett, a II. emeleti födémen kell tárolni.
- A tetőfelépítmények homlokzati falazott oromdíszzeit ideiglenesen a főfalakhoz ki kell horgonyozni. Az ily módon nem stabilizálható szerkezeteket vissza kell bontani.
- Az utcafronton, a középfőfal térségében, a korábban a lapos hajlású tetősíkot fedő, jelenleg a kéményeken lógó bádogot el kell távolítani.
- A koronázópárkányon, valamint a több belső osztó és egyéb párkányokon lévő égett és törött anyagtörmeléket el kell távolítani.
- Az épületnek négy tűzfalával kapcsolatos teendők. Az Felső erdősor utca felőli tűzfal felső 1 m-es része, és a macskalépcső 1-2 futó téglá mélységgel bontandó. A Felső erdősor utca felőli udvari tűzfal teljes mértékben visszabontandó. A bontást megelőzően a csatlakozó Felső erdősor utcai ház udvarát le kell zárni. A Szív utca felőli udvari tűzfal és főfal csatlakozásában a laza téglákat el kell távolítani. A Szív utcai tűzfal felső 1,5-2 m-nyi szakaszát vissza kell bontani.
- A Körönd× Andrássy úttal párhuzamos belső szárny metszésében lévő lépcsőházban az acél rács mögött összegyűlt üszkös gerendát, deszkát el kell távolítani. A rácsot ki kell nyitni.
- Az épület körüli utcákon, téren, a belső udvarokon a lehullott törmeléket el kell távolítani.
- A lépcsők III. emeletre vezető lépcsőkarjaikat zárható módon le kell zárni.
- A lépcsőházakat ideiglenes tetővel le kell fedni.

#### *A szakértés*

A további szakértés elvégzéséhez az szükséges, hogy az épületben a biztonságos állapotot létrehozzák. Ezt követően az alábbi kérdéseket kell további vizsgálatokkal tisztázni.

- A kémények stabilitása. A kémények részletes vizsgálata, ideiglenes kikötés szükségessége.
- A III. emeleti főfalak, koronázópárkányok állékonysága, a szerkezetek részletes vizsgálata. A meglévő acél összefogató rácsos tartók („vonószerkezetek”) állapotának vizsgálata, illetve azok léte szükségességének a vizsgálata.
- A liftgépházak vizsgálata.
- A légudvarok megtekintése.
- A pince megtekintésre.

#### *A helyreállítás feladatai*

A helyreállítás alapvetően a következő épületszerkezetekre vonatkozik.

- Zárófödém
- Koronázópárkány

- Tetőszerkezet (tartószerkezet, héjazatot tartó szerkezet, héjazat)
- A falazott oromdíszek, tetőfelépítmények, és más díszítő elemek
- A vízelvezetés elemei
- A III. emeleten, illetve a tetőtérben helyiségek kialakítása, a használathoz szükséges szakipari és szakági (épületgépészeti, épületvillamossági) munkák

*A használható épületrészek előkészítése a használatba vételhez*

A földszinten, az I. és a II. emeleten a zárófödém megépítése előtt, a biztonságos állapot létrehozását követően, használatba vehetők. Ennek a feltételei a következők.

- A biztonságos állapotot létrehozták.
- A közműveket elválasztották a II. emelettől fölfelé lévő vezetékektől.
- Közmű-nyilatkozat, hogy a földszint, az I. és a II. emelet közműellátása biztonságos, azok a szintek visszakapcsolhatók a rendszerbe.
- A II. emeleten a víz okozta károkat felszámolták.
- Az ideiglenes tetőt megépítették.

*Az épület használhatóságával kapcsolatos hatósági álláspont*

V. ker. Építésügyi és Örökségvédelmi Hivatal az épület használatát határozatában tiltotta meg.

## A TŰZESETET ISMERTETŐ SOROZAT RÉSZEI

- [1] **LÁMER GÉZA, DR.,** A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL. I. RÉSZ. A TŰZ ÉS ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS A TŰZET KÖVETŐEN. MTEKR 2015. DEBRECEN.
- [2] **LÁMER GÉZA, DR.,** A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL. II. RÉSZ. AZ ÉLETVESZÉLYELHÁRÍTÁS I. ÜTEME ÉS ÁLLAPOTÉRTÉKELÉS AZT KÖVETŐEN (KÖZLÉS ALATT)
- [3] **DR. LÁMER GÉZA, DR.,** A KÖRÖNDI TŰZ EGY ÉPÍTŐMÉRNÖK SZEMÉVEL. III. RÉSZ. AZ ÉLETVESZÉLYELHÁRÍTÁS II. ÜTEME ÉS FELKÉSZÜLÉS AZ ÁLLAGVÉDELEMRE (KÖZLÉS ALATT)

## A KÉPEK FORRÁSAI

1. és 3. fénykép: Hír 24. portál „Tűz a Kodály köröndi ikerpalotában” képgalériája.
  2. fénykép: Google map
- A többi fénykép a szerző felvétele.  
A rajzot a szerző állította össze.



## A PITAGORASZ-TÉTEL ÁLTALÁNOSÍTÁSAI AZ $n$ -DIMENZIÓS EUKLIDESZI TÉRRE

### GENERALIZATION OF PYTHAGORAS' THEOREM FOR $n$ -DIMENSIONAL EUCLIDEAN SPACE

Lámer Géza

főiskolai tanár

DE, Műszaki Kar, Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék  
glamer@eng.unideb.hu

**Kivonat:** A tanulmányban megmutatjuk, hogy a kétdimenziós Euklideszi térben fennálló Pitagorasz-tételt kétféleképpen lehet értelmezni. Egyrészt pontok közötti távolságok négyzetösszegeiként, másrészt a pontok által kifeszített szimplex határszimpletei térfogatainak négyzetösszegeiként. A kétféle értelmezés alapján a Pitagorasz-tételt kétféleképpen lehet általánosítani az  $n$ -dimenziós Euklideszi térre. A koszinusztételt szokás a kétdimenziós Pitagorasz-tétel általánosításának tekinteni derékszögű háromszögről tetszőleges szögű háromszögre. A Pitagorasz-tételhez hasonlóan a koszinusztételt is lehet a távolság és a szimplex fogalma szerint értelmezni, és így kétféleképpen lehet általánosítani az  $n$ -dimenziós Euklideszi térre. Megmutatjuk, hogy mind a Pitagorasz-tétel, mind a koszinusztétel esetében a kétféle értelmezés szorosan összefügg: a kapcsolatot a vektor és kovektor közötti kapcsolat adja. Végül azt is megmutatjuk, hogy a különböző általánosítások mögött a metrikus tenzor értelmezése áll, amely tenzort az euklideszi térben vagy ortogonális, vagy ferdeszögű koordinátákban írhatunk fel. Az első vezet a Pitagorasz-tétel, a második a koszinusztétel általánosításaihoz.

**Kulcsszavak:** Pitagorasz-tétel, koszinusztétel,  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex, a Pitagorasz-tétel általánosítása  $n$ -dimenziós derékszögű szimplexre, a koszinusztétel általánosítása  $n$ -dimenziós általános elrendezésű szimplexre

**Abstract:** In the paper we show the Pythagoras' theorem in the two dimensional Euclidean space can be interpreted in two ways. First as a sum of square of the distances between points, second as a sum of square of the volume of the boundary simplexes of a simplex. On the basis of the two kinds of the interpretation the Pythagoras' theorem can be generalized for the  $n$ -dimensional Euclidean space by two ways. The cosine rule usually can be taken as a generalization of the Pythagoras' theorem from rectangular triangle for the oblique triangle. Similarly the cosine rule can be generalized for the  $n$ -dimensional Euclidean by two ways. We show that the two kind of interpretation of Pythagoras' theorem and cosine rule are closely connected with each other. Both are based on the vector or covector respectively. At the end we show the interpretation of metric tensor stands behind the generalizations. In the Euclidean space the metric tensor can be write in the orthogonal or skew coordinate system. The first leads two the generalization of Pythagoras' theorem, the second of the cosine rule.

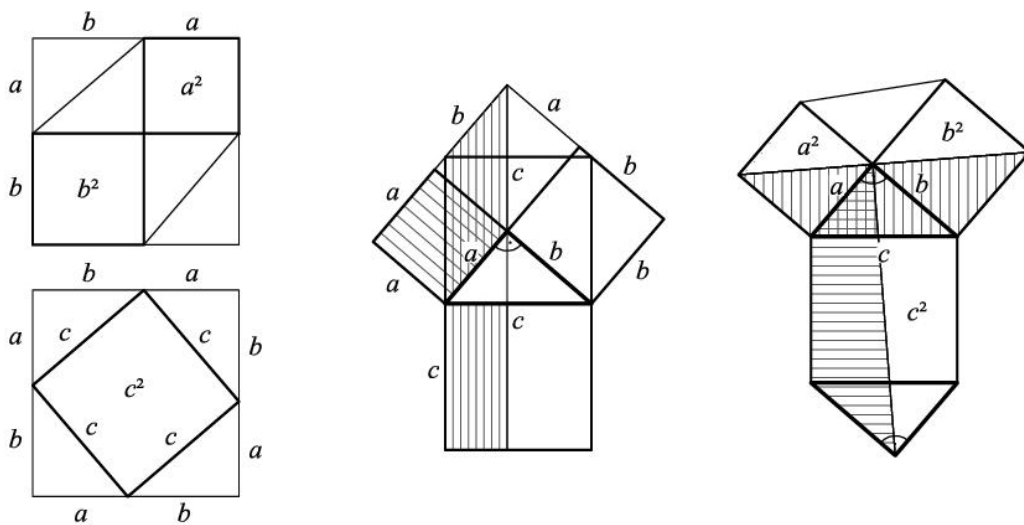
**Keywords:** Pythagoras' theorem, cosine rule,  $n$ -dimensional rectangular simplex, generalization of Pythagoras' theorem for  $n$ -dimensional rectangular simplex, generalization of cosine rule for  $n$ -dimensional non-rectangular simplex

## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. A Pitagorasz-tétel

A Pitagorasz-tétel a derékszögű háromszög oldalainak hosszúsága között állapít meg összefüggést. Amennyiben a derékszögű háromszög befogóit  $a$ , illetve  $b$ , az átfogóját  $c$  jelöli, akkor a Pitagorasz-tétel szerint fennáll az  $a^2 + b^2 = c^2$  összefüggés ([2] Euklidész, I. 47. tétel).

A Pitagorasz-tételt nem bizonyítjuk, a bizonyítás az 1. ábrán megadott három ábra alapján elvégezhető. A bizonyítás a területek egyenlőségén alapul.

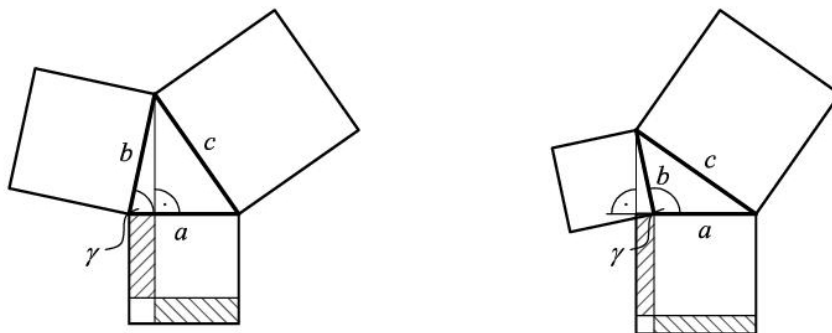


1. sz. ábra. Három vázlat a Pitagorasz-tétel bizonyításához

Igaz a Pitagorasz-tétel megfordítása: amennyiben egy háromszög  $a$ ,  $b$ , illetve  $c$  oldalára nézve fennáll az  $a^2 + b^2 = c^2$  összefüggés, akkor a háromszög  $a$  és  $b$  oldalai egymással derékszöget zárnak be ([2] Euklidész, I. 48. tétel).

## 1.2. A koszinusztétel

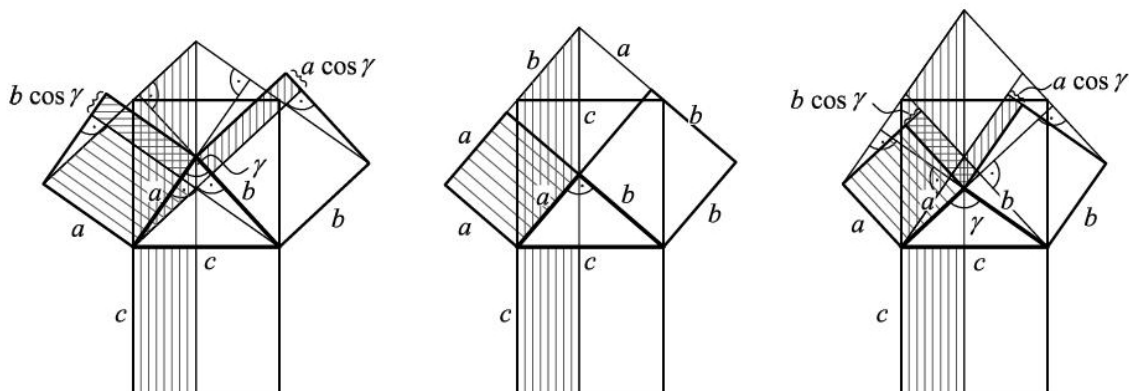
A koszinusztétel a hegyesszögű és tompaszögű háromszög oldalainak hosszúsága között állapít meg összefüggést. Amennyiben a hegyesszögű háromszög két szomszédos oldalát  $a$ , illetve  $b$ , a harmadikat  $c$  jelöli, továbbá az  $a$  oldalának a  $b$  oldalára vett merőleges vetületét  $a_b$  jelöli, akkor a „koszinusztétel” szerint fennáll az  $a^2 + b^2 - 2a_b b = c^2$  összefüggés ([2] Euklidész, II. 13. tétel). Hasonlóan fogalmazható meg a „koszinusztétel” a tompaszögű háromszögre; ahol is a „harmadik” oldal négyzete a két oldal négyzetösszegénél nem kisebb, hanem nagyobb lesz a  $a_b b$  téglalap kétszeres területével ([2] Euklidész, II. 12. tétel). A bizonyítás alapvetően a Pitagorasz-tételen alapul. A bizonyítás menetét a 2. ábra illusztrálja.



2. sz. ábra. Vázlatok a koszinusztétel bizonyításához hegyesszögű és tompaszögű háromszögre Euklidész alapján

A koszinusz szögfüggvény bevezetésével a hegyesszögű és tompaszögű háromszögre ki-mondott „koszinusztétel” összevonható, az  $a$  és  $b$  oldalak által közrezárt szöget  $\gamma$ -val jelölve, az  $a^2 + b^2 - 2ab \cos \gamma = c^2$  formában írható föl.

A koszinusztétel, azaz két oldal négyzetösszegéhez képest megjelenő hiány, vagy többlet a területek egyenlőségén alapulva is igazolható. Ezt szemlélteti a 3. ábra. Az ábrákon a terület-hiányt (hegyesszögű eset), illetve -többletet (tompaszögű eset) árnyékoltuk. Az azonos területeket azonos jellel sraffoztuk.



3. sz. ábra. Vázlatok a koszinusztétel bizonyításához hegyesszögű és tompaszögű háromszögre a területek egyenlősége alapján

### 1.3. A Pitagorasz- és koszinusztétel távolság- és szimplexfogalom szerinti értelmezése

A Pitagorasz- és koszinusztételek geometriai interpretációjában a háromszögek oldalaira emelt négyzetek területeire vonatkoznak. Ha a két tételt magasabb dimenzióban lévő geometriai alakzatra kívánjuk általánosítani, akkor először a síkban a háromszög és oldalainak viszonyát értelmezni kell. Az értelmezésre két lehetőség adódik. Az egyikben a háromszög oldalait a csúcokat összekötő szakasznak, a másikban a sík egy szimplexe határszimplexének tekinthetjük. A két fogalom a síkban egybeesik.

#### Távolságfogalom szerinti értelmezés

A távolságfogalom szerinti értelmezésben a Pitagorasz- és koszinusztételnek a háromszög oldalaira vonatkozó összefüggését két szakasz által kifeszített téglalap (papaleogramma) átlójára vonatkoztatjuk. A Pitagorasz-tétel ebben az értelmezésben azt mondja ki, hogy az egy pontból kiinduló, egy téglalapot kifeszítő két szakasz végpontjai közötti távolság négyzetösszege megegyezik a téglalap átlójának végpontjai közötti távolság négyzetével. A koszinusztétel, értelemszerűen azt mondja ki, hogy az egy pontból kiinduló, egy paralelogrammát kifeszítő két szakasz végpontjai közötti távolság négyzetösszegének és a két szakasznak az egymásra vett előjeles vetületeinek algebrai összege megegyezik a paralelogramma átlójának végpontjai közötti távolság négyzetével. (Ebben a felfogásban a paralelogrammát kifeszítő szakaszok közötti szög a háromszögben értelmezett szög kiegészítő szöge, ezért az „előjelváltás”.)

#### Szimplexfogalom szerinti értelmezés

A szimplexfogalom szerinti értelmezésben a Pitagorasz- és koszinusztételnek a háromszög oldalaira vonatkozó összefüggését a sík egy szimplexe (háromszög) határszimplexének (élek) térfogatára (hossz) vonatkoztatjuk. A Pitagorasz-tétel ebben az értelmezésben azt mondja ki, hogy egy kétdimenziós derékszögű szimplex két befogó (egymással derékszöget bezáró) egydimenziós határszimplexe térfogatának négyzetösszege megegyezik az egydimenziós átfogó (a befogó határszimplexek végpontjai által kifeszített) határszimplexe térfogatának négyzetével. A koszinusztétel, értelemszerűen, azt mondja ki, hogy egy kétdimenziós szimplex két tetszőlegesen kiválasztott egydimenziós határszimplexei térfogatai négyzetösszegének és e két határszimplex egymásra vett előjeles vetületeinek algebrai különbsége megegyezik e két

határszimplex által kifeszített harmadik határszimplex térfogatának négyzetével. (Ebben a felfogásban a háromszögben értelmezett szög szerepel.)

#### Megjegyzések

Mivel nem használjuk a koszinuszfüggvényt, ezért a megfogalmazásban egymásra vett vetület szerepel, egyszer az egyik vetülete a másakra, másszor a másik vetülete az egyikre; ezért a 2-es szorzótényezőre nincs szükség.

A koszinuszfüggvény használatával a megszokott algebrai alakot nyerjük.

### 1.4. A Pitagorasz- és koszinusztétel távolság- és szimplexfogalom szerinti általánosítása $n$ -dimenzióra

A távolság- és szimplexfogalom szerinti értelmezés után kimondjuk mind a Pitagorasz-, mind a koszinusztétel  $n$ -dimenziós általánosítását.

Először a távolságfogalom szerinti általánosítást adjuk meg.

*Az  $n$ -dimenziós távolságfogalom szerinti Pitagorasz-tétel:* az  $n$ -dimenziós téglatestet kifeszítő  $n$  szakasz hosszainak négyzetösszege megegyezik a téglatest átlója hosszának négyzetével.

*Az  $n$ -dimenziós távolságfogalom szerinti Pitagorasz-tétel megfordítása:* ha egy  $n$ -dimenziós paralelopolitopot kifeszítő  $n$  szakasz hosszainak négyzetösszege megegyezik a paralelopolitop átlója hosszának négyzetével, akkor a paralelopolitop derékszögű, azaz  $n$ -dimenziós téglatest.

*Az  $n$ -dimenziós távolságfogalom szerinti koszinusztétel:* az  $n$ -dimenziós paralelopolitopot kifeszítő  $n$  szakasz hosszai négyzetösszegének és páronként egymásra vett előjeles vetületeinek algebrai összege megegyezik a paralelopolitop átlója hosszának négyzetével.

Az egymásra vett vetület kapcsán lásd a fentebb tett megjegyzést.

*Definíció:* derékszögű szimplexnek nevezzük azt a szimplexet, amelynek egy kivételével az összes határszimplete páronként egymással derékszöveget zár be. Az egymással derékszöveget bezáró határszimpleteket *befogó határszimpleteknek*, a befogó szimplexek határpontjai által kifeszített (az egy „kivétel”) szimplexet *átfogó határszimpleteknek* nevezzük.

A továbbiakban megadjuk a szimplexfogalom szerinti általánosítást.

*Az  $n$ -dimenziós szimplexfogalom szerinti Pitagorasz-tétel:* az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex  $n$  ( $n-1$ )-dimenziós derékszögű befogó határszimplex térfogatainak négyzetösszege megegyezik a derékszögű szimplex ( $n-1$ )-dimenziós átfogó határszimplete térfogatának négyzetével.

*Az  $n$ -dimenziós szimplexfogalom szerinti Pitagorasz-tétel megfordítása:* ha az  $n$ -dimenziós szimplex  $n$  egy csúciban érintkező ( $n-1$ )-dimenziós határszimplete térfogatainak négyzetösszege megegyezik a szimplex ( $n+1$ )-dik (az előzőekben említett  $n$  határszimplex szabad perempontjai által kifeszített) ( $n-1$ )-dimenziós határszimplete térfogatának négyzetével, akkor a szimplex derékszögű.

*Az  $n$ -dimenziós szimplexfogalom szerinti koszinusztétel:* az  $n$ -dimenziós szimplex egy csúcából kiinduló  $n$  ( $n-1$ )-dimenziós határszimplex térfogatai négyzetösszegének és páronként egymásra vett előjeles vetületeinek algebrai különbsége megegyezik az  $n$ -dimenziós szimplex ( $n+1$ )-dik (az előzőekben említett  $n$  határszimplex szabad perempontjai által kifeszített) ( $n-1$ )-dimenziós határszimplete térfogatának négyzetével.

*Megjegyzés:* szakasznak szakaszra, síkidomnak síkidomra való vetülete alapján értelmezzük a  $k$ -dimenziós szimplex vetületét  $k$ -dimenziós szimplexre. Ennek kapcsán értelmezzük a  $k$ -dimenziós lapok közti szöveget, és a koszinusztétel mind a távolság-, mind a szimplexfogalom szerint azonos algebrai formában fogalmazható meg (lásd az 5. pontot).

## 1.5. Jelölések

A továbbiakban az  $n$ -dimenziót röviden  $nD$  a távolság-, illetve szimplexfogalomra vonatkozó kitélt a  $T$ , illetve az  $S$  index-szel jelöljük. Ennek megfelelően alkalmazzuk az  $nD_T$  és az  $nD_S$  jelöléseket.

## 2. A TÁVOLSÁGFOGALOM SZERINTI $n$ -DIMENZIÓS PITAGORASZ- ÉS KOSZINUSZTÉTELEK. A METRIKA

### 2.1. Az $nD_T$ Pitagorasztétel és megfordítása

A tételt az 1.4. pontban kimondtuk. Bizonyítása lépésenként, a  $2D_T$  Pitagorasztétel egymás utáni alkalmazásával történik: egy-egy lépésben két, egymásra merőleges szakasz átlóját határozzuk meg. Elsőnek egy lapátmérőt, másodszorra egy azt tartalmazó háromdimenziós téglatest testátlóját, majd az ahhoz illeszkedő négydimenziós téglatest testátlóját határozzuk meg, és így tovább, mely folyamat végén az  $n$ -dimenziós testátlót kapjuk meg.

A tétel megfordítását is az 1.4. pontban mondtuk ki. Bizonyítása a  $2D_T$  Pitagorasztétel megfordításának lépésenkénti alkalmazásából áll: gyakorlatilag a testátlót felbontjuk egy él és az annak elhagyásával nyert  $(n-1)$ -dimenziós téglatest testátlójára, amelyek a  $2D_T$  Pitagorasztétel megfordítása értelmében merőlegesek egymásra, majd ezt tovább bontjuk egy újabb él és egy  $(n-2)$ -dimenziós téglatest testátlójára, amelyek a  $2D_T$  Pitagorasztétel megfordítása értelmében merőlegesek egymásra, és így tovább, amíg csak merőleges élekre fel nem bontottuk a testátlót.

### 2.2. Az $nD_T$ Pitagorasztétel és a metrika

A téglatest átlóját és a téglatest éleit egyaránt szakaszként értelmezve, az  $nD_T$  Pitagorasztétel megfogalmazható, mint a téglatest átlójának vetületére vonatkozó állítás. A téglatest átlója (jelölje  $a_0$ ) és a téglatest élei (jelölje  $a_i, i = 1, 2, \dots, n$ ) zárjanak be egymással  $\gamma_i$  szöveget. Az  $nD_T$  Pitagorasztétel megfogalmazható

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2, \quad 1 = \sum_{i=1}^n \frac{a_i^2}{a_0^2} = \sum_{i=1}^n \cos^2 \gamma_i \quad (1)$$

alakban. A második összefüggés azt mondja ki, hogy az iránykoszinuszok négyzetösszege egyet ad.

A téglatest élei és az átlója tekinthető vektoroknak is. Ekkor az átló hosszát a vektorokra vonatkozó skalárszorzat segítségével határozhatjuk meg,

$$\mathbf{a}_0 = \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i, \quad a_0 = \sqrt{\langle \mathbf{a}_0, \mathbf{a}_0 \rangle}. \quad (2)$$

Az általánosság megsértése nélkül a téglatest éleinek irányában felvehetünk egységnyi hosszúságú bázisvektorokat, amelyek – az alapfeladat értelmében – merőlegesek egymásra. Ennek okán az egységvektorok skalárszorzatai a  $\delta_{ij}$  Kronecker-deltát adják. Így a téglatest testátlójának hosszát az

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_i \mathbf{e}_i)(a_j \mathbf{e}_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_i a_j \quad (3)$$

összefüggés adja meg. A derékszögű (és azonos hosszléptékű) koordinátarendszerben a  $\delta_{ij}$  Kronecker-delták adják meg a metrikus tenzor komponenseit.

### 2.3. Az $nD_T$ koszinusztétel és a metrika

A tételt az 1.4. pontban kimondtuk. Bizonyítására a vektoraritmetikát használjuk. Az  $n$ -dimenziós paralelopolitop élei mentén értelmezzük az egységvektorokat, jelölésük  $\mathbf{e}_i$ . Az  $i$ -edik és a  $j$ -edik egységvektor által bezárt szöget jelölje  $\bar{\gamma}_{ij}$ . A felülvonás jelöli, hogy végpontjaikkal illeszkedő vektorok közötti szögről van szó. A  $2D$  koszinusztételben a szöget egymást nyílfolytonosan követő vektorokra értelmeztük. Ezért  $\gamma_{ij}$  és  $\bar{\gamma}_{ij}$  egymás kiegészítő szögei. Ez magyarázza  $2D$  Pitagorasz-tételhez viszonyítva az előjel váltását. Két egységvektor skalárszorzatát jelölje  $g_{ij}$ . Ezek figyelembe vételével a koszinusztétel az alábbi formában írható föl:

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (a_i \mathbf{e}_i)(a_j \mathbf{e}_j) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} a_i a_j = \sum_{i=1}^n a_i^2 + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j>1}^n a_i a_j \cos \bar{\gamma}_{ij}. \quad (4)$$

A második egyenlőségjel utáni  $g_{ij}$ -és kifejezés adja meg a ferdeszögű koordinátarendszerben a metrika kifejezését, míg a harmadik egyenlőségjel utáni kifejezés adja meg a koszinusztétel alakját a távolságfogalom szerint az  $n$ -dimenziós Euklideszi térben.

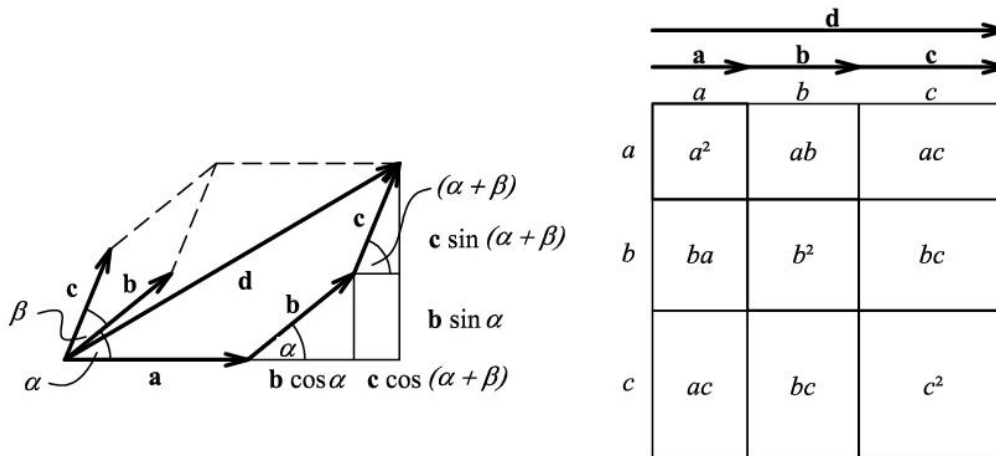
### 2.4. Az $nD_T$ Pitagorasz- és koszinusztétel kapcsolata

A  $nD_T$  Pitagorasz- és koszinusztétel közötti kapcsolatot a vektorok hosszára vonatkozó összefüggés adja meg: mindkét tétel azt határozza meg, hogy egy  $n$ -dimenziós paralelopolitop testátlóját hogyan kell az élek irányába eső egységvektorok egymással bezárt szöge és a koordináták (az élek hossza) segítségével meghatározni. A Pitagorasz-tétel a derékszögű, a koszinusztétel a ferdeszögű koordinátarendszerben adja meg a testátló hosszát.

A koszinusztételben a szögeket derékszögeknek választva igazolható a Pitagorasz-tétel és annak megfordítása.

### 2.5. Megjegyzések

A kétdimenziós Euklideszi térben a Pitagorasz-tétel felhasználásával a koszinusztétel igazolható. A szerző számára nem ismert az  $nD_T$  koszinusztételnek az  $nD_T$  Pitagorasz-tétellel történő igazolása. Mivel két dimenzióban a bizonyítás azon alapul, hogy egy élnek önmagával vett direkt szorzat négyzetet ad, továbbá magasabb dimenzióban a szimplex önmagával vett direkt szorzata nem ábrázolható a szimplexet magába foglaló térben, az a sejtés, hogy az  $nD_T$  Pitagorasz-tétel segítségével az  $nD_T$  koszinusztétel elemi geometriai bizonyítása nem adható.



4. sz. ábra. Az  $nD_T$  koszinusztétel alkalmazása  $n = 3$ , egy síkba, és egy egyenesbe eső vektorok összegének meghatározására

A két tétel között fennáll egy lényeges különbség. Az  $nD_T$  Pitagorasztétel – az elfajuló élek esetét kizárva – mindig egy  $n$ -dimenziós téglatestre vonatkozik. Az egy csúcsból kiinduló, páronként merőleges  $n$  él mindig kifeszít egy  $n$ -dimenziós teret. Az  $nD_T$  koszinusztétel – az elfajuló élek esetének kizárása mellett is – vonatkozhat egy elfajuló  $n$ -dimenziós paralelopolytopra. Ugyanis semmi sem írja elő, hogy az egy csúcsból kiinduló  $n$  él feszítsen ki egy  $n$ -dimenziós teret. A koszinusztételt a 4. ábrán a háromdimenziós esetben egy síkba, illetve egy egyenesbe elfajuló tetraéderre mutatjuk be. Az egy síkba eső esetben a 4.a. ábráról leolvasható  $d$  szakasz két, ortogonális komponense. Erre nézve felírjuk a 2D Pitagorasztételt.

$$\begin{aligned}
 d^2 &= (a + b \cos \alpha + c \cos(\alpha + \beta))^2 + (b \sin \alpha + c \sin(\alpha + \beta))^2 = \\
 &= a^2 + b^2 (\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + c^2 (\cos^2(\alpha + \beta) + \sin^2(\alpha + \beta)) + \\
 &+ 2ab \cos \alpha + 2ca \cos(\alpha + \beta) + 2bc (\cos \alpha \cdot \cos(\alpha + \beta) + \sin \alpha \cdot \sin(\alpha + \beta)) = \\
 &= a^2 + b^2 + c^2 + 2ab \cos \alpha + 2bc \cos \beta + 2ca \cos(\alpha + \beta).
 \end{aligned} \tag{5}$$

A levezetés során felhasználtuk, hogy a harmadik sor utolsó kifejezésében a koszinuszfüggvény argumentuma éppen  $((\alpha + \beta) - \alpha) = \beta$ . A szögek az (5) összefüggésben „kiegészítő” szögek, ezért az összeadás szerepel a kifejezésben.

Az egy egyenesbe eső esetre vonatkozó összefüggés a 4.b. ábráról leolvasható.

Összefoglalva, az  $nD_T$  Pitagorasztétel mindig  $n$  lineárisan független vektor összegének hosszát adja meg, míg az  $nD_T$  koszinusztétel  $n$ , lineárisan nem feltétlen független vektor összegének hosszát adja meg az  $n$  vektor hosszának és az egyes vektorok páronként bezárt szögeinek függvényében.

### 3. A SZIMPLEXFOGALOM SZERINTI 3-DIMENZIÓS PITAGORASZ- ÉS KOSZINUSZTÉTELEK

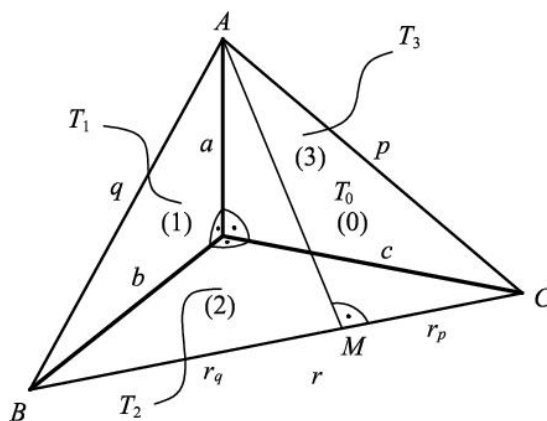
#### 3.1. A $3D_S$ Pitagorasztétel

*3.1. Definíció:* Az egy csúcsban páronként merőleges élű tetraédert *derékszögű tetraédernek*, a három derékszögű lapját *derékszögű lapoknak*, az általuk közrezárt lapot *átfogó lapnak* nevezzük.

3.1. Tétel ( $3D_S$  Pitagorasz-tétel): A derékszögű tetraéder átfogó lapjai területének négyzetösszege megegyezik a derékszögű tetraéder átfogó lapja területének négyzetével.

A 3.1. tétel bizonyítása.

Jelölje a három, páronként merőleges élt, és egyben azok hosszát, rendre  $a$ ,  $b$  és  $c$ , a tetraéder további három élt, és egyben hosszát, rendre  $p$ ,  $q$  és  $r$ . A  $p$  és  $q$  élek közös csúcsából az  $r$  élre bocsátott merőleges szakaszt és hosszát jelölje  $m$ , míg a talppontja az  $r$  élt ossza fel az  $r_p$ , illetve az  $r_q$  szakaszokra (lásd az 5. ábrát).



5. sz. ábra. A  $3D_S$  Pitagorasz-tétel

Végül jelölje az  $a$  és  $b$ ,  $b$  és  $c$ , illetve a  $c$  és  $a$  élek meghatározta befogó lapok területét rendre  $T_1$ ,  $T_2$  és  $T_3$ , míg az  $ABC$  átfogó lap területét  $T_0$ . A fent megfogalmazott tétel értelmében fennáll a

$$T_0^2 = T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 \quad (6)$$

összefüggés.

A befogó lapok, azaz a derékszögű háromszögek területei rendre

$$T_1 = \frac{1}{2}ab, \quad T_2 = \frac{1}{2}bc, \quad T_3 = \frac{1}{2}ca, \quad (7)$$

az átfogó lap területe

$$T_0 = \frac{1}{2}mr. \quad (8)$$

A  $2D$  Pitagorasz-tétel értelmében

$$r = \sqrt{b^2 + c^2}. \quad (9)$$

Az  $m$  meghatározásához az  $ABM$  és  $AMD$  derékszögű háromszögekre írjuk föl a  $2D$  Pitagorasz-tételt:

$$r_p^2 + m^2 = p^2, \quad r_q^2 + m^2 = q^2, \quad (10)$$

ahonnan az



$$r_p + r_q = r \quad (11)$$

összefüggést felhasználva az

$$r_p = \frac{p^2 - q^2 + r^2}{2r}, \quad r_q = \frac{-p^2 + q^2 + r^2}{2r} \quad (12)$$

segédmennyiségeken keresztül meghatározható az  $AM$  magasság hossza:

$$m = \sqrt{\frac{p^2 q^2 + q^2 r^2 + r^2 p^2}{r^2} - \left(\frac{p^2 + q^2 + r^2}{2r}\right)^2}. \quad (13)$$

Így az  $ABC$  háromszög területére a

$$T_0 = \frac{1}{2}mr = \frac{1}{2}\sqrt{p^2 q^2 + q^2 r^2 + r^2 p^2 - \frac{1}{4}(p^2 + q^2 + r^2)^2} \quad (14)$$

összefüggés adódik.

A  $p$  és  $q$  élek hossza – az 5. ábrától leolvasható – a  $2D$  Pitagorasz-tétel alapján meghatározható:

$$p = \sqrt{a^2 + c^2}, \quad q = \sqrt{a^2 + b^2}. \quad (15)$$

Ezzel, és a (9) segítségével a (14) összefüggést átalakítjuk:

$$\begin{aligned} T_0 &= \frac{1}{2}\sqrt{(a^2 + c^2)(a^2 + b^2) + (b^2 + c^2)(2a^2 + b^2 + c^2) - (a^2 + b^2 + c^2)^2} = \\ &= \frac{1}{2}\sqrt{a^2 b^2 + b^2 c^2 + c^2 a^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

Behelyettesítve az (7) és a (16) összefüggéseket az (6) összefüggésbe látható, hogy az teljesül.

$$\left(\frac{1}{2}\sqrt{a^2 b^2 + b^2 c^2 + c^2 a^2}\right)^2 = \left(\frac{1}{2}ab\right)^2 + \left(\frac{1}{2}bc\right)^2 + \left(\frac{1}{2}ca\right)^2. \quad (17)$$

Ezzel a 3.1. Tételt igazoltuk.

### 3.2. A $3D_S$ koszinusztétel

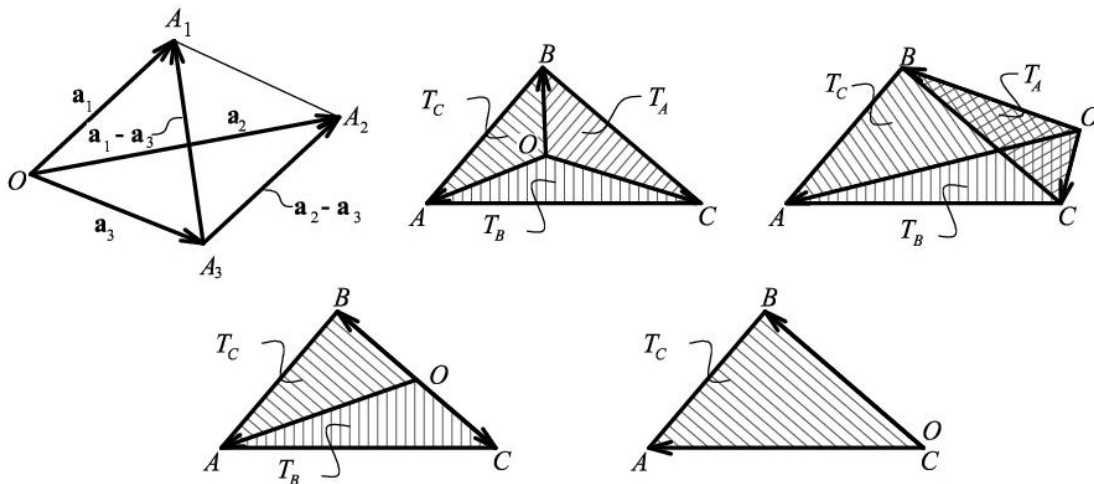
Három közös végpontú  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1,2,3$ ) vektor kifeszítette tetraéder négy lapjának területe között fennáll a

3.2. Tétel ( $3D_S$  koszinusztétel): A tetraéder bármely három lapja területének négyzetösszegének és ezen három lapból az összes lehetséges módon kiválasztott két-két lap területének és a két lap által bezárt szög koszinuszának kétszeres szorzatának különbsége megegyezik tetraéder negyedik lapja területének négyzetével.

A 3.2. Tétel bizonyítása.

A tetraéder kitüntetett lapjával szemközti csúcsot jelölje  $O$ , az ebből kiinduló éleket, mint vektorokat, jelölje  $\mathbf{a}_i$ , a vektorok végpontjait  $A_i$ , és az  $A_i$ -vel szemközti lap indexét  $i$  ( $i = 1,2,3$ ) (lásd a 6. ábrát). Az  $i$ -edik és a  $j$ -edik ( $i \neq j$ ) lapok által közrezárt szöget jelölje  $\gamma_{ij}$ . Végül a tetraéder  $i$ -edik indexű lapjának területét jelölje  $T_i$  ( $i = 1,2,3$ ), a szemközti lap területét  $T_0$ . Ekkor a tétel a következő algebrai alakban írható föl:

$$T_0^2 = T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 - 2T_1T_2 \cos \gamma_{12} - 2T_2T_3 \cos \gamma_{23} - 2T_3T_1 \cos \gamma_{31}. \quad (18)$$



6. sz. ábra. A  $3D_7$  koszinusztétel. Elfajuló és nem elfajuló esetek

A háromszöget a paralelogramma felének tekintve a tetraéder egyes lapjainak területét az éllel, mint vektorokkal fejezhetjük ki (pl. [3], p. 270). Ekkor a 0. lap (vektorértékű) területét a

$$\mathbf{T}_0 = \frac{1}{2}(\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_3) \times (\mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_3), \quad (19)$$

míg a másik három területét a

$$\mathbf{T}_1 = \frac{1}{2}(\mathbf{a}_2 \times \mathbf{a}_3), \quad \mathbf{T}_2 = \frac{1}{2}(\mathbf{a}_3 \times \mathbf{a}_1), \quad \mathbf{T}_3 = \frac{1}{2}(\mathbf{a}_1 \times \mathbf{a}_2) \quad (20)$$

vektorszorzatok határozzák meg.

Elvégezve a kijelölt műveleteket (19) összefüggésben, figyelemmel a (20) összefüggésekre, felhasználva a vektorszorzat antikommutativitását, a területek vektorértékére az alábbi összefüggést kapjuk:

$$\mathbf{T}_0 = \frac{1}{2}(\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_3) \times (\mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_3) = \mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_3. \quad (21)$$

A 0-dik indexű lap területének (skalár) értékét a skalárszorzat segítségével határozzuk meg:

$$\begin{aligned} (T_0)^2 &= \langle \mathbf{T}_0, \mathbf{T}_0 \rangle = \langle \mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_3, \mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_3 \rangle = \\ &= (T_1)^2 + (T_2)^2 + (T_3)^2 + 2\langle \mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2 \rangle + 2\langle \mathbf{T}_2, \mathbf{T}_3 \rangle + 2\langle \mathbf{T}_3, \mathbf{T}_1 \rangle. \end{aligned} \quad (22)$$

Mivel a  $\mathbf{T}_1$ ,  $\mathbf{T}_2$  és  $\mathbf{T}_3$  vektorok az azonos indexű lapokra merőlegesek, ezért a  $\mathbf{T}_i$  és a  $\mathbf{T}_j$  vektorok által bezárt szög a lapok által bezárt szög kiegészítő szöge a tetraéder  $i$ -edik és  $j$ -edik lapja által bezárt szögnek. Ezért a (22) a (18) összefüggésbe megy át.

A 3.2. Tételt ezzel bebizonyítottuk.

### 3.3. Az $3D_S$ Pitagorasz-tétel megfordítása

*3.3. Tétel ( $3D_S$  Pitagorasz-tétel megfordítása):* Amennyiben egy tetraéder valamely három lapja területének négyzetösszege megegyezik a negyedik lapja területének négyzetével, akkor a tetraéder derékszögű, továbbá a három lap alkotja a befogó lapokat, és negyedik lap az átfogó lapot.

A  $3D_S$  koszinusztétel segítségével igazolható, hogy csak derékszögű tetraéder esetén lesz az átfogó lap területének négyzete a másik három lap területeinek négyzetösszegével egyenlő.

### 3.4. Megjegyzések

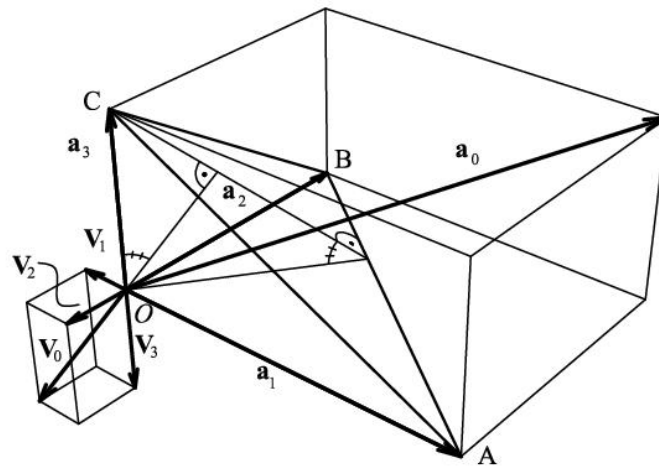
A  $3D_S$  koszinusztétel a  $3D_S$  Pitagorasz-tétel általánosítása derékszögű tetraéderről tetszőleges tetraéderre.

A  $3D_S$  koszinusztétel bizonyításnál nem használtuk ki, hogy az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1,2,3$ ) vektorok kifesztik a háromdimenziós teret. Ezért a 3.2. tétel az elfajuló tetraéderre is igaz (v.ö. a  $nD_T$  koszinusztétel kapcsán tett megjegyzést). Részletezve. Ha a tetraéder kitüntetett  $O$  csúcsponja beleesik az azzal „szemközti” lap síkjába, azon belül a „szemközti” lap egy belső pontjára, akkor ugyan a lapok nem fajultak el, de a tetraéder igen. Ebben az esetben a „közrefogó” lapok területei éppen kiadják a „közrefogott” lap terület, a négyzetük azonos, a háromtagú összegre vonatkozó négyzet éppen a koszinusztételt adja ki, amikor a lapok által közrezárt szögek értéke 180 fok (lásd a 6. ábra felső sorának középső ábráját). Ha az  $O$  csúcspon a háromszögen kívül esik bele a „szemközti” lap síkjába, akkor az  $A$  csúccsal szemközti lap a  $B$  és a  $C$  csúccsal szemközti lapokkal nulla fokot zár be (lásd a 6. ábra felső sorának jobb szélső ábráját). Ha az  $O$  csúcspon a háromszög élére, netán egyik csúcsára esik, akkor lesznek elfajuló lapok, de a befoglaló lapok területeinek összege kiadja közrefogott lap területét (lásd a 6. ábra alsó sorának ábráit). Vagyis a koszinusztétel elfajuló esetekben is fennáll. Ha mind a négy csúcspon egy egyenesre esik, akkor visszajutunk a távolságfogalom szerinti koszinusztételhez.

A  $3D_T$  és  $3D_S$  Pitagorasz-tételek között fennáll egy ekvivalencia (lásd a 7. ábrát): mindkét tétel visszavezethető a téglatest átlója, illetve az átfogó lap merőleges vetítésével a

$$1 = \cos \gamma_1^2 + \cos \gamma_2^2 + \cos \gamma_3^2 \quad (23)$$

összefüggésre. Itt  $\gamma_i$  egyaránt jelöli a testátló és az  $i$ -edik él, valamint az átfogó lap és  $i$ -edik befogó lap által közrezárt szöget.



7. sz. ábra. A  $3D_T$  és  $3D_S$  Pitagorasz-tételek ekvivalenciája

A  $3D_T$  és  $3D_S$  koszinusztételek között is fennáll egy ekvivalencia. Ennek alapja az, hogy a  $3D_T$  koszinusztétel az  $\mathbf{a}_0 = \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 + \mathbf{a}_3$  vektorok (v.ö. a (2) képlettel), míg a  $3D_S$  koszinusztétel az  $\mathbf{T}_0 = \mathbf{T}_1 + \mathbf{T}_2 + \mathbf{T}_3$  vektorok (lásd a (21) képletet) hosszának kiszámítására vonatkozik. Egyúttal megjegyezzük, hogy, ha  $\{\mathbf{a}_i\}$  bázis a háromdimenziós térben, akkor (a normálástól eltekintve)  $\{\mathbf{T}_i\}$  annak duális bázisa ( $i = 1,2,3$ ).

#### 4. A SZIMPLEXFOGALOM SZERINTI $n$ -DIMENZIÓS PITAGORASZ- ÉS KOSZINUSZTÉTELEK

##### 4.1. Az $nD_S$ Pitagorasz-tétel

4.1. *Definíció:* A  $k$ -dimenziós Euklideszi térben legyen adott  $k$  darab, egy pontból kiinduló, páronként egymásra merőleges egyenes szakasz. Ezeket jelölje  $a_i$  ( $i = 1,2,3, \dots, k$ ), a közös kezdőpontot  $O$ , míg a végpontokat  $A_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ). Az  $O, A_1, A_2, A_3, \dots, A_k$  pontok által meghatározott  $S^\perp = OA_1A_2A_3\dots A_k$  szimplexet  $k$ -dimenziós *derékszögű szimplexnek* nevezzük.

A definícióból következik, hogy a  $k$ -dimenziós derékszögű szimplexet  $k$  ( $k-1$ )-dimenziós derékszögű szimplex, a  $S_i^\perp = OA_1A_2\dots A_{i-1}A_{i+1}\dots A_k$  szimplexek, és egy ( $k-1$ )-dimenziós általános elrendezésű szimplex, a  $S_0^\Delta = A_1A_2A_3\dots A_k$  szimplex határolja.

4.2. *Definíció:* A  $k$ -dimenziós derékszögű szimplexet határoló  $k$  ( $k-1$ )-dimenziós derékszögű szimplexet *befogó határszimplexnek*, az egy darab ( $k-1$ )-dimenziós általános elrendezésű szimplexet *átfogó határszimplexnek* nevezzük.

4.1. *Tétel ( $nD_S$  Pitagorasz-tétel):* Az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex befogó határszimplexek térfogatának négyzetösszege megegyezik a derékszögű szimplex átfogó határszimplexek térfogatának négyzetével.

A 4.1. Tétel bizonyítása.

A bizonyítás első két lépésében megadjuk a befogó és az átfogó határszimplexek térfogatát meghatározó összefüggéseket. Az összefüggéseket külön lemmában bizonyítjuk. A bizonyítást teljes indukcióval végezzük.

4.1. *Lemma:* A közös kezdőpontú, páronként egymásra merőleges  $a_i$  ( $i = 1,2,3, \dots, k$ ) egyenes szakaszok által meghatározott  $k$ -dimenziós derékszögű szimplex térfogatát a

$$V_k^\perp(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k) = \frac{\prod_{i=1}^k a_i}{k!} \quad (24)$$

összefüggés adja meg. Itt  $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) egyúttal a szakasz hosszát is jelöli.

A 4.1. Lemma bizonyítása.

Az összefüggés  $k = 1$ -re visszaadja a szakasz hosszát,

$$V_1^\perp(a_1) = a_1, \quad (25)$$

$k = 2$ -re a derékszögű háromszög területét adja meg,

$$V_2^\perp(a_1, a_2) = \frac{a_1 a_2}{2}, \quad (26)$$

$k = 3$ -ra a derékszögű tetraéder térfogatát szolgáltatja,

$$V_3^\perp(a_1, a_2, a_3) = \frac{a_1 a_2 a_3}{6}. \quad (27)$$

A teljes indukció:

$$V_k^\perp(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k) \frac{a_{k+1}}{k+1} = \frac{\prod_{i=1}^k a_i}{k!} \cdot \frac{a_{k+1}}{k+1} = \frac{\prod_{i=1}^{k+1} a_i}{(k+1)!} = V_k^\perp(a_1, a_2, a_3, \dots, a_{k+1}). \quad (28)$$

Ezzel a 4.1. Lemmát bebizonyítottuk.

4.2. Lemma: A közös kezdőpontú, páronként egymásra merőleges  $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) egyenes szakaszok végpontjai által meghatározott  $(k-1)$ -dimenziós átfogó határszimplex térfogatát a

$$V_{k-1}^\Delta(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left( \frac{\prod_{i=1}^k a_i}{a_j (k-1)!} \right)^2} \quad (29)$$

összefüggés adja meg. Itt  $a_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) egyúttal a szakasz hosszát is jelöli.

A 4.2. Lemma bizonyítása.

Az összefüggés  $k = 2$ -re visszaadja az  $a_1$  és  $a_2$  szakaszok végpontjai által kifeszített általános helyzetű szakasz hosszát:

$$V_1^\Delta(a_1, a_2) = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}, \quad (30)$$

$k = 3$ -ra megadja az  $a_1$ ,  $a_2$  és  $a_3$  szakaszok végpontjai által kifeszített általános helyzetű háromszög területét:

$$V_2^\Delta(a_1, a_2, a_3) = \frac{1}{2} \sqrt{a_1^2 a_2^2 + a_2^2 a_3^2 + a_3^2 a_1^2} \quad (31)$$

(lásd a (16) összefüggést).

A teljes indukciót nem a térfogatra, hanem annak négyzetére igazoljuk (a térfogat argumentumainak a kiírásától eltekintünk):

$$\begin{aligned} (V_{k-1}^\Delta)^2 \left(\frac{a_{k+1}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\prod_{i=1}^{k+1} a_i}{a_{k+1}k!}\right)^2 &= \sum_{j=1}^k \left(\frac{\prod_{i=1}^k a_i}{a_j(k-1)!}\right)^2 \cdot \left(\frac{a_{k+1}}{k}\right)^2 + \left(\frac{\prod_{i=1}^{k+1} a_i}{a_{k+1}k!}\right)^2 = \\ &= \sum_{j=1}^k \left(\frac{\prod_{i=1}^{k+1} a_i}{a_j k!}\right)^2 + \left(\frac{\prod_{i=1}^{k+1} a_i}{a_{k+1}k!}\right)^2 = \sum_{j=1}^{k+1} \left(\frac{\prod_{i=1}^{k+1} a_i}{a_j k!}\right)^2 = (V_k^\Delta)^2. \end{aligned} \quad (32)$$

Ezzel a 4.2. Lemmát bebizonyítottuk.

A két lemmában bevezetett jelölésekkel a 4.2.  $nD_S$  Pitagorasztétel állítását a

$$\sum_{i=1}^k (V_{k-1}^\perp(a_1, a_2, \dots, a_{i-1}, a_{i+1}, \dots, a_k))^2 = (V_{k-1}^\Delta(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k))^2 \quad (33)$$

összefüggés fejezi ki. A fenti két lemmában igazoltak alapján

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^k (V_{k-1}^\perp(a_1, a_2, \dots, a_{j-1}, a_{j+1}, \dots, a_k))^2 &= \sum_{j=1}^k \left(\frac{\prod_{i=1}^k a_i}{a_j(k-1)!}\right)^2 = \\ &= \left(\sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\prod_{i=1}^k a_i}{a_j(k-1)!}\right)^2}\right)^2 = (V_{k-1}^\Delta(a_1, a_2, a_3, \dots, a_k))^2. \end{aligned} \quad (34)$$

Ezzel a 4.1.  $nD_S$  Pitagorasztételt igazoltuk.

#### 4.1. Az $nD_S$ koszinusztétel

4.2. Tétel ( $nD_S$  koszinusztétel): Egy  $n$ -dimenziós szimplex bármely  $n$  határszimplexe térfogata négyzetösszegének és ezen  $n$  határszimplexből az összes lehetséges módon kiválasztott két-két határszimplex térfogatának és a két határszimplex által bezárt szög koszinuszának kétszeres szorzatának különbsége megegyezik az  $(n+1)$ -edik határszimplex térfogatának négyzetével.

Az  $n$ -dimenziós szimplex kitüntetett határszimplexével szemközti csúcsot jelölje  $O$ , az ebből kiinduló éleket, mint vektorokat, jelölje  $\mathbf{a}_i$ , a vektorok végpontjait  $A_i$ , és az  $A_i$ -vel szemközti határszimplex indexét  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ). Az  $i$ -edik és a  $j$ -edik ( $i \neq j$ ) határszimplexelek által közrezárt szöget jelölje  $\gamma_{ij}$ . Végül az  $n$ -dimenziós szimplex  $i$ -edik indexű határszimplexének térfogatát jelölje  $V_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), a „szemközti” határszimplex térfogatát  $V_0$ . Ekkor a tétel a következő algebrai alakban írható föl:

$$V_0^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 - 2 \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n V_i V_j \cos \gamma_{ij}. \quad (35)$$

A tétel igazoláshoz meg kell határozni egy szimplex határsimplexének térfogatát a határsimplexet kifeszítő élek hosszának függvényében. Ezt fejezi ki a

4.3. Lemma: A  $k$ -dimenziós Euklideszi tér  $(k-1)$  közös kezdőpontú, lineárisan független  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ ) vektora által kifeszített  $(k-1)$ -dimenziós szimplex térfogata az a  $\mathbf{V}_{k-1}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{k-1})$  vektor, amelyet a

$$\mathbf{V}_{k-1}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{k-1}) = \frac{1}{(k-1)!} \begin{vmatrix} \mathbf{i}_1 & \mathbf{i}_2 & \cdots & \mathbf{i}_k \\ a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{21} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k-1,1} & a_{k-1,2} & \cdots & a_{k-1,k} \end{vmatrix} \quad (36)$$

összefüggés határozza meg. Itt  $\{\mathbf{i}_i\}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) a  $k$ -dimenziós Euklideszi tér egy ortonormált bázisa, míg  $a_{ij}$  a  $j$ -edik vektor  $i$ -edik komponense az  $\{\mathbf{i}_i\}$  bázisban. Az így definiált vektorértékű térfogat előjele függ a vektorok sorrendjétől.

A fenti értelmezés alapján fennáll az alábbi

4.1. Következmény: A vektorértékű  $\mathbf{V}_{k-1}$  térfogat merőleges a  $k$ -dimenziós Euklideszi tér  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ ) vektorával kifeszített  $(k-1)$ -dimenziós alterére.

A 4.1. Következmény bizonyítása.

A (36) értelmező összefüggés alapján meghatározzuk a  $\mathbf{V}_{k-1}$  és az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ ) vektorok skaláris szorzatát.

$$\begin{aligned} \langle \mathbf{V}_{k-1}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{k-1}), \mathbf{a}_q \rangle &= \frac{1}{(k-1)!} \left\langle \sum_{i=1}^k A_{ii} \mathbf{i}_i, \sum_{i=1}^k a_{qi} \mathbf{i}_i \right\rangle = \\ &= \frac{1}{(k-1)!} \sum_{i=1}^k A_{ii} a_{qi} = \frac{1}{(k-1)!} \begin{vmatrix} a_{q1} & a_{q2} & \cdots & a_{qk} \\ a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{21} & \cdots & a_{2k} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{k-1,1} & a_{k-1,2} & \cdots & a_{k-1,k} \end{vmatrix} = 0, \end{aligned} \quad (37)$$

mert az első sor bármely  $q$  ( $q = 1, 2, 3, \dots, k$ ) esetén kétszer szerepel a determinánsban (lásd pl. [1]). Itt az  $A_{ii}$  a (36)-beli determináns első sora  $i$ -edik eleméhez tartozó előjeles aldetemináns.

Ezzel a 4.1. Következményt bebizonyítottuk.

*Megjegyzés:* az a tény, hogy a  $\mathbf{V}_{k-1}$  és az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ ) vektorok ortogonálisak egymásra, egyúttal azt is jelenti, hogy  $\mathbf{V}_{k-1}$  és az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ ) vektorok lineárisan függetlenek. Az ortogonalitás miatt  $\mathbf{V}_{k-1}$  értelmét kétféleképpen lehet felvenni. A  $\mathbf{V}_{k-1}$  vektor irányát úgy választjuk meg, hogy az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ ) és a  $\mathbf{V}_{k-1}$  vektorok irányítása egyezzen meg az  $\{\mathbf{i}_i\}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) bázis irányításával.

A 4.3. Lemma bizonyítása.

A 4.3. Lemma alapján a  $k$ -dimenziós Euklideszi térben a  $(k-1)$ -dimenziós határsimplex skalárértékű térfogatát a

$$V_{k-1} = \sqrt{\langle \mathbf{V}_{k-1}, \mathbf{V}_{k-1} \rangle} \quad (38)$$

kifejezés adja meg.

A (36) összefüggés  $k = 2$  esetén egy  $\mathbf{a}$  vektort szolgáltatja:

$$\mathbf{V}_1(\mathbf{a}) = \frac{1}{1!} \begin{vmatrix} \mathbf{i}_1 & \mathbf{i}_2 \\ a_1 & a_2 \end{vmatrix} = a_2 \mathbf{i}_1 - a_1 \mathbf{i}_2, \quad (39)$$

és (38) alapján a skalárértékű térfogat az  $\mathbf{a}$  vektor hossza:

$$V_1 = \sqrt{\langle a_2 \mathbf{i}_1 - a_1 \mathbf{i}_2, a_2 \mathbf{i}_1 - a_1 \mathbf{i}_2 \rangle} = \sqrt{a_1^2 + a_2^2}. \quad (40)$$

A (36) összefüggés  $k = 3$  esetén egy  $\mathbf{a}$  és egy  $\mathbf{b}$  vektor által kifeszített háromszög területét vektorként határozza meg. Ugyanis

$$\mathbf{V}_2(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{1}{2!} \begin{vmatrix} \mathbf{i}_1 & \mathbf{i}_2 & \mathbf{i}_3 \\ a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \end{vmatrix} = \frac{1}{2} (a_2 b_3 - a_3 b_2) \mathbf{i}_1 + (a_3 b_1 - a_1 b_3) \mathbf{i}_2 + (a_1 b_2 - a_2 b_1) \mathbf{i}_3, \quad (41)$$

és (38) alapján skalárértéke:

$$V_2(\mathbf{a}, \mathbf{b}) = \frac{1}{4} \sqrt{(a_2 b_3 - a_3 b_2)^2 + (a_3 b_1 - a_1 b_3)^2 + (a_1 b_2 - a_2 b_1)^2}, \quad (42)$$

ami megegyezik az origó és az origóból induló két vektor végpontjával megadott háromszög területével (lásd pl. [5] p. 70).

A továbbiak átírjuk a (36) kifejezést egy olyan  $\{\mathbf{i}'_i\}$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, k$ ) bázisba, amelynek az első  $(k-1)$  eleme kifeszíti az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (k-1)$ )  $(k-1)$ -dimenziós alteret.

$$\mathbf{V}_{k-1}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{k-1}) = \frac{1}{(k-1)!} \begin{vmatrix} \mathbf{i}'_1 & \mathbf{i}'_2 & \dots & \mathbf{i}'_{k-1} & \mathbf{i}'_k \\ a'_{11} & a'_{11} & \dots & a'_{1,k-1} & 0 \\ a'_{21} & a'_{21} & \dots & a'_{2,k-1} & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a'_{k-1,1} & a'_{k-1,2} & \dots & a'_{k-1,k-1} & 0 \end{vmatrix}. \quad (43)$$

A (43) összefüggés alapján  $k$ -dimenziós Euklideszi tér  $(k-1)$  közös kezdőpontú, független  $\mathbf{a}_i$  vektora által kifeszített  $(k-1)$ -dimenziós szimplex (36) alatti vektorértékű térfogatát az  $\mathbf{a}_i$  vektorok külső szorzataként is értelmezhetjük:

$$\mathbf{V}_{k-1}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{k-1}) = \mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{k-1}. \quad (44)$$

Ebben a formában alkalmazható a teljes indukció:

$$\mathbf{V}_{k-1}(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{k-1}) \wedge \mathbf{a}_k = \mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{k-1} \wedge \mathbf{a}_k = \mathbf{V}_k(\mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_k). \quad (45)$$

Ezzel a 4.3. Lemmát bebizonyítottuk.



A 4.3. Lemma alapján felírható egy  $n$ -dimenziós szimplex határszimpleteinek térfogata.

A  $n$ -dimenziós szimplex  $S_0$  „kitüntetett” határszimplexét az  $(\mathbf{a}_j - \mathbf{a}_n)$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, (n-1)$ ) vektorok határozzák meg. Az  $S_0$  határszimplex a térfogatát a

$$\mathbf{V}_{n-1,0} = \mathbf{V}_{n-1,0}(\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_n, \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_n, \dots, \mathbf{a}_{n-1} - \mathbf{a}_n) \quad (46)$$

kifejezés határozza meg. Itt az  $n-1$  index a szimplex dimenziószámára utal. Az  $n$ -dimenziós szimplex további  $S_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, (n-1)$ ) határszimpleteinek a térfogatát a

$$\mathbf{V}_{n-1,i} = \mathbf{V}_{n-1,i}(\mathbf{a}_{i+1}, \mathbf{a}_{i+2}, \dots, \mathbf{a}_{n-1}, \mathbf{a}_n, \mathbf{a}_1, \mathbf{a}_2, \dots, \mathbf{a}_{i-2}, \mathbf{a}_{i-1}) \quad (47)$$

összefüggések adják meg.

A 4.2. Tétel bizonyítása.

A (46) összefüggésben az zárójelezést felbontjuk:

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_{n-1,0} &= \mathbf{V}_{n-1,0}(\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_n, \mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_n, \dots, \mathbf{a}_{n-1} - \mathbf{a}_n) = (\mathbf{a}_1 - \mathbf{a}_n) \wedge (\mathbf{a}_2 - \mathbf{a}_n) \wedge \dots \wedge (\mathbf{a}_{n-1} - \mathbf{a}_n) = \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{i-1} \wedge (-\mathbf{a}_n) \wedge \mathbf{a}_{i+1} \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{n-2} \wedge \mathbf{a}_{n-1} + \mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{n-1} = \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{a}_{i+1} \wedge \mathbf{a}_{i+2} \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{n-1} \wedge \mathbf{a}_n \wedge \mathbf{a}_1 \wedge \mathbf{a}_2 \wedge \dots \wedge \mathbf{a}_{i-1} + \mathbf{V}_{n-1,n} = \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \mathbf{V}_{n-1,i} + \mathbf{V}_{n-1,n} = \sum_{i=1}^n \mathbf{V}_{n-1,i}, \end{aligned} \quad (48)$$

azaz a „kitüntetett” határszimplex vektorértékű térfogata megegyezik a többi határszimplex vektorértékű térfogatának vektoriális összegével. A kifejezés felbontása során felhasználtuk a külső szorzatban szereplő komponensek felcserélésére vonatkozó előjel szabályt:

$$\mathbf{A} \wedge \mathbf{B} = (-1)^{pq} \mathbf{B} \wedge \mathbf{A}, \quad (49)$$

ahol  $\mathbf{A}$   $p$ -ed fokú,  $\mathbf{B}$  pedig  $q$ -ad fokú alternáló forma (lásd [8] pp. 68-69).

Miután a térfogatok vektorértékű kifejezéseire fennáll az összegzés, ezért a térfogatok skálárértékének négyzeteire az alábbi összefüggés írható fel:

$$(V_{n-1,0})^2 = \left\langle \sum_{i=1}^n \mathbf{V}_{n-1,i}, \sum_{j=1}^n \mathbf{V}_{n-1,j} \right\rangle = \sum_{i=1}^n \langle \mathbf{V}_{n-1,i}, \mathbf{V}_{n-1,i} \rangle + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n \langle \mathbf{V}_{n-1,i}, \mathbf{V}_{n-1,j} \rangle. \quad (50)$$

A jobb oldali kifejezés első összege a „kitüntetetten” kívüli határszimplexek térfogatainak négyzetét, a második összege pedig ugyanezen határszimplexek összes lehetséges párosításában a határszimplexek térfogatainak és közrezárt szög koszinuszának kétszeres szorzata. Ebben a felírásban a határszimplexek által bezárt szög helyett a határszimplex térfogatait reprezentáló vektor által bezárt szög szerepel. A 4.2. Tétel bizonyításának befejezéséhez meg kell mutatni, hogy a szimplex térfogatát reprezentáló vektorok és a szimplexek által bezárt szögek kiegészítő szögek. Ezt az 5.1. pontban mutatjuk meg. Ezzel a 4.2. Tétel bebizonyítottuk.

### 4.3. Az $nD_S$ Pitagorasz-tétel megfordítása

4.3. Tétel ( $nD_S$  Pitagorasz-tétel): Ha egy  $n$ -dimenziós szimplex  $n$ , egy csúcsban érintkező határszimpletei térfogatának négyzetösszege megegyezik a fentebb említett  $n$  ( $n-1$ )-dimenziós határszimpletei által közrezárt szimplex térfogatának négyzetével, akkor a szimplex derékszögű, az  $n$  egy csúcsban érintkező határszimpletei a befogó szimplexek, és az  $(n+1)$ -edik szimplex az átfogó szimplex.

A 4.3. Tétel bizonyítása az  $nD_S$  koszinusztételből következik: csak derékszögű szimplex esetén lesz az átfogó határszimplex térfogatának négyzete a másik  $(n-1)$  határszimplex térfogatainak négyzetösszegével egyenlő.

### 4.4. Megjegyzések

Az  $nD_S$  koszinusztétel az  $nD_S$  Pitagorasz-tétel általánosítása derékszögű szimplexről tetszőleges szimplexre.

A két tétel között, hasonlóan az  $nD_T$  tételekre, fennáll egy lényeges különbség. Az  $nD_S$  Pitagorasz-tétel – az elfajuló élek esetét kizárva – mindig egy  $n$ -dimenziós derékszögű szimplexre vonatkozik. Ugyanis az egy csúcsból kiinduló, páronként merőleges  $n$  él mindig kifeszít egy  $n$ -dimenziós teret. Az  $nD_S$  koszinusztétel – az elfajuló élek esetének kizárása mellett is – vonatkozhat egy elfajuló  $n$ -dimenziós paralelopolitopra. Ugyanis az  $nD_S$  koszinusztétel bizonyításánál nem használtuk ki, hogy az  $\mathbf{a}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) vektorok kifeszítik a  $n$ -dimenziós teret. Mivel csak  $(n-1)$ -dimenziós szimplexek térfogatait számítjuk ki, ezért, csak azt követeljük meg (hallgatólagosan), hogy az  $n$  élből kiválasztott bármelyik  $(n-1)$  él legyen lineárisan független. Ez úgy is fennállhat, ha az  $n$  él benne fekszik az  $n$ -dimenziós Euklideszi tér egy  $(n-1)$ -dimenziós alterében. (Pl. az  $O$  kitüntetett csúcspont beleesik a „közrezárt” határszimplex alterébe.) Azaz az  $nD_S$  Pitagorasz-tétel mindig  $n$  lineárisan független kovektor összegének hosszát adja meg, míg az  $nD_S$  koszinusztétel  $n$ , lineárisan nem feltétlen független kovektor összegének hosszát adja meg az  $n$  kovektor hosszának és az egyes kovektorok páronként bezárt szögeinek függvényében.

Megjegyezzük, hogy ha az elfajuló, azaz egy alacsonyabb dimenzióba „összecsukódó” szimplex térfogatára az alacsonyabb dimenzióban, az „átfedések számát” figyelembe vevő térfogatot értelmezzük, akkor ezekre az elfajuló szimplexre is igaz a  $nD_S$  koszinusztétel. A háromdimenziós esetet a 6. ábra illusztrálja. A négydimenziós szimplex egy háromdimenziós a határszimplete a tetraéder, ez elfajul egy négyszöggé, és az elfajult tetraéder térfogata nem a négyszög területe, hanem, mivel a tetraéder összecsukódott egy kétrétegű négyszöggé, a négyszög kétszeres terület adja meg az elfajult tetraéder (elfajult) térfogatát. A koszinusztétel ebben az esetben is fennáll.

A  $k$ -dimenziós tér  $(k-1)$ -dimenziós szimplexe térfogatának  $(k-1)$ -dimenziós alternáló formaként való értelmezése összhangban van a síkbeli és térbeli szimplexek esetén a skalárértékű térfogat fogalmával (lásd a (37) összefüggést), és az irányított térfogat fogalmával (lásd pl. [6], p. 1151, valamint [7] pp. 116-118 és [8] pp. 74-83). Ezzel a terminológiával kifejezve, a háromdimenziós Euklideszi térben bivektorokkal dolgozunk (lásd pl. [7] pp. 73-74).

A  $k$ -dimenziós tér  $(k-1)$ -dimenziós szimplexe vektorértékű térfogatának értelmezését alternáló formaként azt teszi lehetővé, hogy fennáll egy bijektív megfeleltetés a  $(k-1)$ -vektorok és az 1-kovektorok között (lásd [8] p. 88).

Az  $nD_T$  és  $nD_S$  Pitagorasz-tételek között, hasonlóan a  $3D_T$  és  $3D_S$  Pitagorasz-tételekre, fennáll egy ekvivalencia. Mindkét tétel visszavezethető az  $n$ -dimenziós téglatest átlója, illetve az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex átfogó határszimplete merőleges vetítésével a

$$1 = \sum_{i=1}^n \cos \gamma_i^2 \quad (51)$$

összefüggésre. Itt  $\gamma_i$  egyaránt jelöli a testátló és az  $i$ -edik él, valamint az átfogó határszimplex és az  $i$ -edik befogó határszimplex által közrezárt szöveget.

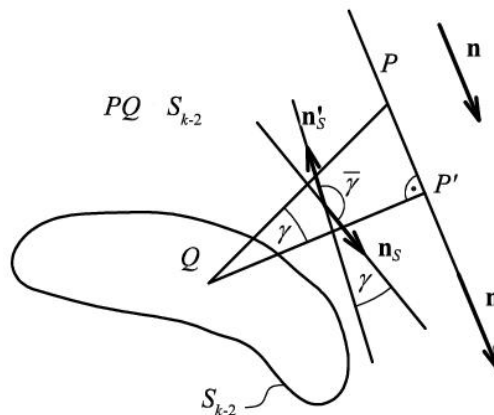
Az  $nD_T$  és  $nD_S$  koszinusztételek között is, analóg módon a  $3D_T$  és  $3D_S$  koszinusztételekhez, fennáll egy ekvivalencia. Ennek alapja az, hogy az  $nD_T$  koszinusztétel az  $\mathbf{a}_0 = \mathbf{a}_1 + \mathbf{a}_2 + \dots + \mathbf{a}_n$  vektorok (v.ö. a (2) képlettel), míg az  $nD_S$  koszinusztétel az  $\mathbf{V}_0 = \mathbf{V}_1 + \mathbf{V}_2 + \dots + \mathbf{V}_n$  kovektorok (lásd a (48) képletet) hosszának kiszámítására vonatkozik. Egyúttal megjegyezzük, hogy ha  $\{\mathbf{a}_i\}$  bázis az  $n$ -dimenziós térben, akkor (a normálástól eltekintve)  $\{\mathbf{V}_i\}$  annak duális bázisa ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

A fennálló ekvivalenciákkal a következő fejezetben foglalkozunk.

## 5. A TÁVOLSÁGFOGALOM ÉS SZIMPLEXFOGALOM SZERINTI MEGFOGALMAZÁS EKVIVALENCIÁJA

### 5.1. A szimplexek vetülete

5.1. *Definíció:* Kegyen adott a  $(k+2)$ -dimenziós Euklideszi térben egy  $k$ -dimenziós  $S_k$  szimplex, egy  $P$  pont, és egy  $\mathbf{n}$  irányvektor. Az  $S_k$  szimplex csúcsai és a  $P$  pont legyenek általános helyzetűek, azaz együttesen alkossanak egy  $(k+1)$ -dimenziós  $S_{k+1}$  szimplexet. Az  $\mathbf{n}$  vektor meghatározta egyenes és az  $S_k$  szimplex legyenek kitérőek ( $E_{k+2} = E_k \oplus E_2$ ,  $S_k \in E_k$ ,  $\mathbf{n} \in E_2$ ). A  $P$  pontból merőlegest bocsátva az  $S_k$  szimplexre, az így nyert talppontot jelölje  $Q$ . Végül a  $Q$  talppontból bocsássunk merőlegest a  $P$  ponton áthaladó,  $\mathbf{n}$  irányvektorú egyenesre; ezt a talppontot jelölje  $P'$ . Az  $S_{k+1} = (S_k, P)$  szimplex  $\mathbf{n}$  irányú vetületének az  $S'_{k+1} = (S_k, P')$  szimplexet nevezzük. A  $\angle PQP'$  szöveget a két szimplex által bezárt szögnek nevezzük (lásd az 8. ábrát).



8. sz. ábra. A szimplex  $\mathbf{n}$  irányú merőleges vetülete

Egy szimplex és merőleges vetület térfogatainak arányát megadja az alább következő

5.1. *Lemma:* A fenti definíció jelölése mellett az  $S'_{k+1}$  és az  $S_{k+1}$  szimplexek térfogatainak arányát a közbezárt szög koszinuszfüggvénye határozza meg:

$$\frac{V'_{k+1}}{V_{k+1}} = \cos \gamma. \quad (52)$$

Ennek igazoláshoz elegendő belátni, hogy teljesül az alábbi

5.2. Lemma: Legyen az  $S_k$  egy  $k$ -dimenziós szimplex, és legyen az  $m_{k+1}$  az  $S_k$  szimplexre illeszkedő (egyik végpontja egybeesik az  $S_k$  valamelyik határpontjával), arra merőleges szakasz. Az  $S_k$  szimplex és az  $m_{k+1}$  szakasz által kifeszített  $S_{k+1} = (S_k, m_{k+1})$  szimplex térfogatát a

$$V_{k+1} = \frac{V_k m_{k+1}}{k+1} \quad (53)$$

összefüggés fejezi ki. Itt  $V_k$  az  $S_k$  szimplex térfogatát jelöli.

Az 5.2. Lemma állítás nyilvánvaló. Ugyanis  $k = 1$ -re  $S_1$  egy szakasz,  $V_1$  annak hossza,  $S_2$  az a háromszög, amelynek az alapja az  $S_1$ , magassága  $m_2$ ,  $V_2$  pedig a háromszög területe. Továbbá  $k = 2$ -re  $S_2$  egy háromszög,  $V_2$  annak területe,  $S_3$  az a tetraéder, amelynek az alapja az  $S_2$  háromszög, a hozzá tartozó  $m_3$  magassággal,  $V_3$  pedig a tetraéder térfogata. Végül az (53) képletből látható, hogy az indukciós összefüggés, azaz az  $n$ -re vonatkozó összefüggésből következik az  $(n+1)$ -re vonatkozó összefüggés.

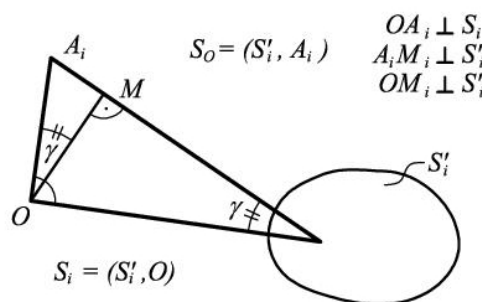
Az 5.1. Lemma az 5.2. Lemma következménye. Ugyanis  $S_{k+1}$  és  $S'_{k+1}$  szimplexek eleget tesznek az 5.2. Lemma feltételeinek –  $PQ$  és  $P'Q$  egyaránt merőleges  $S_k$  szimplexre –, és  $P'Q/PQ = \cos\gamma$ . Ezért az (52) összefüggés teljesül.

A derékszögű szimplex átfogó határszimplete és befogó határszimplete közötti geometriai kapcsolatot megadja a következő

5.3. Lemma: A derékszögű szimplex befogó határszimpletei a derékszögű szimplex átfogó határszimplexének merőleges vetületei.

Az 5.3. Lemma a szimplex merőleges vetülete definíciójának értelmében teljesül.

A befogó határszimpletek közös csúcsát jelölje  $O$ . Tekintsük az  $i$ -edik élt, illetve az  $i$ -edik  $A_i$  csúcsot. Hagyjuk el az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex  $O$  és  $A_i$  csúcsát. A megmaradt  $A_1, A_2, \dots, A_{i-1}, A_{i+1}, \dots, A_n$  csúcsok kifeszítik az  $S_{n-2}$  szimplexet,  $A_i$  adja  $P$  pontot és az  $O$  pont adja a  $Q$  pontot, míg a  $A_iO$  szakasz a vetítés irányát. A vetítés iránya, definíció szerűen merőleges az  $S_{n-2}$  szimplexre. A szimplex merőleges vetítése értelmében az  $S_0 = A_1, A_2, \dots, A_n$  átfogó szimplexnek az  $i$ -edik él irányú vetülete az  $S_i = A_1, A_2, \dots, A_{i-1}, A_{i+1}, \dots, A_n$  befogó határszimplex (lásd a 9. ábrát).



1. sz. ábra. Három vázlat a Pitagorasz-tétel bizonyításához

A három lemma következményeképpen megállapítható, hogy egy derékszögű szimplexben a befogó és átfogó határszimpletek térfogatainak aránya a két szimplex által bezárt szög koszinusza.

## 5.2. A $nD_T$ és $nD_S$ Pitagorasz-tételek ekvivalenciája

A  $2D$  Pitagorasz-tétel kétféle geometriai értelmezésével nyert kétféle általánosítás azonos struktúrával rendelkezik:

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n a_i^2 \quad (54)$$

a távolságfogalom szerint, és

$$V_0^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 \quad (55)$$

a szimplexfogalom szerint. Itt  $a_0$ , illetve  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) a derékszögű téglatest testlóját, illetve éleit, valamint  $V_0$ , illetve  $V_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) a derékszögű szimplex átfogó, illetve befogó szimplexeinek térfogatát jelöli.

Mindkét összefüggés felírható a

$$g_{ij} = \langle \mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j \rangle = \delta_{ij} \quad (56)$$

jelöléssel a

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_i a_j, \quad (57)$$

illetve

$$V_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} V_i V_j \quad (58)$$

alakba.

Az (57) és az (58) összefüggésből leolvasható, hogy mindkettő két pont közötti távolságot fejezi ki ortogonális koordinátákban.

A  $n$ -dimenziós téglatest  $a_0$  átlója, és az  $a_i$  élei közötti  $\gamma_i$  szögek segítségével (54) az

$$1 = \sum_{i=1}^n \cos^2 \gamma_i \quad (59)$$

alakba írható.

Az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex átfogó, illetve befogó szimplexei térfogatainak aránya, azaz a két szimplex közötti  $\gamma_i$  szög segítségével (55) szintén az (59) összefüggésre hozható.

Az  $n$ -dimenziós téglatest testlója és élei közötti, valamint az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex átfogó és befogó határszimplexei között értelmezett szög nagyságra azonosak; lásd a 7. és 8. ábrákat). Tehát mind a távolságfogalom, mind a szimplexfogalom szerinti Pitagorasz-tétel azt állítja, hogy egy geometriai objektum (testlóló, mint vektor, átfogó határszimplex térfogata, mint kovektor) (ortogonális) vetületének iránykoszinuszai kielégítik a (59) összefü-

gést, illetve, hogy egy  $n$ -dimenziós térben két pont távolságát ortogonális koordinátákban egy főátlóra redukálódó kvadratikus alak határozza meg (lásd az (54) és (55) összefüggéseket). Ezzel igazolást nyert az

5.1. *Tétel (I. Ekvivalencia tétel):* A Pitagorasz-tételnek távolságfogalom és szimplexfogalom szerinti általánosításai  $n$ -dimenziós téglatestre, illetve derékszögű szimplexre egymással ekvivalensek.

### 5.3. A $nD_T$ és $nD_S$ koszinusztételek ekvivalenciája

A koszinusztétel távolságfogalom szerinti megfogalmazása az

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j \cos \bar{\gamma}_{ij}, \quad (60)$$

míg a szimplexfogalom szerinti megfogalmazása az

$$V_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n V_i V_j \cos \gamma_{ij} \quad (61)$$

alakú összefüggésre vezet. (60)-ban  $\bar{\gamma}_{ij}$  az  $i$ -edik és  $j$ -edik bázisvektor, (61)-ben  $\gamma_{ij}$  a szimplex  $i$ -edik és  $j$ -edik határszimplexe által bezárt szöveget jelöli. Ezt figyelembe véve mindkét összefüggés a Pitagorasz-tételt kifejező (59) összefüggéssel analóg formára hozható.

Mindkét összefüggés felírható a

$$g_{ij} = \langle \mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j \rangle = \cos \bar{\gamma}_{ij} \quad (62)$$

jelöléssel a

$$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} a_i a_j, \quad (63)$$

illetve

$$V_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} V_i V_j \quad (64)$$

alakba.

A (63) és (64) összefüggések mutatják, hogy mindkét összefüggés ugyanazt fejezi ki: két pont közötti távolságot ferdeszögű koordinátákban.

Jelöljük az  $n$ -dimenziós paraleltopoliton testátlójának és az  $i$ -edik éle által közrezárt szöveget  $\gamma_i$ -vel. Ekkor a  $\gamma_i$  szögek segítségével (60) az

$$1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \cos \gamma_i \cos \gamma_j \cos \bar{\gamma}_{ij} \quad (65)$$

alakra hozható.

Az  $n$ -dimenziós (általános helyzetű) szimplex  $S_0$  határszimplexének és az  $S_i$   $i$ -edik, határszimplexének térfogatvektorai közötti szöveget  $\gamma_i$ -vel jelölje a (61) összefüggés is (65) alakra hozható (miközben a  $\bar{\gamma}_{ij}$ -ről áttérünk a  $\gamma_{ij}$ -re).

Az éleknek vektorokkal való azonosítása nyilvánvaló. A szimplex lapjai térfogatának kovektoroként való értelmezése ha nem is nyilvánvaló, de megfelelően megalapozott: az  $n$ -dimenziós tér  $(n-1)$ -dimenziós alterében értelmezett szimplex térfogata reprezentálható az  $(n-1)$ -dimenziós altérre merőleges kovektorral (lásd az 4.4. alatt megadott irodalmi hivatkozásokat). Ennek megfelelően a koszinusztétel azt állítja, hogy egy vektor, illetve egy kovektor iránykoszinusza valamely ferdeszögű  $\{\mathbf{a}_i\}$ , illetve  $\{\mathbf{T}_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) bázisban kielégítik a (64) összefüggést, illetve, hogy egy  $n$ -dimenziós térben két pont távolságát ferdeszögű koordinátákban egy szimmetrikus kvadratikus alak határozza meg (lásd a (63) és a (65) összefüggéseket). Az  $\{\mathbf{a}_i\}$  és a  $\{\check{\mathbf{T}}_i = \mathbf{T}_i / \langle \mathbf{a}_i, \mathbf{T}_i \rangle\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $i$  szerint összegzés nincs) bázisok egymás duálisai. Ezzel igazoltuk, hogy fennáll az alábbi

5.2. *Tétel (II. Ekvivalencia tétel):* A koszinusztétel távolságfogalom és szimplexfogalom szerinti általánosításai  $n$ -dimenziós paralelopolitopra, illetve általános helyzetű szimplexre egymással ekvivalensek.

#### 5.4. A $nD_T$ és $nD_S$ Pitagorasz- és koszinusztételek ekvivalenciája

A  $nD_T$  és  $nD_S$  Pitagorasz- és koszinusztételek ekvivalenciája abban áll, hogy végeredményben mindkettő két pont közötti távolságot határoz meg. Az eltérés abban áll, hogy a Pitagorasz-tételt egy ortogonális, a koszinusztételt egy ferdeszögű koordinátarendszerben írjuk föl.

#### 5.5. Megjegyzés

Az ortogonális rendszerben bázis és duálisa egybeesik. Következésképpen (65) összefüggés a (59) alatti képletben felírt alakra redukálódik. Ezt egyben rámutat arra, hogy a Pitagorasz-tétel megfordítható.

#### 5.6. Az ekvivalenciák áttekintése

Az ekvivalenciák alapja a végül is következő. A távolságfogalom esetén a vizsgált objektumok – az élek – egydimenziósak, azok az  $n$  él által kifeszített  $n$ -dimenziós térben vektorként összegezhethők. A szimplexfogalom esetén a vizsgált objektumok – határszimplexek vektorértékű térfogatai – egy-kodimenziósak, azok az  $n$  él által kifeszített  $n$ -dimenziós térben kovektoroként összegezhethők. A Pitagorasz- és koszinusztételek tehát valamely vektor, illetve kovektor és komponensei, vagy vektorok, illetve kovektorok és eredőjük, végül irányvektor, illetve iránykovektor és iránykoszinuszai között adnak meg összefüggést. Az összefüggések a távolságfogalom esetén az  $n$  él által kifeszített  $n$ -dimenziós térben, a szimplexfogalom esetén az  $n$  él által kifeszített  $n$ -dimenziós tér duális terében adóttak. Az összefüggések végül is a metrikus tenzor komponenseit adják meg a térben, vagy annak duálisában.

Az egyes tételek közötti kapcsolatot a 10. ábrán mutatjuk be.

	Pitagorasz-tétel $a^2 + b^2 = c^2$ Ortogonalis koordináta-rendszer $\gamma = 90^\circ$	Koszinusztétel $a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma = c^2$ Ferdeszögű koordináta-rendszer $\gamma$ tetszőleges
tér távolság fogalma	$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} a_i a_j$	$a_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} a_i a_j$
iránykoszinusz	$1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} e_i e_j$	$1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} e_i e_j$
duális tér szimplex fogalma	$V_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \delta_{ij} V_i V_j$	$V_0^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n g_{ij} V_i V_j$

10. sz. ábra. Az egyes tételek közötti kapcsolat

A Pitagorasz-tétel esetén az  $n$  él páronként ortogonális, az élek lineárisan függetlenek. A koszinusztétel esetén az  $n$  él páronként tetszőleges szöget zár be, és az  $n$  él nem feltétlenül lineárisan független, azok egy  $(n-1)$ -dimenziós altérre (extrém esetben alacsonyabb dimenziós altérre is) elfajulhatnak.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban a Pitagorasz- és koszinusztételek általánosításaival foglalkoztunk. Megmutattuk, hogy a kétdimenziós Pitagorasz-tétel értelmezhető pontok közötti távolságfogalom, és pontok alkotta szimplexfogalom szerint.

A távolságfogalom szerinti értelmezés alapján a Pitagorasz-tétel az  $n$ -dimenziós téglalap testátlójának hosszát fejezi ki az  $n$ -dimenziós téglalap éleinek hosszával. A távolságfogalom szerinti értelmezés alapján a koszinusztétel az  $n$ -dimenziós paralelopilót testátlójának hosszát fejezi ki az  $n$ -dimenziós paralelopilót éleinek hosszával, és az általuk bezárt szög koszinuszával.

Bevezettük az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplex, annak befogó és átfogó határszimplexeinek fogalmát. Bebizonyítottuk, hogy fennáll az  $n$ -dimenziós derékszögű szimplexekre az általánosított Pitagorasz-tétel, és az  $n$ -dimenziós tetszőleges szögű szimplexekre az általánosított koszinusztétel.

Bebizonyítottuk, hogy a Pitagorasz- és a koszinusztételek távolságfogalom és szimplexfogalom szerinti általánosításai  $n$ -dimenzióra ekvivalensek. Az ekvivalencia alapja az, hogy mindkét tétel mindkét értelmezésben egy-egy vektornak egy bázisban való felbontását fejezi ki. A Pitagorasz-tétel a derékszögű, a koszinusztétel a ferdeszögű koordináta-rendszernek felel meg. A távolságfogalom szerinti értelmezés esetén a tételek vektorra, szimplexfogalom szerinti értelmezés esetén a tételek egy  $(n-1)$ -dimenziós alternáló formához hozzárendelt kovektorra vonatkoznak. Az ekvivalencia azon alapul, hogy létesíthető egy bijekció az  $n$ -dimenziós lineáris vektortér egy vektora és az  $n$ -dimenziós vektortéren értelmezett alternáló  $(n-1)$ -dimenziós lineáris formák között.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BEKE M.**, *Determinánsok*. Athenaeum, Budapest, é.n.
- [2] **EUKLIDESZ**, *Elemek*. Ford. Mayer Gy. Gondolat, Budapest, 1983.
- [3] **HAJÓS GY.**, *Bevezetés a geometriába*. 4. kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1966.
- [4] **HALMOS, PAUL R.**, *Véges dimenziós vektorterek*. Ford. Szilágyi T. Műszaki Könyvkiadó,



- Budapest, 1984.
- [5] **KORN, G.A., KORN, T.M.**, *Matematikai kézikönyv műszakiaknak*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975.
  - [6] *Математическая Энциклопедия. Том 3.* (Глав. ред.: И.М. Виноградов) Советская Энциклопедия, Москва, 1982.
  - [7] **ПОСТНИКОВ, М.М.**, *Лекции по геометрии. Семестр I.* Аналитическая геометрия. Наука, Москва, 1979.
  - [8] **ПОСТНИКОВ, М.М.**, *Лекции по геометрии. Семестр II.* Линейная алгебра и дифференциальная геометрия. Наука, Москва, 1979.

# HIDRAULIKUS BERENDEZÉSEK ZAVARMENTES ÜZEMELÉSÉNEK FELTÉTELEI, AZ ALKALMAZOTT HIDRAULIKA FOLYADÉKOK FELÜGYELETE, ÉS KARBANTARTÁSA

## CONDITIONS FOR TROUBLE-FREE OPERATION OF HYDRAULIC EQUIPMENT, SUPERVISION AND MAINTENANCE OF THE HYDRAULIC FLUID USED.

**Fazekas Lajos<sup>1</sup> Molnár András<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>főiskolai tanár , Debreceni Egyetem Műszaki Kar, fazekes@eng.unideb.hu

<sup>2</sup>doktorandusz , Miskolci Egyetem, a.molnar2007@gmail.com

**Kivonat:** *A hidraulikus berendezések hosszú távú és zavarmentes üzemeltetésének elengedhetetlen feltétele a hidraulikus munkafolyadék rendszeres felügyelete és karbantartása. Ezzel mind a gépszerkezetek mind a hidraulikaolaj meghosszabbítható, ami napjaink szűkös gazdasági viszonyai között nem elhanyagolható.*

**Kulcsszavak:** *a hidraulikus gépek hidraulikus olajának szennyezettsége, szilárd szennyeződések mérése, tisztasági index számok, szabványosítás*

**Abstract:** *The long-term maintenance of hydraulic systems and fault-free operation is essential for regular monitoring and maintenance of the hydraulic fluid. With all the construction equipment and the hydraulic oil is renewable, which is not insignificant in today's tight economic conditions.*

**Keywords:** *contaminations of hydraulic machine fluids, quality measurement of solid contamination, purity index numbers, standardisation.*

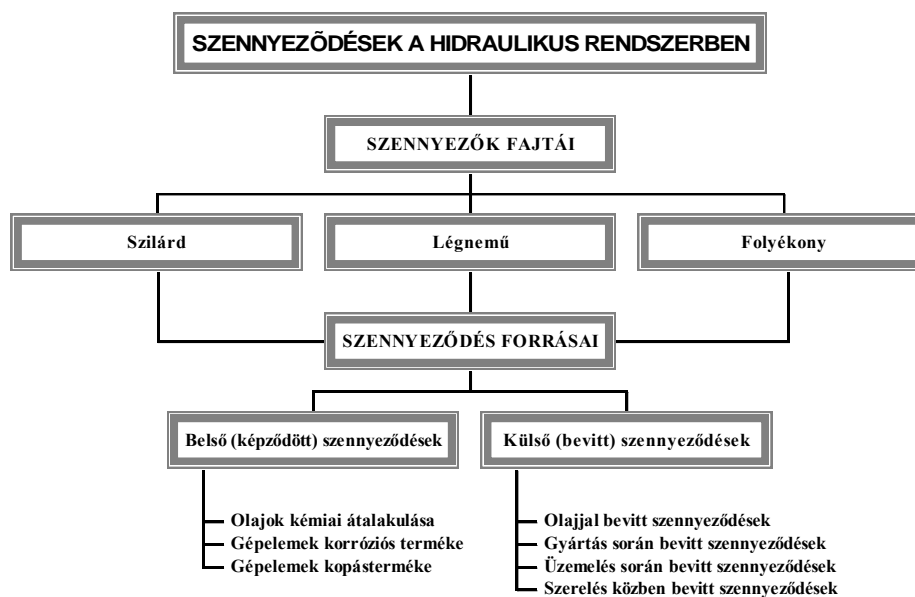
## 1. BEVEZETÉS

A hidraulikus rendszerek működésük során rendkívül érzékenyek a rendszeridegen anyagokra. Az olajba bekerülő illetve a benne képződött szennyeződések rendszer idegen anyagok (1. ábra). Ezen szennyeződések a rendszer optimális működését gátolják, zavarokat és kimeneti veszteségeket okoznak. A hidraulikaolajba kerülő külső vagy belső szennyezők mértékét rendszeresen ellenőrizni kell. A hidraulikaolajok rendszeres karbantartásával jelentős javítási költségek takaríthatók meg, és elkerülhetők a váratlan termeléskiesések.

## 2. A HIDRAULIKUS BERENDEZÉSEK ALKALMAZÁSI TERÜLETEI A MUNKAFOLYADÉKOK SZEMPONTJÁBÓL

A hidraulikus berendezéseket a vaskohásztól az űrkutatásig a technika számos területén alkalmazzák. A sokrétű felhasználás magas fokú követelményeket támaszt a munkafolyadékkal szemben. Ezen elvárások összességének egyetlen nyomóközeg sem tud megfelelni, ezért a felhasználási helyek támasztotta igényeknek megfelelően különböző hidraulika munkaközegek használatosak.

A következőkben néhány jellegzetes alkalmazási területet ismertetünk a munkafolyadék szempontjából.



1. ábra Az olajszennyezők és forrásaik

#### a. Telepített, stabil ipari berendezések

A hidraulikus rendszerek többsége ezen gépek közé tartozik. Ezek a hidraulikus egységek általában fedett helyen, üzem csarnokban vannak elhelyezve, ezért a hidraulikaolajok hidegfolyási tulajdonságaival szemben nem támaszt különleges követelmény. Az olaj élettartama szempontjából kedvező üzemi hőmérsékletek is könnyebben tarthatók, mert egyre elterjedtebbek az olyan berendezések, amelyek működése nem engedi meg a magas (70°C feletti) üzemi hőmérsékletet. A szabályozott rendszereknél fokozott tisztasági követelmények vannak, ezért lényeges a szennyező anyagok bejutásának megakadályozása, illetve a már bekerült szennyeződések kiszűrése. Fontos szempont az olaj jó szűrhetősége is.

#### b. Mobil berendezések ( járművek, munkagépek )

A mozgó járműre szerelt hidraulikák szélsőséges hőmérsékleti viszonyok között üzemelő berendezések. A munkafolyadéknak biztosítani kell a rendszer megfelelő üzemét (téli) hidegindításkor, üzemi hőmérsékleten és az esetleges túlterhelések során jelentkező (nyári) hőmérséklet emelkedés esetén is. Ezen gépeknél a szennyező anyagok bejutásának veszélye is nagy, ezért a gép gyártók gyakran olyan munkaközeget írnak elő, amelyek a szennyeződések egyenletes eloszlásban magukban tartják. Ilyen olajok például a motorolajok. Napjainkban a környezetvédelmi előírások szigorodásával egyre gyakrabban követelmény, hogy üzemzavar esetén a környezetbe kikerülő munkafolyadék biológiailag lebontható legyen.

#### c. Tűzvesélyes környezetben üzemelő berendezések (bányák, acélművek)

Szigorú tűzbiztonsági előírásoknak kell megfelelnie a munkafolyadékoknak. Az acélművekben a magas hőmérséklet és az erősen szennyezett környezet miatt fokozott követelmények vannak az olajjal szemben. Ezeket szintetikusolajjal pl. foszfátészterrel lehet kielégíteni. A bányákban vizes, emulziós munkafolyadékokat alkalmaznak erősen szennyezett

környezetben. Azonban ezen folyadékok leglényegesebb tulajdonsága a fémmegmunkálási segédanyagokhoz hasonlóan a jó biológiai stabilitás.

#### d. Speciális alkalmazások

A légi közlekedésben használatos munkafolyadékoknak nagyon jó folyási tulajdonságokkal ( dermedéspont:  $-60^{\circ}\text{C}$  )kell rendelkezniük. Speciális alkalmazásnak számít a többfunkciós olajok felhasználása is. Ezen olajoknál más nem csak hidraulikus funkciót kell ellátni, pl. szánkenő-hidraulikaolaj a szánok kenését is ellátja és a traktorhidraulikaolaj a hajtómű kenését is biztosítja.

### 3. A HIDRAULIKUS MUNKAFOLYADÉKOK OSZTÁLYOZÁSA

A hidraulikus munkafolyadékok osztályozása **viszkozitás** (1.táblázat) és **teljesítményszint** (2. táblázat) alapján történik. Ezeket az előírásokat nemzetközi (ISO) és nemzeti (MSZ) szabványok adják meg. Ez teszi lehetővé, hogy a felhasználók, a gépgyártók és az olajgyártók közös nyelven beszéljenek a hidraulikaolajokról. A hidraulikaolajokat ISO VG 7-től ISO VG 150-ig gyártják, ezek közül az ISO VG 32, 46 és 68-as viszkozitású folyadékokat alkalmazzák a leggyakrabban.

ISO VISZKOZITÁSI OSZTÁLY	KINEMATIKAI VISZKOZITÁS $40^{\circ}\text{C}$ -on, $\text{mm}^2/\text{s}$		
	közéérték	határértékek	
		legalább	legfeljebb
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
<b>ISO VG 7</b>	<b>6,8</b>	<b>6,12</b>	<b>7,48</b>
<b>ISO VG 10</b>	<b>10</b>	<b>9,0</b>	<b>11,0</b>
<b>ISO VG 15</b>	<b>15</b>	<b>13,5</b>	<b>16,5</b>
<b>ISO VG 22</b>	<b>22</b>	<b>19,8</b>	<b>24,2</b>
<b>ISO VG 32</b>	<b>32</b>	<b>28,8</b>	<b>35,2</b>
<b>ISO VG 46</b>	<b>46</b>	<b>41,4</b>	<b>50,6</b>
<b>ISO VG 68</b>	<b>68</b>	<b>61,2</b>	<b>74,8</b>
<b>ISO VG 100</b>	<b>100</b>	<b>90,0</b>	<b>110</b>
<b>ISO VG 150</b>	<b>150</b>	<b>135</b>	<b>165</b>
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	412	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1000	1000	900	1100
ISO VG 1500	1500	1350	1650

1. Táblázat ISO viszkozitási osztályok

ISO 6743/4	DIN 51524	ADALÉKTARTALOM
HH	HH	Adalékotlan ásványolaj finomítvány
HL	HL	Oxidáció, korróziógátló adalékot tartalmazó termékek
HR	-	Emelt viszkozitási indexű HL termékek
HM	HLP	Kopásgátló, oxidáció- és korróziógátló tulajdonságú termékek
HV	HVLP	Emelt viszkozitási indexű HM termékek
HG	-	Stick slip gátló tulajdonságú többcélú termékek
-	HLPD	Detergens-diszpergens adalékot tartalmazó termékek
HS	HS	Szintetikus alapú termékek
	HETG	Növényolajalapú környezetkímélő termék
	HEPG	Poliglikolalapú környezetkímélő termék
	HEES	Szintetikus észteralapú környezetkímélő termék
HFA-E	-	Olaj a vízben emulziók
HFA-S	-	Szintetikus oldatok
HFB	-	Víz az olajban emulziók
HFC	-	Vizes polimer oldatok
HFD	-	Vízmentes szintetikus folyadékok
HFD-R	-	Foszfátészterek
HFD-U	-	Egyéb anyagok

2. Táblázat Hidraulikaolajok teljesítményszint szerinti osztályozása ISO 6743/4 alapján

#### 4. A SZENNYEZŐDÉSEK FAJTÁI, HIDRAULIKAOLAJ VIZSGÁLATA

##### Szilárd szennyeződések

A szilárd szennyezők elsősorban méretükkel, alakjukkal és keménységükkel összefüggésben fejtik ki abrazív vagy eróziós hatásukat. A szilárd szennyezők közül fokozottan káros hatásúak a levegő portartalmából bejutó szemcsék, amelyek egy átlagos ipari környezetben kb. a por 30%-át teszik ki. A rendszeren belül keletkező kopásrészecskék elsősorban víz jelenlétében fejtik ki negatív hatásukat. A fémrészecskék döntően nem a további koptató hatásuk révén, hanem a hidraulikus munkaközeg oxidációjának katalitikus elősegítése miatt károsak. Egy hidraulikus rendszer elemei különböző mértékben érzékenyek a szilárd szennyezőkre. A megengedett legnagyobb részecskeméretet a legérzékenyebb elem határozza meg. Az olaj szennyezettségét különbözőképpen fejezhetjük ki. Szilárd, illetve megszámlálható részecskék esetében a gyakorlatban elterjedt megoldás az olaj térfogategységében lévő szennyező részecskék számának megadása. Legáltalánosabban használt szabványok:

- ISO 4406
- NAS 1638

**Az ISO szabványban a szennyezettséget darabszám/ml szerinti tartományba sorolja, 26 tartomány megkülönböztetésével.** A szabvány különbséget tesz 5 µm feletti és a 15 µm feletti méretű részecskék között. Ennek megfelelően a tisztaságot két számmal jellemzi. Ha pl. az 5 µm feletti méretű részecskék 1ml-re eső darabszáma alapján 17-es tartományba sorolható, míg a 15 µm feletti részecskék száma 1ml olajban a 14-es tartománynak felel meg, a tisztaság ISO 17/14 módon fejezhető ki. Az 5 µm feletti méretű részecskék számába természetesen a 15 µm feletti méretű részecskék is beleértendők.

A hidraulikus berendezések üzemi nyomásának növelése, hatásfokjavítás szándéka, valamint az egyre érzékenyebb vezérlés követelményének való megfelelés a kisebb illesztési hézagokkal gyártott hidraulikaelemek alkalmazásának terjedésével jár együtt. Az illesztési hézagok csökkentése az abrazív kopás szempontjából eddig figyelmen kívül hagyott 2 ... 5 µm közötti méretű szilárd részecskék számának ismeretét is szükségessé tette. Ennek tesz eleget az ISO/CD 4406 szabvány, amely három szám feltüntetésével adja meg a hidraulikaolaj tisztaságot. Az első szám a 2µm feletti, a második szám az 5 µm feletti, míg a harmadik szám a 15 µm feletti részecskék darabszámának megfelelő tartományt jelzi úgy, hogy 1ml olajban lévő részecskék száma a korábbi 26 tartomány helyett 30 tartomány valamelyikébe sorolható. A korábbi, de jelenleg is érvényes ISO 4406 számú szabvány által rögzített tartományokhoz hozzárendelt minimális és maximális részecskeszámok az új szabványban is érvényesek

Az ISO/CD **19/17/14** jelölés értelmezése ennek megfelelően (2. ábra):

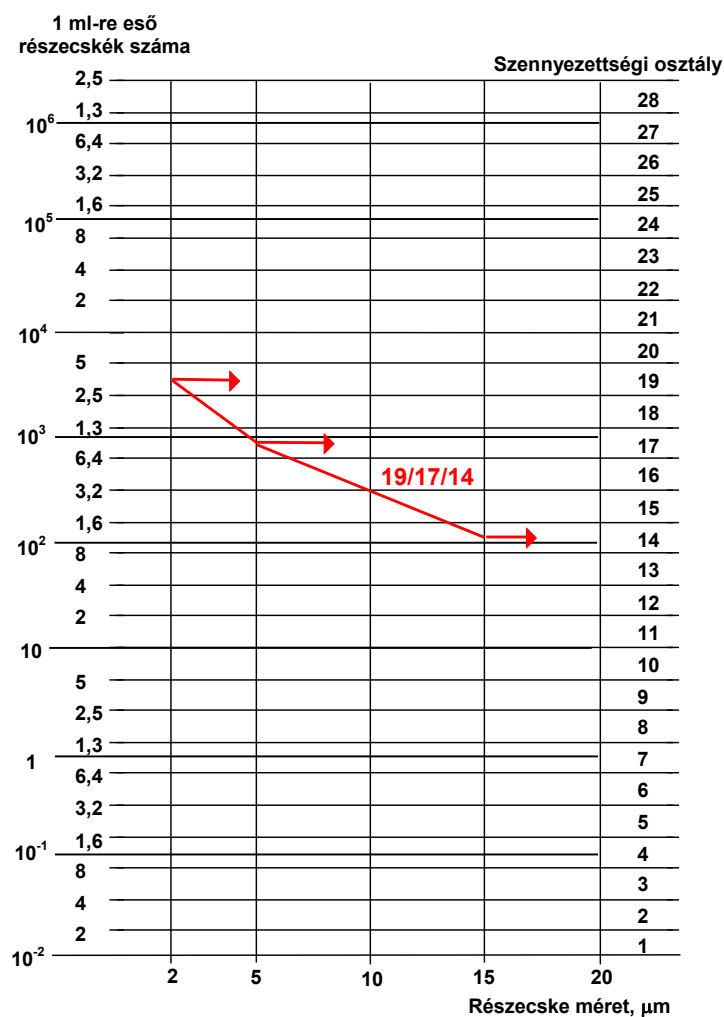
**1ml olajban:**

- a **19**-es tartománynak megfelelő ( 2500 ... 5000 ) db 2 µm feletti méretű,
- a **17**-es tartománynak megfelelő ( 640 ... 1300 ) db 5 µm feletti méretű,
- a **14**-es tartománynak megfelelő ( 80 ... 160 ) db 15 µm feletti méretű szilárd részecske található

A **NAS 1638-as szabvány 14 tisztasági osztályt különböztet meg**, amelyben a 00 jelű osztály a legtisztább, a 12-es osztály a legszennyezettebb olajat jelenti. A szilárd szennyezőanyagokat méretük szerint öt csoportba sorolják. A szabvány tartalmazza az egyes tisztasági osztályokhoz tartozó részecskék számát 100 ml folyadékban, minden méretkategóriára vonatkoztatva. Ezeknek a szabványoknak megfelelően különböző mérési módszereket dolgoztak ki, az egyszerű helyszíni összehasonlító vizsgálatoktól a korszerű on line felügyeletet biztosító részecskeszámlálásos elven működő berendezésekig.

**Néhány további vizsgálati módok:**

- a. Viskozitásmérés:** a munkafolyadék a lehetséges felhasználási hőmérsékleteken megfelelő folyási tulajdonságokkal rendelkezzen
- b. Víztartalom mérés:** A hidraulikaolaj víztartalmát határozzák meg vele, mert az olajban található víz mennyisége is limitálva van a szabványok által.
- c. Emulziós jellemző mérése:** Az emulziós jellemző megmutatja, hogy adott hőmérsékleten egyenlő mennyiségű víz és vizsgálandó olaj keveréke mennyi idő alatt és milyen mértékben válik szét.



2. ábra Szennyezettségi osztályok ISO/CD 4406 szabvány szerint

Tisztasági osztály	Részecske méret, µm				
	5-15	15-25	25-50	50-100	> 100
00	125	22	4	1	0
0	250	44	8	2	0
1	500	89	16	3	1
2	1000	178	32	6	1
3	2000	356	63	11	2
4	4000	712	126	22	4
5	8000	1425	253	45	8
6	16000	2850	506	90	16
7	32000	5700	1012	180	32
8	64000	11400	2025	360	64
9	128000	22800	4050	720	128
10	256000	45600	8100	1440	256
11	512000	91200	16200	2880	512
12	1024000	182400	32400	5760	1024

3. Táblázat Szennyezettségi osztályok NAS 1638 szabvány szerint

- d. Adaléktartalom, összetétel azonosság meghatározása:** Ma mér korszerű vizsgálatokkal meg lehet határozni a használt olaj mindenkori adaléktartalmát amellyel az olaj adalék-kimerülését lehet követni.
- e. Egyéb idegen anyag tartalom:** kopásfémeket jelenlétét nézik az olajban, amelyek változásával a gépekben lejátszódó kopási folyamatokra lehet következtetni.

A munkafolyadék élettartama szempontjából szintén jelentős az olaj szennyeződésének megakadályozása, illetve a kívülről bevitt és a berendezésben keletkezett szennyeződések kiszűrése. Megfelelő levegő és olaj szűrő alkalmazása esetén a rendszer tisztasága jól megőrizhető, ezáltal csökken a szilárd szennyeződések koptató hatása és lassul az olaj öregedése, amelyet az idegen anyagok ( pl.: fémkopadék ) gyorsítanak. A szűrőknek azon méretű szilárd szemcséket kell kiszűrniük, amelyek hidraulikus berendezések illesztési tartományába esnek. A 4. táblázat szemlélteti a hidraulikus részegységek megkívánt tisztasági fokozatait. A gépgyártó természetesen ettől eltérő tisztaságot is előírhat

#### **A megbízható szűrés biztosítja a berendezések hosszú élettartamát.**

Hidraulikus munkafolyadékok szűrésére többféle felépítésű szűrő használatos. A szűrők fontos jellemzője a résméret, vagy finomság, ami legtöbb esetben egy fiktív érték. Papírbetétes vagy üvegszál töltetű szűrőknél ugyanis nem lehet korrekt módon meghatározni a szűrést végző elemi szálak egymástól mért távolságát. A szűrőt ilyen esetekben is szokás jellemezni azon részecskemérettel, amelynél nagyobb részecskék kiszűrését elvárjuk. Szabálytalan szerkezetű szűrőanyagoknál azonban ez nem teljesül maradéktalanul, a kiszűrni szándékozott részecskék egy része átjut a szűrőn. Nem szorul magyarázatra, hogy a szűrőanyagon való átjutás valószínűsége a részecskék méretének függvénye. Bizonyos mérethatár felett a szűrő minden részecskét kiszűr, ez alatt a részecskeméret csökkenésével az áthaladó részecskék aránya növekedik.

A folyékony szennyeződés közül az olajban a legnagyobb károsodást a víz okozza. A víz megjelenése korróziós és kenési problémákhoz vezet, valamint az olajjal kémiai reakcióba lép és ezáltal annak élettartamát is jelentősen csökkenti. Ezen kémiai reakciók bomlástermékei például szűrőeltömődési problémákat okozhatnak. Az olaj oxidációs előregedését a levegővel (oxigénnel) való kölcsönhatása idézi elő. Az öregedés magasabb hőmérsékleten gyorsabban játszódik le.

Idegen anyagok rendszerbe kerülése esetén az olaj alkalmazástechnikai szempontból fontos tulajdonságai is megváltozhatnak pl.: a levegő és a vízelvételképesség, ami a munkafolyadék tönkremeneteléhez vezet.

## **5. ÖSSZEFOGLALÁS**

A hidraulikus munkafolyadékot a berendezés felépítésének és az üzemeltetés körülményeinek figyelembevételével kell megválasztani. A helyesen kiválasztott hidraulikaolaj és annak kondícióját biztosító rendszer elemek (szűrők, hőcserélők) lehetővé teszik, hogy a hidraulikus berendezés jó hatásfokkal, gazdaságosan működjön.



Olajszennyezettségi osztályok			Milyen szűrővel érhető el a megkívánt tisztaság				Hidraulikus rendszer	
NAS 1638	ISO DIN 4406	SAE	Szűrő $\mu\text{m}$	$\beta_{x=75}$	Anyag	Elrendezés		
6	15/12	3	5	3	Szer- vetlen	Nyomás alatti szűrő	Szervoszelep	
7	16/13	4	6	5	pl.		Szabályozó szelep	
8	17/14	5	12	10	üveg- szál	Visszafolyó vagy nyomás alatti szűrés	Proporcionál szelep	
9	18/15	6	25	20	Szer- ves		Szivattyú és szelep általában	
10	19/16	-	30	25	pl.		p > 160 bar p < 160 bar	
11	20/17	-	50	25..40	papír	Visszafolyó , szívó-, vagy részáram szűrés	Mobilhidraulikákban és a nehéziparban	
12	21/18	-	50	25..40			mellékáramkörű rendszerben	

4. Táblázat Hidraulikus rendszerelemek megkívánt tisztasága

A munkafolyadék állapotának figyelése fontos információkkal szolgál az üzemvitelről, és a szükséges beavatkozásokról. A gondos üzemeltetés költségei messzemenően megtérülnek a berendezés hosszú élettartama, az alacsony javítási költségek és a hosszú olajcsere-periódus révén.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] FAZEKAS L.: Szennyeződések hatása az olaj élettartamára, DIAGON'99. IX, Nemzetközi Konferencia és Szakkiállítás, Siófok, 1999. március 9-11. p. 77-85
- [2] VALASEK ,I. (szerk), A tribologia 1-7, Trbotechnik Kft, Budapest, 2002, ISBN 963 00 8688 3
- [3] elektrotanya.com/files/forum/2012/02/SAE%20teljesítmény.pdf 2015.05.05
- [4] www.autotrib.hu/download\_file/view/53/166/ 2015.05.10
- [5] PÁLINKÁS I.: Korszerű hidraulikus munkafolyadékok és felhasználásuk, Járművek, Építőipari és Mezőgazdasági Gépek 41. évf. 1994 N<sup>o</sup> 7-8
- [6] www.mk.unideb.hu/.../HIDRAULIKUS%20MUNKAFOLYADÉKOK.doc., 2015.05.10.

## RADARKERESZTMETSZET MÉRÉSE DOPPLER ELJÁRÁS SEGÍTSÉGÉVEL

### MEASUREMENT OF RADAR CROSS SECTION BY USING DOPPLER METHOD

Fábián Kristóf<sup>1</sup>, Kiss Zsolt<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>egyetemi hallgatók

Nemzeti Közszolgálati Egyetem

Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar

had- és biztonságtechnikai mérnöki szak, repülőműszaki szakirány

H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: krist0925@gmail.com, kisszsolesz92@gmail.com

**Kivonat:** 2001. szeptember 11-én az al-Kaida terroristái több utasszállító repülőgépet térítettek el. Az esetet követően a nagy repülőgépgyártó cégek elkezdtek vizsgálni a repülőgépek radarkeresztszékületének (Radar Cross Section – RCS) struktúráját, illetve a mérések alapján elkészítettek egy adatbázist. Ez nagy segítség a légi irányításnak, ugyanakkor a technológia fejlődése lehetőséget nyújtott arra, hogy az új repülőgépek építésében egyre több – igen kedvező tulajdonsággal bíró – kompozit anyagot használjanak fel, szemben a hagyományos, csak fém felépítésű alkatrészekkel. Az új kialakítások következtében a repülőgépek RCS struktúrája megváltozott, így az előbb említett adatbázis használhatóságát elvesztette. Dolgozatunk célja, e tényeket figyelembe véve, a fém- és kompozit anyagokból készült repülőgépek visszavert jeleinek mérésekkel alátámasztott vizsgálata.

**Kulcsszavak:** Doppler, kompozit, radar, radarkeresztszékület

**Abstract:** On 11 September, 2001 the terrorists of al Qaeda hijacked several airplanes. After the case the main aircraft companies began to investigate the structure of the radar cross section of the airplanes and created a database. Although it is a great assistance for the air traffic control service but by the progresses of technology new composite materials appeared that have very different characteristics than their metal counterparts. With the use of these materials the radar cross section of the airplanes became quite different. As a consequence the mentioned database became obsolete. In our essay, considering these facts, we intend to investigate the reflected signals of airplanes made of metal and composite.

**Keywords:** composite, Doppler effect, radar, radar cross section

## 1. BEVEZETÉS

A technológia fejlődése lehetőséget nyújtott arra, hogy az új repülőgépek építésében egyre több – igen kedvező tulajdonsággal bíró – kompozit anyagot használjanak fel, szemben a hagyományos, csak fém felépítésű alkatrészekkel.

Az 1990-es években gyártott repülőgépek szerkezetének 10-15%-át építették kompozitokból, ám az Airbus legújabb modellje, az elsőként 2013.06.14-én felszálló A350-es, már 50%-nyi kompozitból készült, ami nagy és fontos előrelépésnek tekinthető.

A kompozitok olyan társított anyagok, amelyeket főleg szénszálak, kerámia, műanyag, illetve üveg egyesítésével állítanak elő.

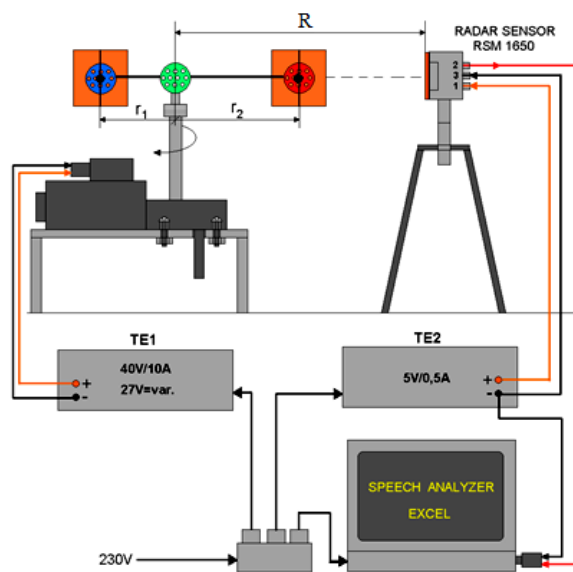
Katonai szempontból nézve az RCS csökkentése a repülőgépek esetében előnyös, illetve a tervezésük során tudatosan törekednek rá. A lopakodó technológiában a fém felületre ferrit szemcséket gözölögtettek, így az segít az el nem reflektált hullámok elnyelésében. Polgári szempontból viszont ez a jelenség problémát jelent. A légi irányítás feladatát a detektálás lehetőségének csökkenése megnehezíti.

## 2. MÉRÉS

### 2.1. Reflektáló lappal végrehajtott mérés

A repülőgéppel történő mérések előtt egységes méretű reflektáló lapokon végeztünk méréseket, annak érdekében, hogy megismerjük mind a radar, mind az analízáló szoftver működését.

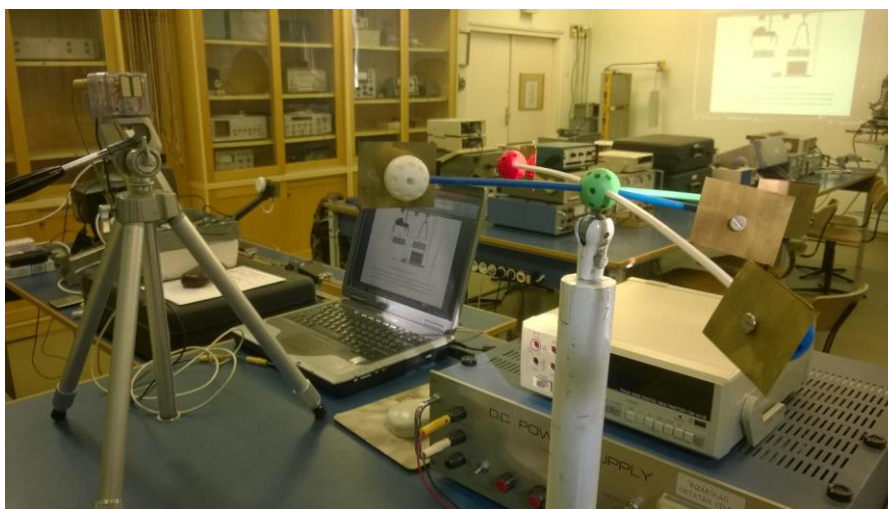
Mivel a lapok struktúrái a repülőgéphez képest sokkal egyszerűbbek, így arra következtethettünk, hogy a reflektált jelek kiértékelése könnyebben elvégezhető.



1. ábra Reflektáló lapos mérési összeállítás

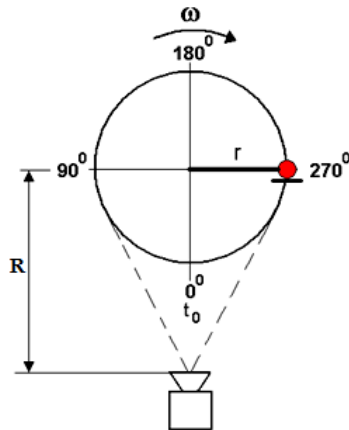
Az 1. ábrán látható reflektáló lapok „ $r$ ” rádiuszú kör mentén forognak a meghajtó tengely körül, amely a radartól „ $R$ ” távolságra helyezkedik el.

Az általunk használt RSM 1650 típusú radart a HYGROSENS INSTRUMENTS gyártotta. A radart olyan feladatokra tervezték, amelyekben a cél detektálása, illetve mozgásának észlelése a megoldandó probléma.

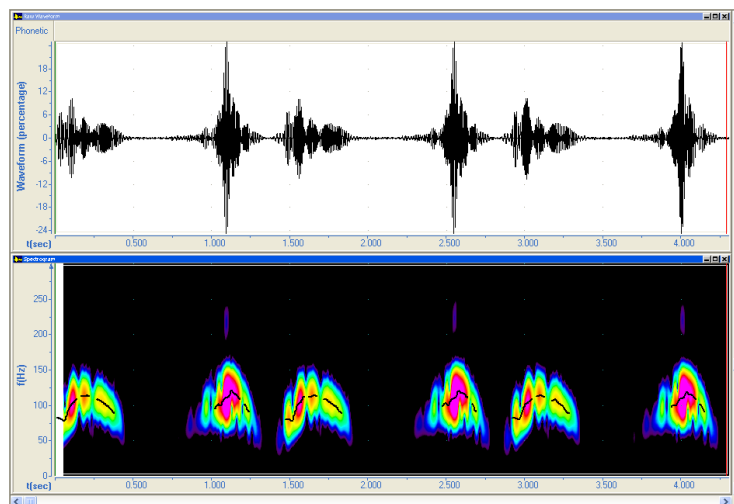


2. ábra Mérési összeállítás a valóságban

A radar kimenete a számítógép hangkártya bemenetére lett csatlakoztatva. A mérési eredmények kiértékeléséhez a Speech Analyzer internetről ingyen letölthető programot, valamint a Microsoft Excel szoftvert használtuk.

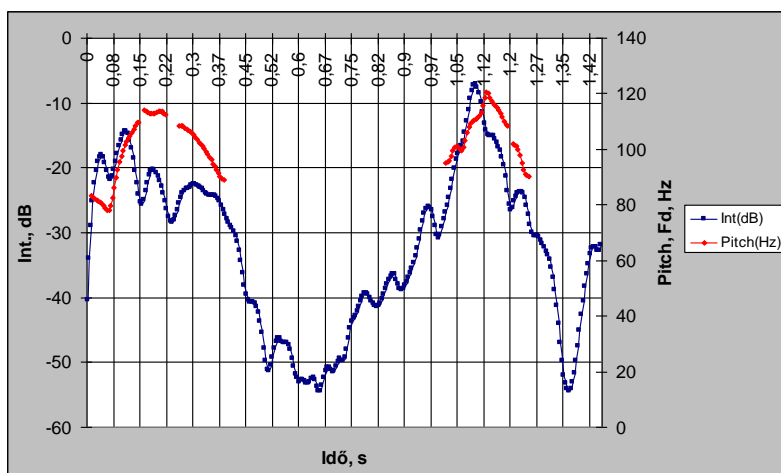


3. ábra Egy reflektáló lap mérése felülnézetben



4. ábra Egy reflektáló lap hullámformája, és spektrogramja

A 4. ábra egy reflektáló lapról visszavert jel hullámformáját (Waveform), valamint spektrogramját mutatja. A jel hullámformájáról látható, hogy az időben periodikusan ismétlődik, így könnyen leolvasható egy körfordulás időtartama. A spektrogram függőleges tengelyén a frekvencia (Doppler eltolódás) látható az idő függvényében. A színes területeken látható fekete görbék a Doppler frekvencia átlagolt értékét mutatják, és ez van Excelben rögzítve. A színek a visszavert jel intenzitását adják meg dB-ben, minél inkább a vörös felé tolnak a színskálán, annál nagyobb értékűek.

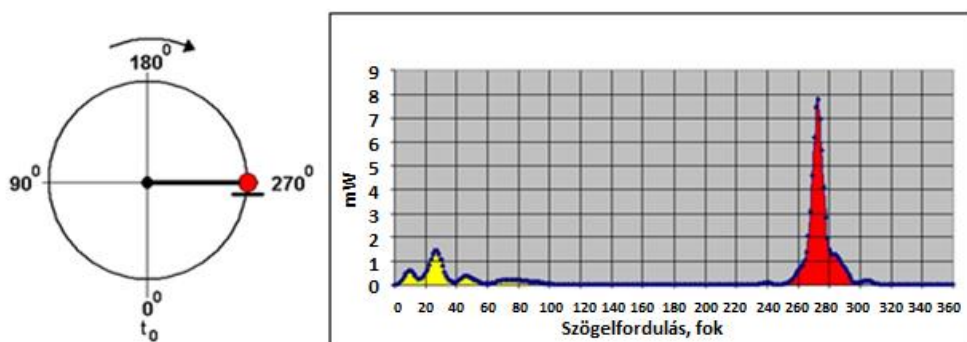


5. ábra Egy reflektáló lap egy körbefordulásának mérési eredményei

Ez az ábra a 5 ábrából következik, úgy hogy a szoftver lehetőséget nyújt különböző adatok táblázatba való exportálására, és ezen táblázatos értékek vannak itt megjelenítve.

Mivel az általunk használt Doppler radart úgy tervezték, hogy az csak a mozgás jelenlétét detektálja, ennek következtében nem képes különbséget tenni a közeledő, illetve a távolodó haladási irányok között. Amint ez a 5. ábráról leolvasható,  $t = [0 - 0,39s]$  intervallumban a jel intenzitása csökken, amely arra utal, hogy a lap távolodik a radartól, viszont a Doppler frekvencia nő, így az mozgásban van. A  $t = [0,39 - 1s]$  tartományban a szoftver a Doppler frekvenciát nem képes kimutatni, mivel azt 20 Hz-nél nagyobb frekvenciájú tartományú jelek mérésére tervezték. A  $t = [1 - 1,25s]$  időtartamban a Doppler frekvencia újra megjelenik, az intenzitás itt eléri a maximumot, amelyből a lap közeledésére következtethetünk.

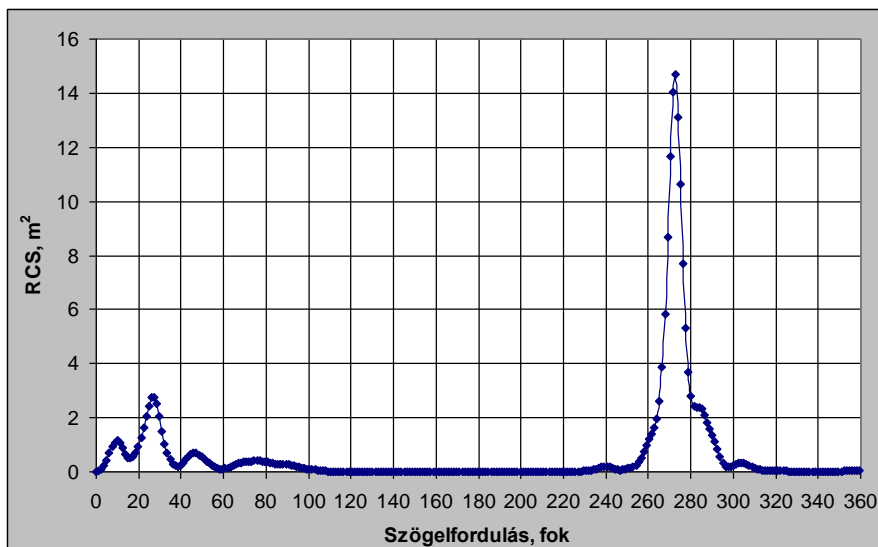
A 5. ábrán a függőleges tengelyen a reflektált jel intenzitása (Int) dB-ben, Doppler frekvenciája (Pitch) látható Hz-ben, valamint a vízszintes tengelyen az idő s-ban.



6. ábra Egy reflektáló lap 360°-os körbefordulás során keletkező visszavert jel teljesítménye

A visszavert jel dB-ben megadott intenzitását az Excel segítségével mW-os teljesítménybe számoltuk át.

A 6. ábra bal oldalán a maximális teljesítményhez tartozó szöghelyzetet mutatja, jelen esetben 270°-nál. Ezt a helyzetet a jobb oldali grafikonon egyértelműen tükrözi.

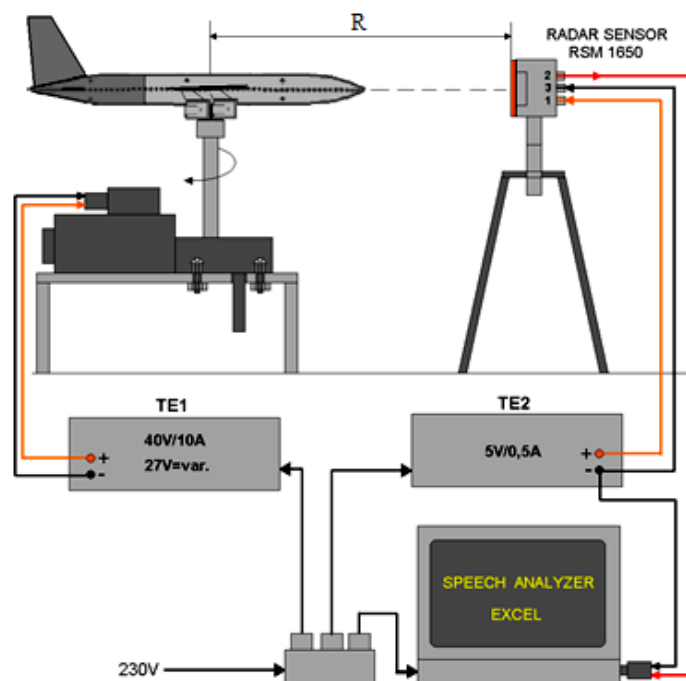


7. ábra Egy reflektáló lap hatásos visszaverő felületének mértéke 360°-os körbefordulás esetén

A 7. ábra vízszintes tengelyén szögelfordulás, függőleges tengelyén pedig RCS látható  $m^2$ -ben. A grafikon alapján látható, hogy a  $0,000625 m^2$ -es reflektáló lap maximális hatásos visszaverő felülete közel  $15 m^2$ .

## 2.2. Repülőgéppel végrehajtott mérés

A repülőgépes mérések során kapott információkat ugyanazon metódus, valamint logikai sorrend alapján kívánjuk bemutatni.

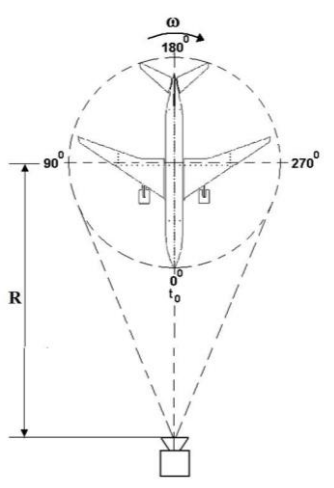


8. ábra Repülőgépes mérési összeállítás

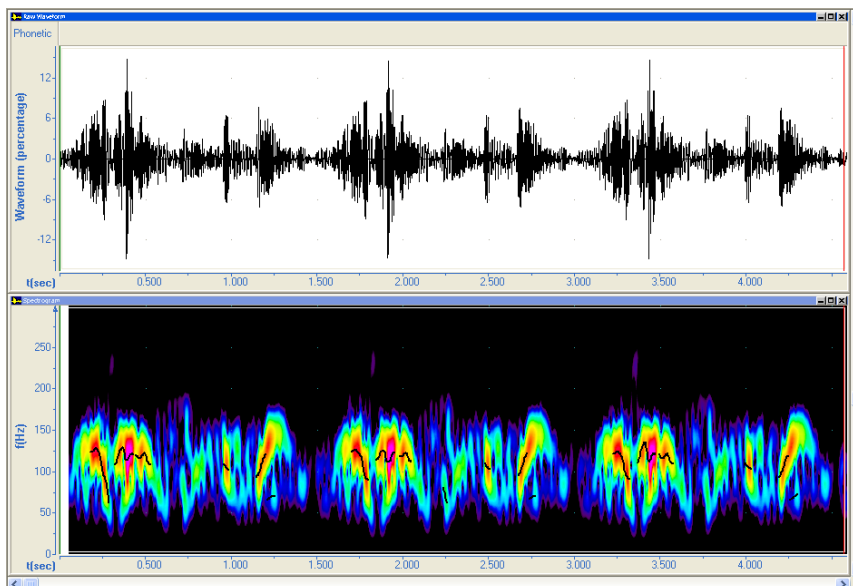
A repülőgépes mérésekhez egy műanyag utasszállító modellt használtunk fel. A repülőgép felületét alufóliával vontuk be, ezzel demonstrálva a hagyományos, fémépítésű repülőgépeket. Az alufóliával be nem fedett területek a mérések szempontjából kompozitnak tekinthetők.

A 9. ábrán szereplő fehér színű repülőgép a teljesen fém modellt szimbolizálja. Későbbiekben a borítást fokozatosan eltávolítottuk, ezeket az elemeket szürkével jelöltük.

A repülőgépes mérések során a megforgatás tengelyét a repülőgép súlypontjához csatlakoztattuk. A repülőgép forgatási sebessége konstans volt. A mérések kezdetekor a repülőgép orra a radarral szembe nézett, ezt tekintjük a  $0^\circ$ -nak.

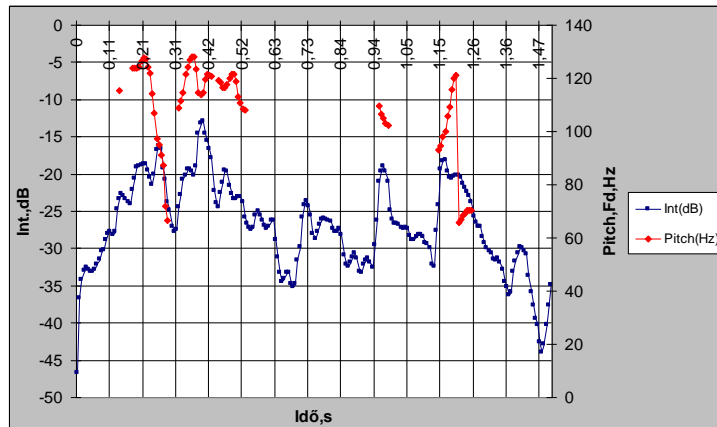


9. ábra Repülőgépes mérési összeállítás felülnézetben



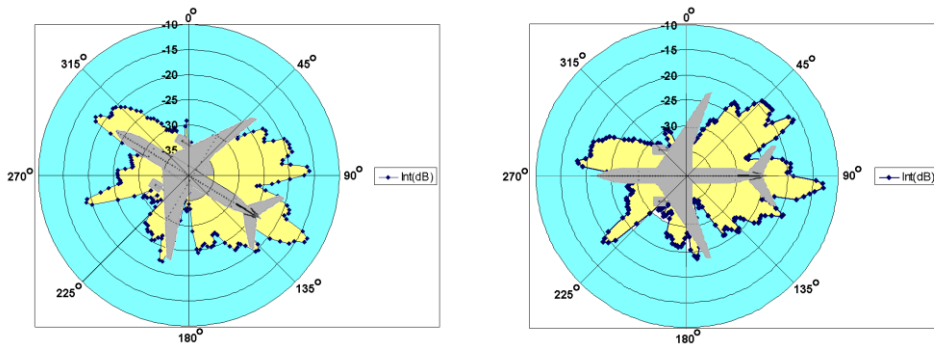
10. ábra Teljes fém felületű repülőgép visszavert jelének hullámformája és spektrogramja

A 10. ábrán látható, hogy a visszavert jel hullámformája periodikusan változik. A spektrogramon látható a jel intenzitása, valamint a Doppler frekvencia átlagolt értéke.



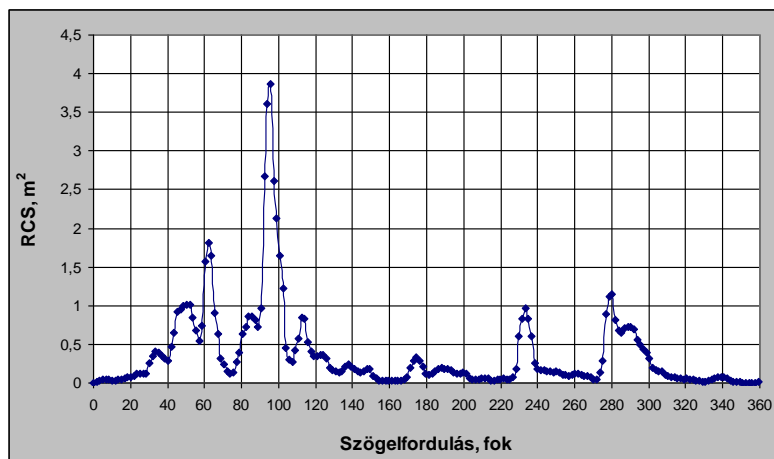
11. ábra Teljes fém felületű repülőgép visszavert jelének intenzitása

Ahogy a 11. ábrán látható a reflektáló lapokhoz képest a visszavert jel intenzitása nehezebben értelmezhető a bonyolultabb struktúra miatt. A Doppler frekvencia a jel intenzitás nagyságának megfelelően változik. Ebből a grafikonból következtethetünk a repülőgép térbeli helyzetére.



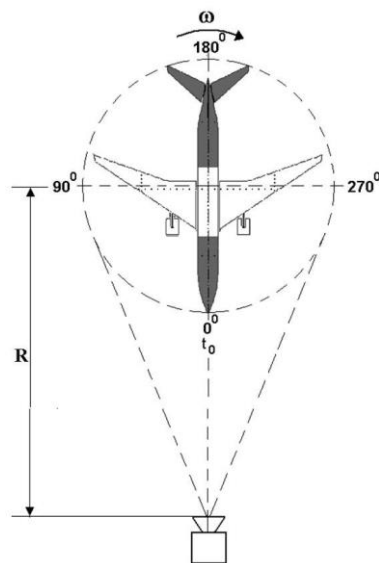
12. ábra Teljes fém felületű repülőgép visszavert jelének intenzitása polárkoordináta rendszerben

A 12. ábra különböző szöghelyzetből történő indítások – ezt a berajzolt repülőgép makettek állása mutatja – során keletkező intenzitás adatokat tükrözi polárkoordináta rendszerben. Jól megfigyelhető, hogy a két jel struktúrája azonos, azok csak az indítások közötti szöghelyzetek különbségével vannak elforgatva egymáshoz képest.

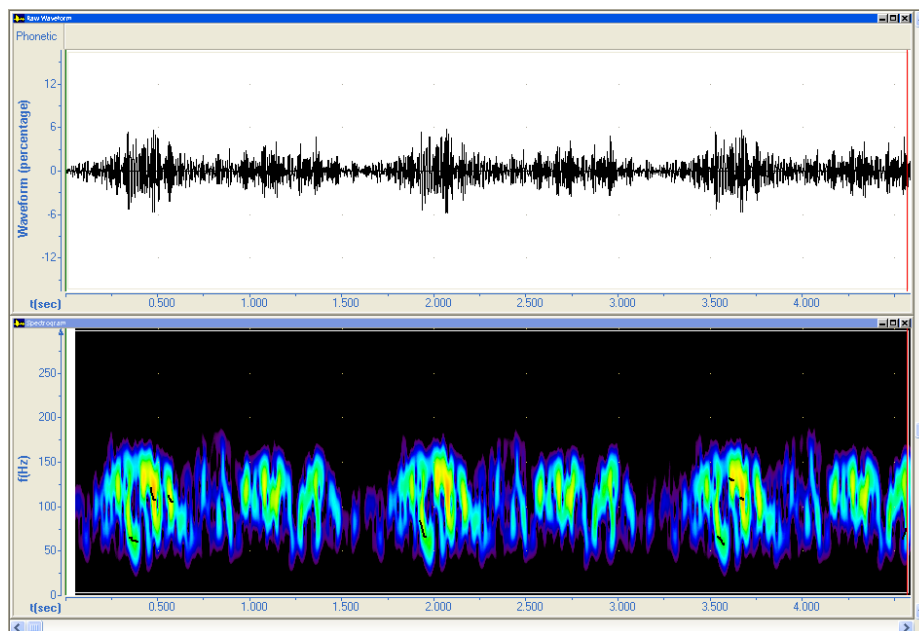


13. ábra Teljes fém felületű repülőgép hatásos visszaverő felülete



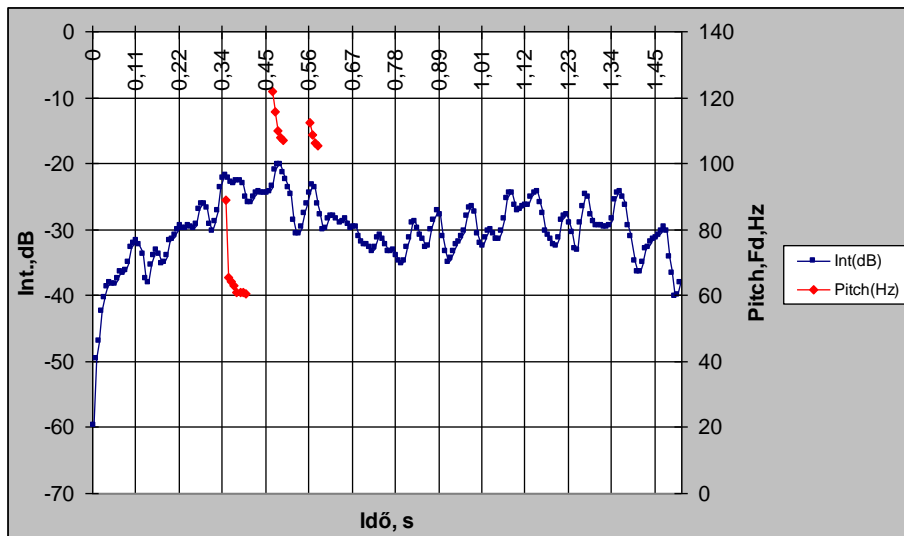


14. ábra Kompozit orr- és hátsórészű repülőgép mérés felülnézetben



15. ábra Kompozit orr- és hátsórészű repülőgép visszavert jelének hullámformája és spektrogramja

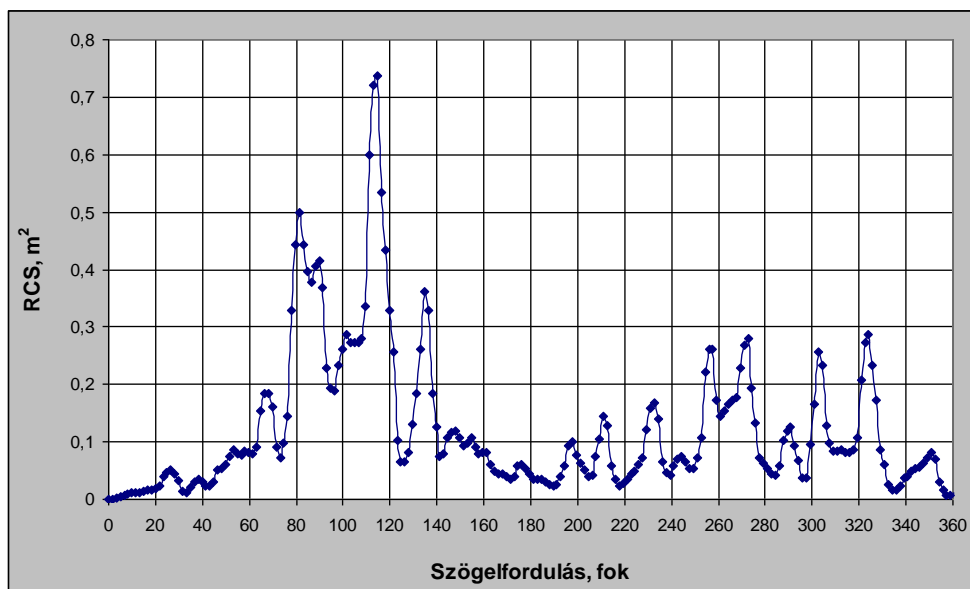
A jel hullámformájának amplitúdója nagymértékben csökkent, valamint a spektrogramról a piros – nagy intenzitású – jelek eltűntek, itt már csak kisebb intenzitásúak –világoskék és zöld – találhatóak. Továbbá látható hogy a Doppler frekvencia átlagolt értéke is csökkent.



16. ábra Kompozit orr- és hátsórészű repülőgép visszavert jelének intenzitása

Mivel ennél az esetnél már csak a törzs középső része, és a szárnyak fémépítésűek, a visszavert jel intenzitása itt a legkisebb. A repülőgép vízszintes forgatása esetén a szárnyak nagy felületei lényegtelenek számunkra, hiszen a radar azoknak csak belépő- vagy kilépő éleit látja, amelyről minimális a visszaverődés (mivel a kisugárzott jel polarizációs síkja függőleges).

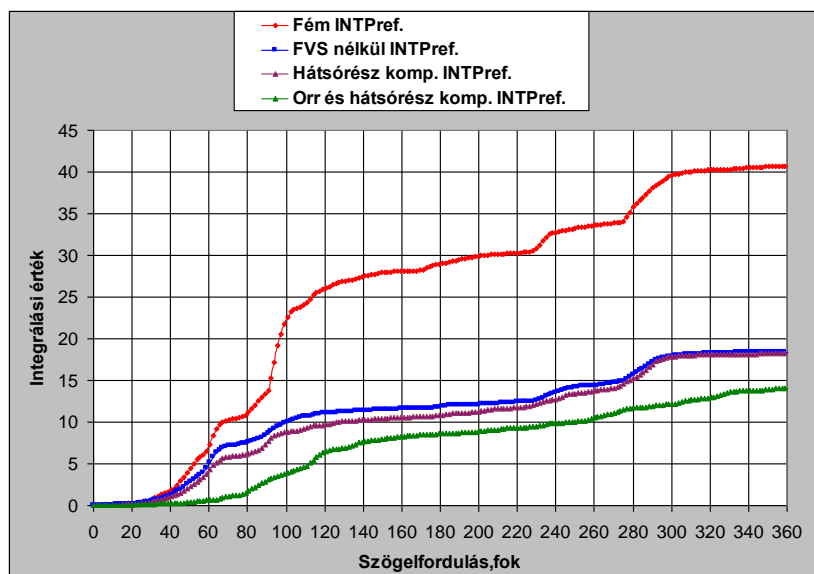
Mindezektől függetlenül, még mindig a repülőgép törzse jelenti a fő visszaverő felületet, ahogy az a 17. ábrán látható.



17. ábra Kompozit orr- és hátsórészű repülőgép hatásos visszaverő felülete

Habár az RCS struktúrája a függőleges tengely léptékének megváltozása miatt fluktuáltabbnak tűnik, megfigyelhető, hogy itt a maximális visszaverő felület még a  $0,8 \text{ m}^2$ -t sem éri el.

### 3. KAPOTT EREDMÉNYEK ÉRTELMEZÉSE



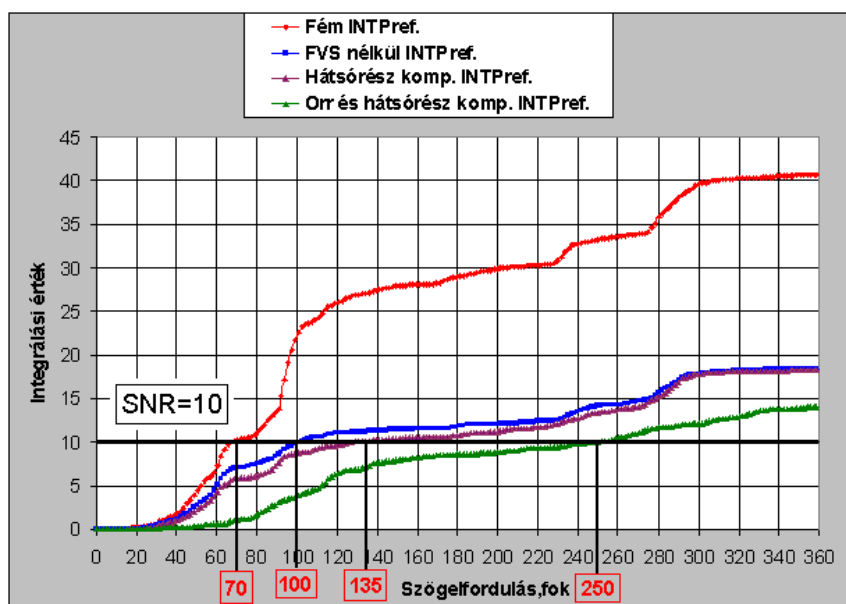
18. ábra Az integrálási értékek a szögelfordulás függvényében

Az integrálási érték a reflektált jelek teljesítményének összegzéséből adódik. A 53. ábrából egyértelműen látszik, hogy a fém felületek csökkentésével, az integrálási értékek is csökkennek. Megfigyelhető, hogy a fémépítésű repülőgép integrálási értéke meghaladja a 40 egységet, míg a zölddel jelölt görbe még a 15-öt sem éri el.

Az integrálási értékekre lehet különböző kritériumokat tenni. Az 19. ábrán egy földi radar integrálási küszöbét szemléltetjük. Az SNR változtatásával állítható a cél észlelésének valószínűsége.

Ha ez 10 egység, akkor a cél detektálása az 19. ábra alapján a következőképpen alakul:

- fém repülőgép esetében a radar már 70°-os szöghelyzetben detektálja a célt;
- kompozit repülőgépnél a radar csak 250°-os szöghelyzetben észleli a repülőgépet.



19. ábra Integrálási érték szögelfordulás függvényében

#### 4. ÖSSZEGZÉS

A bemutatott mérési eredmények alapján egyértelműen belátható, hogy a repülőgépek detektálhatósága nem csak elméletben, hanem gyakorlatban is gondot jelent. Méréseink során folyamatosan növeltük a repülőgépen a kompozit felületek nagyságát. A mérési eredmények összehasonlításakor egyértelműen észrevehető, hogy a repülőgép detektálhatósága nagymértékben csökkent.

A kompozitok előnyös tulajdonságaiból fakadóan nyilvánvaló, hogy a technika fejlődésével ezen anyagok még inkább elterjedtek lesznek, mint napjainkban. Méréseink alapján belátható, hogy ez azt a problémát okozza, hogy a repülőgépek a földi radarok számára egyre kevésbé észlelhetőek. A napjainkban alkalmazott ún. ultralight – kis tömegű, műanyagból, és kompozitokból felépített – repülőgépek esetében ez a probléma már fennáll. Habár ezek igen kisméretű repülőgépek, felhasználásuk annál elterjedtebb.

Ezek alapján belátható, hogy a transzponder berendezésekre nagy szükség van, hiszen a jövő repülőgépei valószínűleg nagyon kis mértékben lesznek detektálhatóak a földi radarok számára, amely a repülőgépek egyre növekvő száma miatt nem megengedhető a légi irányítás számára.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **CHRISTIAN WOLFF:** *Doppler- Effect*  
url:<http://www.radartutorial.eu/11.coherent/co06.en.html>
- [2] **VLADIMIR DÍAZ CHARRIS, JOSÉ MANUEL GÓMEZ TORES:** *Analysis of radar cross section assessment methods and parameters affecting it for surface ships*  
url: <http://www.shipjournal.co/index.php/sst/rt/prINTERfriendly/72/250>
- [3] **DAVID K. BARTON, SERGEY A. LEONOV:** *Radar Technology Encyklopedia.* Artech, House, Boston London, 1998. (ISBN 0-89006-893-3)

## A BIOMETRIKUS AZONOSÍTÁSI TECHNIKÁK ALKALMAZÁSÁNAK RENDŐRSÉGI PERSPEKTÍVÁI

### PERSPECTIVES OF BIOMETRIC IDENTIFICATION TECHNIQUES IN THE PRACTICE OF LAW ENFORCEMENT

**Földesi Krisztina**

rendőr alezredes, Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola  
Munkahely: Fejér Megyei Rendőr-főkapitányság  
Székesfehérvár, Deák F. u. 2. 8000  
Email: foldesik@fejer.police.hu

**Abstract:** *Adatvédelem-vagyonvédelem, magánérdek-közérdek, közbiztonság - biometria. Sorolhatnánk a XXI. század új értelmezést nyert, látszólag antagonisztikus ellentétpárjait. Az új évezred, még újabb, jogi és etikai problémahalmazának origójában a technikai fejlődés rapid és magasán kvalifikált eszközrendszere áll. Nyilvánvalóan változás szükséges a biztonsági piac területén. Mind a magánbiztonság, mind a közbiztonság terén megfogalmazódott az igény az új technikákra. Egyértelművé vált, hogy a hagyományos biztonsági rendszerek elérték hatékonyságuk maximumát, ezekkel már nem tudunk jobb, tökéletesebb személy-, és rendszerbiztonságot produkálni.*

*A térfigyelő kamerarendszert a személyazonosításban elavultnak tekinthetjük, a biometrikus technikák nyújtotta lehetőségek tekintetében. Egy megfelelő kamerahálózat egy éven belül harmadára csökkentheti a területen elkövetett bűncselekményszámot. A rendvédelmi prevenciós, bűnügyi munka szolgálatába állítva, új eredményeket érhetünk el a biometria nyújtotta professzionális technikai megoldásokkal.*

**Kulcsszavak:** *közbiztonság, rendőrség, biometria, arcfelismerés, illegális migráció, körözés*

**Abstract:** *Data protection – safeguarding, personal interest – public interest, public security - biometry. And the list of apparently antagonistic notions that gained a new sense in XXI century could be continued. Rapid and highly qualified means of technical progress is in the centre of new legal and ethical problems of the new century. It is obvious that there is need for change in the area of security. New techniques are required both in personal and public security. It is absolutely clear that traditional security systems have reached their maximum of efficiency, it does not seem possible to provide higher degree of personal or system security.*

*Use of surveillance cameras in identification is considered to be outdated regarding possibilities for biometric techniques. The reduction in the number of crimes committed in the area can be decreased down to a third with the help of a suitable system of surveillance cameras within a year. By the implementation and application of professional technical solutions provided by the means of biometry new results can be reached in the field of preventive law enforcement activities.*

**Keywords:** *public security, enforcement, biometry, facial recognition, illegal migration, warrant of caption*

A biometria beszivárgott a mindennapi életünkbe, kezdve a legtriviálisabb módoktól. pl. a magáncélú ujjnyomat azonosítás, amellyel némely magánnyomozók operálnak félig hivatalos eljárásaikban, a modern képrögzítő eszközök használata, hiszen ezek segítségével általános iskolások osztják meg közösségi oldalainkon tanáraik órai tevékenységét, egymást nem kedvelő személyek posztolnak a másíkról intim felvételeket, rögzítenek illegálisan különböző tartalmakat, és mindezzel persze a jogsértés mezsgyéjén járnak. Hiszen a modern technikai alkalmazások, így a kép- és videó-rögzítő berendezések használatának lehetősége sem feltételezi a terület jogi szabályzóinak ismeretét is. Számos adatvédelmi, személyiségi jogi probléma, vagyoni jogok sérelme<sup>1</sup> valósulhat meg<sup>1</sup> ezen tevékenységek közben, melyre az

<sup>1</sup> A mozikban kalózfilmek készítése következtében a szerzőt akár milliárdos károk is érhetik, a jogsértés ezen esetekben egyértelműen megállapítható.

[http://www.fn.hu/kultura/20090113/mozikalozt\\_fogtak\\_kamerazas\\_kozben/](http://www.fn.hu/kultura/20090113/mozikalozt_fogtak_kamerazas_kozben/) letöltve 2012.04.13.

adatvédelmi biztos több esetben hívta fel a jogalkalmazók figyelmét.[2] Ugyancsak jogilag ingoványos terület az egyéb biometrikus adatokat felhasználó technikák pl. ujjnyomat azonosítás alkalmazása is, még a hivatalos, rendőrségi eljárások tekintetében is.<sup>2</sup>

## 1. JOGSZABÁLYI ÉS TECHNOLÓGIAI ALAPVETÉSEK

Az Európa Tanács 2004.november 5-én elfogadta a Hágai Programot, amelyben a biometriát már mint a személyazonosítás legobjektívebb formáját, a közbiztonság megteremtésének lehetséges eszközét határozta meg.<sup>3</sup> A tagállamok 2006-ban bevezették a biometrikus adatokat – konkrétan ujjnyomatokat – tartalmazó útleveleket.<sup>4</sup> A jogharmonizációs eljárások, jogi keretek felállítását követően pedig megkezdődött a második generációs Schengeni Információs Rendszer (SIS)[3] és az EURODAC Rendszer [4] kidolgozása.

A technológia maga óriási fejlődésen ment keresztül rövid időn belül, és a fejlődés folyamatos. 2010-ben az amerikai Nemzeti Szabványügyi és Technológiai Hivatal[5] felmérést végzett, amely összehasonlított több arcazonosító rendszer. A megállapítottak szerint a legjobb program 92 százalékos pontossággal volt képes azonosítani<sup>5</sup> egy portrét 1,6 millió kép közül.[6] Azonban az élelencebb mozgóképek esetében is hatalmas a fejlődés.

A tesztek alapján kijelenthető, hogy a felismerési tévedések aránya kétévente megfeleződik, és folyamatosan érezhető a permanens műszaki háború a területen a legmegbízhatóbb rendszer megalkotásáért, amelyben nem kizárólag a klasszikus nyugati országok<sup>6</sup> vesznek részt.[7]

A rendszer teljesítménye természetesen függ attól, hogy hol használják, így ellenőrzött környezetben, például börtönökben, ideálisnak tekinthető. Egy kísérlet során a németországi Mainz vasútállomásán a mozgólépcső fölé szerelt kamerák folyamatos felvételeket szolgáltatottak és a felismerési arány 60 százalékos volt.[8]

A technológia fejlődése másik két fontos jellemzőt is generált, amely a rendőri alkalmazhatóság tekintetében is nagy jelentőséggel bír:

- 1.) Nincs szükség a mintaadó tevékeny közreműködésére, tőle függetlenül, sőt tudtán kívül is megtörténhet a mintavétel.
- 2.) Nagyon fontos momentum, hogy magához a mintavételhez egyáltalán nincs szükség szaktudásra, azt a számítógéppel vezérelt eszközök automatizáltan megteszik. Az adatok feldolgozásához is elegendőek a felhasználói szintű ismeretek.

---

<sup>2</sup> Erre hoz példát egy migráns esetében történő intézkedést feldolgozó ügymenet az 1. fejezetben.

<sup>3</sup> Ez a Program a biometria alkalmazását a migrációs hullám kezelésének egyik eszközeként kezeli.

<sup>4</sup> Ehhez a folyamathoz csatlakozva Magyarország - a többi EU tagállamhoz hasonlóan - 2006. augusztus 29-től bocsát ki arcképet tartalmazó e-útleveleket (első generációs adathordozók). A 2009. június 28-tól kiállításra került útlevelek már tartalmazzák a tulajdonos ujjnyomat adatait is (második generációs).

<sup>5</sup> Ilyen eredmény persze csakis kiváló minőségű fotókkal lehetséges - hangsúlyozza Jonathan Phillips, az NIST szakértője. <http://sg.hu/cikkek/90703/videokamerak-figyelnek-minket-folyamatosan> (2014.12.10.)

<sup>6</sup> "A 2010-es NIST-teszteken a kínai jelentkezők még igen halvány eredményt produkáltak - csak a képek 64 százalékos azonosítására voltak képesek -, mára azonban utolérték a csúcstechnológia élvonalát" - fogalmazott a hetilapnak Sharon Hom, az Emberi Jogok Kínában képviselője. <http://richpoi.com/cikkek/infotech/terfigyelo-kamerak-es-arcfelismero-technologia.html> (2014.07.07.)

Rendőri szempontból másik lényeges pozitívum az ellenőrzés idejének lerövidülése, amely a biometrikus adatoknál viszonylag nagy egyedszám esetén is másodpercekben mérhető, ugyanakkor az objektív, megbízható eredmény megtartásával.

Elsődlegesen alkalmazható az írisz és érhálózat alapján történő személyazonosítás, szoftverrel történő végrehajtása. Második típus a rendészeti alkalmazhatóságban az ujjnyomat alapján történő személyazonosítás. Ugyanakkor speciális személykutatás, körözési tevékenység folytatására kiemelten alkalmas, célszerű –természetesen az érzékelők optimális elhelyezése esetében- az arcfelismerésen alapuló személyazonosítás, amely elengedhetetlenül humánerőforrással vezetett kell legyen.

A jogalkotó számára komoly kihívás egy olyan átfogó szabályozás kialakítása, amely alkalmazható a már működő rendszerekre, ugyanakkor a folyamatos innováció, alkalmazási újítások következtében, különböző technikai paraméterekkel rendelkező újabb elektronikus megfigyelési, és egyéb biometrikus technológiák esetében is.

## 2. A BŰNÜGYI ÉRDEKET FIGYELEMBE VEVŐ BIOMETRIA ÉS A BŰNÜGYI ALKALMAZÁS FEJLŐDÉSÉNEK LEHETŐSÉGE

Most vizsgáljuk meg, a kizárólag bűnügyi célú biometrikus azonosítás lehetőségeit és következményeit, melyeknek legfontosabb, elsőrendű eredménye a lakosság biztonságának nagyfokú növekedése. A bűncselekmény elkövetőinek gyors, hatékony kézrekerítése, rendőri elfogása, és társadalmi felelősségre vonása.<sup>7</sup>

Kiemelt és preferált területe a biometriának, az arcfelismerés (2D, 3D), amely a rendőri gyakorlatot figyelembe véve több területen alkalmazható nagy eredményességgel.

A rendőr közterületi feladata ellátása során, jogszabályban rögzített felhatalmazás alapján igazolat.[10] A személyazonosítás gyakorlatban alkalmazott sorrendjét tekintve elsődlegesen, az anatómiai jegyek alapján kerül megvalósításra. Az adott személy az átadott okmányában található fényképe alapján kerül összehasonlításra vele, melynek során megtörténik az illető megfigyelése életkori sajátosságok, jegyek tekintetében is.[12] Mindezen elemek alkalmazásának eredményessége tekintetében az igazoltató rendőr személyes kompetenciái alapvető relevanciával bírnak. A személyes tudásbázis adottsága, a külső körülmények, időjárás, napszak, környezeti redundancia zavaró, esetlegesen megtévesztő volta, időtényező mellett a legnagyobb hibaszázalékot rejtő eleme az igazoltatásnak nem a számos negatív külső körülmény, hanem maga az intézkedő rendőr. A szubjektivitás torzító, egyes esetekben zavaró hatása az eredményességben, illetve magában a munkafolyamatban olyan elem, mely a legnagyobb hibaszázalékot rejt. A biometrikus azonosítási eljárás, eljárások alkalmazásával e szubjektivitás jelentősen csökkenthető, sőt kiiktatható.

Számos bűnmegelőzés, bűnüldözés tekintetében nagy jelentőségű arcfelismerő alkalmazás működik<sup>8</sup> már világszerte.[13] A börtönökből szabadon bocsátott, ám még veszélyesnek ítélt, a fogolynyilvántartásból törölt személyek ellenőrzésére alkalmazzák egy alabamai börtönben.

<sup>7</sup> Természetesen e területen elsődleges a társadalmi elfogadottság megteremtése, mely alapelem az alkalmazhatóság jogszabályi környezetének megalkotásában. E tekintetben több averziót mérő és feltáró kutatást folytatattam le, melyeknek konklúziói beépítésre kerülnek kutatómunkámba.

<sup>8</sup> Térfigyelő kamerák és arcfelismerő technológia <http://richpoi.com/cikkek/infotech/terfigyelo-kamerak-es-arcfelismero-technologia.html> (2014.07.07.)

Mexikóban a börtönökbe látogatóként megjelenteket azonosítják vele. A londoni Heathrow repülőtéren a várakozás és a beszállás idején is szemmel tartja a rendszer az utasokat. De nem kell csupán központi kamerafelvételekre gondolnunk, amikor arcfelismerésről beszélünk. A rendőrszolgálat nagy segítségére szolgálna a szemüveg, amellyel a körözött, elfogatóparancs hatálya alatt álló személyeket azonnal és teljes pontossággal lennének képesek azonosítani. Ezen lehetőségek a mai magyar rendőri gyakorlatban nagyfokú eredményességet produkálnának például a körözöttek, elfogatóparancs hatálya alatt állók, eltűnt gyermekek, felnőttek, kiegészítő magatartási szabályok alatt állók esetében. Ugyancsak óriási segítséget jelentene a biometriának ezen eszközrendszere az egyszerű, mindennapi rendőri igazoltatások esetében is.

Azokon a településrészekén, ahol kiépített kamerahálózat működik, a bűnügyi statisztikák szerint egy év elteltével az elkövetett, regisztrált bűncselekményszám a harmadára csökkent.[14] Ezen esetekben elsődlegesen a közterületen megvalósuló történések azonnali értékelése zajlik illetve teljesen hétköznapi felvételek rögzítéséről beszélünk, amikor személyes benyomás, szubjektív vélemény alapján döntjük el, hogy a felvételen szereplő illető azonos-e egy valakivel, például egy körözött személlyel.

Ami történik akkor, amikor valóban a legmodernebb, legmegbízhatóbb személyazonosítási technikák, a biometrikus azonosítási módok valamelyike kerül egyidejűleg alkalmazásra? Ekkor a felszerelt kamerák, biometrikus adatok (arcgeometria, hőkép, íriszkép stb.) vizsgálatával állapítják meg az azonosságot. A konkrét esetekben alkalmazható arcazonosítás (2D, 3D), és akár az íriszazonosítás alkalmazásával a legmegbízhatóbb, hitelt érdemlő módon, emberi közreműködés kizárásával, objektív számítógépes program segítségével történik a közterületeken a személyazonosítás. Következésképp pusztán morfológiai és anatómiai jegyek matematikai alapú összehasonlításával kapunk objektív, megbízható eredményt. Az emberi tévedés lehetősége kiiktatásra kerül, 100%-os, teljes bizonyossággal fogjuk tudni megállapítani, hogy az adott felvételen, állóképen, videó részleten szereplő személy azonos-e a kérdéses személlyel. Adott esetben, a bevásárlóközpontban azt a veszélyes bűnözőt foghatjuk el, aki ellen több elfogatóparancs került kiadásra idősek sérelmére elkövetett sorozatos rablások miatt.

A számítógépes támogatottságú rendszerek képesek rendszám és arc felismerésre, célszemély követésre, a megfigyelt várható viselkedésének előrejelzésére és a legközelebbi járőr riasztására is. Jelen állapotban, a magyar rendőrség technikai feltételei megfelelnek minden innovatív biometrikus eszköz alkalmazásának. A 2014. októberében, a rendőrségi járőrautókba telepített TIR-MOBIL rendszer adaptálni képes ezeket az alkalmazásfajtákat is. Azonban a jelenleg hatályos törvényi feltételeknek megfelelően, online rendszámfelismerés, egyéb közlekedési szabályszegés monitorozása, rendőri intézkedés közbeni képrögzítés és a rendőrségi adatbázisok azonnali elérésén túl egyéb alkalmazásuk élesítése nem történt meg.

## **2.1. Illegális migráció**

Világszerte, kiemelten az EU-ban, és napjainkban különösen Magyarországon[15] releváns probléma az illegális migráció kérdése. A naponta több ezer migráns elfogásából adódó, hatékony és alkalmazható regisztrációja, későbbi biztonságos beazonosíthatósága a biometrikus azonosítással gyors, hatékony és megbízható módon valósulhat meg. E technika a későbbiekben az illegális tartózkodás kiszűrésére is tökéletesen alkalmazható.



A migránsok kezelésében jelentene segítséget pl. a SceneTap nevű szolgáltatás is,<sup>9</sup> amely pedig chicagói bárokban információkkal szolgál az ott megjelentek életkoráról és neméről.[16]

A biometrikus technikák közül az ujjnyomat alapján történő azonosítás a legrégebben alkalmazott, legismertebb és a bűnügyi munkában egyértelműen diffundálódott elem. Elsődlegesen manuális ujjnyomatvételezés valósul meg a rendőrségi eljárásokban, akár egy helyszínes bűncselekményről, akár a vétlen személyek kizárásáról, akár a migránsok intézkedés alá vonásáról legyen szó. Ugyan a megyei rendőri egységek rendelkeznek biometrikus ujjnyomat-olvasó rendszerekkel,<sup>10</sup> amellyel megbízhatóan, hatékonyan és gyorsan elvégezhető a rögzítés és természetesen az értékelés és összehasonlítás is, ezek használata még nem vált általánossá a rendőrség szervezetén belül.

A biometrikus eszközök használatának anomáliáira, a napi rendőri gyakorlatban szemléletes példát szolgáltat egy rutin mélységi<sup>11</sup> ellenőrzésen történtek.<sup>12</sup> Ennek során egy járőr páros a közlekedési akció során vont ellenőrzés alá egy gépkocsit, amiben harmadik országbeli állampolgárok utaztak, útlevél és egyéb személyazonosításra alkalmas okmány nélkül. Az adatok idegenrendészeti nyilvántartásokban történt ellenőrzésekor felmerült, hogy az egyik személy más néven már megkísérelte a belépést, de a Magyar Köztársaság területéről kiutasításra került és beutazási és tartózkodási tilalom alatt áll. Mivel a kiutasított személyektől minden esetben ujjnyomatvételezés történik kezdeményezés történt ezek összehasonlítására a Bűnügyi és Szakértői Kutatóintézet Daktiloszkópiái Osztályán. E tevékenység időigénye optimális esetben néhány perc. Fenti személyazonosítási módszer azonban négy egész napot tartott, mivel a rögzített ujjnyomatokat gépkocsival kellett Budapestre szállítani, és igényelni a szakértői eljárást. Ezen idő alatt a szóban forgó személy, jelen esetben vétlenül, őrizetbe került. Tekintsünk most itt el az intézkedés alá vont jogainak korlátozásától, amely egyértelműen a közérdeket és a közbiztonság védelmét szolgálja, nézzük kizárólag az őrizet hatóságát érintő anyagi, személyi, tárgyi és egyéb költségeit, melyek feleslegesen terhelik a központi és a rendőrségi költségvetést. Teljesen más lefolyása lett volna ezen ügynek az elektronikus ujjnyomat azonosítás alkalmazása esetén, melyre a lehetőség minden rendőri egység esetében megvan, mivel rendelkeznek ujjnyomat vételezésre alkalmas eszközzel. Ennek a rögzített mintának számítógéppel történő összevetése egy másikkal pedig másodpercek kérdése. Négy nap, lekötött humánerő és jelentős anyagi költség helyett kb. „egy óra és három kattintás” segítségével tisztázható a személyazonosság.

---

<sup>9</sup>Hasonló szolgáltatást nyújt a francia Quividi nevű cég alkalmazása, amelyben jelenleg a hirdetések közelségében elhaladó járókelők életkorát és nemét méri - így a hirdető az szerint változtathatja üzeneteit, hogy azokat éppen ki nézi -. [http://www.gyartastrend.hu/nyarimuszak/cikk/kikemlelik\\_minden\\_lepesunket](http://www.gyartastrend.hu/nyarimuszak/cikk/kikemlelik_minden_lepesunket) (2014.02.10.)

<sup>10</sup> Az ujjnyomat számítástechnikai feldolgozásához szükséges egy kép készítése az ujj bőrredőiről, amelyhez egy speciális felvevőeszköz szükséges. A felvevő- szenzorok lehetnek optikai ujjnyomat-olvasók, amikor a feldolgozandó képet egy optikai rendszeren keresztül egy képbontó eszköz felületére képezik le, amelynek köszönhetően a kép elektromos jellé alakul. A kapacitív és a nyomásérzékelős elven működő eszközök eltérő jeleket érzékelnek a bőrredők "dombos" és "völgyes" részein. Ezekben a szigetelőfelület töltését a hozzáérő ujj felületének részei határozzák meg. Ezzel szemben az ultrahangos és rádiófrekvenciás szenzorok az újra bocsátott és visszavert hang, illetve rádiófrekvenciás jelek különbségei alapján térképezik fel a bőr redőzetét.

<sup>11</sup> A belső határokon való ellenőrzés megszüntetésének kompenzálására a schengeni tagállamok ún. mélységi ellenőrzési rendszert működtetnek. Ennek lényege, hogy az ország területén belül az idegenrendészetért felelős hatóságok munkatársai igazoltathatják a külföldieket. Az igazoltatásra nem helyhez kötöttek és nem folyamatosan kerül sor.

<sup>12</sup> A rendőri intézkedést a FMRFK Közrendvédelmi Igazgatóságának munkatársai fogatosították.

## **2.2. Körözötték-, elfogatóparancs hatálya alatt állók-, eltűnt gyermekek kiszűrése**

Akár a mindenkire kiterjedő arcaazonosítás (2D, 3D), akár íriszazonosítás, akár érhálózat azonosítás alkalmazásáról legyen szó, azonnal biztonságosabbá válna a mindennapi élet, ellenőrizhetővé válnának a visszaeső, a veszélyes bűnözők, megelőzhetőek lennének a későbbi elkövetéseik, körözött bűnözők néhány órán belül a hatóság kezére kerülnének. Eltűnt gyerekeket sikerülne visszazállítani szüleikhez. Az országos átlagban évente 15.000 eltűnt gyermekből a tapasztalatok szerint 90% néhány napon belül megkerül, ám van 1-2%, aki csak nagyon hosszú idő elteltével kerül megtalálásra, illetőleg van olyan kiskorú, akit egyéb ellenőrzések kapcsán találnak és nehézségekbe ütközik az azonosítása.[18] Ezen kiskorúak morfológiája, fiziológiája, külseje ugyanis olyan gyorsan változik, hogy néhány hónap elteltével kétséget kizáróan csak biometrikus adatok segítségével lehetséges az azonosításuk. A szülők, családok biztonságának érdekében, a gyermek születésekor levett íriszminta nagy biztonságot jelenthet esetleges elrablása, elveszése, elkóborlása esetén.

## **2.3. Folyamatban lévő bűnügyek nyomtöredékeinek azonosíthatósága**

Több tízezer eddig felderítetlen bűncselekmény elkövetője sikeresen beazonosíthatóvá válna, ezzel nemcsak a felderítést, de a szekunder prevenciót is szolgálva. Tehát a későbbi bűnelkövetőket is megakadályozhatnánk abban, hogy újra bűncselekményt kövessenek el. Bűnügyi statisztikáink javulnának, a sikeres felderítések visszatartó ereje azonnal érvényesülne, csökkenne a későbbi bűnelkövetés, és viktimizációs veszély, amely alapjaiban javítaná a lakosság szubjektív biztonságérzetét. Végeredményben az emberek jóval nagyobb biztonságban éreznék magukat.

## **3. ÖSSZEZÉS**

A biometrikus azonosítás nélkülözhetetlen elem lehet a rendőri munka támogatásában, egyértelműen a jövő rendőrnemzedékének megbízható feladatellátásában alkalmazandó legfontosabb eszközök egyikévé válhat. Legfontosabb feladat e téren a rendőri állomány alkalmazásorientált oktatása, képzése.[19]

A területet érintő jogszabályi háttér jó alapot jelent és alkalmas a kamerák újabb használati lehetőségeiben beálló rapid fejlődés kihívásainak megfelelni. Az állam feladata, hogy a lakosságot közérthető módon, átlátható szabályozással az önkéntes jogkövetésre bírja, ugyanakkor keretet biztosítson a rendvédelmi rendszerek létesítéséhez, jogszerű alkalmazásához is. Ebben elsődleges cél a jogkövető állampolgár védelme a jogsértőkkel szemben. A szakértők feladata a jogszabályi aktualizáció, az innovatív megoldások beillesztése a jogrendszerbe, esetleges újraszabályozással. Ugyanakkor óriási feladat a megfelelő kommunikáció, mellyel a társadalmi konszenzust kell megteremteni az új technikák alkalmazhatóságára és a felhatalmazás megadására az ehhez szükséges alapadatok általános levételére és rendőrségi kezelésére. Annak közösségi szintű, reális felmérése érdekében, hogy egy biometrikus adatunk megadásával, hatványozottan segítjük a bűnüldöző szervezet munkájukban és ezáltal saját biztonságunk fokát rövíthetjük megnyugtató magasságokba.

A biometria ésszerű alkalmazása a rendőri szolgálatellátásban anyagi, tárgyi és humán erőforrás kímélő hatékonyabb munkavégzést eredményez. Az alkalmazás gyakorlatban történő automatizmusához azonban szükséges a rendőri rezsimitézésekbe illeszkedő egyértelmű jogszabályalkotás, a végrehajtói állomány szakterületi képzése. Szükséges a rendőri szakegységek közötti kapcsolattartás és protokoll szabályok egyértelmű lefektetése. Ennek során, a rendőri intézkedések rapid és azonnalos eredménykényszerét tekintve

egyértelműsíteni szükséges a szakirányítói, szakvélemények elkészítésének gyakorlatban követendő metódusát, az érintett szakterületek, szakértők tevékenységi körét, pontos végrehajtandó feladatait.

A bűnözési statisztikák és társadalmi változások személyes érintettsége egyértelműsítette a társadalom minden rétege számára, hogy a klasszikus bűnüldözési technikák, erők, eszközök már nem elégségesek a kielégítő magán- és közbiztonság megteremtéséhez. Innovációra tehát mind a rendőri, mind a civil társadalom biztonságteremtő tevékenységében szükség van. A tapasztalati és kutatási eredmények igazolják, hogy ebben a biometrikus azonosítási eljárások jelenthetik az egyik nagyon hatékony megoldást.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] [http://www.fn.hu/kultura/20090113/mozikalozt\\_fogtak\\_kamerazas\\_kozben/](http://www.fn.hu/kultura/20090113/mozikalozt_fogtak_kamerazas_kozben/) (2012.04.13.)
- [2] *Adatvédelmi Biztos beszámolója*, 2007.
- [3] *Európai Parlament es Tanács 1987/2006/EK Rendelete (2006. december 20.) a Schengeni Információs Rendszer második generációjának (SISII) létrehozásáról, működtetéséről és használatáról*  
Letöltes:  
<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:381:0004:0023:HU:PDF>,  
(2012.06.10.)
- [4] *Európa Tanács 2725/2000/EK Rendelete (2000. december 11.) a Dublini Egyezmény hatékony alkalmazása érdekében az ujjnyomatok összehasonlítására irányuló „Eurodac” létrehozásáról, L316/L 22 Hágai Program: A szabadság, a biztonság es a jog érvényesülésének erősítése az Európai Unióban*, (2005/C 53/01)
- [5] *National Institute of Standards and Technology, NIST*
- [6] <http://sg.hu/cikkek/90703/videokamerak-figyelnek-minket-folyamatosan> (2014.12.10.)
- [7] <http://richpoi.com/cikkek/infotech/terfigyelo-kamerak-es-arcfelismero-technologia.html>  
(2014.07.07.)
- [8] [http://carlo.hu/letoltes/seaguard\\_ismerteto.pdf](http://carlo.hu/letoltes/seaguard_ismerteto.pdf) (2015.03.12.)
- [9] **TAJTI B.:** *A biometrikus ujjnyomat azonosítás alkalmazásának új lehetőségei*, Hadmérnök VII.évfolyam 1. szám, - 52. [http://hadmernok.hu/2012\\_1\\_tajti.php](http://hadmernok.hu/2012_1_tajti.php) (2012.06.29.)
- [10] *Rendőrségi törvény 1994. XXXIV.*
- [11] *A polgár személyazonosságát a polgárok személyi adatainak és lakcímének nyilvántartásáról szóló 1992. évi LXVI. Törvény*
- [12] **Lakatos G.:** *Nyomozástan II. A kriminalisztika alapjai 1.* Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet Budapest 2013.
- [13] *Térfigyelő kamerák és arcfelismerő technológia* <http://richpoi.com/cikkek/infotech/terfigyelo-kamerak-es-arcfelismero-technologia.html> (2014.07.07.)
- [14] [Police.hu](http://police.hu) <http://crimestat.b-m.hu/>
- [15] <http://www.police.hu/hirek-es-informaciok/hatarinfo/elfogott-migransok-szama>
- [16] <http://www.ittvagyunk.eu/htmls/cikkek.html?articleID=93>
- [17] [http://www.gyartastrend.hu/nyarimuszak/cikk/kikemlelik\\_minden\\_lepesunket](http://www.gyartastrend.hu/nyarimuszak/cikk/kikemlelik_minden_lepesunket) (2014.02.10.)
- [18] 2007. évi II. törvény a harmadik országbeli állampolgárok beutazásáról és tartózkodásáról
- [19] [police.hu](http://police.hu)<http://crimestat.b-m.hu/>
- [20] **FÖLDESI K., KOVÁCS T.:** *Kutatás a biometrikus azonosításhoz kapcsolódó averziók feltárására* Óbudai Egyetem Biztonságtudományi Doktori Iskola 2014. ISBN978-615-5460-08-1

# NORMÁL SZILÁRDSÁGÚ BETON KEMÉNYSÉGVIZSGÁLATÁNAK DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉSE

## DISCRETE ELEMENT MODELLING OF THE HARDNESS OF NORMAL STRENGTH CONCRETE

**Gyurkó Zoltán**

Doktorandusz  
BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
[gyurko.zoltan@epito.bme.hu](mailto:gyurko.zoltan@epito.bme.hu)

**Borosnyói Adorján**

Egyetemi docens  
BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
[borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu](mailto:borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu)

**Kivonat:** A tanulmány célja két szilárd test érintkezésekor kialakuló benyomódási jelenség vizsgálata, porózus kőszerű anyagok esetén. A jelenség alaposabb megértése érdekében diszkrét elemes modellt készítettünk, amelyet laboratóriumi vizsgálatokkal verifikáltunk. A diszkrét elemes módszer egy olyan numerikus eljárás, amely szemcsés szerkezetű anyagok esetén, az anyag belsejében lezajló változások megfigyelésére előnyösebb az egyéb hasonló numerikus eljárásoknál. Ilyen módon értelmezhetővé válhatnak a keménységmérési eljárások során lezajló folyamatok.

**Kulcsszavak:** Diszkrét elemes modellezés, DEM, beton, keménység, Brinell

**Abstract:** The aim of this study was to investigate the contact phenomenon between solid bodies, in case of porous stone-like materials. Experimental investigations were modelled with the help of a discrete element modelling software. Discrete element method is a numerical approach, which is very advantageous in case of granular materials to observe the changes occur inside the material. In this way, it is possible to understand the phenomena of the hardness tests.

**Keywords:** Discrete element modelling, DEM, concrete, hardness, Brinell

### 1. BEVEZETÉS

A keménységmérés az egyik legrégebbi anyagvizsgálati eljárás és az elmúlt évszázadok során több kutató is foglalkozott már a keménység pontos meghatározásával [1]. A legtöbb kutatás célja egy olyan anyagjellemző meghatározása volt, amelyből következtethetünk az anyagok szilárdsági jellemzőire anélkül, hogy maradandó károsodást okoznánk a vizsgált mintában [2]. Egy ilyen anyagi jellemző tömör, homogén anyagok esetén megfelelő pontossággal megállapítható, azonban porózus kőszerű anyagok esetén az eddig kidolgozott vizsgálatok csak jelentős hibalehetőséggel tudják becsülni a keménység értékét. Ezen vizsgálatok közül a legnagyobb biztonsággal az ún. statikus keménységmérési eljárások becslik a kívánt anyagi jellemzőt. A gyakorlatban a Brinell-, a Vickers- ill. a Rockwell-féle keménységmérési eljárások terjedtek el a legjobban.

## 2. A KEMÉNYSÉG MEGHATÁROZÁSÁNAK KÍSÉRLETI ÉS ELMÉLETI MÓDSZEREI

Az 1. fejezetben felsorolt statikus keménységmérési eljárások során egy adott alakú test hatol be a minta felületébe előre meghatározott beállítások szerint (terhelési sebesség, terhelő erő, terhelési időtartam) [3]. Miután az alaktest elhagyta a minta felületét a megmaradó lenyomat méreteiből meghatározható az anyag keménysége. Brinell-vizsgálat esetében egy polírozott felületű acél golyó a benyomódó alaktest, a kialakuló golyólenyomatnak (gömbfüvegfelület) pedig az átmérőjét kell leolvasni az anyag keménységének meghatározásához (általában két egymásra merőleges átmérő értéket olvasnak le és annak az átlagértékét veszik). Ezek után a terhelő erő ismeretében meghatározható a vizsgált anyag keménysége [1]:

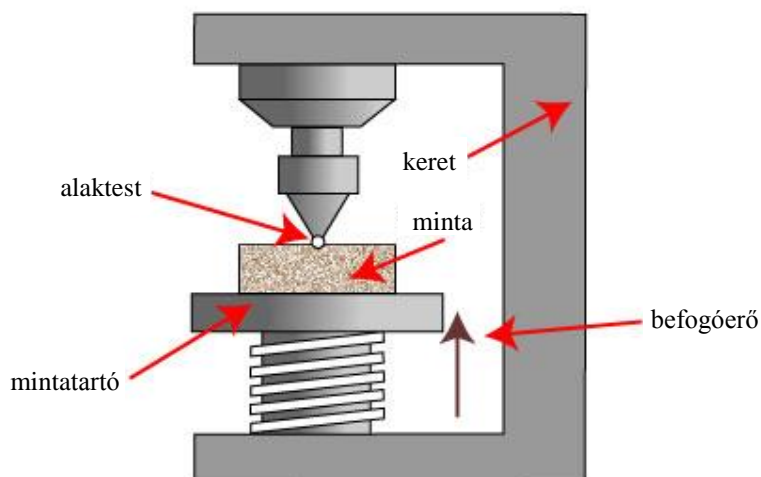
$$HB = \frac{2F}{D\pi(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad , \quad (1)$$

ahol:

$F$  – terhelőerő;

$D$  – golyóátmérő;

$d$  – benyomódás átmérő.



1. ábra Brinell-vizsgálat [3]

Fontos még megemlíteni, hogy a vizsgált anyag típusától függően a Brinell-vizsgálatot más beállításokkal kell elvégezni. Többek között például a benyomódó golyó átmérője függ a minta vastagságától illetve anyagjellemzőitől. Egy puhább, kőszerű anyag esetén (ahol a minta vastagsága megfelelően nagy) egy nagyobb átmérőjű golyót érdemes használni. Ezen kívül fontos beállítási paraméter még a terhelési időtartam, amelyet szintén puhább anyagok esetén érdemesebb nagyobbra állítani annak érdekében, hogy az anyagban az alakváltozások létre tudjanak jönni. A kutatásunk során használt másik keménységmérési eljárás (a Brinell-vizsgálat mellett) az ún. mélységérzékeny benyomódás vizsgálat (DSI – Depth Sensing Indentation). A DSI eljárás nagyban hasonlít a Brinell-vizsgálatához, azonban itt a golyóbenyomódás eredményeként létrejövő gömbfüveglenyomatnak nem az átmérőjéből, hanem a mélységéből következtetünk az anyag keménységére. Ezen kívül a DSI eljárás vizsgáloberendezése automatikusan rögzíti a benyomódó alaktest mozgását és felrajzolja az

ún. benyomódási görbét, így nincs szükség manuális mérésekre. Az így kapott eredmények, illetve a Brinell-vizsgálatból kapott eredmények egymással könnyen összehasonlíthatóak, mivel a gömbsüveglenyomat esetén az átmérő és a mélység közötti összefüggés a következőképpen írható fel:

$$h = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}, \quad (2)$$

ahol:

$h$  – benyomódási mélység.

A legfontosabb különbség a két eljárás között, hogy a DSI vizsgálat során a terhelési sebesség állandó, míg Brinell-vizsgálat esetén a terhelő erő a konstans. Kutatásunk célja a vizsgálatok során tapasztalható probléma, két szilárd test érintkezése, pontosabb megértése kőszerű porózus anyagok esetében. Két homogén, tömör szilárd test érintkezésének problémájával a múltban, a terület úttörőjeként, Heinrich Hertz is foglalkozott, aki egy olyan analitikus megoldást dolgozott ki, amely segítségével az érintkezési pont közelében meghatározhatóak a feszültségek. Hertz elméletét továbbdolgozva Sneddon dolgozott ki integrál transzformációs eljárást, amelyet a mai napig használnak [5].

### 3. A DISZKRÉT ELEMÉK MÓDSZERÉNEK LEÍRÁSA

A diszkrét elemes módszer (a továbbiakban DEM) az elmúlt évtizedekben vált ismertté a mérnöki gyakorlatban, mint az elsősorban szemcsés anyagok vagy diszkrét felépítésű szerkezetek (elsősorban falazott szerkezetek) modellezésére használatos numerikus eljárás. A DEM segítségével nagy számú, többnyire kis méretű elem mozgását lehet kiszámítani az őket érő hatásokból. Ebben a numerikus módszerben a modellt felépítő elemek egymástól különállóak, egymástól függetlenül szabadon elmozdulhatnak, valamint egymással kapcsolatba léphetnek. Ezek a kapcsolatok a futtatás során megszűnhetnek, illetve újak is ébredhetnek. Ha ezeknek a feltételeknek megfelel egy numerikus eljárás, akkor hívhatjuk diszkrét elemes módszernek [6] [7]. A DEM tárgyalásakor elkerülhetetlen, hogy megemlítsük P. A. Cundall nevét, aki elsőként készítette el a diszkrét elemes módszer alapjául szolgáló explicit időintegrálásos modellt [8]. A későbbiekben ez a modell szolgált a legtöbb DEM szoftver alapjául. Jelen tanulmányban az egyik legismertebb DEM szoftvert használtuk, az ún. PFC-3D-t [10]. A PFC tökéletesen rideg, gömb alakú elemekből építi fel a modellezni kívánt alakzatot, az anyagtulajdonságokat pedig a kapcsolatok definiálásakor tudjuk megadni. A kapcsolatok több fajtáját is használhatjuk ebben a szoftverben, ezek lehetnek pontszerűek vagy véges kiterjedéssel rendelkező nyomatékbíró kapcsolatok is egyaránt. Ezzel a szoftverrel elsősorban szemcsehalmozokat illetve szemcsés anyagokat lehet előnyösen modellezni és a kialakított anyag mechanikai viselkedését vizsgálni [12] [13].

### 4. KŐSZERŰ ANYAGOK DISZKRÉT ELEMES MODELLEZÉSE

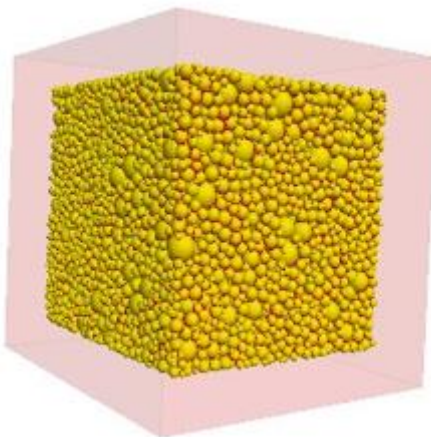
Jelen tanulmány készítése során fontos célkitűzés volt egy, a beton adalékanyagának szemeloszlását pontosan követő modell létrehozása. Ezért is volt fontos egy olyan modellezési eljárás választása, amelynek segítségével adalékanyag frakciókat lehet követni megfelelő pontossággal. A vizsgálathoz egy 150 mm élhosszúságú kocka modelljét készítettük el hasonlóan a laboratóriumi vizsgálatokhoz. A vizsgált minta legnagyobb szemcseátmérője 16 mm volt, mind a laboratóriumi, mind a modell vizsgálatok során. A

modellben fontos paraméter még a legkisebb átmérő is, amelyet annak függvényében kell megadni, hogy minél kisebbre választjuk annál nagyobb lesz a modell számítási igénye. Esetünkben ezt az értéket 0,4 mm-re választottuk, mivel tömegszázalékosan mindössze 0,5 m%-nyi szemcse volt ennél kisebb az eredeti anyagban [16].

Diszkrét elemes modell készítésekor a paraméterek megadása után az első feladat a megfelelően tömör anyag (sűrű halmaz) létrehozása [6]. Ehhez a múltban már több elméletet is kidolgoztak, ezek közül az általunk használt szoftver az ún. egyszerű szekvenciális eljárást alkalmazza, amely során a program véletlenszerűen helyezi el az elemeket az előre kijelölt tartományban, oly módon, hogy ha két elem a generálás során átfedésbe kerülne, akkor az újonnan generált elem törlődik és egy új elemet generálunk. A generálási folyamat végeredményeként (amely a futtatás időtartamának jelentős részét teszi ki) egy megfelelő tömörségű modellt kapunk, amely nem tartalmaz sem egymást átfedő sem másik elemmel nem érintkező (lebegő) elemeket [9]. Beton modellezése során az egyes elemek a beton adalékanyagának a szemcséit reprezentálják, míg a köztük kialakuló kapcsolatok a cementpépet.

Az anyagjellemzők pontos megadásához egy iterációs eljárás keretein belül, egyes változó paraméterek folyamatos változtatása mellett határozzuk meg a végleges paramétereket, oly módon, hogy a laboratóriumi vizsgálatok során meghatározott nyomószilárdság vizsgálat eredményét tekintjük összehasonlítási alapnak [18]. Ehhez első lépésként szakirodalmi ajánlások alapján felvesszük a kapcsolatok nyomó-, ill. nyírószilárdságának középértékét és szórását (ezek lesznek a változó paramétereink), majd generáljuk a megfelelő tömörségű szemcsehalmazt. Az így kialakult mintán futtatjuk a nyomószilárdság vizsgálatot és az eredményét összehasonlítjuk a laborkísérletek eredményével. Ha a kapott érték egy adott hibahatáron belül van, akkor megfelelőnek tekintjük a modellt, ellenkező esetben a bemenő paramétereket változtatva újrakezdjük a folyamatot [19] [20].

A vizsgálati minta modellezése után következő lépésként a keménységvizsgálat modelljét kell elkészítenünk. Ehhez egy 10 mm-es acél golyó modelljét hozzuk létre a minta fölé, majd ezt előre megadott erővel a mintába nyomjuk. Mindkét eljárás esetében ez az erő 2,5 illetve 17,5 kN között változott. Hogy végbemenjenek a terhelőerő hatására létrejövő változások, ún. kalkulációs ciklusokat kell beiktatni, amelyek során az acél golyó az adott erő hatására benyomódik a minta felületébe, majd kiemelkedik onnan egy ellentétes erőhatásra (ez a folyamat újabb kalkulációs ciklusokat igényel). A DSI vizsgálat modellje nagyon hasonló a Brinell vizsgálatéhoz, azzal a különbséggel, hogy a DSI eljárás során a terhelő erő nem állandó, hanem folyamatosan növekszik egészen a maximális (17,5 kN) értékig.

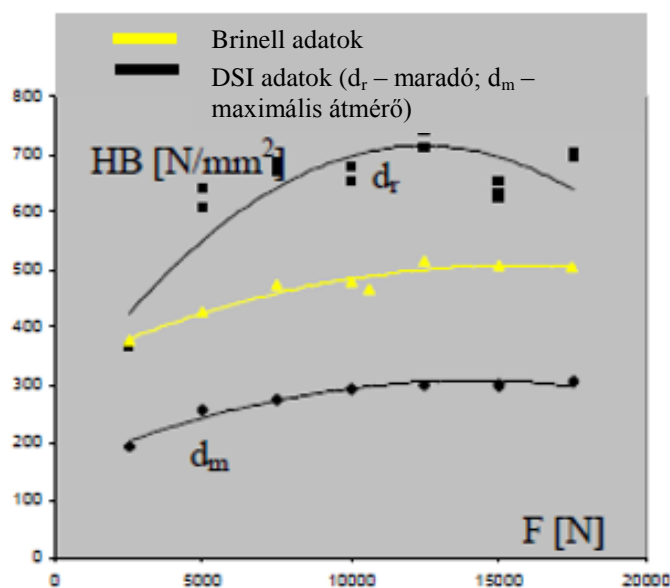


2. ábra A minta diszkrét elemes modellje

## 5. A LABORKÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

Kutatásunk során a modelltől kapott eredményeket a laboratóriumi vizsgálatokkal verifikáltuk. A laboratóriumi vizsgálatok során egy 28 napos korú beton anyagjellemzőit határoztuk meg (sűrűség, porozitás, stb.) valamint a 150 mm élhosszúságú próbatesteken nyomószilárdság- és keménységvizsgálatokat hajtottunk végre. A nyomószilárdság meghatározására a 4. fejezetben említettek miatt volt szükség, hogy meghatározzuk a DEM modell kapcsolati paramétereit. A vizsgált beton keménységének meghatározásához Brinell-ill. DSI-vizsgálatot végeztünk. Mindkét esetben egy 10 mm átmérőjű, gömb alakú edzett acél szűrőszerszámot alkalmaztunk és a méréseket több teher szinten is elvégeztük. Teherszintenként többször végrehajtottuk az vizsgálatot, hogy a lehetséges mérési hibákat kiküszöböljük, valamint minden egyes lenyomat esetében legalább két átmérő leolvasást végeztünk egymásra merőlegesen. A Brinell eljárás során a maximális terhelőerő 30 másodperc hosszan működött a vizsgált anyag felületén [2].

A laboratóriumi vizsgálatok a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laborjában zajlottak. A vizsgálatok eredményeit a 4. ábra tartalmazza.

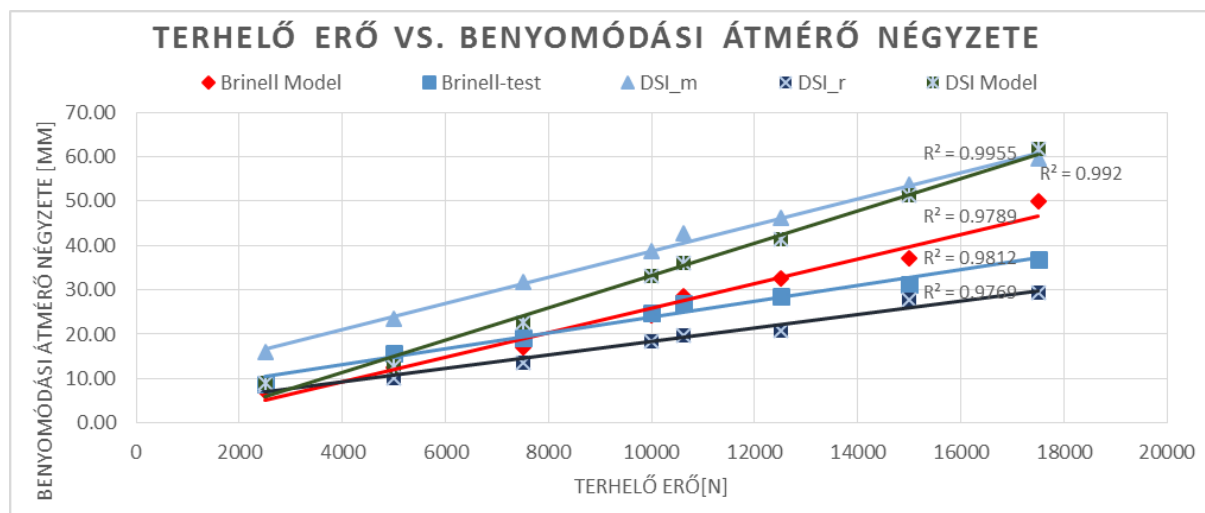


3. ábra A laboratóriumi vizsgálatok eredményei

## 6. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Jelen fejezetben a laboratóriumi és modell eredményeket hasonlítjuk össze. Az 5. ábrán a terhelő erő látható a benyomódási átmérő négyzetének függvényében a különböző vizsgálatok esetén. Megfigyelhető, hogy a kísérletek során is észlelt jelenség (a terhelő erő és a benyomódási átmérő négyzetének összefüggése lineáris) a modell eredményein is megjelenik. Ahogy az várható volt, a Brinell vizsgálat eredményei a két DSI vizsgálati eredmény közé esnek. Az ábráról leolvasható még, hogy a DEM Brinell-modell jól közelítette a laboratóriumi eljárást és jelentősebb eltérés csak nagy teher esetén adódott.





4. ábra A laboratóriumi és modell vizsgálatok összehasonlítása

## 7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy a DEM modell jól közelítette a normál beton nyomószilárdságának és statikus keménység vizsgálatainak valós kísérleti eredményeit. A modell képes volt a beton adalékanyag szemeloszlásának követésére, amely a vizsgálat egyik alapkövetelménye volt. A keménységmérési eljárások modellezése során csak a legkisebb illetve legnagyobb terhelő erő esetén volt megfigyelhető eltérés, a közbenső értékek esetén a DEM modell eredmények jól közelítették a laboratóriumi vizsgálatok eredményeit. A modellezési eredményeken szintén kimutatható több, a múltban a szakirodalomban megfigyelt, keménységgel kapcsolatos jelenség, mint pl. a benyomódási átmérő négyzetének és a terhelő erőnek a lineáris összefüggése. Mindezek alapján levonható a következtetés, hogy a diszkrét elemek módszere jól használható porózus szilárd anyagok modellezésére is. Jövőbeni kutatásaink részét képezi hasonló modellek készítése egyéb kőszertű porózus szilárd anyagokra, valamint kiterjeszteni a vizsgálati módszereket egyéb keménységmérési eljárásokra.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BRINELL, J-A.**, *Mémoire sur les épreuves à bille en acier*, Communications présentés devant le congrés international des méthodes d'essai des matériaux de construction, 2: 83-94, 1901.
- [2] **SZILÁGYI, K., BOROSNYÓI, A., DOBÓ, K.**, *Static indentation hardness testing of concrete: A long established method revived*, „Journal of Építőanyag”, 63:2-8, 2011.
- [3] **CHANDLER, H.**, *Hardness testing*, ASM International, 192p., 1999.
- [4] **KECSKÉS, B.**, *Keménységmérés*, Kézirat, Kecskeméti Főiskola, 17p., 2010
- [5] **FISHER-CRIPPS, A.**, *Introduction to Contact Mechanics*, Springer, 221p., 2000.
- [6] **BAGI, K.**, *A diszkrét elemek módszere*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 73 p., 2007.
- [7] **KANOU, S., AMANO, M., TERASAKA, Y., MATSUMOTO, N., WADA, T.**, *Terra-mechanical simulation using distinct element method*, „Komatsu Technical Report”, Vol. 49, No. 151, pp. 13–19., 2003.
- [8] **HARDY, S., FINCH, E.**, *Discrete element modelling of the influence of cover strength on basement-involved fault-propagation folding*, „Tectonophysics”, Vol. 415, No. 1–4, pp. 225–238., 2006.
- [9] **BAGI, K.**, *An algorithm to generate random dense arrangements for discrete element simulations of granular assemblies*, „Granular Matter”, 25:1159-1166, 2011.

- [10] **CUNDALL, P. A.**, *A computer model for simulating progressive large scale movements in blocky rock systems*,” Procs. Symposium of the International Society of Rock Mechanics”, 1:Paper II-8, 1971.
- [11] **CUNDALL, P. A., STRACK, O. D. L.**, *A discrete numerical model for granular assemblies*, „Geotechnique”, Vol. 29, No. 1, pp. 47–65.,1979
- [12] **POTYONDY, D. O., CUNDALL, P. A.**, *A bonded-particle model for rock*, „International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences”, Vol. 41, No. 8, pp. 1329–1364., 2004.
- [13] **CUNDALL, P. A.**, *Formulation of a three-dimensional distinct element model – Part I: A scheme to detect and represent contacts in a system composed of many polyhedral blocks*, „Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abst.”, 25:107-116, 1988.
- [14] **HOORNAHAD, H., KOENDERS, E. A. B.**, *Simulating macroscopic behavior of self-compacting mixtures with DEM*, „Cement & Concrete Composites”, Vol. 54, pp. 80-88., 2014.
- [15] **ZIVALJIC, N., NIKOLIC, Z., SMOLJANOVIC, H.**, *Computational aspects of the combined finite–discrete element method in modelling of plane reinforced concrete structures*, „Engineering Fracture Mechanics”, Vol. 131, pp. 669-686., 2014.
- [16] **YOU, Z., BUTTLAR, W. G.**, *Discrete element modelling to predict the modulus of asphalt concrete mixtures*, „ASCE Journal of Materials in Civil Engineering”, Vol. 16, No. 2, pp. 140–146., 2004.
- [17] **REMOND, S., PIZETTE, P.**, *A DEM hard-core soft-shell model for the simulation of concrete flow*, „Cement and Concrete Research”, Vol. 58, pp. 169-178., 2014.
- [18] **LIU, Y., YOU, Z.**, *Visualization and simulation of asphalt concrete with randomly generated three-dimensional models*, „ASCE Journal of Computing in Civil Engineering”, Vol. 23, No. 6, pp. 340–347., 2009.
- [19] **LIU, S. H., SUN, D. A., WANG, Y.**, *Numerical study of soil collapse behavior by discrete element modelling*, Computers and Geotechnics, Vol. 30, No. 5, pp. 399–408., 2003I. Iturrioz, G. Lacidogna, A. Carpinteri. Experimental analysis and truss-like discrete element model simulation of concrete specimens under uniaxial compression, „Engineering Fracture Mechanics”, Vol. 110, pp. 81-98., 2013
- [20] **MOON, T. H., NAKAGAWA, M., BERGER, J. R.**, *Measurement of fracture toughness using the distinct element method*, „International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences”, Vol. 44, No. 3, pp. 449–456., 2007.
- [21] **TRAN, V. T., DONZÉ, F.-V., MARIN, P.**, *A discrete element model of concrete under high triaxial loading*, „Cement & Concrete Composites”, Vol. 33, No. 9, pp. 936–948., 2011.

## MŰTRÁGYASZÓRÓ GÉP KÚPOS-SZALAGOS SZÓRÓ SZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA

### EXAMINATION OF THE FERTILIZER DISTRIBUTOR'S CONE – BELT DISPENSER

Hagymássy Zoltán<sup>1</sup>, Gindert-Kele Ágnes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens, <sup>2</sup>egyetemi adjunktus

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma  
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Agrár-műszaki Tanszék  
4032 Debrecen Bőszőrményi út 138.

Tel: 52/508-444, e-mail: [hagymassy@agr.unideb.hu](mailto:hagymassy@agr.unideb.hu)

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék  
e-mail: [battane@agr.unideb.hu](mailto:battane@agr.unideb.hu)

#### **Kivonat:**

*A Debreceni Egyetem, Agrár-műszaki Tanszékén műtrágyaszóró gépek vizsgálata keretében, egy kisparcellás gép vizsgálata történt. A pontos és egyenletes műtrágya kijuttatás fontos követelmény kisparcellás vizsgálatok során. A berendezések fő eleme az Oyjord-féle kúpos-szalagos szóró szerkezet. A szerzők vizsgálatokat végeztek különböző szögben dőlt kúpok esetén, mivel tapasztalataik szerint a munkaminőségét jelentősen ronthatja, ha az osztókúp tengelye nem függőleges. A mérésekhez egy vizsgálópadat állítottak össze.*

*Méréseik alapján megállapítható, hogy mind műtrágyaszóró mind vetőgépeken a kúpos-szalagos szóró szerkezet megbízható berendezés, azonban az osztókúp néhány fokos eltérése a függőlegetől is befolyásolja a kijuttatás egyenletességét.*

**Kulcsszavak:** műtrágyaszóró, kúpos – szalagos szóró szerkezet

#### **Abstract:**

*A plot fertilizer distributor was examined by authors in University of Debrecen, Department of Agricultural Machinery. The accurate and even fertilizer distribution is an important demand in experimental plots. The main principal detail of the improved plot fertilizer distributor is the Oyjord-type cone-belt dispenser. The dispenser was examined with different types of fertilizer, and with different angles of the axis of the cone in order to determine the cause of uneven fertilizer distribution in test plots.*

*First a test-bench was collected to measure the aberrations. Based on the examinations, authors conclude that the unevenness of the dispenser is significantly influenced by the aberration of the vertical angle position of the cone-belt dispenser.*

**Keywords:** fertilizer distributor, cone – belt dispenser

## 1. BEVEZETÉS

### 1.1. Előzmények, a kutatási téma aktualitása

A pontos és egyenletes műtrágyaadag kijuttatása fontos parcella műtrágyázási kísérleteknél. A feladat gépesítésének fejlesztéséhez megvizsgáltuk a parcella műtrágyaszóró gépek legfontosabb szóró szerkezeteit. Mérési eredményeink alapul szolgálnak egy egyenletesen szóró szakaszos működésű parcella műtrágyaszóró gép fejlesztéséhez.

Parcella műtrágyaszóró gépek szóró szerkezetei: a kúpos-cellás, és a kúpos-szalagos. Mindkét megoldásnál osztókúp végzi a szemcsék adagolását. A szemcsék szétosztása parcella műtrágyaszóró gépeken két lépcsőben történik. A második lépcsőben a szemcsék kijuttató csövenkénti adagolása mindig rotációs szétosztó szerkezettel történik.

Az osztókúp dőlésének hatását a szétosztás egyenlőtlenségére vetőmagokkal vizsgálta. Fleming [3]

megállapította, hogy ha a kúp szimmetria tengelye nincs függőlegesen, akkor a dőlés felé gurulnak a szemcsék, ami azt eredményezi, hogy a kúp egyik oldalán nagyobb, másik oldalán kisebb lesz a szemcse koncentráció. Egyenlőtlen magasztás az adagoló hengeren, egyenlőtlen mageloszlást eredményez a parcellán. Súlyosítja a helyzetet, ha lejtős terepen történik a vetés.

Az osztókúp vízszinteségének és a szétosztás egyenletességének kapcsolatát Betzwar [1] vizsgálta. Szerinte mindegyik típus kiosztását nagyon befolyásolta az osztókúp vízszintesége. Vizsgálatai szerint, ha a vízszintestől való eltérés a 3 %-ot meghaladta, akkor okozott a kiosztásban eltérést.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. A vizsgálatok körülményei, és a vizsgált műtrágyák típusai

Vizsgálatainkhoz a következő műtrágyákat használtuk fel:

- NPK 15-15-15 (Agrolinz Agrotechnikalien GmbH)
- Linzi só (ammonium nitrate limestone 27 % N, Agrolinz Melanin GmbH)
- Kálisó (0-0-60 %, Tiszamenti Vegyiművek, Szolnok)
- Ammónium nitrát (34 % N, Nitrogénművek Rt. Pétfürdő)

A szétosztási egyenlőtlenség meghatározására egyik legjellemzőbb összefüggés a variációs tényező. [2]

$$CV = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Ahol:

- $x_i$  – a háromszori mérés során egy mérőhelyen felfogott műtrágyamennyiségek átlaga
- $\bar{x}$  – a háromszori mérés során az összes mérőhelyen felfogott műtrágyamennyiségek átlaga
- $n$  - a mérőhelyek száma



1. ábra. A kúpos – szalagos szétosztó

A kúpos-szalagos szétosztó mely a kifejlesztett parcella műtrágyaszóró gép legfontosabb szerkezeti eleme az 1980-as évektől alkalmaznak szélesebb körben főleg parcella

vetőgépeken és néhány parcella-műtrágyaszóró gépen. Stumborg et al. [4] véleménye szerint a kúpos-szalagos szétosztó parcella vetőgépeken egy bevált eszköz. (1. ábra).

A szétosztás második lépése vetőmagok és műtrágyák szétosztása esetén a keresztirányú osztás. A szemcsék kijuttató csövek szerinti terítésének az eszköze a rotációs szétosztó (2. ábra). A szemcsék a kúpos-szalagos kiosztóból vezetőcsövön keresztül egy garatba kerülnek, mely a rotációs szétosztó szimmetria tengelyéhez vezet a műtrágyát. A forgórész lapátrendszer a ráhulló szemcséket kidobja a ház kerülete felé. A kerületen lévő kivezető rések csatlakoznak az elvezető csövekhez. A forgórész hajtása történhet villanymotorral akkumulátorról, vagy hidromotorral. A rotációs szétosztó fejrésze a kivezető résekkel és csövekkel cserélhető, attól függően hány elvezető cső juttatja ki a szemcséket.



2. ábra. A rotációs szétosztó

### 3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

#### 3.1. A kúpos szalagos kiosztó vizsgálata alapján levont tapasztalatok

Tapasztalataink szerint a kúpos-szalagos kiosztó jól használható műtrágyák szétosztására, mert a kúp és a gumiszalag között elhelyezkedő szemcsék nem sérülnek, nem tömítik el a nyílásokat, jól ürülnek ki a szerkezetből.

A kúpos-szalagos szétosztó jellemzése:

Előnyök:

- pontos adagmennyiség érhető el,
- jó szórás egyenletesség biztosítható,
- a szemcse alakja, mérete nem befolyásolja a kijuttatás pontosságát,
- relatívan kis mennyiségek is egyenletesen juttathatók ki,
- előre pontosan meghatározott műtrágyamennyiséget lehet a parcellákra összeállítani.

Hátrányok:

- 20 m feletti parcellaméret nehézséget okoz a kijuttatásban,
- a szemcse mennyisége minden parcella esetén előre kimért és előkészített kell hogy legyen,
- a gépnek működés közben vízszintesen kell állnia, amit egy a berendezésre szerelt vízszintmérővel ellenőrizni és beállítani szükséges.

### 3.2. Az osztókúp tengelyhelyzet hibájának vizsgálatából levont következtetések

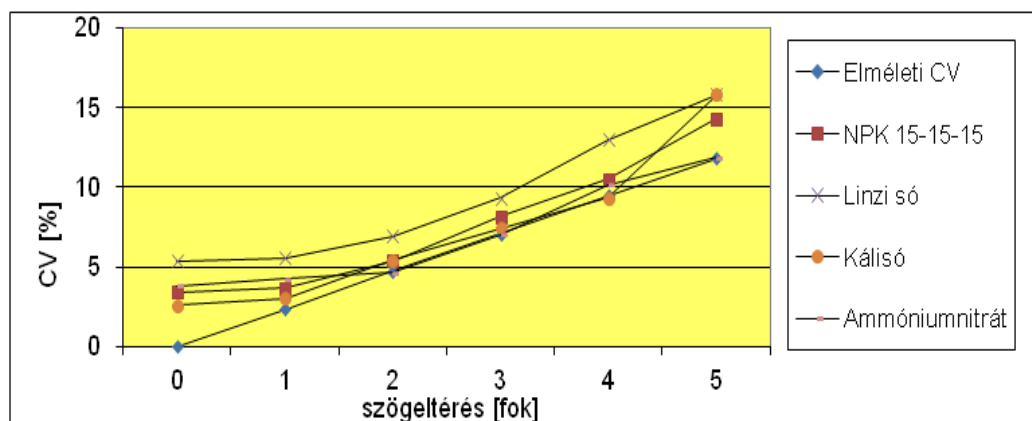
Különböző műtrágyamennyiségek esetén vizsgáltuk a szétosztási egyenlőtlenségeket, aminek alapján a következő megállapításokat tettük: Az osztókúp alaplapjának kismértékű dőlése a vízszinteshez képest jelentősen ronthatja a szétosztás egyenletességét.

- Vizsgálataink szerint 1 és 2 fokos dőlésű osztókúp esetén még nem tapasztalható lényeges különbség, azonban 3 fokos osztókúp dőlés már kimutatható változást okozott a szétosztás egyenlőtlenségében  $CV=6..10\%$ . (3. ábra)

- Függőleges osztókúp esetén sem egyenletesen oszlik szét a műtrágya a kijuttató csöveken. Méréseink szerint a szétosztás egyenlőtlensége  $CV=2...6\%$ . Az okok sokrétűek: véletlenszerű szemcseütközések, rezgések, a granulátum szemcsék alakjának és méretének változatossága stb.

- A különböző műtrágyák hasonlóképpen reagálnak az osztókúp szimmetria tengelyének dőlésére.

- Kisebb műtrágyamennyiségek esetén általában nagyobb egyenetlenséget észleltünk.
- Kisebb méretű műtrágyaszemcse esetén kisebb egyenetlenséget mértünk.



3. ábra. A szórás egyenlőtlenség az osztókúp dőlésének függvényében

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BETZWAR W.** 1992 *A method for the evaluation of seed distribution of plot seeders and precision spaced planters*. Proceedings of the Eight International Conference on Mechanisation of Field Experiments Soest, Germany. 1992. 68-82.
- [2] **CSIZMAZIA Z.** 1993 *Technical Conditions Of Equalized Fertilizer Applications*. Hungarian Agricultural Research, 1993/12. 16-22
- [3] **FLEMING J. J.** 1984 *Modifications to the Oyjord seed drill*. Proceedings of the Sixth International Conference on Mechanisation of Field Experiments Dublin, Ireland. 1984. 63-70.
- [4] **STUMBORG M. A. – Mc CRYSTAL G. E. – COWELL M.** 1992 *Design of a Casette Air Seeder for Breeder Plots*. Proceedings of the Eight International Conference on Mechanisation of Field Experiments Soest, Germany. 1992. 56-61.

# A ZÖLD INFRASTRUKTÚRA ALKALMAZÁSA A VIZEK MENNYISÉGI- ÉS MINŐSÉGI VÉDELMERE DEBRECENBEN A VÍZ KERETIRÁNYELV CÉLJAIVAL ÖSSZHANGBAN

## USING GREEN INFRASTRUCTURE IN DEBRECEN IN ORDER TO IMPROVE THE QUANTITY AND QUALITY OF WATER BODIES IN ACCORDANCE WITH THE WFD

**Hancz Gabriella**

főiskolai docens  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
hancz.g@gmail.com

**Kivonat:** A vízgazdálkodás tervezésének léptéke a vízgyűjtő, ugyanakkor a településeken, főként a befogadók terhelhetősége szempontjából nagy koncentrált terhelést jelentő városok szintjén a zöld infrastruktúra megvalósítása hatékony eszköze lehet a Víz Keretirányelv szerinti célkitűzések elérésének. A zöld infrastruktúra mint rendszer és mint az egyedi megoldások eszköztára a vizek mennyiségi- és minőségi védelmének egyenlőre kihasználatlan lehetőségét nyújtja. A tanulmányban kifejtem a közös célokat és ismertetem a zöld infrastruktúra vízkészlet gazdálkodást- és vízminőséget javító hatását igazoló - főleg külföldi - kutatási eredményeket. Konkrét példákkal támasztom alá a megállapítást, miszerint a zöld infrastruktúra alkalmazása a vizek mennyiségi- és minőségi védelmére Debrecenben még kihasználatlan lehetőség, figyelembe véve a város vízgazdálkodásának sajátosságait. Ugyanezen helyi példákon keresztül egyúttal javaslatokat fogalmazok meg a zöld infrastruktúra elemeinek alkalmazására, valamint olyan kérdéseket vetek fel, melyek további kutatás és szakmai viták tárgyát képezhetik.

**Kulcsszavak:** fenntartható városi csapadékvíz gazdálkodás; zöld infrastruktúra

**Abstract:** The First management cycle of the river basin management plans comes to an end this year. The final deadline for meeting the environmental objectives of the WFD is 2027. Thus we still have time to learn lessons and implement good practices to reach the goals. The scale of the plans are river basins but the implementation of good practice of rainwater management in urban areas - where water bodies are seriously loaded with diffuse pollution from rainwater runoff and where underground water sources are overexploited – could improve both quantity and quality of surface and ground waters as well. Besides the introduction of the special water management conditions given in the study area of Debrecen, the aim of the paper is to illustrate through examples the extent of neglecting the potential benefits of GI instruments.

**Keywords:** sustainable urban storm water management; green infrastructure

## 1. BEVEZETÉS ÉS PROBLÉMAFELVETÉS

Eddigi szakirodalmakból már ismerjük azokat a városi vízgazdálkodási problémákat, melyekre a zöld infrastruktúra eszközei megoldást jelenthetnek. Ezek a vízgazdálkodási problémák, mint jelentős vízgazdálkodási kérdések megjelennek az országos vízgyűjtő gazdálkodási tervben is és a Hortobágy- Berettyó vízgyűjtő gazdálkodási tervében is, amely vízgyűjtőn Debrecen található. A tanulmánnyal arra szeretném felhívni a figyelmet, hogy a fenntartható csatornázás, vagy újabban a zöld infrastruktúra elemeinek alkalmazása még mindig nem vált gyakorlattá, holott a Víz Keretirányelv szerint 2025-ig minden víztesten el kell érni a jó ökológiai állapotot.

Ebben a tanulmányban Debrecen kapcsán mutatom be a vízgazdálkodási sajátosságokat, a problémákat és a zöld infrastruktúrában rejlő lehetőségeket.

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalmakból már ismerjük azokat a városi vízgazdálkodási problémákat, melyekre a zöld infrastruktúra eszközei megoldást jelenthetnek. Ezek

- A. az egyesített csatornarendszerrel összefüggő problémák (túlterheltség, szennyvíztelep hatékonyságát rontja);
- B. a települési vízkészlet-gazdálkodás problémája (a vízforgalom egyre nyílik, távolodva ezzel a fenntartható gazdálkodástól; illetve
- C. a csapadékvízzel lefolyó diffúz szennyezés problémája

Az ezeknek megfelelő megoldások az 1. táblázatnak megfelelő zöld infrastruktúra-eszközökkel

- A. csökkentik, vagy legalább lassítják a lefolyást;
- B. fejlesztik a vízkészletet, ezzel zártabbá teszik a városi vízforgalmat; illetve
- C. csökkentik a lefolyó csapadékvíz szennyezettségét.

A VÍZKÉSZLET FEJLESZTÉSE	A LEFOLYÁS CSÖKKENTÉSE, VAGY LASSÍTÁSA	A CSAPADÉKVÍZ SZENNYEZETTSÉGÉT CSÖKKENTŐ HATÁS
növényekkel betelepített sekély árkok ( esőkertek, biovápák)		
vízáteresztő burkolatok		
leválasztott ereszcsonna		
növényvályúk		
	zöldtetők	
	fák	
	záportározók, késleltető tavak	
	épített mocsarak, wetlandek	
állandó tavak		

1. Táblázat A zöld infrastruktúra elemeinek szerepe (forrás [3])

Városi- és kistérségi szinten a természetes területek foltjainak rendszere biztosít élőhelyet, árvízvédelmet, tisztább levegőt, tisztább vizet. Az utcák-, háztömbök szintjén az 1. táblázatban felsorolt, természet közeli létesítmények, városi szinten ezek összefüggő rendszere biztosítja a záporvizek visszatartását, a lefolyás lassítását, csapadékvíz megtisztítását a szennyezésektől [3]. Kutatások igazolják ezeket a pozitív hatásokat [1]. Ezeket és egyéb pozitív hatásokat ökoszisztéma szolgáltatásokként is említi a szakirodalom[7].



### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER - DEBRECEN VÍZGAZDÁLKODÁSI PROBLÉMÁI

Debrecen vízgazdálkodási problémáit az alábbiakban a vízgazdálkodási tervezés léptékében készült Hortobágy-Berettyó Vízgyűjtő Gazdálkodási Tervéből [4] és a város Környezetvédelmi Programjából [2] ismertetem.

#### **A. az egyesített csatornarendszerrel összefüggő problémák (túlterheltség, szennyvíztelep hatékonyságát rontja);**

A Debreceni Vízmű Zrt. által tüzemeltetett egyesített ill. elválasztott (szennyvíz) rendszerű csatornahálózathoz kapcsolódó lakossági panaszok jelentős része a rendszer csapadék-idei túlterheltségére és illegális csapadékvíz bekötésekre vezethető vissza.

Az egyesített rendszerbe szabályosan bekötött csapadék mennyisége az érzékelhető - és talán már bizonyított is - éghajlatváltozás következtében jelentősen növekedett, miközben a hidraulikai kapacitása a korábbi kiépítettség miatt nem változott.

Esőzés idején a csatornák nyomás alá kerülnek időszakosan, ami a visszaduzzadás következménye.

1. ábra: idézet (forrás [2], 30. oldal)

#### **B. a települési vízkészlet-gazdálkodás problémája (a vízforgalom egyre nyílik, távolodva ezzel a fenntartható gazdálkodástól)**

A VGT szerint a felszín alatti vízkészletek kihasználtsága közel teljes (92 %) – a vízmérleg könnyen átfordulhat negatívba ([4], 264. oldal). Gyenge minőségi állapot jellemzi a vízgyűjtő négy felszín alatti víztestét ([4], 271. oldal). A gyenge mennyiségi állapot arra utal, hogy nagyobb a kitermelés mértéke nagyobb, mint a visszapótlódásé.

A vízgyűjtőterület minősítése biológiai aktivitásértéke alapján szegényes és közepes ([4], 36. oldal).

#### **C. a csapadékvízzel lefolyó diffúz szennyezés problémája**

Egy 1996-ban elvégzett vizsgálat alapján a város vízellátását alapvetően meghatározó mélységi vízbázisok közül hármát nyilvánítottak sérülékenynek. E szerint a felszíni szennyeződések - amennyiben nem megfelelően kezelik - károsíthatják a felszín alatt 85-200 m mélyen elhelyezkedő vízadó rétegeket.

2. ábra: idézet (forrás [2], 39. oldal)

A csapadékvíz bevezetésekkel kapcsolatos emberi hatás növekszik, mivel a belterületek, illetve a leburkolt területek aránya is emelkedik. A városi csapadékvíz terhelést a lefolyás jelentős megnövelése, valamint a csapadékvízzel bemosott szennyezőanyagok okozzák. Egyes kibocsátási pontokon végzett vizsgálatok alapján a városi csapadékvíz jelentős mennyiségű hordalékot, olajat, sőt és a levegőből kiülepedett szennyezőanyagokat (pl. nehézfémeket) tartalmaz. Külön problémát jelent, ha a csapadékvíz heves zápor alkalmával a közcsatornába kerül, mivel a szennyvíztelep túlterhelése nem megfelelő tisztítást, végeredményben a befogadó balesetszerű szennyezését okozza. A tervezési alegység területén a nagyobb városok és több kistelepülés rendelkeznek csapadékvíz elvezető rendszerrel, de a csapadékvizek kezelése nem megoldott ([4], 84.- 85. oldal).

#### 4. EREDMÉNYEK - A MEGOLDÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK SZEMBEÖTLŐ HIÁNYA

Az alábbi képsor (3.-12. képek) annak illusztrálására szolgálnak, hogy az A-B-C problémákra megoldást szolgáló zöld infrastruktúra elemek hiányoznak.



3. ábra: „A”, „B” probléma: a csapadékvíz szennyezett és intenzív csapadékokat nem tud a csatorna folyamatosan elszállítani (forrás: saját fénykép)



4. ábra: lehetséges megoldás „A”, „B” problémára: ideiglenes záportárolók (forrás:[6])



5. ábra: „B” probléma: a tetőről összegyűjtött csapadékvíz a csatornába kerül, a növényzet nem jut elég vízhez (forrás: saját fénykép)



6. ábra: megoldás a „B” problémára: Berlin, útmenti füvesített szűrőárok; (forrás:[5])



7. ábra: „B” probléma: a növények kevés csapadékhoz jutnak; a mulcs alá vízszigetelő fóliát is terítettek, ami az odahulló csapadékot nem engedi beszivárogni (forrás:saját fénykép)



8. ábra: lehetséges megoldás a „B” problémára: az úttestről növényekkel betelepített szivárogtató vályúba vezetik a csapadékvizet (forrás:[6])



9. ábra: „B” probléma: a tetőn összegyűlt csapadékvizet a csatornába vezetik; a kialakított zöldfelület nem jut elég vízhez, a csatorna pedig túlterhelt (forrás: saját fénykép)



10. ábra: lehetséges megoldás a „B” problémára: a tetőn összegyűlt csapadékvizet füvesített mélyedésbe vezetik (forrás:[6])

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

A VKI elvárásainak teljesítése-, valamint a vízkészletek mennyiségi- és minőségi megőrzése érdekében javasolt költséghatékony és eredményes megoldás a ZI elemeinek alkalmazása, mely eddig nem teljesült. A meglévő rendszer értékeléséhez és a ZI rendszer tervezéséhez szükséges adatbázis létrehozására és feldolgozására project javaslatot célszerű megfogalmazni.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BUZÁS, K.**, *A közúti közlekedés hatása a felszíni csapadékvíz-lefolyás szénhidrogén szennyezettségére*, Doktori (PhD) értekezés, Budapest, 2009.
- [2] *Debrecen Város Környezetvédelmi Programja 2009.-2014.*; 2009.; Plánum '97. Kft.; 39. oldal
- [3] **HANCZ, G.**, *A zöld infrastruktúra szerepe a települési vízgazdálkodásban*, Debreceni Műszaki Közlemények 2013/2 (HU ISSN 2060-6869)
- [4] Hortobágy-Berettyó Vízyűjtő Gazdálkodási Terve, 84.oldal
- [5] **JEFFERIES, C., DUFFY, A.**, *SWITCH Transition Manual*; ISBN 1-899796-23-1; University of Abertay Dundee, United Kingdom
- [6] **PHILIP, R.**, *SWITCH Training Kit Integrated Urban Water Management in the City of the Future*; ISBN 978-3-943107-06-7, 2011 ICLEI European Secretariat GmbH
- [7] *Urban adaptation to climate change in Europe*; EEA Report; ISSN 1725-9177 pp7.

# HOVÁ TART A TERMIKUS SZÓRÁSI TECHNOLÓGIA FEJLŐDÉSE? QUO VADIS THERMAL SPRAYING TECHNOLOGY ADVANCES?

Molnár András<sup>1</sup>, Csabai Zsolt<sup>2</sup>, Ráthy Istvánné<sup>3</sup>, Fazekas Lajos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Doktorandusz, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezzetani és Anyagtechnológiai Intézet  
(a.molnar2007@gmail.com)

<sup>2</sup>Igazgató, Csabai Pharma AG Switzerland, Zug, (dr.csabai@csabai.de)

<sup>3</sup>Tanszékvezető, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Kar (fazekas@eng.unideb.hu)

<sup>4</sup>Főiskolai tanár, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Kar (rathyne@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** Az 1910-es évek elején M. U. Schoop svájci mérnök szabadalmaztatta a villamos ívszórás technikáját. Az eltelt 99 év alatt ez a technika óriási fejlődésen ment keresztül. Az előadás során bemutatásra kerül a termikus szórás technika fejlődése továbbá annak fizikai és kémiai alapjainak fejlődése. A termikus szóráshoz számos fémötvözetet, kerámiát fejlesztettek ki az elmúlt években. A szórt rétegek vizsgálata és azok minőségének javítása beláthatatlan fejlődést hozott – amely elősegítette az alkalmazást és a technológia elterjedését. Napjainkban széles körű a termikus szórás gyakorlati alkalmazása a kezdeti - kopott tengelyek felújítása ma már a repülőgépek turbina lapátjainak élettartam növelése mellett az implantátumok gyártásán keresztül széles skálán mozog. A technika alkalmazása, vizsgálata, elemzése a folyamat modellezése igazi tudománnyá fejlődött – amit számos kutató rendkívül széles körű és magas színvonalú munkája is igazol. Az előadás a rendelkezésre álló időben ezt a széleskörű fejlődést szeretné bemutatni.

**Kulcsszavak:** villamos ívszórás, szórt réteg, turbina lapát, fémötvözet modellezés.

**Abstract:** In the early 1910s, Swiss engineer M. U. Schoop patented the electric wire arc-spray technique. During the past 99 years, this technique has undergone tremendous progress. By this lecture will be presented during the thermal spray techniques as well as the development of physical and chemical bases of its development. A The high number of of thermal spraying metal alloy, ceramics have been developed for the thermal spraying developed in the recent years. The eExamining of the sprayed layers and the improvement of improving their quality has of diffused layers brought an immense immense progress — by which that promoted the spread of its application and technology.applications and technology was promoted. Today, there is a a wide range of practical applications of thermal spraying, and the the initial - renewal of worn shafts today moves on a broad scale, beside while increasing the service life of aircraft turbine blades, through to manufacturing the implants varies widely. An aApplication, examination and analysis of the technology and the modelling of the procedure has developed to a real science which is demonstrated through developed in the process of modeling real science - as demonstrated by a number of researchers are extream extremely broad and high-quality work of a high number of researcher. mely broad and high-quality work as well. Within the time available it is intended by this lecture to introduce this extensive development.The presentation is to present this extensive development in the time available.

**Keywords:** electrical wire arc spray, sprayed layer of turbine blades, metal alloy modeling.

## 1. BEVEZETÉS

A műszaki felülettudomány – surface engineering – az elmúlt két évtizedben rendkívül dinamikus fejlődésen ment keresztül és vált új, interdiszciplináris tudományterületté [1]. A felületek ki- és átalakításai és ez által tulajdonságváltozásai rendkívül fontos szerepet töltenek be a gyakorlatban. Ha egy alkatrész felületén csak ott hozzuk létre az elvárt tulajdonságokat, ahol éppen szükséges, jelentősen csökkenthetjük a költségeket, főleg ha ebben az esetben az alkatrészhez olcsóbb alapanyag is használható. Ezért vált a felületkezelő technológia egyre fontosabb tudományterületté, és ez által az optimális technológiák kidolgozására irányuló kutatások is kiszélesedtek, ezek jelentős részét a végbemenő folyamatok modellezései és

szimulációi teszik ki. Az anyagi rendszerek felületük közvetítésével állnak kapcsolatban környezetükkel.

Az anyagok funkcionális és szerkezeti tulajdonságait, az alkatrészek, gépek, berendezések élettartamát nagymértékben felületi jellemzőik határozzák meg. A legtöbb károsodási folyamat, ami egy gyártmány vagy alkatrész meghibásodásához vezet, a felületen jelentkezik, ilyenek például a kopás, a korrózió vagy a kifáradás (nagy ciklusszámú Wöhler-féle fáradás). A felületeknek összetett és különleges tulajdonságokkal kell rendelkezniük, mint a kis súrlódási tényező, a korrózió és kopásállóság vagy az esztétikus külső. Bizonyos esetekben nem lenne elegendő pusztán az anyag felületét bevonni annak érdekében, hogy terhelhetőségét, élettartamát meg tudjuk növelni, hanem megfelelő rétegvastagságban kell tulajdonságait – pl. szilárdságát – módosítani. A tulajdonságok javítását az anyagszerkezet mechanikai hatására vagy hő hatására bekövetkező módosításával érjük el, más esetekben a kémiai összetétel megváltoztatása is szükséges. A szerkezeti anyagok felületállapota tehát nagy fontossággal bír, hiszen a felület mechanikai terhelésen túl különféle környezeti hatásoknak is ki van téve.

## 2. TERMIKUS SZÓRÁSI MÓDSZEREK

A termikus szórás az apró szemcséjű anyag felrakási folyamatként értelmezhető, amelynek során az alapfémre a megolvadt, a félig megolvadt vagy a még szilárd részecskék rakják fel és a bevonat mikro-szövetszerkezete a részecskék megszilárdulásának és összezsugorodásának eredményeképpen alakul ki.

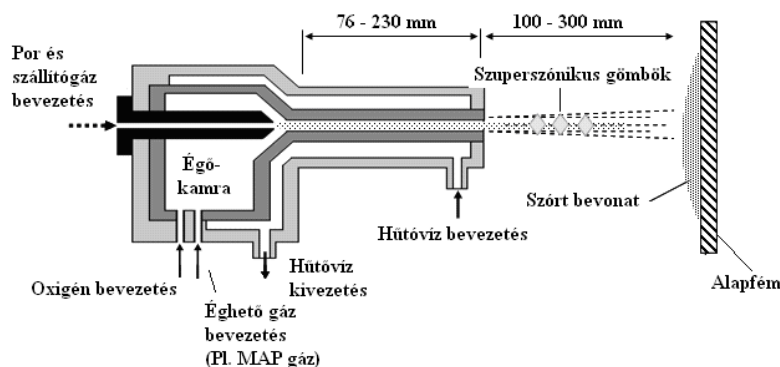
A termikus felszórás eredete az 1900-as évek elejére nyúlik vissza. A fémszórás folyamatát M. U. Schoop fedezte fel és kapott erre szabadalmi engedélyt [2]. Általában ezt fogadják el e technológia megszületésének dátumaként. Kezdetben ezt az eljárást főleg korrózióálló cinkbevonatok felvitelére használták, amelyet később a keményfémek felszórása követett. Az 1950-es évek folyamán új tűzálló anyagok alkalmazása kezdődött el (gyakran az űrhajózási ipar igényeinek kielégítése céljából) valamint a termikus felszórás új módszerei terjedtek el, mint pl. a D-Gun<sup>TM</sup> szórópisztoly [3]. A felszórási folyamat fizikai hátterének tanulmányozását az 1960-as években kezdték el [4]. Az 1970-es években szemtanúi voltunk a vákuum plazmaszórás (VPS) kifejlődésének [5]. Az elmúlt évtizedben a termikus felszórási technológia elismert ipari technológiává vált. A másik nagy mérföldkő a nagysebességű oxigén-fűtőanyag eljárást kifejlesztése volt a Browning Engineering Corp által. Azonos mértékben folynak az új anyagokkal és az új alkalmazásokkal kapcsolatos kutatások. Az olyan modern optikai készülékek, mint az LDV (Laser Doppler Velocymetry) vagy a két színnel működő gyors pirométer használata lehetővé tette, hogy mélyrehatóan tanulmányozzák a felszórási folyamat fizikai alapjait, különös tekintettel a láng és a felszóró részecskék közötti hő- és impulzus átvitel vizsgálatára [6-8].

A **termikus szórás** (thermal spray) nem gázfázisból történő leválasztási módszer. Az elnevezés egy módszer családot jelöl, amelynek tagjaira az jellemző, hogy az anyag (fém, kerámia, fém-kerámia, azaz ún. cermet anyagok, egyes polimerek) porszemcséit az olvadáspont közelébe vagy fölé hevítik, valamilyen módon felgyorsítják, és a megolvadt cseppeket vagy a majdnem megolvadt szemcséket a bevonandó felületre irányítják. Ütközéskor ezek foltokban elterülnek, átlapolódnak, és bevonatot alkotnak. A termikus szórás történhet láng-, ív-, plazma- vagy lézer hőforrás alkalmazásával.

A **lángszórás** fém és nemfém anyagok felületi réteggel való bevonására használható. A szórásra használt anyagot (mely lehet huzal, por) az acetilén-oxigén- láng megolvasztja, majd az sűrített levegővel vagy más gázzal az előkészített munkadarab felületére sodródik. A

felszóró réteg állhat pl. horganyból, alumíniumból, rézből vagy krómnikkel acélból. Az acetilén-oxigén láng nagy hőmérséklete lehetővé teszi azt is, hogy a nagy olvadáspontú anyagok (mint pl. a molibdén) is szórhatók legyenek. A lánggal szóró rétegek a technika valamennyi területén jól beváltak, pl. kopásvédő vagy korrózióvédő rétegekként gépelemek javításához.

A **nagysebességű termikus szórási eljárás** első lépéseit az 1950-es években a Union Carbide Co. - nál tették meg [9]. Ezzel az eljárással lehetővé vált a nehezen olvadó anyagok (pl. oxidok) felszórása oly módon, hogy a bevonat rendkívül tömör volt (a porozitás 1% alatt maradt). A kiinduló anyag a készülék kialakításától függően por, - vagy huzal volt. Főleg Co-alapú ötvözetek felszórásával alakítottak ki egyenletes tömör rétegeket. Az alkalmazott por szemcséinek mérete átlagosan 300 $\mu$ m volt. Az ütközés pillanatában a szóró részecskék sebessége elérte a 610 m/s-ot, mely jóval a hangsebesség fölött volt. Ennél az eljárásnál (1. ábra) a tüzelőanyagot oxigénnel – nagy nyomás - alatt az ún. égőkamrában elégetik és ekkor nagysebességű kiömlő gáz-sugár jön létre. A szállító-gázban szuszpendált állapotban levő port a forró gáz-sugárba-tengelyirányba vezetik be. Az égőkamrából az égéstermékek a pisztoly viszonylag hosszú, vízzel hűtött fűvókáján keresztül áramolnak ki. A nagysebességű szóráshoz alkalmazható éghető hevítő anyag a készülék kialakításától függően acetilén, kerozin, propán, propilén, hidrogén metilacetilén-porpadin (MAPP) lehet. Az égést tápláló gáz rendszerint oxigén, de egyes esetekben sűrített levegőt is alkalmaznak. A gáz áramlási sebessége meghatározza a láng hőmérsékletét. A fűtőanyag áramlási sebessége 40--60 l/perc tartományban van és az oxigén - áramlási sebessége ennek megfelelően nagyobb.



1. ábra Nagysebességű lángszórás (HVOF)

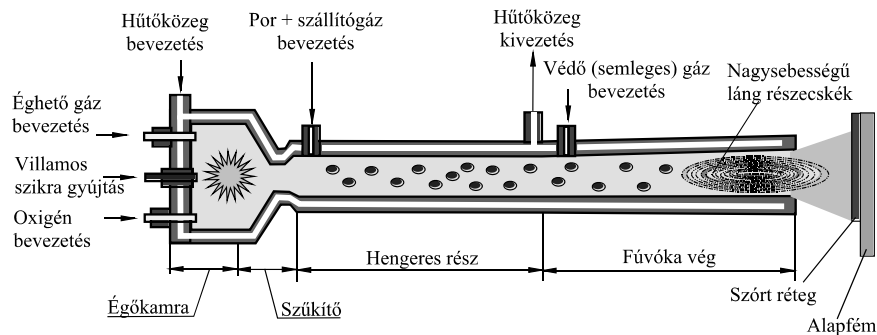
A nagysebességű eljárásnál használt részecskék mérete: általában 5--45  $\mu$ m tartományban van. A leggyakrabban szóró porok: karbidporok. A poradagolás sebessége a 20--80 g/perc tartományban van. A port legtöbbször axiálisan (tengelyirányban), néhány pisztolynál radiálisan (sugárirányban) adagolják és vivőgázként pedig nitrogént használnak a szórási távolság pedig 150--300 mm között van.

A felvitt karbid-bevonatok tapadó szilárdsága akár 90 Map is lehet [10] szerint - ez az érték túllépi azt a legnagyobb szilárdságot, amit a legtöbb műgyantánál el lehet érni. A HVOF szórással felvitt bevonatok porozitása kisebb, mint 1 %, a tipikus bevonatvastagság: 100--300  $\mu$ m között van.

## 2. 1. Kombinált robbantásos - nagysebességű szórás

Az eljárást a 2000-es évek elején S. Kuroda és T. Fukushima fejlesztette ki a Japán Nemzeti Anyagkutató Intézetben [11]. Az éghető gáz (acetilén) és az oxigén az égőkamrában

keveredik, és villamos szikra gyújtja be. A robbanási hullám a szűkítő kamrán keresztül haladva találkozik a szállítógázzal bevitt porrészecskékkal. Az áramló nagyenergiájú forró gázsugár a részecskéket felhevíti és a cső hengeres és táguló (fúvóka) részében felgyorsulnak (2. ábra). A fúvóka gyorsító kamrájába adagolt semleges védőgáz (pl. argon) a fúvóka nyitott végén kilépő gázsugárban lévő részecskéktől távol tartja a levegő oxigénjét.

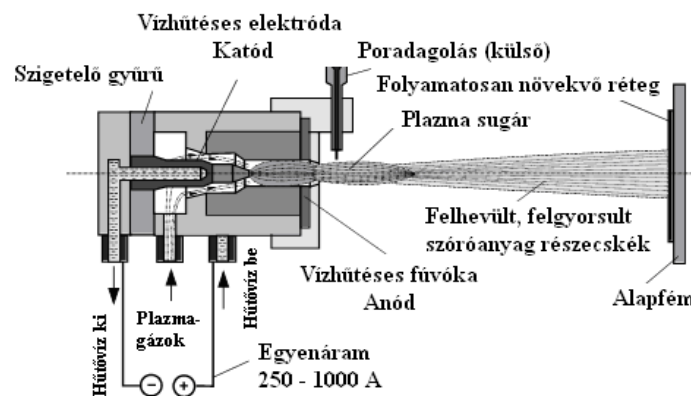


2. ábra Korszerű detonációs nagysebességű szórás

A munkadarab felületére röpitett részecskék az ütközés pillanatában deformálódnak és réteget képeznek. A réteget a kiáramló védőgáz védi az oxidációtól. A robbanás, a por és védőgáz adagolás periodikusan követik egymást és finom réteg alakul ki, minimális porozitással. Az eljárás robbantásos szórás - a nagysebességű eljárásnál kifejlesztett gyorsító fúvókával.

## 2. 2. Plazmasugaras szórás

A plazmás felületmódosítás széles körben alkalmazott eljárás, amelynek során a plazmában keletkező pozitív és negatív ionok, gyökök, gerjesztett részecskék, elektronok, fotonok kerülnek a szilárdtestek felületével kölcsönhatásba.



3. ábra Plazmaszórás elve

Az 3. ábrán vázolt plazmaégő általában rézből készült kör alakú anódból és tóriumos volfrám katódból áll. A villamos ív kisülése a csatlakozókon keresztül a generátor segítségével megy végbe és ennek révén a munkagáz felhevül, amely az atmoszférikus levegővel érintkezve kiterjed, és sugár-áramlás jön létre. A vívőgázban lebegő port a sugárba injektálják. A porrészecskék a plazmában való megolvadás és felgyorsulás után az alapfém felületének ütközve bevonatot képeznek. A porrészecskék alakja: előnyös a gömbalak, ami megkönnyíti a por kezelését és csökkenti a szórási foltot. Méreteloszlás: a szűk mérethatárok



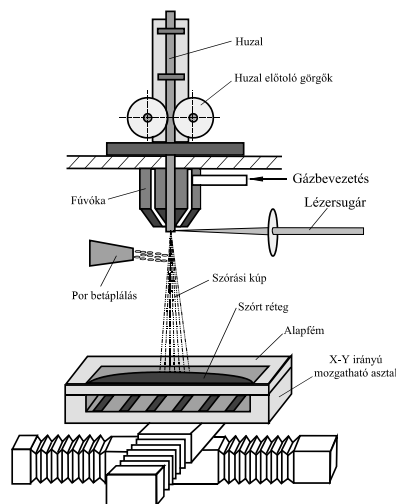
közötti eloszlást kell előnyben részesíteni, ami növeli a szórás hatékonyságát. A poradagolás sebessége: általában 50 - 100 g/perc tartományban állítható be.

A szórás távolsága: tipikusan a 60--130 mm tartományban van. Szórási szög: általában 90°, néha ettől a szabályostól eltérő is lehet az alapfém alakja miatt. A láng lineáris sebessége az alapfémtől függően: nagyon széles tartományban: 50 - 2000 mm/s között van. Szórási atmoszféra: levegő. A kerámia anyagok plazmaszórásánál a tapadó -szilárdság tipikusan 15- - 25 MPa. A plazmaszórással kötött ötvözeteknél (mint az NiAl vagy az NiCrAl) vagy a fémeknél (Mo) a 70 MPa-t is elérheti. Az APS-el felvitt bevonatok porozitása általában az 1-7 % tartományban van, de szándékosan ennél nagyobb is lehet. A bevonatok vastagsága tipikusan 50 - 500 μm. A munkagázok: tipikusan Ar vagy Ar+H<sub>2</sub>, Ar+He és Ar+N<sub>2</sub> keveréke, néha N<sub>2</sub> és N<sub>2</sub>+H<sub>2</sub> keveréke. Jellemző áramlási sebesség: kb. 40 - 50 l/perc, néhány berendezésnél max. 80 l/perc.

Ez a képesség a molekuláris gázoknál (különösen a H<sub>2</sub>-nél) a nagyobb hővezető képesség miatt nagyobb lehet, mint az atomos gázoknál. Az egyatomos He-ot adalékként használják (az Ar-hoz - a nagy hővezető képesség miatt, de azért is, hogy keskeny szórási kúpot képezzenek [12]. A villamos teljesítmény: (azaz: ívfeszültség x íváramerősség): tipikus értéke max. 60 kW, de néhány berendezésnél ez az érték esetleg több, mint 100 kW. Az elektródák geometriája: a katód csúcsának alakja más és más kell, hogy legyen a különböző munkagázoknál. Az anód alakja és átmérője befolyásolja a plazmasugár áramlás-képét és így a plazmasugár hőmérsékletét és a sebesség az eloszlást is. Mivel a villamos ív az anódot és a katódot egy vagy több helyen érinti (gyökerek), ezért a katódot és az anódot úgy kell konstruálni, hogy elkerüljék azok gyors elhasználódását [13].

### 2. 3. Lézerszórás porral és huzallal

A lézersugár útjába port és huzalt vezetve különleges réteg előállítás válik lehetővé. A két fajta anyag egyszerre történő alkalmazásával Al/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> és Al/SiC kompozit rétegeket állítottak elő ezzel a módszerrel [14]. A felszört rétegben (Al/SiC) a SiC részecskék aránya mintegy 30 térfogat % volt. A kísérletekhez 2 KW teljesítményű, ún. YAG lézert alkalmaztak. A felhasznált Al huzal 99,5 % tisztaságú volt, a lézer sugár átmérője 1,2 mm, míg a szórási távolság 100 - 140 mm között volt. A felszórásra kerülő próbatesteket egy XY irányban mozgatható asztalra szerelték fel (4. ábra). A felhasznált porok szemcsemérete 50 - 120 μm között volt.



4. ábra Lézersugaras szórás porral és huzallal

Szállító gázként argon és oxigén keveréket használtak 4 - 10 l/g mennyiségben – ennek a mennyiségét megnövelve a részecskék sebessége megnőtt és ütközéskor finomabb cseppek keletkeztek és csökkent a réteg porozitása.

## ÖSSZEFOGLALÁS

- A jelen tanulmány a teljeség igénye nélkül át fogó képet kívánt nyújtani a termikusan szórt réteg kialakítására alkalmas néhány korszerű technológia szerepéről (hagyományos és korszerű eljárásokról), konkrétan a lézeres felületkezelésről és bemutatja a szakirodalomban található ezzel kapcsolatos kutatások eredményeit is. Technikai módszerek továbbfejlesztése,
- Az eljárások tökéletesítése, finomítása – új eljárás kifejlesztését nem prognosztizáljuk
- Hozaganyagok továbbfejlesztése,  
Új anyagok, pl. fémötvözet – kompozit anyagok, FGC bevonatok, folyadékok, szuszpenziók fejlesztése
- Különleges koptató hatásnak ellenálló anyagok fejlesztése pl.
  - Alumínium-szilícium ötvözet/műanyag kompozit
  - Alumínium-szilícium ötvözet/grafit kompozit
  - Nikkel/grafit kompozit
  - Egyre több olyan kompozit anyag kifejlesztése várható (pl. „abradable” materials, FGC anyagok amelyekkel az élettartamot biztonsággal lehet tovább növelni.
- Gépi berendezések, robotizálás,
  - Elsősorban a szóró-kabinok, vákuumkamrák fejlesztését és az abban végzett robottal való termikus szórás terjedése vetíthető előre.
- Vizsgálati módszerek,
  - A vizsgálati módszerek kiterjesztése várható
- Modellezés, szimuláció,
  - A tudományos kutatás szempontjából egyre nagyobb jelentősége van
- Gazdasági kérdések
- Szervezés és a minőségbiztosítás fejlődése
  - A különleges alkalmazások (repülőgépipar, protézisek gyártása, energiatermelő cellák gyártása) nagymértékben megnöveli szervezés és a minőségbiztosítás jelentős fejlesztését.
- Oktatás
  - Az egyes főbb alkalmazási területek (pl. hidak javítása, különféle plazmaszórási technológiák, hideg szórás megkövetelik az oktatás csak ezekre a területekre való szakemberek kiképzését.
- Az alkalmazási területek bővítése
  - Különleges alkalmazási területek (pl. űrtechnika) igénye
- A réteg minőségének javítása
  - Kötés-szilárdság növelése, maradó feszültségek csökkentése, porozitás csökkentése

A termikus szórás – mint mechanikai technológia - hatalmas fejlődése az alaptudományok (matematika, fizika, kémia) ezen belül a termodinamika, kontinuummechanika és kontakt mechanika – továbbá a gépészeti tudományok fejlődése nélkül aligha tartana ezen a szinten.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KOCSISNÉ DR. BAÁN M.:** *Lézertechnológiák alkalmazása a műszaki felülettudomány terén.* Oktatási segédlet, Miskolc, 1996.
- [2] **MAX ULRICH SCHOOP:** *Apparatus for Spraying Molten Metal and Other Fusible Substances* US Patent No.: 1,133,507 Marc. 30, 1915.
- [3] **GORGE H. SMITH, RICHARD ESCHENBACH and JOHN F. PELTON, UNION CARBIDE CO.:** *Jet Plating of High Melting Point materials* US Patent No.:2,861,900 Nov. 25, 1958
- [4] **P. HEINRICH and HEINRICH KREYE:** *Process and Device for High-speed Flame spraying* US Patent No.: 6,972,138 B2 Dec. 6, 2005.
- [5] **JAMES A. BROWNING** *Browning Engineereing Corporation: Highly concentrated supersonic Liqufied material flame spray method and apparatus* US Patent No.: 4,416,421 Nov. 22, 1983
- [6] **H. KREYE, D. FANDRICH, H.-H., MÜLLER, AND G. REINERS,** (1986) *Microstructure and bond strength of WC-Co coatings deposited by hypersonic fiame spraying (Jet-Kote process),* 11 th Intemational Thermal Spraying Conference, Montreal, Canada, 8-12 September, 121-128.
- [7] **H. KREYE,** (1991) *High velocity fiame spraying-process and coating cháracteristics.* 2<sup>nd</sup> Plasma Technik Symposium, Luceme, Switzerland, 5- 7 June, 39-47.
- [8] **JAMES A. BROWNING** *Browning Engineereing Corporation: Method and apparatus for high velocity Flame Spraying of assymmetrically fed wire rods* US Patent No.: 4,593,856 Jun. 10, 1986.
- [9] **JAMES BROWNING:** *HVOF Wire Spraying,* Spraytime Vol. 13, Number 1. 2006. 1-4 pages.
- [10] **L. PAWLOWSKI,** *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings,* John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England, 1995
- [11] **SEJI KURODA, TAKESHI FUKUSHIMA** *National Institut for Material Science Japan: Method of Forming metal Coating with HVOF Spray gun and Thermal Spray Apparatus* Publication Number: WO/2004/033747
- [12] **H. S. INGHAM, A. J. FABEL,** (1975) *Comparison of plasma flame spray gases.* Welding Journal, 101-105.
- [13] **A. FISHER,** (1972) *Variables influencing the characteristics of plasma sprayed coatings.* International Metallurgical Reviews, 17, 117-129.
- [14] **THOMAS SEEFELD, EMIL SCHUBERT, and GERD SEPOLD:** *Spray Deposition of MMC Composites by Laser Spraying Particle Co-injection* BIAS Bremen Institute of Applied Tecnology 1990.

# FACSAPOS KAPCSOLATOK KÍSÉRLETI VIZSGÁLATA

## EXPERIMENTAL STUDY OF CONNECTIONS WITH HARDWOOD STUDS

**Hudák József<sup>1</sup>, Literáti Zsolt<sup>2</sup>, Kovács Imre<sup>3</sup>, Radnay László<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup> III. évf. építőmérnök hallgató, <sup>3</sup>tanszékvezető főiskolai tanár, <sup>4</sup>adjunktus,  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék  
<sup>1</sup>jhudak1991@gmail.com, <sup>2</sup>zsoltliterati@gmail.com  
<sup>3</sup>dr.kovacs.imre@gmail.com, <sup>4</sup>radnaylaszlo@gmail.com,

**Kivonat:** Faszervezetek tervezésében szemléletváltás szükséges. Kis keresztmetszetű fűrészáruból összeállított rácsos tartószerkezetek alkalmasak nagy fesztávok áthidalására. Az így előregyártott tartószerkezeti elemek felhasználása csökkenti a helyszíni munkát, és gazdaságossá teszi a faszerkezetek alkalmazását. A rácsrudak kapcsolata keményfacsap alkalmazásával, az acél szerkezeti elemek teljes kiiktatásával is kialakítható, így a szerkezet agresszív környezetben is alkalmazhatóvá válik. Jelen kutatás témája a facsapos kapcsolat. Kísérleteinkben facsapok, és egyes facsapos kapcsolatok teherbírását vizsgáltuk.

**Kulcsszavak:** keményfacsap, rácsos tartó, faszerkezet

**Abstract:** Attitude change is needed in design of timber structures. Truss girder made of timber elements with small cross sections can be used on large spans. Constructing structures with the use of these prefabricated trusses reduces the need of in-site work, and makes the use of timber structures economic. Rods of truss can be connected with the use of hardwood stud. On this way all steel components can be eliminated from the truss, so it can be used in aggressive environment as well. Dowel type connection, with hard wood stud is the subject of the present research. Hardwood studs were investigated individually and also as the part of separated connections of the truss girder

**Keywords:** hardwood stud, truss girder, timber structure

## 1. BEVEZETÉS

Síkbeli, faanyagú rácsos tartók kialakításának alternatív módszere a keményfa-csapos szerkezetek építése. Ilyen szerkezetekben, a csomópontokban a rácsrudak kapcsolatát akácfa csapok biztosítják, így egy esztétikus, homogén szerkezetet képezve.

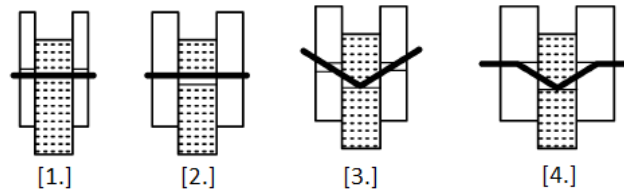
A technológia legnagyobb előnye annak gazdaságossága, hiszen:

- nincs szükség acél kötőelemekre,
- a tartó könnyen elérhető méretű fűrészáruból, „colos” deszkából és pallókból épül fel,
- gyártás során nincs szükség technológiai kötésidők betartására,
- egyszerű gépesítést igényel,
- előregyártott szerkezet, a helyszínen rövid, szerelő jellegű munkával.

A tartók főleg üzemi előregyártásban készülnek, de lehetőség van helyszíni készítésre is. A kicsúszás megelőzése érdekében a csapokat ragasztva helyezik a furatba. Később a csap, a ragasztás és a levegőből felvett nedvesség hatására megduzzad és bedagad a furatba. 1989-óta több mint 420 000 m<sup>2</sup>-nyi tető készült ilyen technológiával.

## 2. PROBLÉMAFELVETÉS

A keményfa-csapos kapcsolatok tervezését sem az MSZ-EN, sem a téma szakirodalma nem vizsgálja, nem elemzi. A kétszer nyírt, csap-típusú kapcsolatokat a szabvány fém kötőelemmel vizsgálja, a Johansen-féle képlékeny törésmélet szerint, melyben négy különböző tönkremenetelt különböztethetünk meg.



1. ábra: Johansen egyenletekben szereplő tönkremeneteli módok <sup>[1]</sup>

$$F_{V,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d \quad [1.] \\ 0,5 \cdot f_{h,2,k} \cdot t_2 \cdot d \quad [2.] \\ 1,05 \cdot \frac{f_{h,1,k} \cdot t_1 \cdot d}{2+\beta} \left[ \sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1+\beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2+\beta) \cdot M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} \cdot d \cdot t_1^2}} \right] \quad [3.] \\ 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{(1+\beta)}} \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d} \quad [4.] \end{array} \right. \quad (1)$$

ahol:

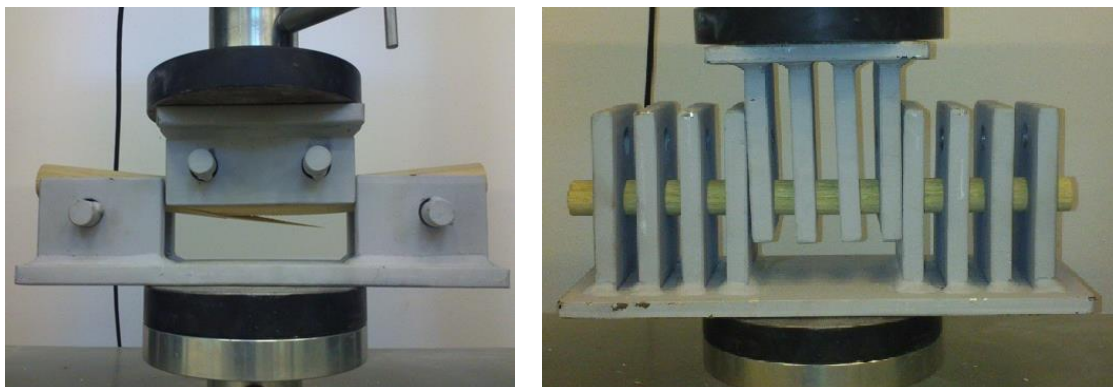
- $F_{V,Rk}$  – teherbírás karakterisztikus értéke egy nyírt síkra vonatkoztatva;
- $t_i$  – a faelem vastagsága;
- $f_{h,i,k}$  – a beágyazási szilárdság karakterisztikus értéke az  $i$  jelű elembe;
- $d$  – a kapcsolóelem átmérője;
- $M_{y,Rk}$  – a kapcsolóelem képlékeny nyomatéki teherbírásának karakterisztikus értéke;
- $\beta$  – a faelemek beágyazási szilárdságának aránya. <sup>[1]</sup>

A teherbírást a négy különböző tönkremenetelhez tartozó törőerő minimuma adja. Az első két esetben a tönkremenetel, a csap fába történő benyomódásával következik be, a második két esetben a csap hajlítási tönkremenetele következik be.

A keményfa-csapos szerkezetekben a csapok jellemző átmérője 30 mm. Ilyen nagy átmérőjű csap esetén azonban a szerkesztési szabályoknak nehéz eleget tenni. A gazdaságosan alkalmazható csaptengely-elemvég távolság 75 mm, a szabvány által előírt minimális elemvég-távolság:  $a = \max(7d, 80\text{mm})$ , tehát 210 mm. Így vizsgálni szükséges, hogy a Johansen egyenletek valamilyen átalakított formában, kiegészítő vizsgálatok mellett alkalmazhatók-e facsapos kapcsolatok méretezésére.

### 3. FACSAPOK VIZSGÁLATA

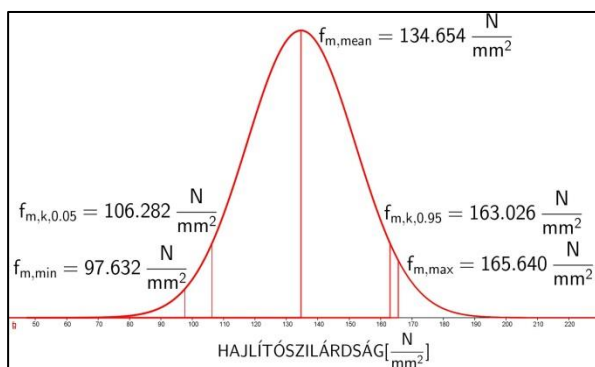
A csomópontok teherbírását alapvetően meghatározza a csapok teherbírása, így ezeket elkülönítetten is vizsgáltuk. A csapok hajlítási és nyírési teherbírását kísérleti úton határoztuk meg (2. ábra).



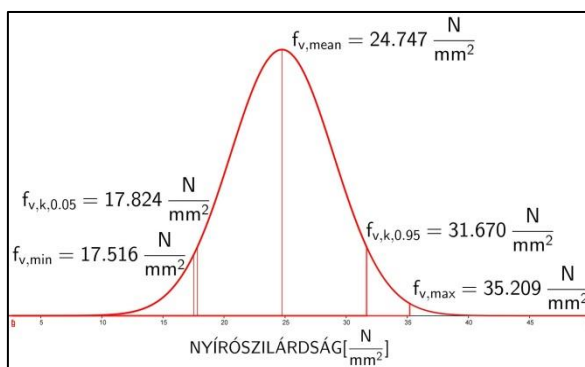
2. ábra: Csapok hajlító- és nyíróvizsgálata

A csapok hajlító kísérlete harmadpontos terheléssel történt, a csap középső részén egy tisztán hajlított szakaszt létrehozva. A vizsgálatok során megfigyeltük, hogy a mért törőteher értékek átlagosan 6 kN és 8 kN értékek körül változnak, jellemzően vagy az egyik értékhez közel, vagy a másikhoz. A két különböző szilárdságú csapok színben eltértek egymástól. A kisebb eredményeket adó sárgásabb színű csapokat kivettük a mintából. Ezt megtehetjük, hiszen a későbbiekben tervezői utasításba adható, hogy ezeket a jól elkülöníthető csapokat ne alkalmazzák.

A nyíróvizsgálat két tisztán nyírt keresztmetszetet létrehozva történt. A nyíró szilárdság meghatározására végzett kísérletek során nem voltak teljesen egységesek a tönkremeneteli módok, néhány esetben nem a terhelés síkjában nyíródott el a próbatest, hanem rostokkal párhuzamos nyírásra ment tönkre. Az eredményeket a 3. és 4. ábrák foglalják össze.



3. ábra: Csap hajlítószilárdságok jellemző értékei

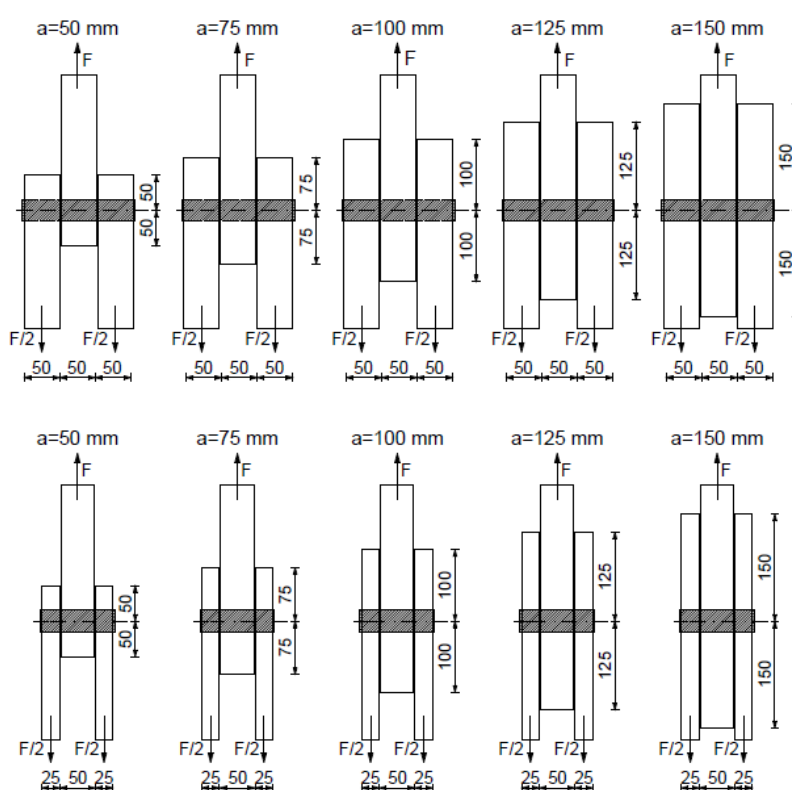


4. ábra: Csap nyírószilárdságok jellemző értékei

#### 4. FACSAPOS KAPCSOLATOK VIZSGÁLATA

Vizsgálataink során a kapcsolatok ragasztás nélkül lettek kialakítva. A terhelés elmozdulás-vezérelt módon történt, 0,5 mm/min sebességgel, így megfigyelhető volt a kapcsolat tönkremenetele utáni viselkedés is. Az erő iránya minden esetben megegyezett a rostiránnyal.

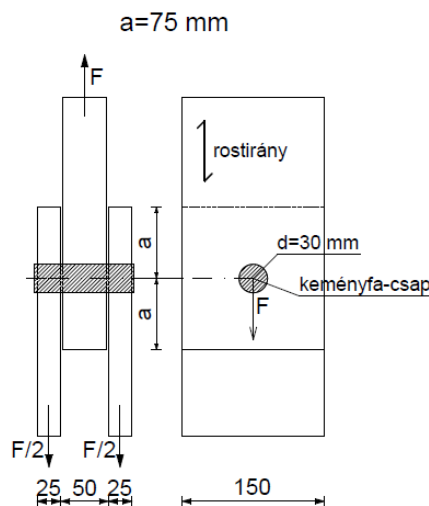
Az első kísérletsorozat célja volt, hogy képet kapjunk a kapcsolatok terhelés alatti viselkedéséről, lehetséges tönkremenetelei módjáról. Az első kísérletsorozatban 10 db. egy csapos próbatest szerepelt. Annak érdekében, hogy minél átfogóbb képet kapjunk, a próbatestek minden mérésnél különbözőek voltak. Változó volt a csap tengelyének az elemvégtől mért távolsága (5. ábra „a” méret), valamint a duplázott elemek vastagsága (2,5 vagy 5 cm).



5. ábra: Első kísérletsorozat próbatesteinek vázlata

A kísérletsorozat eredményei a fa anyagjellemzőinek jellemző szórása miatt csak tájékoztató jellegűek, mindemellett a várakozásoknak megfelelően alakultak. Növelve a csaptengely-elemvég távolságot, a tönkremenetel módja egyre inkább átment az alapanyag oldaláról a csap tönkremenetele felé, ezzel együtt a kapcsolat teherbírása is nőtt. Elmondható, hogy az „a” méret növelésével, kevésbé viselkedik ridegen a kapcsolat, a legvégső tönkremenetelt nagy képlékeny alakváltozások előzik meg. Ez a képlékenyebb viselkedés a csap alakváltozási képességének és az alapanyagba való beágyazódásnak köszönhető.

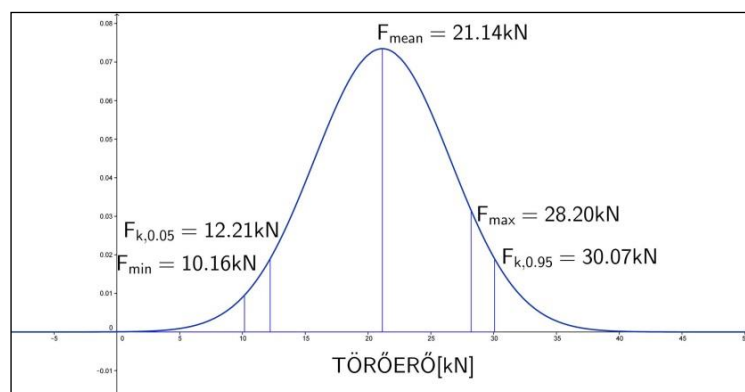
A második kísérletsorozatban 12 db egyforma, egy csapos próbatest készült. A csap tengelyének és az elem szélének a távolsága 75 mm volt. 2,5 cm vastag duplázott elemeket alkalmaztunk. Az „a” méret 75 mm, mivel a legtöbb megvalósult szerkezetben ez a méret a jellemző. A 15cm széles pallók és deszkák kapcsolataiként ez alakítható ki gazdaságosan.



6. ábra: Második és harmadik kísérletsorozat próbatesteinek vázlata

A második kísérletsorozatot elvégezve az eredmények nagy szórást mutattak, a tönkremenetek változóak voltak: 9 esetben felhasadás, 2 esetben az alapanyag elnyíródása és 1 esetben a csap teherbírásának kimerülése jelentette a tönkremenetet. Az eredmények túl nagy szórása és a tapasztalt alapanyaghibák miatt szükségesnek tartottuk a mérési sorozat a megismétlését. Ezért a harmadik kísérletsorozatban a geometriai és terhelési feltételek változatlanok voltak, azonban a vizsgált 15 db próbatest ránézésre is egyenletesebb és jobb minőségű volt. Az alapanyagban fahibákat nem észleltünk, száradási repedések nem voltak láthatóak.

Az anyagminőség feltételeinek javulásával a törőteher értékei átlagosan közel kétszeresére növekedtek. A tönkremeneteli módok megoszlása is változott, 9 esetben elnyíródás, 4 esetben felhasadás jelentette a kapcsolat teherbírásának kimerülését. Az eredményeket a 7. ábra szemlélteti.



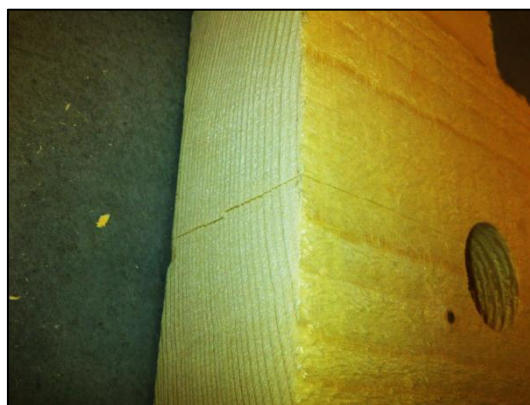
7. ábra: Harmadik kísérletsorozat jellemző értékei

Az 8. illetve a 9. ábra a két jellemző tönkremenetet szemlélteti. Az 8. ábrán feltüntetett próbatest teherbírásának végértékét a rostokkal párhuzamos síkokat jellemző nyírószilárdság kimerülése jelentette. A 9. ábra a felhasadás jelenségét szemlélteti: feltételezésünk szerint a terhelés irányára merőlegesen fellépő húzófeszültségek elérik az anyag jellemzően alacsony, rostra merőleges húzószilárdságát, ezért bekövetkezik a felhasadás.





8. ábra: Elnyíródás két síkon  $F=28,20$  kN terhelésnél



9. ábra: Felhasadás  $F=18,51$  kN terhelésnél

Az ábrákból kivehető, hogy a faanyag viselkedését nem csupán a rostirány, hanem az évgyűrűk iránya is befolyásolja, és általában meghatározza a tönkremenetelt. Esetünkben ez azt jelenti, hogy az évgyűrűk iránya minél inkább közelít az elem szélességével párhuzamos irányhoz, annál nagyobb a felhasadás valószínűsége.

## 5. MEGÁLLAPÍTÁSOK, CÉLKITŰZÉSEK

Az eddig elvégzett kísérletek alapján azt a következtetést vontuk le, hogy, ha a csap felett viszonylag nagy a takarás, módosításokkal alkalmazhatóak a szabványban megjelenő méretezési eljárások. A gyakorlatban alkalmazott kialakítások vizsgálatánál azonban egyéb tönkremeneteli módok (felhasadás, kiszakadás) vizsgálata is szükséges. Célunk modellt alkotni az említett tönkremenetelre.

További tervezett laborvizsgálataink:

- Nagyobb elemszél-csaptengely távolságok vizsgálata.
- Rostokkal szöget bezáró kapcsolatok vizsgálata.
- Rácsostartó próbaterhelése.

## 6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A kísérletekhez szükséges próbatestekért és terhelőelemekért köszönetet mondunk az "ÉP-FARM" Építőipari, Mezőgazdasági, Kulturális és Szolgáltató Betéti Társaság, kiemelve Szabó Zoltán ügyvezető igazgató és Bacskai Attila mérnök urakat.

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem, Építőmérnöki Tanszékének Anyag-, és szerkezetvizsgáló laboratóriumában végeztük.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MSZ – EN - 1995-1-1:2010 - Eurocode 5: Faszerkezetek tervezése
- [2] JOHANSEN, K. W., *Theory of timber connections. International Association of Bridge and Structural Engineering, Publication, Copenhagen, 1949.*
- [3] [www.epfarmbt.hu](http://www.epfarmbt.hu)
- [4] [www.facsapostetok.hu](http://www.facsapostetok.hu)
- [5] WITTMANN GY., *Mérnöki faszerkezetek I.*, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 2000.

## GYALOGOSOK ÉS KERÉKPÁROSOK KÖZÖTTI KONFLIKTUSOK OKAI BUDAPESTEN

### THE REASONS OF CONFLICTS BETWEEN PEDESTRIANS AND CYCLISTS IN BUDAPEST

**Kovácsné Igazvölgyi Zsuzsanna**

Tanárségéd

BME Út és Vasútépítési Tanszék  
igazvolgyi@uvt.bme.hu

**Kisgyörgy Lajos**

Egyetemi docens

BME Út és Vasútépítési Tanszék  
kisgyorgy@uvt.bme.hu

**Kivonat:** A gyalogosok és kerékpárosok része a települési forgalomnak. Védtelen közlekedők révén kiszámíthatatlanul reagálnak egymásra ill. a többi közlekedési résztvevőre. Zsúfoltság esetén a sebességük indokolatlanul lecsökken. Szabad áramlási sebességük jelentősen eltér a járművektől, és a gyalogosok sebessége negyed akkora, mint a kerékpárosoké. A gyalogosok és kerékpárosok párhuzamos és keresztező irányú mozgása során is kerülhetnek konfliktusba. Korábbi elemzéseken készült javaslatok megvalósulását vizsgáljuk felül egy-egy budapesti helyszínen, és összegezzük a konfliktusok elkerülésének lehetőségeit röviden a cikk második felében.

**Kulcsszavak:** gyalogos, kerékpáros, létesítmény, konfliktus, Budapest

**Abstract:** The pedestrian and bicycle flow is a special part of the city. They are vulnerable road users; they give reactions differently for each other's in each situation. Their speed decreases if their density increases. Their free flow speeds are lower than the vehicles. The pedestrians and cyclist have conflicts in parallel and in cross movements as well. Based on a previous analysis some places renewed. These places are analysed and described by the authors in Budapest. In the last part of the article we give a short recommendation to reduce the number of conflicts, if we learn their need and behaviour.

**Keywords:** pedestrian, cyclist, facility, conflict, Budapest

## 1. BEVEZETÉS

A gyalogosok és kerékpárosok a települési forgalom speciális része. Sérülékeny közlekedők révén a tervezés során különleges figyelmet igényelnek. A kerékpár járműnek számít. A gyalogos és kerékpáros közös felületeken kialakuló konfliktusok okai a sebességeltéréséből is adódhatnak. Joggal érezhetik a gyalogosok, hogy a járműnek az úttesten a helye. A három résztvevő sebessége jelentősen eltér (1. ábra).



1. ábra: Sebesség különbségek (gyalogos, kerékpáros és gépjárművek)

Ráadásul a legtöbb esetben a gyalogosok nem egy sávban haladnak, hanem áttérnek a kerékpárosok részére fenntartott felületekre. A cikkben ismertetjük a konfliktus fogalmát, és a lehetséges okait, mert nemcsak a tervezés során kényszerítjük a résztvevőket közös felületre,

hanem előfordul, hogy a kerékpárosok vagy gyalogosok választják önként a másik útvonalat. Az útvonal hosszára és a légvonaltól történő eltérésre érzékenyek.

A cikk további részében ismertetjük az Útügyi Műszaki Előírás (továbbiakban ÚME) javaslatát a közös létesítmények kialakítására, ill. egy korábbi vizsgálat beavatkozási ajánlásainak megvalósulását és értékelését. A cikk harmadik részében további budapesti példákon keresztül tárjuk fel a különböző konfliktusokat. A kerékpáros modal split folyamatosan növekszik a fővárosban. Míg korábban 2 % körül volt, 2014-ben már elérte az 5 %-ot. A fővárosi kerékpáros beruházásokkal 2030-ra 10 %-os célt szeretne a városvezetés elérni, csökkentve a járműforgalmat. Jelenleg a gyalogos modal split 28% körül van.

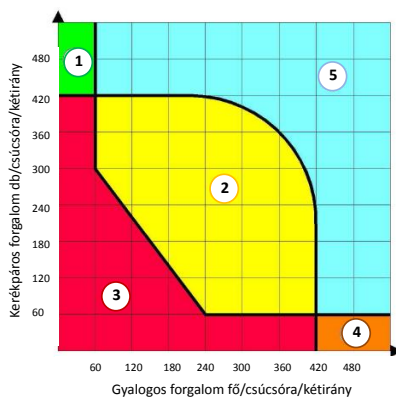
## 2. ALAPFOGALMAK

### Létesítménytípusok kiválasztása

A KRESZ [1] három gyalogos és kerékpáros vezetést enged meg párhuzamos közlekedés esetén. *Gyalog- és kerékpárút (elválasztott és nem elválasztott) és Gyalogos és kerékpáros övezet.* A tábla értelmezése a legtöbb esetben nem gond a résztvevők részéről. Egy korábbi vizsgálatban [2] kikérdezték 5 helyszínen a résztvevőket. A tábla értelmezését a legtöbb válaszadó sikeresen teljesítette, viszont a jelzést megmagyarázni már csak 40%-a tudta (Hungária körút, Árpád-híd). A KRESZ szabályaiból vizsgát a gyalogosoknak és a kerékpárosoknak nem kell tenni, de a rájuk vonatkozó szabályokat nekik is ismerniük kell. Már egyre több iskolában tanítják a gyerekeket a közlekedés szabályaira, és a kampányoknak is pozitív hatásai vannak, ill. az ország több pontján felállított KRESZ park fesztivál-szerűen is a szabályok megismerését és játszva tanulását segítik elő.

Az ÚME [3] 5 tartományt különböztet meg (2. ábra) a kialakítás kapcsán osztrák mintára a gyalogos és kerékpáros kétirányú forgalom függvényében.

- „- 1. tartomány: önálló vonalvezetésű egyirányú vagy kétirányú kerékpárút tartománya.
- 2. tartomány: elválasztott gyalog- és kerékpárút tartománya. Az elválasztott kerékpárút esetében a fizikai elválasztásra kell törekedni. A fizikai elválasztás kiemelt vagy optikailag elválasztott gyalog- és kerékpárút alakítható ki.
- 3. tartomány: elválasztás nélküli gyalog- és kerékpárút tartománya.
- 4. tartomány: gyalogút tartománya. Ebben a tartományban a forgalmi adatok alapján, költségtagarékossági okokból kizárólag önálló gyalogút létesítése megengedett.
- 5. tartomány: elválasztott kialakítású kerékpárút és külön gyalogjárda, vagy gyalogút tartománya. Ebben a tartományban a forgalmi adatok alapján önálló kerékpárút és önálló gyalogút létesítése egyidejűleg szükséges.”



2. ábra: ÚME ÚT 2-1.203:2010 – A kerékpáros és gyalogos forgalom szétválasztása [3]

### A konfliktus fogalma és konfliktus ráták

A konfliktus fogalmát 1976-ban az I. Nemzetközi Forgalmi Konfliktustechnikai Konferencián fogalmazták meg, amely a következőképpen hangzik: „A forgalmi konfliktus egy olyan megfigyelhető helyzet, amelyben két vagy több közlekedő térben és időben olyan mértékben megközelíti egymást, hogy az ütközés veszélye áll fenn, ha mozgásuk változatlan marad”.

**A közlekedési folyamat 5 fokozatra osztható:** 1. problémamentes közlekedés → 2. hiba → 3. könnyű konfliktus (legalább az egyik félnek fékeznie kell) → 4. súlyos konfliktus, majdnem baleset (hirtelen manőver, és akár harmadik fél is veszélybe kerülhet) → 5. baleset. A súlyossági skála ettől eltérő is lehet, de a konfliktus definíciója mindegyik szakirodalomban megegyezik. Az ezzel foglalkozó kézikönyv [4] egy összetett kódrendszerrel írja le az egyes eseményeket. A forgalom-megfigyelés során erre nem minden esetben van lehetőség, de a legfontosabb jellemzőket közepes forgalom esetén is fel lehet jegyezni (kerékpáros kitér, fékez, gyorsít, megáll; ill. gyalogos kitér, elugrik, megáll). A konfliktus kódja három-négy karakterből áll, amelyből pontosan visszavezethető a konfliktus helyzete, résztvevője és súlyossága. A vizsgálattal számítható a konfliktus kockázat (a kritikus kockázatok és a közlekedők száma 100 közlekedőre vetítve), konfliktus hányad (kritikus szituációk számának és a kerékpárosok számának hányadosa 100 kerékpárosra vetítve), a konfliktus ráta (a kritikus szituációk számának és az interakcióknak az aránya) és a szabálybetartási szint (a kerékpáros szabálytalanságok számának és a kerékpárosok számának hányadosa 100 kerékpárosra vetítve).

## 2. KORÁBBI VIZSGÁLAT RÖVID ISMERTETÉSE

A Tandem Kft. 2001-ben két létesítményt típust elemeztek gyalogos és kerékpárút (egymással párhuzamos, vagy ellentétes mozgás) 5-5 db budapesti helyszínen, és interjúk is készültek 10 helyszínen a forgalomszámlálás mellett. A 38116 közlekedőnél 238 konfliktust figyeltek meg. Megállapították, hogy a gyalogos legfontosabb jellemzője, hogy figyelmetlen és kiszámíthatatlan, míg a kerékpáros hangtalan és gyors (keresztező mozgás esetben nem tudják megállapítani, hogy kinek van elsőbbsége). Javaslatok több helyszínen optikai vagy fizikai elválasztást, akár eltérő színnel és szintben [3]. Az interjúk során megkérdezték az alanyokat, hogy milyen okból kényszerülnek elhagyni a közlekedési felületüket. A leggyakoribb válasz az volt, hogy a szabálytalanul parkoló gépjárművek, ill. úthibák miatt. A Budapesti fény utcai piacnál a Retek és a Fény utca csomópontjában korábban a kerékpáros létesítményen várakoztak a gyalogosok (3. ábra).



3. ábra: reték és Fény utca csomópont [2]

Jelenleg a csomópontban új forgalomtechnikai elemekkel elérték, hogy egy középszigeten várakozzanak a gyalogosok, és a kerékpár utat is eltérő színnel festették fel, ezzel is felhívva a figyelmet. A konfliktusok száma csökkent, bár az elsőbbségi viszonyok a védtelen közlekedők között továbbra sem minden esetben egyértelmű (4. ábra).



4. ábra: Retek és Fény utcai csomópont jelenlegi kialakítása [5]

A Batthyány tér környéke volt a második vizsgált helyszín. A frekvenciált korzó közepén jelöltek is kerékpáros létesítményt, így létrehozva közös gyalogos és kerékpárutat (5. ábra). Azóta a korzó átalakult és további változások is történni fognak. A kerékpáros forgalom növekedése volt a kiváltó ok. A helyszínen a turista forgalom jelentős. A rakpart mellvédje mellé a gyalogosforgalom került.



5. ábra: Batthyány tér – kerékpáros forgalom a felület közepén [2]

A fonódó villamos hálózat kiépítése után a Bem rakpart és a folytatása is átalakul. A kerékpáros forgalom a villamos vágány mellé kerül, és zöld sávval lesznek elválasztva a gyalogosoktól. Fontos kihangsúlyozni, hogy ez a szakasz az EURO VELO 6 sz. útvonal része.



6. ábra: Bem rakpart (látványterv) [6]

A Margit-hídon is állandó konfliktus okoz a híd egyik oldalán elhelyezett kétirányú kerékpárút. Ezt a létesítményt viszont a terjedelemre való tekintettel nem vizsgáljuk részletesen jelen cikkben. A Hungária körúton a Stadionok metró megállónál a jelentős gyalogosforgalom és a szűk keresztmetszet okozza a legnagyobb problémát. A gyalogosok rákényszerülnek, hogy a kerékpárosoknak fenntartott területet használják.



7. ábra: Stadionok (XIV. ker) szűk keresztmetszet [2]

Jelenleg táblákkal és további felfestésekkel (kis korrekcióval) hívják fel a gyalogosok figyelmét, hogy hol közlekedjenek, de a legsűrűltabb részeken és szűkebb

keresztmetszetekben továbbra is a kerékpárosok felületét használják. A nagy gyalogos forgalom a busztermináltól és buszmegállóból érkezik.

### 3. TOVÁBBI KONFLIKTUSPONTOK A FŐVÁROSBAN ÉS A KONFLIKTUSOK ELKERÜLÉSE

A továbbiakban egy keresztező és egy párhuzamos közlekedés során fellépő konfliktus mutatunk be. A már említett EURO VELO 6. sz. kerékpárút a Műgyetem rakparton a Bertalan Lajos utcánál véget ér, és a rakpart nyugati oldalán folytatódik. A kerékpáros átvezetés nem megoldott. A kerékpárosok „zebráznak”, nem szállnak le járműről, hanem áttekernek sok esetben átlósan a csomóponton, tovább keresztezve a szabad jelzés alatt áthaladó gyalogosok útját.

Olyan esetre is találunk példát az említett helyszín közelében, hogy a kerékpárosok önként vállalják a konfliktust és „járdáznak”. A helyszín a XI. kerületi Bartók Béla út a Szent Gellért tér környezetében. A 2x2 sávós Bartók Béla út mentén buszmegálló van, és párhuzamos parkolásra alkalmas parkolóhelyek vannak kijelölve. A buszok követési ideje sűrű, a parkoló járművek mellett szabálytalanul zajlik sok esetben a boltok árurakodása. A kerékpárosok már a Csiky utcától a járdán haladnak. Ezáltal egy jelzőlámpát is ki tudnak hagyni, ráadásul a gyalogos szabad jelzés során térnek vissza az útpályára (8. ábra).



8. ábra: XI. kerület Bartók Béla út

A szűk közös gyalogos és kerékpáros felületek problémát jelentenek a Hamzsabégi út melletti parkban is, ahol nemcsak hivatásforgalom van, hanem rekreáció céljából gyermekükkel sétálók, és a gyors kerékpárosok miatt idegeskedő kutyasétáltatók. A parkon keresztül vezetett közös létesítmény mellett az utcabútorok elhelyezése sem ideális. Ez a közös felület egyik résztvevőnek sem jó. Cikkünk utolsó részében a nemzetközi tapasztalatok alapján mutatunk be elemeket, ill. kiemeljük azon tulajdonságokat, amelyeket szem előtt kell tartani a tervezés során.

#### **Hogyan kerülhetőek el a konfliktusok?**

A konfliktusok elkerülhetők, ha időben felismerjük a különböző forrásokat. Több nemzetközi tanulmány is foglalkozott ezzel [7] [8]. A példák és megfigyeléseink alapján elmondható, hogy ha az alábbi szempontokat figyelembe veszik a tervezés során a konfliktusok száma csökken:

- A használók képviselik a főszerepet. A forgalom mértékét a tervezés fázisában nem lehet tudni, illetve csak bizonytalansággal. A forgalom összetételéről nem is beszélve (gyermek, felnőtt, hátrányos helyzetűek stb.). A különböző csoportok eltérő viselkedési tulajdonsággal bírnak.
- A létesítmény szélességi méretét befolyásolhatja a forgalom iránya is. A gyalogos forgalmat mindenképpen csatornázni kell. A közös gyalogos és kerékpárút szolgáltatási

szintjét a HCM2010 6 kategóriába sorolja annak megfelelően, hogy hány előzés történik egy órában, ugyanis előzésnél a kétirányú kerékpáros forgalom és a gyalogos egyszerre kerül konfliktusba [9].

- Szabadidős, rekreációs céllal kiépített létesítménynél számítani kell nagyobb csoportokra, amelyek sok esetben 2-3 fős oszlopokban is haladhatnak főleg, ha családról van szó.
- A becsatlakozási pontok jól belátható helyen kell elhelyezni. Az elsőbbségi viszonyokat egyértelműen kell mindkét féllel közölni, nemcsak közúti táblákkal, hanem felfestéssel vagy eltérő színű burkolattal is. A fonódási szakaszok kerülendőek. A feltevés, hogy a kerékpáros létesítmény vége táblánál a kerékpáros leszáll a járműről, és tolni fogja, nem valószínű, ha a létesítmény folytatásának geometriája egyértelműen erre nem kényszeríti.
- A kialakításnál figyelembe kell venni a főbb gyalogos trajektóriákat. A két részvevő közötti sebességkülönbség egy nagyságrend is lehet. Kitérésre a gyalogos előbb kényszeríthető, ha időben felismeri a szituációt.
- Hálózatban kell gondolkodni, a tervezés során a gyalogos trajektóriákat figyelembe kell venni. Érzékenyek a többletútra [10].
- A helyi forgalom és a parkoló autók hatással vannak a létesítményről történő letérésre.
- A kapacitást, járhatóságot az utcabútorok jelentős mértékben tudják befolyásolni.
- A kerékpárosnak többször fel kell hívni a figyelmét a veszélyre, és ha van alternatív útvonal, akkor erről az információt át kell adni.

#### 4. ÖSSZEGZÉS

A konfliktusvizsgálatokat már megvalósult létesítményeken végezhetünk. Érdemes lenne a már felismert gyakran előforduló konfliktusforrásokat a tervezés során kiiktatni. A tervezést jelentős mértékben megnehezíti, hogy a pontos becsült forgalmak nem állnak rendelkezésre, sem a gyalogosok sem a kerékpárosok esetében. Az Örs vezér terén a gyalogos kerékpáros „zóna” kijelölésnél felhívják a kerékpárosok figyelmét arra, hogy ez egy „közös felület”, és figyeljenek oda a többi közlekedőre. A cikk célja a figyelemfelhívás volt. A kutatásunk további részében egy olyan módszertan kitűzését tűztük ki célul, amellyel a gyalogos és kerékpáros útvonalválasztást jobban figyelembe veszik, és az optimálishoz közeli trajektóriákba tereli a kerékpárosokat és a gyalogosokat.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] 1/1975. (II. 5.) KPM-BM együttes rendelet a közúti közlekedés szabályairól
- [2] „Konfliktusok vizsgálata gyalogosok és kerékpárosok között kerékpárforgalmi létesítményeken”, Tandem Kft. 2001. „ÁKMI Kht. üzleti kutatási pályázat 2001.” 301/2001.
- [3] Ütügyi Műszaki Előírás ÚT 2-1.203:2010 Kerékpárforgalmi létesítmények tervezése, MAÚT 2010
- [4] Kézikönyv a forgalmi konfliktustechnika alkalmazásához, KTI
- [5] Google streetview
- [6] Budapesti Közlekedési Központ Zrt. <http://www.bkk.hu/fejleszteseink/budaifonodo/>
- [7] Ker, Ian, et al. Pedestrian-cyclist conflict minimisation on shared paths and footpaths. No. AP-R287/06. 2006.
- [8] TRANSPORT, Queensland. Reducing conflict between bicycle riders and pedestrians. Cycle Note, 2004.
- [9] Highway Capacity Manual, 2010 USA, Washington, TRB
- [10] KNOFLACHER, H. Fußgeher-und Fahrradverkehr: Planungsprinzipien. Böhlau Verlag Wien, 1995.

## WSG KIEGÉSZÍTŐ ANYAG ALKALMAZÁSÁNAK HATÁSAI A BETON MECHANIKAI JELLEMZŐIRE

### EFFECT OF WSG ADMIXTURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

**Jakab Erika<sup>1</sup>, Kuti Csilla<sup>2</sup>, Pintye Zsombor<sup>3</sup>, Kovács Imre<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> IV. évf. építőmérnök hallgatók

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar

[jakaberika8@gmail.com](mailto:jakaberika8@gmail.com)<sup>1</sup>, [csilla.kuti@yahoo.com](mailto:csilla.kuti@yahoo.com)<sup>2</sup>, [pintyez@gmail.com](mailto:pintyez@gmail.com)<sup>3</sup>

<sup>4</sup> tanszékvezető, főiskolai tanár

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék

[dr.kovacs.imre@gmail.com](mailto:dr.kovacs.imre@gmail.com)

**Kivonat:** A WSG kiegészítő anyag használatával a víziközmű szerkezetek és egyéb építőipari szerkezet tartóssága növelhető. A termék alkalmazásával vízzáró, szigetelő, agresszív anyagálló habarcs és beton állítható elő. A World Strong Guard termék segítségével a kőolaj és származékainak kármentesítése is megoldható mivel a víz felületéről és a szilárd anyagok felületéről összegyűjthető az olaj és környezetet nem károsítva kezelhető. A jelenlegi alkalmazási területeken túlmenően további lehetőségek feltárása érdekében kutatási programot indítottunk a Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék anyag és szerkezetvizsgáló laboratóriumában.

**Kulcsszavak:** hidrofób tulajdonság, vízzáró beton, könnyűbeton, frissbeton, megszilárdult beton.

**Abstract:** A WSG adalékszer használatával a víziközmű szerkezetek és egyéb építőipari szerkezet tartóssága növelhető. A termék alkalmazásával vízzáró, szigetelő, agresszív anyagálló habarcs és beton állítható elő. A World Strong Guard termék segítségével a kőolaj és származékainak kármentesítése is megoldható mivel a víz felületéről és a szilárd anyagok felületéről összegyűjthető az olaj és környezetet nem károsítva kezelhető. A jelenlegi alkalmazási területeken túlmenően további lehetőségek feltárása érdekében kutatási programot indítottunk a Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék anyag és szerkezetvizsgáló laboratóriumában.

## 1. BEVEZETÉS

A WSG Kft. hazai fejlesztésű beton kiegészítő anyagokat gyárt és forgalmaz, melyekkel különböző környezeti hatásoknak kitett kül- és beltéri szerkezetek tartóssága biztosítható, illetve növelhető. Felhasználásával csapadékvíznek, talajvíznek, árvíznek, belvíznek kitett mérnöki szerkezetek, továbbá víziközmű szerkezetek, termásvíz medencék (strandfürdők), ivóvíz tározók, csővezetékek, meglévő és megerősítésre, felújításra szoruló hídpillérek és hídfők, kikötők, off-shore szerkezetek stb. használati élettartama növelhető. A WSG termékek természetes alapanyagok – 90%-a kalcium-oxid – felhasználásával készült környezetbarát anyagok. Összetételének és gyártástechnológiájának köszönhetően időálló – tartós –, továbbá hidrofób jellemzőkkel rendelkező anyag, amelynek térfogatsúlya 400–450 kg/m<sup>3</sup>. Ezen tulajdonságainak köszönhetően eddigi felhasználási területe elsősorban a szigetelő ill., vízzáró bevonatokban való felhasználásra terjedt ki, azok kiegészítő anyagaként. Épületszerkezetekben – pl. föld- és vályogfalak, továbbá hagyományos égetett agyag és pórusbeton szerkezetekben – hidrofób jellemzői jelentősen csökkentik a kapilláris vízmozgást. Fizikai és kémiai jellemzőire való tekintettel kiváló kiegészítő anyaga agresszív környezeti hatásoknak kitett habarcsoknak és betonoknak, de hatékonyan alkalmazható kőolaj és származékainak kármentesítése során, különböző környezetvédelmi jellegű technológiák anyagaként.





szennyvíz tisztító telep



víztorony



termálkút



károsodott hídpillér



árvíz károsult szerkezet



föld- és vályogfalak hidrofobizálása



kőolaj kármentesítése



környezetvédelmi technológiák

1. ábra: WSG termékek sokoldalú felhasználása különböző területeken

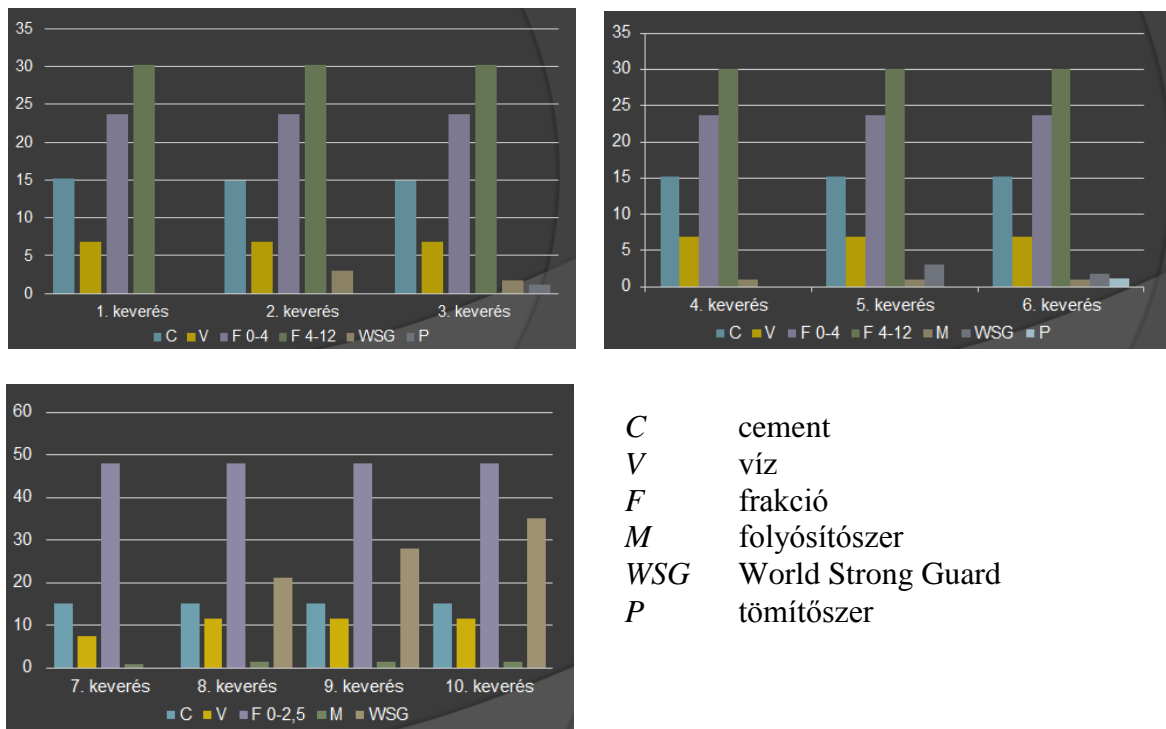
## 2. KÍSÉRLETI PROGRAM

A WSG anyag felhasználási területeinek bővítési lehetőségeit célzó kísérleti programunk célkitűzései elsősorban az ismertett alkalmazási területeken túlmenő további lehetőségek feltárása, elsősorban az anyag hidrofób tulajdonságainak kihasználása érdekében. Ennek megfelelően kutatásaink az anyag

- hidrofób jellemzőire való tekintettel *vízzáró beton*ban történő felhasználását, valamint
- a habosító tulajdonsága miatt *könnyűbeton előállítását* célozták meg.

### 2.1. Betonösszetétel

Kísérleteink során 6 keverést végeztünk a vízzáró beton, és további 4 keverést a könnyű beton vizsgálataihoz. Mindegyik esetében elkészítettünk egy etalon betonösszetételt majd a továbbiakban folyósító szert, tömítő anyagot és WSG-t adagoltunk különböző arányokban. A betonösszetételt a World Strong Guard által kifejlesztett adalékváz keretei között mozogva határoztuk meg. Az alkalmazott cement típusa CEM I 52,5, az adalékváz összetételéhez 0-4 és 4-12 (vízzáró beton esetében), valamint 0-2,5 (könnyűbetonhoz) frakciókat használtunk. Az egyes keverések összetételeit a 2. ábra foglalja össze.



2. ábra: Betonösszetétel

## 2.2. A friss- és a megszilárdult betonra vonatkozó vizsgálataink

Az egyes keveréseket követően különböző vizsgálatokat végeztünk a frissbeton és a megszilárdult beton jellemzőinek meghatározása céljából. A vizsgálatokat az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány alapján készítettük el, és az alábbi csoportosításban végeztük el:

Frissbeton vizsgálatok:

- = Konzisztencia
- = Térfogatsúly

Megszilárdult beton vizsgálatok:

- = Nyomószilárdság
- = Hasítószilárdság
- = Vízáróság
- = Térfogatsúly
- = Fagyállóság



terülmérés



nyomószilárdság vizsgálat



terülmérés



hasítószilárdság vizsgálat



térfogatsúly mérés



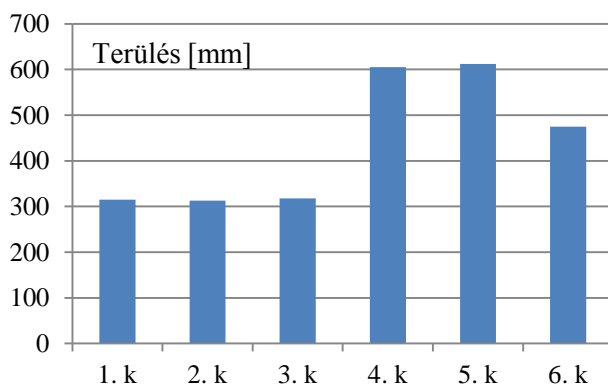
vízárósági vizsgálat

3. ábra: A frissbeton és a megszilárdult betonokra vonatkozó kísérleti vizsgálataink

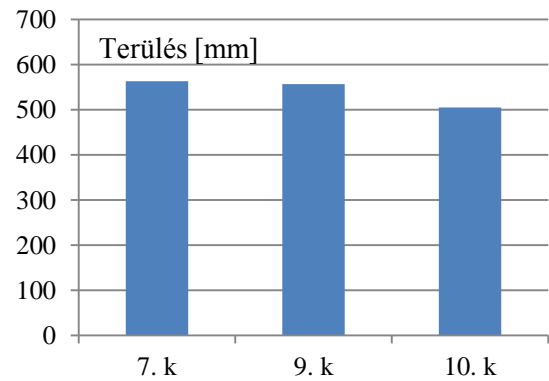
## 5. EREDMÉNYEK

A frissbeton jellemzőinek vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy az 1.-3. jelű keverékek konzisztencia értékei között számottevő eltérés nem mutatkozott. Ezekben az esetekben a betonok konzisztencia osztályai a régi ismertebb elnevezéssel a "földnedves" kategóriába estek, ami az új területi osztályok alapján az F1-as osztálynak (< 340 mm) felel meg, a kapott 315 mm, 295 mm, 317,5 mm értékek alapján. A 4.-6. jelű keverékek eredményei "képlékeny", ill. "folyós" területi osztályokat mutattak, melyek az F3-as és F5-ös területi osztályokba (420 mm - 480 mm, 560 mm - 620 mm) estek 477,5 mm, 612 mm, 475 mm értékekkel (4./a ábra). A könnyűbetonnak tervezett 7. és 9. jelű keverékek "folyós" konzisztenciákat eredményeztek melyek F5-ös területi osztályba (560 mm – 620 mm) estek 562,5 mm 557,5 mm értékekkel (4./b ábra).

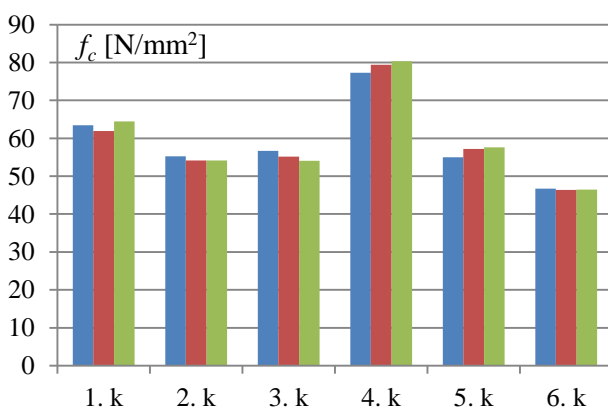
A térfogatsúly-osztályok jellemzése érdekében a frissbeton és a megszilárdult beton esetében is végeztünk térfogatsúly meghatározást. A vízzáró betonnak tervezett keverékek esetén a térfogatsúly a WSG adagolás mennyiségével arányosan kismértékben csökken, míg a könnyűbeton kategóriát megcélzó keverékek esetén a térfogatsúly csökkenés jelentősebb mértékű volt. A megszilárdult beton próbatesteken végrehajtott nyomószilárdság vizsgálatok eredményei megmutatták (4./c ábra, 4./d ábra), hogy a térfogatsúly változásával arányosan csökken a nyomószilárdság értéke is.



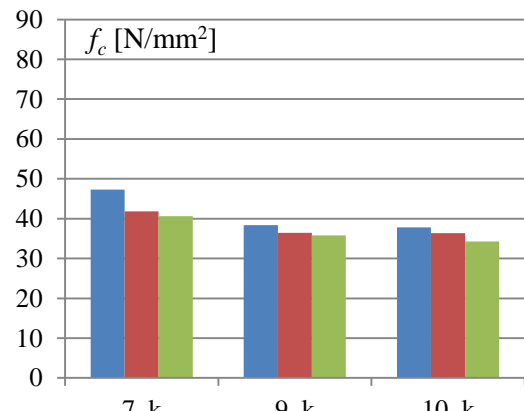
a) "vízzáró beton" keverékek területése [mm]



b) "könnyűbeton" keverékek területése [mm]



c) "vízzáró beton" keverékek nyomószilárdságai [N/mm<sup>2</sup>]



d) "könnyűbeton" keverékek nyomószilárdságai [N/mm<sup>2</sup>]

4. ábra: A frissbeton és a megszilárdult betonokra vonatkozó kísérleti eredményeink

A próbakockák hasítását elsősorban a vízbehatolás megfigyeléséhez végeztük el vízzáró betonok esetében. Az eredmények – a nyomószilárdság értékek változásának megfelelően – a hasító-húzószilárdság csökkenését mutatták a WSG adagolás növelése mellett.

## 6. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A WSG anyag felhasználásával készült vízzáró beton és könnyűbeton keverékek fizikai és mechanikai tulajdonságait célzó kísérleteink alapján, kutatásaink jelenlegi stádiumában az alábbi megállapításokat tehetjük:

- a vízzáró betonként tervezett frissbeton keverékek térfogatsúlya WSG adagolás esetén csökken (7,0 % - 8,0 %).
- a könnyűbetonnak tervezett frissbeton keverékek térfogatsúlya WSG adagolás esetén csökken (30 % - 40 %)
- a megszilárdult beton nyomószilárdsága WSG adagolás esetén csökken (15 % - 40 %)
- a megszilárdult beton hasító-húzó szilárdsága WSG adagolás esetén csökken (~20 %)
- a vizsgált szilárdsági osztályú betonok vízzárósági jellemzői WSG adagolás esetén nem változnak
- nagymennyiségű (3 m<sup>0</sup>% - 4 m<sup>0</sup>%) WSG adagolással készülő keverékek igen alacsony térfogatsúlyhoz vezettek (1,250 g/cm<sup>3</sup>-1,656 g/cm<sup>3</sup>), megfelelő szilárdsági tulajdonságok mellett (14,58 N/mm<sup>2</sup>-4,18 N/mm<sup>2</sup>)

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MSZ 4798-1:2004- Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség
- [2] <http://worldstrongguard.hu>
- [3] <http://epito.eng.unideb.hu>

## OLDOTT ÉS NEM OLDOTT ANYAGOK VIZSGÁLATA HÁZTARTÁSI SZÜRKEVIZEKBEN

### ANALYSIS OF DISSOLVED AND SUSPENDED SOLIDS IN DOMESTIC GREYWATERS

**Kasza Klaudia<sup>1</sup>, Izbékiné Szabolcsik Andrea<sup>2</sup>, Bodnár Ildikó<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>III. éves környezetmérnöki BSc szakos hallgató; <sup>2</sup>PhD hallgató, <sup>3</sup>tanszékvezető főiskolai tanár;

<sup>1-3</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék

4028 Debrecen Ótemető u 2-4

[klaudiakasza18@gmail.hu](mailto:klaudiakasza18@gmail.hu), [szabolcsikandi@eng.unideb.hu](mailto:szabolcsikandi@eng.unideb.hu), [bodnari@eng.unideb.hu](mailto:bodnari@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** Napjainkban a megfelelő minőségű és mennyiségű ivóvíz rendelkezésre állása egyre nagyobb problémát jelent. Ennek okai a népességszám gyors növekedése, az ipar térhódítása, a vele járó túlzott ivóvíz felhasználás és szükségesnél nagyobb mértékű szennyezés, valamint a klímaváltozással járó globális problémák. Vízellátási szempontból megoldást jelenthet a háztartásokban keletkező szürkevizek olyan mértékű tisztítása, hogy azok biztonságosan újrahasználatosak legyenek bizonyos célokra. Ezáltal csökkenthetnénk a túlzott ivóvíz felhasználást és kielégítenénk a háztartások igényeit oly módon, hogy nem veszünk igénybe több erőforrást a kellenél. A kezelés és az újrahasználat kontrolálására szükséges a keletkező szürkevizek oldott és nem oldott komponenseinek mennyiségi meghatározása precíz és viszonylag gyors módszer alkalmazásával. A fenti alkotókat célszerű szürkevíz típusonként meghatározni, hogy a szennyezőanyagok mennyiségéről, illetve a szükséges kezelési módszer megválasztásáról komplex képet kapjunk.

**Kulcsszavak:** oldott és nem oldott anyagok, módszerfejlesztés, szürkevíz, újrahasználat

**Abstract:** In our days the adequate quantity and quality of drinkable water is becoming an even bigger problem than in the past. The reasons are: growth of the population, the fast development of industry, and the growth which came within the consumption and pollution of water, and also the climate change. One solution could be, if the household could purify the greywater they produce, thus making them reusable for certain purposes. With this we could decrease the overconsumption of drinkable water and also we could satisfy the household's needs. For the handling and re-usage of this greywater we would need to be able to determine the quantity of its dissolved and insoluble components. It should be a fast and precise method to follow the components in an analytical way. These components should be separated by types of greywater, so we can get the full picture about quantity of the pollutants and the method to treat them in a suitable way.

**Keywords:** dissolved and suspended solids, method development, greywater, reuse

## 1. BEVEZETÉS

A víz életünk több területén kulcsfontosságú szerepet tölt be. Társadalmi, környezeti és gazdasági szerepe is nélkülözhetetlen, elemi tényező, feltétel és erőforrás is egyben. Az ember számára az életműködése szempontjából elengedhetetlen, de az iparban és gazdaságban betöltött szerepe is egyre jelentőségtejtjesebb. Ahogy a víz egyre központibb szerepet tölt be, úgy egyre inkább veszélyeztetettebb is. A túlzott felhasználással a rendelkezésre álló ivóvízkészletek mennyiségét rohamosan csökkentjük, valamint az ipar térhódításával a vízbázisok szennyeződése és azok túlzott felhasználása kezdődött meg.

Jelenleg a Föld 1,34 km<sup>3</sup> vízkészletének körülbelül a 2,7% azaz alig 37 millió km<sup>3</sup> édesvíz. Ennek a mennyiségnek pedig alig háromnegyede alkalmas emberi fogyasztásra. Sarki jégbe zárva és gleccserek formájában található meg a potenciális ivóvízkészlet 90%-a [1].

A világ népessége évente körülbelül 85 millió fővel növekszik, és ezzel egyidejűleg csökken az egy főre jutó elérhető tiszta víz mennyisége is. Azoknak az embereknek az aránya,

akik vízhiányos vagy szennyezett vízbázissal rendelkező területen élnek 2025-re a jelenlegi fél milliárdról 3 milliárdra is nőhet [2]. Az Egyesült Nemzetekben minden nap 4400 5 év alatti gyermek hal meg olyan betegségek következtében, amelyet a nem megfelelő minőségű és tisztaságú ivóvíz okoz [3].

Ezért is kiemelt fontosságú, hogy a használt vizeket minél nagyobb mennyiségben megtisztítsuk és azokat újbóli felhasználásra alkalmassá tegyük.

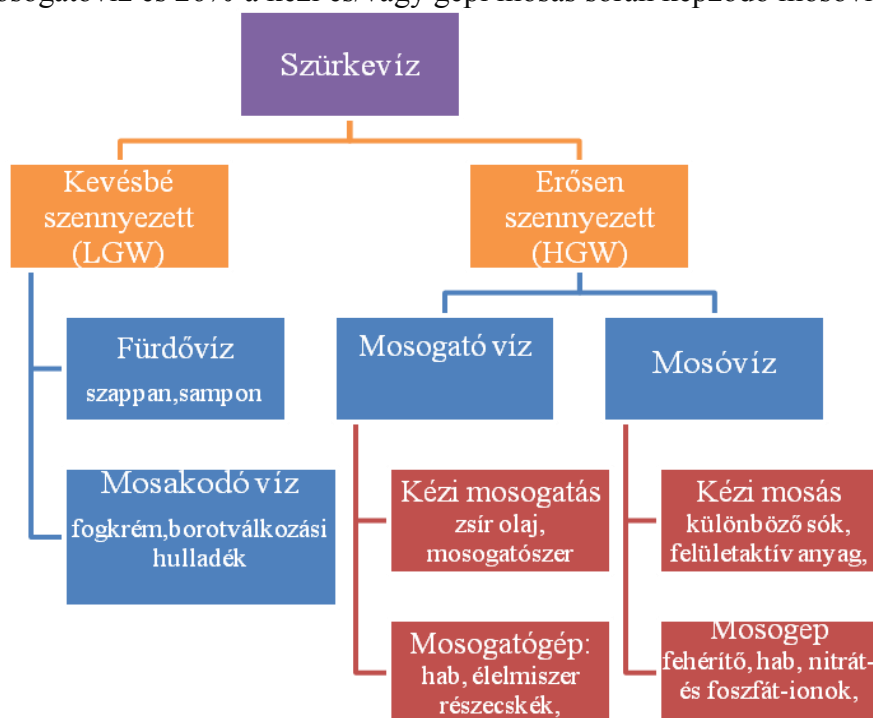
A vízhiány csökkentése érdekében ezek alapján alternatív forrásként a háztartásokban keletkező szürkevizet megfelelő kezelése és alkalmassá tétele az újrafelhasználásra megoldást jelenthet.

Kutatómunkánk során a háztartásokban keletkező szürkevíz minták bepárlási maradékát, összes oldott és összes nem oldott anyag tartalmát, vezetőképességét, sótartalmát, pH-ját, redoxifeszültségét és zavarosságát vizsgáltuk. A méréseink célja kettős volt: egyrészt összefüggések keresése a minta típusok és az adott paraméterek esetében a mért értékek között, valamint módszerfejlesztés, ugyanis a jelenlegi szabványokban előírt módszerek időigényesek és sok esetben költséges laboratóriumi eszközöket igényelnek.

## 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szürkevíz (GW: Greywater, Grauwasser) a háztartásokban keletkező szennyvíznek azon nagyobb mennyiségű része, mely magában foglalja a fürdésből, zuhanyzásból, mosdókagylóból, mosásból, kézi és gépi mosogatásból származó szennyvizet, de nem képezi részét a WC öblítéséből származó hulladék víz. Ebből adódóan a szürkevíz, mint használtvíz frakció kevésbé szennyezett, mint a háztartási szennyvíz [3]. A szürkevizet csoportosíthatjuk szennyezettségük szerint, illetve ezen belül a képződés helye szerint, mely kategóriákat az 1. ábra szemlélteti.

Ghaitidak és Yadav megállapítása szerint a háztartásokban keletkező szürkevíz 47%-a fürdés és/vagy zuhanyzás során keletkező fürdővíz, 27% kézi és/vagy gépi mosogatásból származó mosogatóvíz és 26%-a kézi és/vagy gépi mosás során képződő mosóvíz [3].



1. ábra: A háztartásokban keletkező szürkevizet csoportosítása a képződés helye szerint és főbb szennyezői [3]

A szennyvíz újrahasználati irányelvek és előírások meghatározzák a jelenlévő vízszennyező komponensek koncentrációjának nagyságát a víz adott célra (öntözés, WC öblítés, talajvíz feltöltés) történő felhasználásához [2]. A megfelelő kezelés kötelező, amely szükségessé teszi szűrkevíz jellemzését a szükséges paraméterekkel, s ezek az információk a megfelelő kezelési módszer kiválasztását is megalapozzák. A szűrkevíz kezelés a fizikai, valamint a jelenlévő kémiai vegyületek mellett igényli például mikroorganizmusok kvantitatív és kvalitatív ismeretét is [2].

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Munkánk során kézi mosogatásból származó mosogatóvizet, fürdővizet és műfürdővizet vizsgáltunk. A szűrési műveletekhez FILTRAK 388; 389; 390 típusú szűrőpapírt, valamint 0,45  $\mu\text{m}$ -es pórusméretű membránszűrőt használtunk.

A minták pH, redoxipotenciál és fajlagos elektromos vezetőképesség, illetve összes oldott sótartalom méréséhez MultiLine P4 univerzális kézimérőműszert használtunk. A pH érték mérését kombinált üvegelektrodával végeztük, mely speciális galvánelemnek tekinthető. A műszeren ezen elektróda használatával az oldat redoxipotenciálját is meg tudja határozni. Ez a paraméter a vizsgált oldat oxidáló vagy redukáló képességét jellemzi [4].

A vizek sótartalmát a mért vezetőképességéből következtethetjük, melyet konduktometriás módszerrel mértünk. Szűrkevizek fajlagos elektromos vezetőképessége általában  $\mu\text{Scm}^{-1}$  tartományban van. A vezetőképességgel egyidejűleg meghatároztuk az oldat sótartalmát (salinitását), g/l mennyiségben [5].

Az oldat zavarosságát a benne lévő kolloid vagy annál nagyobb méretű részecskék okozzák. A zavarosság mérésére alkalmazott Turb 555-IR készülék 9 nagyságrendet átfogó méréstartományt tesz lehetővé és a módszer sajátossága, hogy méri az egyenesen áthaladó fény mennyiségét is a  $90^\circ$ -ban áthaladó fény mennyisége mellett [6].

Az összes oldott anyagtartalom (TDS: Total Dissolved Solids), azon komponensek mennyiségét jellemzi a vízben, jelen esetben a szűrkevízben, amelyek 2  $\mu\text{m}$  vagy kisebb pórusátmérőjű szűrőn áthaladnak. Az összes nem oldott anyagtartalom (TSS: Total Suspended Solids) az a lebegő, szuszpendált és ülepedő anyagtartalom, amely meghatározott pórusátmérőjű szűrőn fennakad. A teljes szárazanyag tartalom (TS: Total Solids) az összes oldott és nem oldott anyagtartalom együttese, tehát „a nem illó oldott és oldhatatlan anyagok mennyiségét akkor kapjuk meg, ha egy lemért térfogatú vízmintát adott körülmények között ( $105^\circ\text{C}$ ,  $180^\circ\text{C}$  vagy  $260^\circ\text{C}$  hőmérsékleten) bepárolunk, súlyállandóságig szárítunk, majd tömegét mérjük” [7].

Az előkísérletekben a fürdővizek mérése során számos esetben az összes nem oldott anyagtartalomra negatív értéket kaptunk, melyet főként összes oldott anyagtartalom feltehetően téves mért értékei okoztak. A módszer megbízhatóságának tökéletesítése érdekében számos szabványt tanulmányoztunk és a bennük előírt módszereket átültettük a saját méréseinkbe, a minél pontosabb eredmény elérése érdekében. Az új módszer kifejlesztésének alapjául szolgált az MSZ 12750/6-1971 szabvány, amely a felszíni vizek vizsgálatára vonatkozó előírásokat tartalmaz és a MSZ 448-19:1986 szabvány, mely ivóvízvizsgálatra vonatkozó rendelkezéseket foglal össze. A mérési eredmények, azok hibáinak figyelembevételével a szabványban előírt információk ötvözetével a következő módszer került kidolgozásra:

Miután a tégléket kisavastuk, szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk, majd exszikkátorban hűlni hagytuk, lemértük a tömegüket és a tégléket vízfürdőre helyeztük. A mágneses keverővel homogenizált mintából 50  $\text{cm}^3$ -t kétjelű hasas pipettával kimértünk a bepárló téglékbe. A vízfürdőn egyszerre 3 minta bepárlása lehetséges. Egy sorozat minta



szárazra párolásához 95°C-on 2-3 óra szükséges. Szárazra párlást követően szárítószekrényben 1 órán keresztül 105°C-on szárítottuk a minta maradékát, majd exsikkátorban hűlni hagytuk. Minden minta esetében három párhuzamos mérést végeztünk el.

Miután a mérési eredményeket a módszer fejlesztésével pontosítottuk még mindig problémát jelentett a mérési idő, ezért a következő cél ennek rövidítése volt. A mikrohullámú energiaközlés lehetőséget biztosít az anyagok, gyors és energiatakarékos melegítésére. Mikrohullámmal történő hőkezelés gyors és egyszerű megoldás, ha a mintából az illékony vegyületek eltávolítása a célunk. Általában a víz a legfőbb illékony vegyület, melyet egy-egy analitikai mérés során el kívánunk távolítani a vizsgálati anyagból. Egy háztartási mikrohullámú készülék használatával a vízfürdőt szerettük volna kiváltani, ezáltal pedig a bepárlási időt csökkenteni. Egy mintából 3 párhuzamos mérést végeztünk ezzel a módszerrel is, illetve párhuzamos vizsgálatokat végeztünk ugyanazon minta vízfürdőn és mikrohullámú készülékkel történő bepárlását tekintve. Megállapítottuk, hogy mikrohullámú készülék alkalmazásával a mérési idő jelentősen lerövidíthető, a mérés pontossága és megbízhatósága viszont nem változik. A mintából 50 cm<sup>3</sup>-t az előzetesen tömegállandóságig szárított porcelán tégelyekbe kimértünk, majd egyszerre három tégelyt és egy főzőpohárban ultratiszta vizet, helyeztünk a készülékbe és a legkisebb fokozaton 5-10 perces melegítési periódust indítottunk el.

#### 4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A szabványos membránszűrővel végzett meghatározási megoldáshoz képest kísérleteinkben vizsgáltuk, hogy különböző porusátmérőjű szűrőpapírral mennyire lehet helyettesíteni a membránszűrést, illetve, hogy a bepárlás vízfürdő helyett mikrohullámú energiaközléssel hatékonyan megvalósítható-e.

A nem oldott anyagok mennyiségének átfogó értékelésére zavarosságmérést végeztünk. A zavarosságmérés eredményei jól reprezentálják az adott szűrőközeg hatékonyságát is. Ennek megfelelően a legnagyobb zavarosság a szüretlen minta esetében volt mérhető, a szűrt minták közül pedig a membránszűrés a leghatékonyabb, ez a kisebb porusméret, jobb mechanikai szilárdság és nagyobb szelektivitásnak tudható be. A szűrőpapíros mérések esetében a Filtrak 390-el végzett szűréssel kezelt minták zavarossága a legkisebb, ezt követően a sorban a Filtrak 388 szűrőpapírral szűrt mintáké, majd a Filtrak 389. A kapott eredmények egyrészt a porusátmérővel másrészt a szűrőpapír anyagi tulajdonságaival magyarázhatóak. Méréseink során a fürdővízmintákban a bepárlási maradék (TS) 281,33 és 1238,00 mg/l között változott, átlagosan 544,20±265,55 mg/l értéket mutatott. Az összes oldott anyag tartalom (TDS) meghatározása során eltérőbb eredményeket kaptunk, melyet a szűrés módja, a szűrőpapír típusa, illetve annak hatékonysága, összetétele befolyásolt. A 0,45 µm porusátmérőjű membránszűrős mérések esetében a TDS értékek 268,00 és 478,00 mg/l között változtak, az átlag pedig 368,89±105,24 mg/l volt.

A Filtrak 390-es szűrőpapír lassú, kisporusú, sűrű, hamumentes, 3-5 µm porusátmérőjű. Azok a TDS értékek, ahol ezt a típust alkalmaztuk, 347,33 és 1406,00 mg/l között változtak, az átlag 565,78±289,87 mg/l volt.

A Filtrak 388-as szűrőpapír gyors, tág porusú, lágy, laza szerkezetű, hamumentes szűrő filter, 12-15 µm porusátmérőjű. Ezt a szűrőt alkalmazva a TDS eredmények 687,33 és 1136,00 mg/l között váltakoztak, az átlag 205,00±255,97 mg/l volt.

A Filtrak 389-es szűrőpapír típus közepesen gyors szűrés sebességű, közepesen tág porusú, hamumentes, 8-12 µm porusátmérőjű szűrőpapír. Azoknál a méréseknél, ahol ezt a szűrőtípust használtuk, 629,33 és 1473,00 mg/l TDS értékeket kaptunk, az átlag pedig 1051,17±596,56 mg/l volt.

A kontroll ivóvízminták esetében a mérhető TS értékek 536,00 és 588,00 mg/l volt.

A minták vízfürdő helyett mikrohullámú készülékben történő bepárlása hasonló eredményeket mutatott, és a szórás értékek kisebbek voltak. Ebben az esetben további előny, hogy a kezelési idő jelentősen csökkent, amely ezzel a módszerrel 2-3 órától 45 perc-1 órára leredukálódott.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A rendelkezésre álló szűrőpapírok közül a Filtrak 390 a legalkalmasabb a membránszűrő helyettesítésére, mivel az így elválasztott minták mérési eredményei a legmegbízhatóbbak. A Filtrak 389 és 388-as szűrőpapír fürdővizek szűrésére nem alkalmas. Ezekre a szűrőközegekre kapott TDS és TSS eredmények nincsenek összhangban a saját mérési eredményeinkkel sem, ahol a szűrőközeg membránszűrő vagy Filtrak 390 típusú szűrőpapír volt.

Ha a mikrohullámú készüléket kellően kis fokozaton alkalmazzuk, akkor a minta nedvességtartalma, átalakulás nélkül alig egy órán belül elpárolog. Az mikrohullámú készülékben kezelt minták eredményei a vizsgált paraméterek vonatkozásában nem mutattak eltérést, sem saját méréseimhez képest, sem a Kalmár Ferenc (2014) szerkesztette Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával című kötetben közzétett eredményekhez képest [9].

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásaink során a szürkevízminták oldott és nem oldott komponenseinek meghatározásához szűrőközegként különböző szűrőpapírokat és membránszűrőt használtunk. A szűrőpapírok hatékonyságának vizsgálata során a cél a mérésenkelt ár és a megbízható eredmény egyesítése volt.

A legmegbízhatóbb elválasztást a membránszűrő adta. Fürdővizek elválasztása során abban az esetben, ha nem áll rendelkezésünkre membránszűrési lehetőség, akkor a Filtrak 390-es típusú szűrőpapír is kielégítő elválasztást ad, mert hatékonysága hasonló, mint a membránszűrőé. Mosogatóvizek esetében szűrésre nem alkalmas ez a közeg, ha a membránszűrő helyettesítése a célunk, akkor ebben az esetben a Filtrak 389-as vagy Filtrak 389-es típusú szűrőpapír használható.

A minták nedvességtartalmának eltávolítására egyértelműen alkalmas a mikrohullámú energiaközlés, amely nem csak gyors, de pontos eredményhez is vezet. Fontos, hogy ha a minták nedvességtartalmát mikrohullámú készülékkel párologtatjuk el, akkor azt megfelelően alacsony fokozaton tegyük, törekedve arra, hogy a minta nem kerüljön forrásba.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **ÁCS A., KOVÁCS K., KOVÁTS N., STENGER-KOVÁCS CS.**, *Természetes vizek védelme*, Pannon Egyetem, 2012
- [2] **BOYJOO Y., PAREK K.V, ANG. M.**, *A review of greywater characteristics and treatment processes*, Water Science & Technology, 67. évf./7. szám, 2013, p.:1403-1424, ISSN: 0273-1223
- [3] **GHAITIDAK D. M., YADAV K.D.** (2013). *Characteristics and threatment of greywater-a review*, Environmental Science and Pollution Research , 20.évf./5.szám,p.:2795-2809, Online ISSN: 1614-7499
- [4] **BODNÁR I.**, *Oktatási segédlet a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring I./ Környezeti analízis I., Előadásanyag nappali tagozatos környezetmérnök hallgatóknak*, Debrecen, Debreceni Egyetem, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék, 2014

- [5] **BODNÁR I.**, *Oktatási segédlet a Környezetmérnöki mérés technika, monitoring I./ Környezeti analízis I., Előadásanyag nappali tagozatos környezetmérnök hallgatóknak*, Debrecen, Debreceni Egyetem, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
- [6] **BODNÁR I.**, *Oktatási segédlet a Vizgazdálkodás és vízminőség védelem II. c. tantárgy laboratóriumi gyakorlatához, Előadásanyag nappali tagozatos környezetmérnök hallgatóknak*, Debrecen, Debreceni Egyetem, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék
- [7] **KÓMIVES J.**, *Környezeti analitika*, Műegyetemi Kiadó, 2000
- [8] *MSZ 12750-6:1971: Felszíni vizek vizsgálata. Összes oldott- és lebegőanyag-tartalom meghatározása*
- [9] **KALMÁR F.**, *Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával*, Akadémiai kiadó, Budapest, 2014, p.:181-185

## A PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐESZKÖZÖKÖN ALKALMAZOTT SZENZOROK

### SENSORS USED ONBOARD OF THE UAV SYSTEMS

**Kolláth Gábor<sup>1</sup>, Szegedi Péter<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>egyetemi hallgató

Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar  
had- és biztonságtechnikai mérnöki szak, repülőműszaki szakirány  
H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: kollikacb@gmail.com

<sup>2</sup>alezredes, egyetemi docens

Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar,  
Katonai Üzemeltető Intézet, Katonai Repülő Tanszék  
H-5008 Szolnok, Pf. 1., Email: [szegedi.peter@uni-nke.hu](mailto:szegedi.peter@uni-nke.hu)

**Kivonat:** A repülőgépen használt szenzorokat két nagy csoportra bonthatjuk. Egyrésztől található rajtuk repülési paramétereket megfigyelő szenzorok, valamint „payload”-ként, hasznos teherként megjelenő érzékelők. A repülési paraméterek érzékeléséért felelős szenzorok, az UAV-t körülvevő tér által keltett behatásokat, nem villamos paramétereket (fizikai, mechanikai, kémiai, pneumatikai, egyéb hatások) villamos jelekké alakítják át. A másik nagy csoportot a „payload”-ként alkalmazott szenzorok alkotják melyek kialakításai és funkciói sokkal szélesörűbbek. A feladat meghatározását követően történik a kiválasztásuk. Leggyakrabban valamilyen megfigyelésre alkalmas szenzorrendszert alkalmaznak hasznos teherként. Célunk, kiemelni az érzékelők fontosságát mind a repülés, mind a pontos és gyors feladat végrehajtás szempontjából, valamint egy átfogó kép alkotása a lehetséges kialakításukról, működési elvükről.

**Kulcsszavak:** Szenzor, paraméter, payload, UAV

**Abstract:** The sensors used onboard of the aircrafts can be separated into two groups. First we can find the sensors which sense the flight parameters and the sensors used as payloads. The sensors which are checking the flight parameters, main task is to sense and convert the outer impacts non-electric parameters into electrical signal. The other group contains the payload sensors. The usage of these sensors are more extensive. After definition of the aim comes the choose of the system. Most often, a sensor which is capable of surveillance and observation is used as a payload. Our aim was to highlight the importance of the sensors referring to the flight and to the accurate and fast task implementation. We also wanted to create a comprehensive image of the structure and working principle of the sensors

**Keywords:** Sensor, parameter, payload, UAV

## 1. BEVEZETÉS

A repülés megjelenését követően az mérnököket és a tervezőket egyre jobban foglalkoztatta a repülőeszközök stabilitása. Az UAV-k stabilitását az automatikus repülésszabályozó rendszerek biztosítják.

A repülőgépen használt szenzorokat két nagy csoportra bonthatjuk. Egyrésztől található rajtuk repülési paramétereket megfigyelő szenzorok, valamint „payload”-ként, hasznos teherként megjelenő érzékelők. A repülési paraméterek érzékeléséért felelős szenzorok, az UAV-t körülvevő tér által keltett behatásokat, nem villamos paramétereket (fizikai, mechanikai, kémiai, pneumatikai, egyéb hatások) villamos jelekké alakítják át. Ezen információ halmaz jelenti az automatikus repülésszabályozó rendszer alapját, mely villamos

menyiségek segítségével a helyesbítés, vagy a különbség elvét alkalmazva a megfelelő kormánysszervek mozgatásával képes stabilizálni az eszközt. A másik nagy csoportot a „payload”-ként alkalmazott szenzorok alkotják melyek kialakításai és funkciói sokkal szélesörűbbek. A feladat meghatározását követően történik a kiválasztásuk. Ha elemezzük az UAV-k katonai és civil felhasználását, akkor jól megfigyelhetjük, hogy leggyakrabban valamilyen megfigyelésre alkalmas szenzorrendszert alkalmaznak hasznos teherként.

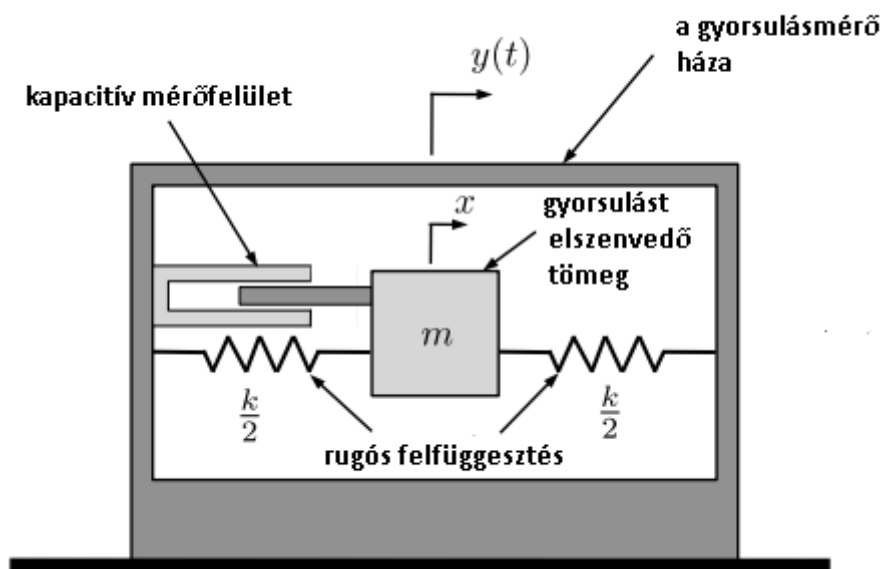
## 2. REPÜLÉSI PARAMÉTEREKET ELLENŐRZŐ SENZOROK

Rengeteg szenzor található az UAV-kon, melyek segítik a robotpilóta működését. Ezek közül legfontosabbnak azon érzékelőket tartom melyek az irányítást, navigációt és a repülő vezetését szabályozását segítik elő. Az UAV-kon leggyakrabban a következő szenzorokat használják ezekre a célokra:

- gyorsulásmérők
- giroszkópok
- különböző nyomásmérők
- magnetométerek
- GPS eszközök

### 2.1. Gyorsulásmérő

A gyorsulás jelátalakítói, vagy más néven gyorsulásmérők általában valamilyen több irányból rugókkal megtámasztott elmozdulásra képes súly, ahogy a 1. ábra is szemlélteti. Ha maga a gyorsulásmérő érzékeli a gyorsulást, akkor a rá ható erőnek a hatására, a gyorsulás irányával ellenkező irányba a súly bizonyos mértékben elmozdul.



1. ábra Gyorsulásmérő általános felépítése

Ahogy az 1. ábra is mutatja, a súlyra egy fémrúd van felhelyezve amely egy kapacitás két fegyverzete között helyezkedik el. Ahogy a gyorsulásmérő kitér, a fémrúd elmozdul ezzel megváltoztatva a kapacitás két fegyverzete között a dielektrikum összetételét. Ezt a változást képes mérni az eszköz.

A súly egyensúlyi erejének vizsgálata teremti meg a mérésnél a kapcsolatot:

$$m\ddot{x} + kx = ky(t)$$

ahol az „x” a tehetetlenségi állapotban lévő súly helyzete, az „y(t)” pedig a burkolat helyzete a viszonyítási rendszerben. A rugó alakváltozásának megadásával  $\delta = y(t) - x$

$$\ddot{x} = \frac{k}{m} \delta$$

Tehát kijelenthetjük, hogy a felfogatott tömeg gyorsulása arányos a rugó alakváltozásával. A rezonancia frekvencia alatti mozgásoknál megfigyelhető hogy a tömeg és a keret gyorsulása megegyezik egymással. Ezt a keret és a tömeg átviteli függvényeinek felírásával érzékeltethetjük:

$$\frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{1}{\frac{m}{k} s^2 + 1}$$

Ez a hányados az erősítések arányával is felírható:

$$\frac{A_x(s)}{A_s(s)} = \frac{1}{\frac{m}{k} s^2 + 1}$$

Azokon a frekvenciákon ahol  $\omega = \sqrt{k/m}$  és az átvitelek aránya közel 1, a tömeg elmozdul, és ahogy az 8. ábrán is látható, a kapacitív gyorsulás átalakító az elmozdulást (fizikai paraméter) villamos jellé, impulzussá alakítja át. A mérés megtörténhet még piezoelektronikus vagy egyéb úton. Más analóg eszközökhöz hasonlóan a matematikai modellje (21) egy hasznos részből és a nem kívánt zavarból áll.

$$Y_{gyors} = k_{gyors}A + \beta_{gyors} + \dot{\eta}_{gyors}$$

ahol a  $Y_{gyors}$  dimenziója Volt,  $k_{gyors}$  a nyereség, az  $A$  a gyorsulás  $m/s^2$ ,  $\beta_{gyors}$  a torzítás,  $\dot{\eta}_{gyors}$  pedig az úgynevezett Gauss zaj. A nyereség a szenzor műszaki adatlapjában megtalálható. Az torzítás a hőmérséklet függvénye és a pontos mérés érdekében minden repülés előtt újra kell kalibrálni.

A repülőeszközöknél általában három gyorsulásmérőt használnak. Ezeket a tömegközéppontban, vagy ahhoz közel helyezik el és az UAV-hez rögzített viszonyítási rendszer tengelyei mentén mérik a gyorsulás mértékét. Másképpen megfogalmazva ezek az eszközök a repülőgép és a gravitációs gyorsulásnak a különbségét mérik. Hogy el tudjuk képzelni ezt, a 7. ábrán látható felépítéssel rendelkező három eszközt egymással 90°-ban forgatjuk el (mint egy Descartes-féle koordináta rendszer három tengelyét). Ha a test áll vagy egyenes vonalú egyenletes mozgást végez, akkor a testre csak a gravitációs erő hat, ami kimozdítva az ideális állapotából egy g-nek megfelelő negatív gyorsulást hoz rajta létre. Ezt a tömegre helyezett rúgókba ébredő rugóerőkkel kompenzálják. Matematikailag ezt modellezve

és komponensekre bontva, valamint a zavarokat is feltüntetve kapjuk a következő egyenleteket, amiket villamost jellé alakítva a robotpilóta már képes kezelni

$$y_{gyors,x} = \dot{u} + qw - rv + g\sin\theta + \eta_{gyors,x}$$

$$y_{gyors,y} = \dot{v} + ru - pw - g\cos\theta\sin\phi + \eta_{gyors,y}$$

$$y_{gyors,z} = \dot{w} + pv - qu - g\cos\theta\cos\phi + \eta_{gyors,z}$$

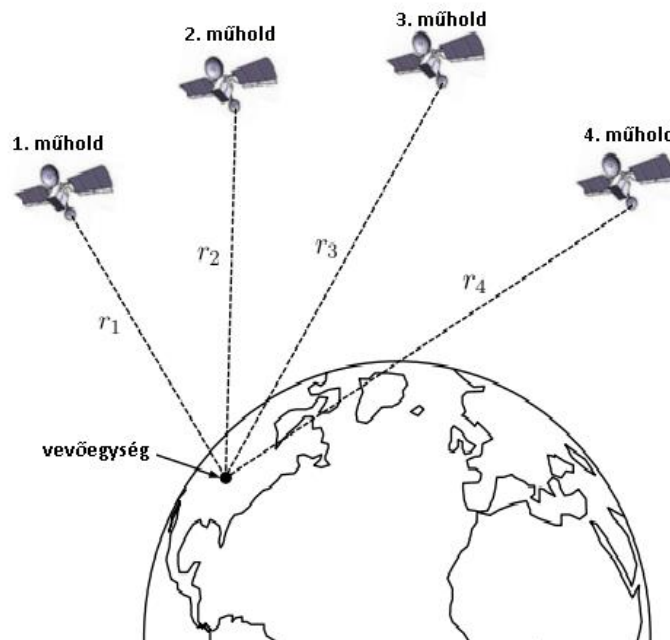
Ahogy látható a gyorsulást három részre bonthatjuk:

- lineáris gyorsulás
- Coriolis gyorsulás
- gravitációs gyorsulás

A repülőgép gyorsulását  $m/s^2$ -ben adják meg.

## 2.2 GPS (Globális Helymeghatározó rendszer)

A globális helymeghatározó rendszer (GPS) egy szatelit alapú navigációs rendszer, ami 3 dimenziós pozicionálási információ biztosít a felszín vagy annak közelében elhelyezkedő tárgyakra. A NAVSTAR GPS rendszert az Amerikai Védelmi Minisztérium fejlesztette ki, és 1993 óta aktívan működik. A pilóta nélküli repülőeszközöknél nem lehet eltúlozni az átlagemberek számára is elérhető GPS adóvevők fejlesztésének fontosságát. Ez volt, és jelenleg is ez a legkritikusabb technológia az UAV számára. Ebben a fejezetben GPS pozicionálási érzékelését fogom bemutatni a felhasznált modellek segítségével.



2.ábra A GPS helymeghatározása

A GPS helymeghatározó rendszer kulcsa, a folyamatosan a 20 180km magasságban a föld körül keringő 24 műhold. A műholdak pályáját úgy tervezték meg, hogy a föld felszínén bármely pontot, minimum 4 szatelit folyamatosan érzékelje. A minimum 4 szatelit jel terjedési idejének folyamatos mérésével (melyet egy érzékelő biztosít) a GPS képes a kívánt

tárgy háromdimenziós lokalizálására, melynél a rádió jel terjedésére vonatkozó törvényszerűségeket alkalmazzák. Mivel szinkronizációs hiba léphet fel a referencia órák között (GPS és az érzékelő órái) ezért a valós távolság mellett megjelenik egy ál mennyiség, amit a pontos mérés érdekében helyesbíteni vagy szűrni kell.

Mivel a szinkronizációs hibát az érzékelők és a műholdak között nem lehet kiküszöbölni, ezért a távolság mérése mellett három szatelit segítségével a háromszögelés módszerével határozzák meg az érzékelő távolságát. A negyedik műhold egy úgynevezett referencia, melynek segítségével ellenőrzik vissza a pontos távolságot. Ezen meghatározás modellezését a 14. ábrán láthatjuk. Hogy pontosan miért is kell négy műhold? Egy műhoddal a pont egy egyenes menti helyzetét határozzuk meg. Két műhoddal a síkbeli helyzetét, Hárommal pedig a térbeli helyzetét. A negyedik pedig az órák szinkronizációs hibáit korrigálja, valamint referenciaméréseket végez. Ha ezt geometriai egyenletekké alakítjuk, akkor négy lineáris egyenletet kapunk négy ismeretlennel, amik a következők: hosszúság, szélesség (a síkban), a GPS vevő magassága és a vevő órájának mérési pontatlansága.

#### *A GPS mérési hibái*

A GPS helymeghatározási pontosságát nagymértékben befolyásolja a mért távolság hibája, valamint a műhold keringési pályájának geometriája ahonnan a mérés végrehajtása megtörténik. A keringés geometriájának hatékonyságát a precíziós faktor biztosítja (dilution of precision). A mért távolságot továbbá az idő pontatlan mérése is befolyásolja, hiszen a rádiójel közel fénysebességgel terjed, aminél a kis időeltérések is kemény méteres tévedést is okozhatnak. Erre jó példa, hogy 10ns-os eltérés esetén a rendszer 3m-t téved.

#### *Efemerisz torzítás:*

Az efemeriszen a műhold által leírt pálya matematikai leírása. Ahhoz hogy meghatározzuk a vevő, helyzetét tisztában kell lennünk a műhold pillanatnyi helyzetével. Az efemerisz hibákat a távolság meghatározásánál a szatelit bizonytalan pozícionálása okozza. A valóságban ez a hiba tipikusan 1-5m közé tehető.

#### *Szatelit óra:*

A GPS műholdak cézium-rubidium atomórákat használnak, amelynek a napi pontatlansága 10 ns. ami átlagosan 3,5m. Az óra félnapi frissítése a hibát átlagosan 1-2 méterre csökkenti.

#### *Ionoszféra:*

Az ionoszféra a föld légterének legkülsőbb rétege, amire jellemző, hogy szabad elektronok találhatóak benne, amely szabad elektronok késleltetik a GPS által kibocsájtott jelek terjedését. Annak ellenére, hogy erről a jelenségről tájékoztatja a vevőt a műhold, ami korrigálásokat végez a hiba javítása érdekében, mégis ez a hullámterjedés lassulás okozza a legnagyobb mértékű hibát. A mérési eltérés átlagosan 2-5m közé tehető.

### 3. PAYLOAD SZENZOROK

A TDK dolgozatomba végzett kutatásaim során arra jutottam, hogy az UAV-k legtöbbször valamilyen információgyűjtő feladatot végeznek. Ahhoz hogy ezeket végre tudják hajtani a fedélzeten elhelyezett információgyűjtő berendezések alkalmazására van szükség. Minden ilyen eszköz alapjául egy alapegység szolgál, amelyeknek a működési elvét mutatja be ez a fejezet.

#### 3.1 Fényérzékelők

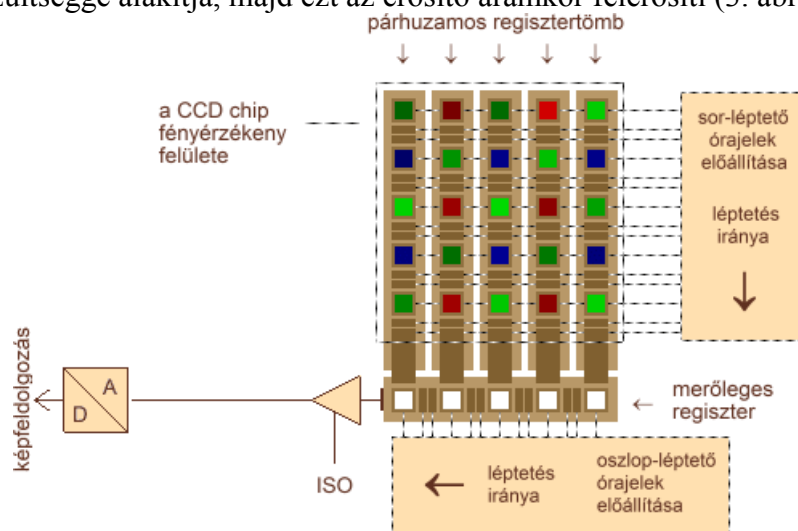
A kamerákban általában két féle képérzékelőt alkalmaznak: CCD és a CMOS detektorokat. Feladatuk, hogy a külső térből érkező fényt elektromos impulzusokká, jelekké alakítsák, a fotoelektromos effektus alapján. A félvezetős kamerákban alkalmazott szilícium alapú



képezékelőket, pixelnyi méretű fotodiódákból kialakított érzékelő mátrixot, megvilágítva a fotodiódákon átfolyó áram nagysága növekszik, amely hatására a fotodiódákkal sorba kapcsolt, a szilíciumlapka felületén kialakított kondenzátorok töltése is nő. A külső fényvel arányos töltésváltozások az érzékelő lapkán a kamera objektívje által leképezett képtől függő töltésképet hoznak létre.

### Charge-Coupled Device (CCD)

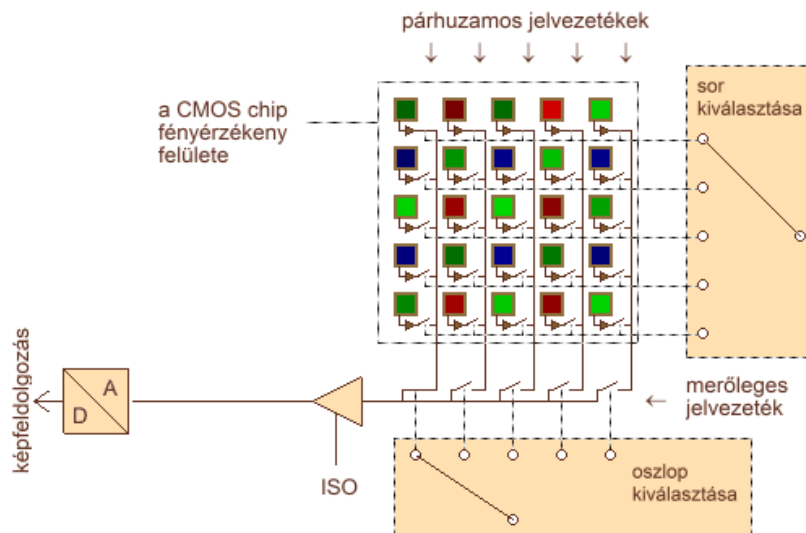
A CCD egy töltéscsatolt eszköz, analóg léptető áramkör, aminek elektromos töltéstovábbító szerepe van. A benne található érzékelő egy MOS (Metal-Oxide-Semiconductor) technológiával előállított szilícium lapka. Ezen vannak kialakítva a töltések tárolására alkalmas fotodiódák. A képkockákra felbontott érzékelt kép villamos jelként továbbítódik az érzékelő felületbe. Maga a felület egyenlő nagyságú pixelekre van felosztva, ezeken pixelek mindegyikéhez tartozik egy elektróda. Az elektródák pozitív potenciálra töltődnek, töltéscsomagok alakulnak ki rajtuk. Ha a megvilágítás megszűnik, egy erre az áramkörre csatolt többfázisú külső órajel képző áramkör vezérlő jelenek hatására a párhuzamosan létrehozott töltéscsomagokat lépteti, majd sorosan kicsatolja. Ezután a kiolvasó egység jelfeszültséggé alakítja, majd ezt az erősítő áramkör felerősíti (3. ábra).



3. ábra CCD működési elvének ábrája

### Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS)

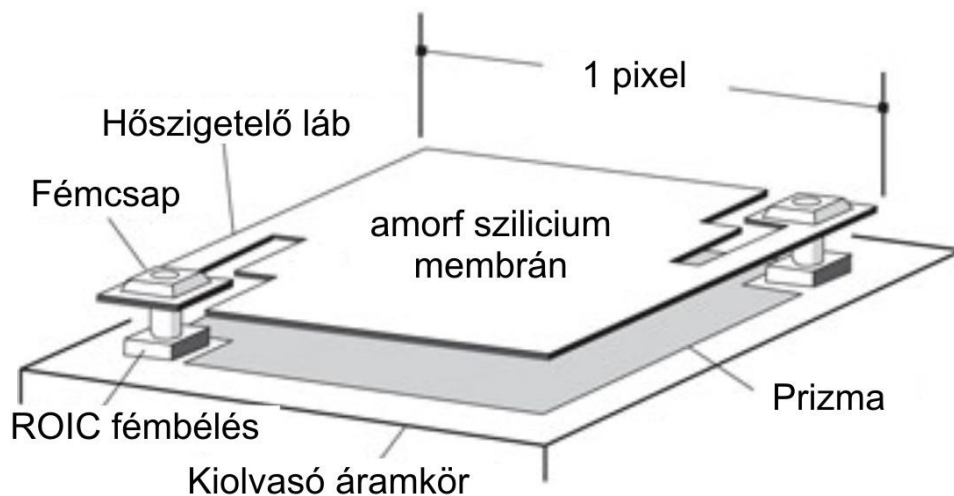
A CCD-hez hasonlóan itt is három réteg található, sorrendben: Metal (fém)-Oxide (fémoxid szigetelő)- Semiconductor (félvezető). A tervezérlésű tranzisztoroknak két csoportja van, amik a félvezető rétegük szennyeződésétől függenek. Tehát megkülönböztetünk P és N típusú tervezérlésű tranzisztorokat. Ha egy P és egy N típusú tervezérlésű tranzisztort egymással összekapcsolunk, akkor komplementer félvezetőt kapunk, aminek a rövidítése CMOS. A CCD-vel ellentétben ennél nem szükséges a töltéscsatolás, hiszen minden képelemhez tartozik egy erősítő, ezért az erősítés folyamata pixelenként nem horizontálisan vagy vertikálisan történik. Fontos különbség még a töltéscsatolt eszközökhöz képest, hogy a zajsűrők, feszültség átalakítók, analóg-digitális átalakítók mind elhelyezhetők a félvezető lapkán. Két kapcsoló sor található benne, ami magát a léptetést szabályozza. A fényhatás megszűnése után a léptető áramkör az egyik kapcsoló segítségével pixel-mátrix legfelső sorát balról jobbra haladva a töltéstárolóba mozgatja. Ha egy sor kiürült egy másik kapcsoló az egyel lentebbi sorba ugrik, s újra elkezdődik a csomagok balról jobbra való kinyerése. Ez mindaddig folytatódik, míg az összes töltéscsomag a tároló területre nem kerül. Ezután egy A/D átalakító ezeket az analóg jeleket digitalizálja és továbbítja a jelfeldolgozók felé (4.ábra)



4. ábra CMOS működési elvének ábrája

### 3.2 Mikrobolométerek

A vanádium-oxidból vagy amorf szilíciumból készített, mikroméretű bolométereket, a hőkamerákban való alkalmazásra lettek kifejlesztve, minek következtében a kismértékű hőmérsékletváltozást is képesek érzékelni. Jelenleg a hődetektorok túlnyomó része rácsos szerkezetű amorf-szilícium szenzorelemet tartalmaz. A hőszensor elemek mátrixszerű elrendezése nagyon hasonlít az előzőekben elemezett CCD és CMOS detektorokéhoz. A hőérzékelő lapon található pixelek (elemi mikrobolométerek) az őket érő infravörös sugárzás következtében elektromos ellenállás változást szenvednek el. Ahogy az 5. ábra mutatja a mikrobolométerek felépítésüket tekintve három részre oszthatóak: az érzékelő membránra, a szubsztrátra és a két elemet összekötő lábakra. A szubsztrátban található, egy az elemi mikrobolométerek infravörös sugárzás hatására elszenvedett ellenállás változását mérni képes áramkör, az úgynevezett kiolvasó áramkör. Ez a mért jelet a képfeldolgozó áramkör számára alkalmas jellé alakítja. Ezen jel energiája gyenge, ezért az elemi érzékelők mögött erősítők találhatóak a megfelelő jelszint biztosításának érdekében. A szubsztrát és a membrán közötti légrés a kiolvasó elektronika hűtésére szolgál, mivel a túlmelegedése esetén a szenzor érzékenysége nagymértékben csökken.



5. ábra Amorfszilícium elemi mikrobolométer érzékelő felépítése

A bolométereknek két csoportját különböztethetjük meg: hűtés nélküli és a hűtött bolométereket. A hűtött eszközöknél a hűtőrendszer integrálva van a detektorba, ami méret és súlybeli növekedést okoz. Emellett hátránya még a hűtés nélküli eszközökkel szemben, hogy nagy az energiafogyasztása és az előállítási költsége is, ezért az UAV-kra szerelhető hőkamerákban általában hűtés nélküli érzékelőket használnak.

## ÖSSZEGZÉS

A pilóta nélküli repülőeszközök felhasználása mind a civil mind a katonai szférában rohamosan bővül. A felhasználás terjedésével egyetemben a rajta található eszközök fejlesztése és miniatürizálása is nagy léptekkel halad. Értekezésünk célja az UAV-ken alkalmazott szenzorok fontosságának kiemelését tűztük ki, melyet a működési elvek és felhasználási lehetőségek segítségével próbáltunk végrehajtani. Megállapítható, hogy az érzékelők alkalmazása a repülő eszközökön elengedhetetlen, mind a repülés stabilizálása és irányítása, mind a pontos és gyors feladat végrehajtás szempontjából. Ezen egységek folyamatos fejlesztése tehát lehetővé teszi magának az iparágnak a még nagyobb előretörését. Mivel a nanotechnológia következő lépcsőjének a biomechanikus eszközök megjelenését és alkalmazását tekintik, ezért a tervezők már dolgoznak az ilyen rendszerek kialakításával.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **RANDAL W. BEARD, TIMOTHY W. MCLAIN** *Small Unmanned Aircraft Theory and Practice*, Princeton University Press, New Jersey, 2012, ISBN 978-0-691-14921-9
- [2] **JACOB F.** *Handbook of Modern Sensors*, Fourth Edition, Springer, New York, 2010, ISBN 978-1-4419-6465-6
- [3] **LAMBERT M.** *Szenzorok – elmélet és gyakorlat*, INVEST-MARKETING BT, Budapest, 2009, ISBN 978-963-87401-1-3
- [4] *CCD és CMOS érzékelők*, URL:<http://oktel.hu/szolgalatas/kamerarendszer/kamerak/ccd-es-cmos-erzekelok/> (2014. 10.18)
- [5] *Az infravörös hőmérsékletmérés alapjai*, URL:<http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/infraglobal.pdf> (2014.10.19.)

## MATEMATIKAI SZOFTVEREK ALKALMAZÁSA A GÉPÉSZMÉRNÖKI KÉPZÉSBEN

### MATHEMATICAL SOFTWARE APPLICATIONS IN THE MECHANICAL ENGINEERING TRAINING PROGRAMME

Kocsis Imre<sup>1</sup>, Tóth László<sup>2</sup>

<sup>1</sup>tanszékvezető főiskolai tanár, <sup>2</sup>egyetemi tanár  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar

<sup>1</sup>kocsisi@eng.unideb.hu, <sup>2</sup>laszlo.toth@bayzoltan.org

**Kivonat:** A Debreceni Egyetem Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszékén 2013-ban került bevezetésre a matematikai szoftverek közvetlen alkalmazása a „Törésmechanika alapjai” tárgy keretében. A tárgy gyakorlatán a hallgatók megismerkednek egy általános célú matematikai szoftverrel, majd vizsgán adnak számot tudásukról. A sikeres vizsgával „licenct” szereznek, és megkapják a törésmechanikai feladatukat, amit a szoftver segítségével megoldhatnak. A „Törésmechanika alapjai” tárgy keretében szerzett tapasztalatokra építve a Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszékén a matematikai tárgyak oktatásába is bevezetjük a „licenc-szerzés – műszaki projektfeladat kidolgozás” módszert. Ebben a cikkben bemutatjuk a módszert, a bevezetés motivációit és módját.

**Kulcsszavak:** matematikai szoftver, műszaki matematika oktatása, projekt módszer

**Abstract:** Application of mathematical software in the framework of the ‘Basics of Fracture Mechanics’ course in the Department of Mechanical Engineering University of Debrecen was introduced in 2013. At the beginning of the course students get acquainted with general purpose mathematical software, and – after a successful test – they get a ‘licence’ for a fracture mechanical ‘project’. The personalized project task has to be worked out using the chosen software. On the basis of our experience in the ‘Basics of Fracture Mechanics’ course, we introduce a similar method in teaching Engineering Mathematics in the Mechanical Engineering Training programme. In this paper the details of the introduction and the motivations of the novel “project method” are presented.

**Keywords:** mathematical software, teaching engineering mathematics, project method

#### 1. A MATEMATIKAI TUDÁS MEGSZERZÉSÉNEK ÉS ALKALMAZÁSÁNAK ÁTALAKULÁSA

Nem kétséges, hogy a tanuláshoz, ezen belül különösen az absztrakciós készséget és egyben jelentős odafigyelést és gyakorlást kívánó tárgyak (matematika, fizika, kémia) tanulásához való viszony jelentősen megváltozott az utóbbi évtizedben. Ezt igazolják a középiskolai tanárok beszámolóit, de a műszaki felsőoktatásba érkező fiatalok tudása és a „munkához” való hozzáállása is ezt bizonyítja.

Nem célunk a közoktatás elemzése, de azzal feltétlenül foglalkoznunk kell, hogy a kialakult helyzetben milyen módszertani eszközökkel lehet eredményt elérni a matematika oktatásában, a tudás hiánya ugyanis akadálya a magas színvonalú szakmai munkának a mérnökképzésben.

Világos, hogy a mérnökképzésbe kerülő fiatalok felkészültsége, motivációja, tanulási képessége számos társadalmi és oktatáspolitikai hatás eredménye, itt azonban csak egy szempontot emelünk ki, ami nem csak befolyásoló hatásként, de lehetőségként is szolgál. Ez az informatikai eszközöknek az utóbbi évtizedekben tapasztalt fejlődése, ami átalakította az ismeretszerzési és problémamegoldási módszereket.

Ma már a legtöbb hallgatónál bármikor „bevethetően” ott van egy hordozható számítógép telefon, táblagép vagy laptop formájában. A számítógépekkel együtt felnőtt generációk

számára a számítógép és az internet használata bármilyen szituációban, így a matematikai feladatok megoldásában is természetes. Ezt a helyzetet inkább ki kell használni, mint különféle megfontolások alapján gátolni. Az oktatás-módszertannak kell megtalálni az eszközök alkalmazásának megfelelő módját, ahogyan a műszaki és a hétköznapi életben is azonnal elterjednek a hatékonynak bizonyuló megoldások.

A mérnökképzésben nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy az IT fejlődése gyökeresen megváltoztatta a mérnöki munkát egyrészt a (gépészeti, statikai, villamos, stb.) tervezőrendszerek elterjedésével, másrészt a nagy tudású, könnyen elérhető matematikai szoftverek megjelenésével. A tervezőrendszerek oktatása ma már a mérnökképzés szerves részét képezi, a matematikai szoftverek alkalmazására ez még nem mondható el. Ennek egyik oka lehet, hogy a szoftverek hatékony alkalmazása a matematikai és a műszaki tárgyak összehangolását igényli a két terület aktív részvételével, e mellett számos matematika oktatás-módszertani (elvi) kérdés is felvetődik (pl. milyen mértékben kaphat teret a számítógépes feladatmegoldás).

A napi mérnöki munka döntően olyan műszaki rendszerek és folyamatok kezelését jelenti, melyek mögött kidolgozott matematikai modellek és elméletek állnak, megteremtve a műszaki döntéseket megalapozó számítások elvi lehetőségét. A szükséges számítási eljárások azonban a nagyteljesítményű személyi számítógépek és a megfelelő szoftverek széleskörű elterjedése előtt megvalósíthatatlanok voltak, a döntéseket a tapasztalatokra és a mérnöki becslésekre, szabványokra alapozták, a mindennapi munka során fel sem vetődött a pontos számítások végrehajtása. Mivel az informatika fejlődése nyomán a matematika a „hozzáértők privilégiumából” az alkalmazók eszközévé vált, a számítási lehetőségek kibővülése nyomán lehetővé vált az elméleti eredmények „apró pénzre” váltása, a gyakorlati életben fellépő problémák megoldása azáltal, hogy a munka „nehezét” a számítógép elvégzi.

A matematikai szoftverek hatékony használatának kialakítása a hallgatók esetén összetett feladat, mivel együtt kell kezelni a matematikai, fizikai és műszaki ismereteket, valamint a kiválasztott szoftverek használatával kapcsolatos technikai kérdéseket. Az, hogy a műszaki matematika oktatásába a lehető legnagyobb mértékben be kell vonni azokat a jellegzetes műszaki témaköröket, melyekben a tárgyalt matematikai ismereteket alkalmazzák többé-kevésbé elfogadott a műszaki felsőoktatásban. Tipikus műszaki problémák szakszerű felvezetésével elérhető, hogy a hallgatók szükséges eszközként tekintsenek a matematikára, és hogy a műszaki tárgyak tanulásakor felkészülten ériék őket a megjelenő matematikai formulák, levezetések, módszerek. De ettől még nem alakul ki bennük az az érzés, hogy szükség esetén végre is tudják hajtani a számításokat.

Látszólag nem nagy különbség van aközött, hogy a számításokat a döntés-előkészítés során a mérnök ténylegesen végrehajtja-e vagy csak rutinszerűen, becsléssel oldja meg a feladatot.

Valójában azonban igen nagy gazdasági jelentőséggel bír a műszaki életben az alternatívák elemzése, a „mi van akkor, ha ...?” típusú kérdések megválaszolása. Ma már célszoftverek segítségével sikeresen, gyorsan és elfogadható költséggel lehet elemezni alternatív műszaki megoldásokat, és kiválasztani a legmegfelelőbbet.

Ahhoz, hogy a matematikai szoftverek a mérnöki munka napi eszközévé válhassanak, a képzés során a mérnököknek meg kell ismernie az elérhető szoftverek körét, az ezek által kínált lehetőségeket, és kellő gyakorlatot kell szerezniük ezek használatában. A megfelelő tapasztalattal a hátuk mögött, a munkájuk során nem „félnek” a számítógép által elvégzett számításokra hagyatkozni.

A matematikával szemben általánosan tapasztalható tartózkodó magatartás („félelem”) a matematikai számítások nehézségére, az absztrakt fogalomrendszer bonyolultságára vezethető vissza, kevés mérnökhallgató szereti igazán a matematikát. De ha ki tudjuk alakítani azt az érzést bennük, hogy matematikai szoftverek segítségével képesek jól definiált

lépéssorozatokot korrektül végrehajtani, akkor a jelenségeket leíró formulák nem kezelhetetlen, pusztán elméleti dolgokként, hanem a problémamegoldás természetes módjaként jelennek meg számukra.

Miután a gyors számítógépek és a nagy tudású általános matematikai szoftverek mindenki számára elérhetővé váltak, ez az akadály elvileg megszűnt, de attól még messze vagyunk, hogy a feltételek változásának hatása megjelenjen a napi munkában. A gyökeres változás ezen a téren nyilvánvalóan akkor tud bekövetkezni, ha azok a számítógép-felhasználóként felnőtt generációk kezdik meg a mérnöki munkát, akik számára természetes, hogy egy problémára egy megfelelő szoftver alkalmazásával keressék a választ. A változás azonban nem következik be automatikusan. A képzésben figyelmet kell szentelni az új eszközök alkalmazásának és a fontosságuk hangsúlyozásának. A számításokat támogató szoftvereket a Matematika és a szakmai tárgyak oktatásába egyaránt be kell vonni, különben nem alakul ki a kellő tudatosság és határozottság ezeknek az eszközöknek az éles helyzetekben való igénybevételehez.

El kell érni, hogy a matematika ne tantárgy, hanem ESZKÖZ legyen a tudás mindennapi alkalmazásban. A hallgatóknak meg kell mutatni, hogy munkájukban támaszkodhatnak a matematikai szoftverekre mint segédeszközökre anélkül is, hogy a matematika „szerelmesei” lennének. Ez a szemlélet megalapozza a „mi van akkor, ha ...” megközelítést a tervezési, üzemeltetési területeken, ami jelentős gazdasági hatással jár a pontosabb (kevesebb fölösleges kiadást, beavatkozást igénylő) megoldások megtalálása által.

## 2. A MATEMATIKAI SZOFTVEREK ALKALMAZÁSA A TÖRÉSMECHANIKA ALAPJAI TÁRGY KERETÉBEN

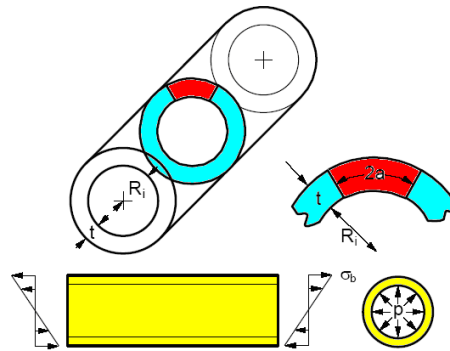
A mérnöki szerkezetek „teherbírásának” és biztonságának megítélése szempontjából fontos szerepe van az anyagban jelenlévő repedéseknek. A repedések terjedésével foglalkozó törésmechanika első nagy fejlődési időszaka a repedés-diagnosztikai módszerek elterjedéséhez köthető. Repülőgép-szerkezetek, hajószerkezetek, egyéb ismétlődő terhelésnek kitett szerkezeti elemek, járműalkatrészek tönkremenetelét vizsgálva derült fény az ún. ridegtörés jelenségre. Nagyméretű acélszerkezetek (hidak, hajók, tartályok) rideg törése sok súlyos katasztrófa kiváltó oka volt főleg a huszadik század második harmadában. A jelenség lényege, hogy a szerkezeti elem látszólag átmenet (előzmények) nélkül eltörik el, mert az anyagában minden esetben jelenlévő kezdeti repedések – a statikus teherbíráshoz képest – kismértékű, de sokszor ismétlődő terhelés hatására lassan, észrevétlenül növekednek a kritikus repedéshossz eléréséig, aztán a repedéshossz növekedése felgyorsul, és akár másodpercek alatt bekövetkezik a szerkezet törése.

A rideg törés jelenségének felismerése óta igen sok tapasztalat és elméleti eredmény született, melyek a törésmechanika tudományában összegződnek. A törésmechanika a kontinuum-mechanika része, amely a repedésszerű hibákat tartalmazó szilárd testek külső hatására bekövetkező várható viselkedését tárgyalja. A törésmechanikai tárgyalásmód két mozzanata a repedéscsúcs környezetében kialakuló (alakváltozásai, feszültségi, energetikai) mezők leírása és a repedés stabilitási kritériumainak meghatározása a választott modellben.

Mindezeket alapján beszélhetünk a törés matematikai elméletéről és a mérnöki megközelítéséről. Mindkét esetben modellt kell alkotni a törés folyamatának leírására. Ha egy szilárd testben repedésszerű hiba van és ezt a testet külső hatás éri, akkor a repedés csúcsa előtt keletkezik egy olyan tartomány, amelyben nagyon intenzív károsodás következik be, és – az anyagra és állapotára jellemző kritikus értékű károsodásnál – lokális törés következik be. A törés jellemzője a repedésfelület növekedése, vagyis új repedésfelületek keletkezése.

A repedés környezetének legegyszerűbb (legkonzervatívabb) elemzési módja az, amikor feltételezzük, hogy a repedéscsúcson közvetlen környezetében rugalmas alakváltozási, feszültségi mező alakul ki (Ian Naismith Sneddon, Crack problems in the classical theory of elasticity). Ebben a modellben a repedés csúcsának környezetében a klasszikus rugalmasságtani elvek alapján számított feszültségmező  $\sigma_{ij} = (K / \sqrt{2\pi r}) \cdot f_{ij}(\Theta)$  a kifejezéssel számítható, ahol  $K$  az ún. feszültségintenzitási tényező,  $r$  a repedéscsúcstól mért távolság;  $f_{ij}(\Theta)$  a kiválasztott pontba mutató vektor és a repedés síkjával bezárt  $\Theta$  szögtől függő geometriai tényező.

A feszültségintenzitási tényező olyan invariáns mennyiség, amely függ a repedés hosszától, a repedésfelületre ható terhelés nagyságától és típusától (húzó, nyíró, csavaró). Ennek számítására alkalmas (többnyire meglehetősen bonyolult) összefüggések a gyakorlatban előforduló szinte minden szerkezeti elemre és terhelési módra rendelkezésre állnak kézikönyvekben, és újabban adatbázisokban. Például egy hengeres héjban (cső) levő átmenő repedés (1. ábra) esetén a viszonyokat az 1. táblázatban foglaltuk össze.



1. ábra Belső nyomással és hajlítással terhelt csőben levő átmenő repedés.

*Geometriai adatok:*

$R_i$  – sugár

$2a$  – repedéshossz

$t$  – henger falvastagság

*Terhelési adatok:*

$\sigma_b$  – hajlítófeszültség

$p$  – belső nyomás

$\sigma_m$  – a belső nyomásból származó membránfeszültség

*Feszültségintenzitási tényező*

$$K(a) = (F_0 \sigma_m + F_1 \sigma_b) \cdot \sqrt{\pi a}$$

$$\sigma_m = p / (R_0 / R_i)^2 - 1$$

$$\xi = 0,3$$

$$R_0 = R_i + t / 2$$

$$\tau = 1 / \sqrt[4]{12 \cdot (1 - \xi^2)} \cdot \sqrt{t / R_0}$$

$$\alpha = a / R_0 \quad \delta = \alpha / (2\tau)$$

$$\beta = 1 + (\pi / 16) \cdot \delta^2 - 0,0293 \cdot \delta^3, \text{ ha } \delta \leq 1$$

$$\beta = (\sqrt{8} \cdot \delta / \pi)^{0,5} + (0,179 / \delta)^{0,885}, \text{ ha } \delta > 1$$

$$\mu = \frac{\sqrt{2}}{1 / \operatorname{tg}((\pi - \alpha) / \sqrt{2}) + \sqrt{2} / \operatorname{tg} \alpha}$$

$$F_{k0} = 1 + \mu \cdot (1 - \alpha / \operatorname{tg} \alpha) / 2\alpha$$

$$I_0 = (\sqrt{8} \cdot (F_{k0}^2 - 1) + \pi \cdot \beta^2 / \delta) \cdot \alpha^2 / \tau$$

$$F_0 = \sqrt{I_0} / (2\pi\alpha)$$

$$F_{k1} = 1 + \frac{\mu}{4} \cdot \left( \alpha + \frac{\alpha}{\operatorname{tg}^2 \alpha} - \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} \right) \cdot \frac{\sin \alpha}{\alpha}$$

$$I_1 = (\sqrt{8} \cdot (F_{k1}^2 - 1) + \pi \cdot \beta^2 / \delta) \cdot \alpha^2 / \tau$$

$$F_1 = \sqrt{I_1} / (2\pi\alpha)$$

1. táblázat A  $K$  feszültségintenzitási tényező számítása belső nyomással és hajlítással terhelt csőben levő átmenő repedés esetén.

Az összefüggésekre pillantva látható, hogy egy kilyukadt cső várható viselkedésének megállapításához sok és bonyolult számolás szükséges. A gyakorlatban a következő tipikus (jelentős gazdasági következménnyel járó) kérdések vetődnek fel:

- Mennyire veszélyes ez a repedés?
- Mennyire érzékeny ez a repedés a repedés detektálása során alkalmazott módszerek megbízhatóságára?
- Milyen lesz a kritikus, a törést okozó repedés mérete?
- Hogyan változik ez a kritikus repedéshossz a repedésterjedéssel szembeni ellenállás, mint anyagjellemző megbízhatóságával?
- A számítási eredmények mennyire érzékenyek a geometriai, a terhelési és anyagi paraméterekre, azaz milyen lehetőségek vannak a biztonság növelésére?
- Ha a terhelés ciklikus, akkor mennyi a maradék élettartam, a berendezés üzemeltethető-e tovább, avagy nem? Ha igen milyen paraméterekkel, ill. milyen lehetőség van a biztonság növelésére?

Tipikus példa a tartályokban levő repedések vizsgálata hazánk jelentős PB gáztároló kapacitásával kapcsolatban: az *üzemeltethető / nem üzemeltethető* döntés meghozatala, vagy egy nagyvállalat (napi több százmillió forint termelési értékű) kompresszoraiban levő repedés várható viselkedése kapcsán a „*leállítandó*” / „*feltételesen üzemeltethető T ideig*” döntés.

A gyakorlati példák sorozatát lehetne sorolni, melyekkel összefüggés mindig igaz, hogy

- A roncsolásmentes, hibafeltáró vizsgálati módszerek folyamatosan és robbanásszerűen fejlődnek a mikroelektronikai, informatikai eszközrendszer fejlődése miatt.
- A korábbi felülvizsgálatok során hibamentesnek vélt szerkezetekben egyre nagyobb valószínűséggel anyagfolytonossági hibákat észlelhetünk, amelyek vagy az üzemeltetés során keletkeztek, vagy az észlelési technika fejlődésével váltak érzékelhetővé.
- Ha egy hibát észleltek, akkor nyilatkozni kell annak veszélyességéről, és meg kell válaszolni azt a kérdést, hogy „üzemeltethető-e tovább a szerkezet vagy nem, ha igen akkor változatlan paraméterekkel, vagy milyen feltételekkel?”

A törésmechanika fejlődése felgyorsult, amikor a számítógépek számolási kapacitása lehetővé tette a mechanikai modellekben felírt bonyolult egyenletek megoldását. A gyakorlatban előforduló szerkezetekre, repedéstípusokra meghatározták a feszültséget a repedéscsúc közelében leíró feszültségintenzitási tényezőt, valamint az anyagra jellemző törési szívósságot (lásd pl. [1-4]). Ezek ismeretében kiszámolható, hogy adott terhelés esetén mekkora a kritikus repedéshossz (a stabil és az instabil repedésterjedés határa), így a szerkezet adott állapota biztonsági szempontból minősíthető annak alapján, hogy az adott  $a$  repedéshosszhoz tartozó  $K$  feszültségintenzitási tényező hogyan viszonyul a törési szívóssághoz ( $K_{lc}$ ). Ennek áttekintéséhez a  $K - a$  függvény ábrázolása szükséges.

A feszültségintenzitási tényező érzékenysége a repedéshossz változására szintén fontos jellemző [5], mivel a repedéshossz változása, illetve a leolvasás hibája ennek függvényében befolyásolja a biztonsági tényező (a  $K$  és a  $K_{lc}$  értékek viszonyának) értékét. A kvázi-statikusan repedésérzékenységi index értékét adott repedéshossz esetén a  $K - a$  függvény deriváltja adja.

A törési szívósság és az ehhez tartozó kritikus repedéshossz statikus terhelés esetén jellemzi a szerkezetet. Mivel a repedés hossza kisebb terhelés esetén is növekszik (stabilan mert a repedés felületének növekedése, valamint a repedéscsúc közelében kialakuló képlékeny alakváltozás felemésztja az energiát), a gyakorlat szempontjából fontos kérdés, hogy adott szerkezet adott repedése ciklikus terhelés mellett mikor (hány terhelési ciklus után) éri el

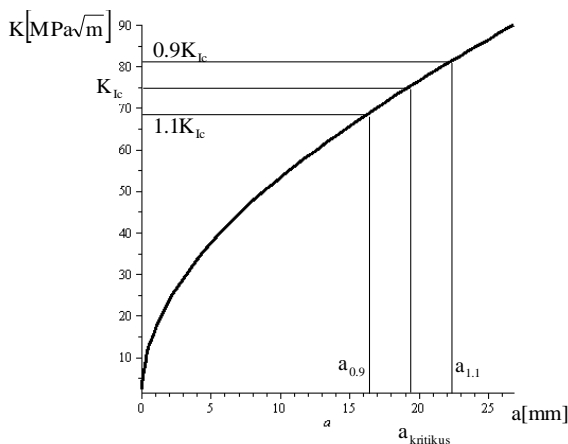


kritikus repedéshosszat, mert a megengedett üzemeltetési idő ez alapján határozható meg [5-7]. A szerkezet geometriájától, terhelésétől és a repedés elhelyezkedésétől, méretétől függően ez lehet néhány nap, de több év is. Ez adja a pontos számítás jelentőségét: ha a repedés veszélyes, akkor a gyors beavatkozással súlyos károkat lehet megelőzni, ha viszont nem az, akkor a tovább üzemeltetéssel lehet a fölösleges veszteségeket elkerülni. A ciklusokban kifejezett élettartam egy, a  $K-a$  függvényt is tartalmazó függvény integrálásával számítható.

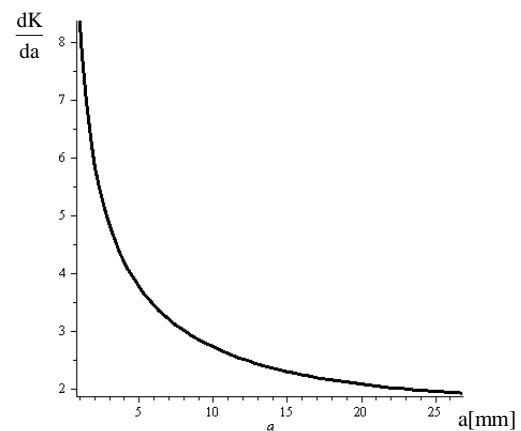
A fent leírt törésmechanikai feladat (belső nyomással és hajlítással terhelt cső átmenő repedéssel) megoldásának lépéseit mutatjuk be.

Az 1. táblázatban megadott formulák alapján képzett  $K-a$  függvénnyel kell a számításokat elvégezni. Az elsődleges feladat a kritikus repedéshossz kiszámítása, és ennek összevetése feltárt repedés hosszával. Ez a  $K(a) = K_{lc}$  egyenlet megoldását jelenti. A vizsgált esetben a megoldás:  $a_{kritikus} = 19,31mm$ . Az értékek áttekintéséhez és értelmezéséhez segítséget jelent a  $K$  függvény grafikonja (5. ábra).

Mivel a törési szívósságot kísérleti úton állapítják meg, a használt érték a tényleges érték becslése. Ezért az aktuális repedéshossz megítélésékor célszerű figyelembe venni a törési szívósságra rendelkezésre álló érték bizonytalanságát például úgy, hogy meghatározzuk a kritikus repedéshosszat a  $0,9 \cdot K_{lc}$  és  $1,1 \cdot K_{lc}$  törési szívósság értékek mellett. A példánkban ezek  $a_{0,9} = 15,84mm$ , illetve  $a_{1,1} = 22,99mm$ . A kapott eredmények úgy fogalmazhatók meg, hogy a törési szívósság értékének  $\pm 10\%$ -os bizonytalanságát feltételezve a kritikus repedéshossz értéke a  $15,84mm - 22,99mm$  tartományban van (5. ábra).



5. ábra Feszültségintenzitási tényező – repedéshossz függvény ( $K-a$ )



6. ábra. Repedésérzékenységi index (a  $K-a$  függvény deriváltja)

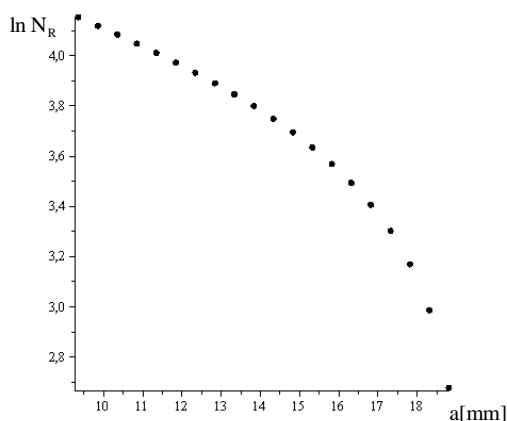
Az állapot megítélésének alapja a repedés hosszának mérése. A mérés pontossága függ a mérés körülményeitől, az emberi tényezőktől és a mérőeszköz pontosságától. Az, hogy a vizsgálat során milyen mérési pontosságot kell biztosítani, a kvázistatikus repedésérzékenységi indextől függ [5-7], ami a  $K-a$  függvény differenciálhányadosa („meredeksége”). Ha a repedésérzékenységi index értéke nagy, akkor kis mérési pontatlanság is jelentősen befolyásolja a feszültségintenzitási tényező számított értékét, így a megállapítás megbízhatósága jelentősen csökken, míg kis repedésérzékenységi index érték esetén a mérési pontosságnak kisebb a jelentősége. A repedéshossztól függő repedésérzékenységi indexet a  $dK/da$  derivált függvény adja (6. ábra).

A szerkezetek terhelése általában nem statikus, például egy olaj- vagy gázvezeték esetén az üzemi nyomás változik a szállított mennyiség (tömegáram) függvényében. A repedések viselkedése a dinamikus (ciklikus) terhelés esetén különbözik a kvázistatikus esettől. Míg a kvázistatikus esetben azt feltételezzük, hogy a repedés csak akkor „indul el”, ha fennáll a  $K > K_{lc}$  feltétel, és akkor rögtön instabil módon terjed, addig a ciklikus terhelésnél (egy bizonyos  $K$  érték, illetve az ennek megfelelő  $a_{th}$  repedéshossz felett) minden egyes ciklusban történik kis mértékű, stabil repedésterjedés. Ez a folyamat addig tart, míg a repedéshossz el nem éri a kritikus értéket, amikor elindul az instabil repedésterjedés. A szerkezet ciklikus terhelés esetén a (ciklusszában kifejezett) maradék élettartammal jellemezhető ( $N_R$ ). Lüktető-húzó terhelés esetén

$$N_R(a_1) = \int_{a_1}^{a_{kritikus}} \frac{1}{C \cdot K(a)^n} da$$

ahol  $C$  és  $n$  az anyagtól és a geometriától függő jellemzők.

A 7. ábra a számított maradék élettartamokat mutatja logaritmus skálán.



7. ábra A ciklusszámban kifejezett élettartam ( $N_R$ ) logaritmus a repedéshossz ( $a$ ) függvényében

A projekt feladatban a fentiekben vázolt lépéseket kell elvégezni a hallgatóknak személyre szabott adatokkal. A feladat része annak elemzése is, hogy csökkentett terhelés mellett hogyan változik a maradék élettartam, ezért a számolásokat újra el kell végezni az új értékekkel is. Amennyiben a maradék élettartam értéke indokolja, ezen eredmények alapján lehet javaslatot tenni az üzemeltetési körülmények megváltoztatására.

A „Törésmechanika alapjai” tárgy keretében már negyedik éve alkalmazzuk a Maple szoftvert, ami kiválóan alkalmas a felmerülő számítások elvégzésére. A számítások elvégzésére más szoftverek is alkalmasak, a Maple esetén azonban nagy előny a szimbolikus számolási képesség.

A „Maple licenc” megszerzése feltétele a feladat kiadásának, ezzel igazolja a hallgató, hogy ismeri és tudja alkalmazni a feladat megoldásához szükséges programozási eszközöket. A projekt feladatok valós szerkezetek vizsgálatára vonatkoznak, adott a geometria, ismertek az anyag és a vizsgálandó hiba jellemzői. Feladat a leírt állapot műszaki megítélése, a „döntés előkészítés”. A szükséges elméletet és a számítási lépéseket a tárgy tananyaga tartalmazza. A számítást és az értékelést a hallgatók prezentáció formájában mutatják be az évfolyam előtt a vizsga részeként.

### 3. PROJEKT MÓDSZER A MÉRNÖKI MATEMATIKA OKTATÁSÁBAN

A műszaki matematika hatékonyabb oktatása érdekében a Debreceni Egyetem Műszaki Karon új módszert fejlesztettünk ki a „Törésmechanika alapjai” tárgy keretében szerzett tapasztalatok alapján. A Matematika I-III tárgyak keretében a hallgatók megismerkednek általános célú matematikai szoftverekkel, a tudásukról számot adnak („licenct” szereznek), ez után műszaki tartalmú, lehetőleg a szakjukhoz kötődő, a matematikai számítások tekintetében összetett projektfeladatok kapnak. A projektfeladatok célja, hogy a mérnökhallgatókban alakuljon ki az érzés, hogy képesek a matematikát alkalmazni akkor is, ha a szükséges számítás számukra „technikai” nehézséget okoz. Ez a megközelítés nem csökkenti a matematika tananyag „hagyományos” feldolgozására irányuló figyelmet, annak kiegészítése.

A módszer fontos eleme, hogy a feladatok valós szakmai problémákon alapulnak, így a gyakorlat a későbbi szaktárgyakban jó eséllyel hasznosulnak. Ezzel remélhetőleg csökken a matematikától való általános idegenkedés, és háttérbe szorulnak „miért kell ezt tanulni” típusú kérdések.

A műszaki problémák projektfeladatként való feldolgozásának néhány példáját mutatja a megjelenés alatt álló „Matematikai szoftverek alkalmazása műszaki számításokban” című tankönyv [8]. Ebben áttekintés adunk a matematikai szoftverekről (Matlab, Mathematica, Maple, Statistica, SPSS, GAUSS, WolframAlpha Pro, Microsoft Office Excel, FreeMat, GeoGebra, Maxima, Octave, R, Scilab, Weka, WolframAlpha, LibreOffice Calc, MS Excel), melyek között vannak ingyenesek és megvásárolhatók, illetve online használhatók és telepítést igénylők. A tankönyvben elsősorban a szabad hozzáférésű szoftverekre alapozunk, annak érdekében, hogy a hozzáférés ne okozzon gondot a felhasználóknak.

A Matematika tárgy oktatásának a műszaki problémák megoldását támogató módon való kiegészítése a matematikai szoftverek bevonásával elfogadott a Debreceni Egyetem Műszaki Karán. A Kari Tanács (2015. június 4-én) határozatba is foglalta, hogy „támogatja a Műszaki Alaptárgyi Tanszék által koordinált munkát, és azt, hogy a műszaki tanszékek együttműködnek a szakterületi jellegzetességeknek megfelelő szoftverek kiválasztásában, a matematika keretében kezelhető alkalmazások összegyűjtésében, szakmai támogatást nyújtanak a feladatok megfogalmazásában, és hasznosítják a hallgatók megszerzett ismereteit.”

A napi munka keretében a projektfeladatok köre folyamatosan bővül, az új módszer bevezetésnek hatása remélhetőleg érzékelhető lesz a hallgatók szaktárgyakban mutatott teljesítményében.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FORMAN, R.G., HICKMAN, J.C., SHIVAKUMAR, V.:** *Stress-Intensity Factors for Circumferential Through Cracks in Hollow Cylinders Subjected to Combined Tension and Bending Loads*, Engineering Fracture Mechanics 21, No.3 (1985), 563-571
- [2] **TADA, H., PARIS, P.C., IRWIN, G.R.:** *The Stress Analysis of Cracks Handbook*. Del Research Corp., Hellertown, Pa., U.S.A. 1973.
- [3] **ROOKE, D. P., CARTWRIGHT, D. J.:** *Compendium of Stress Intensity Factors*. Her Majesty's Stationery Office, London. 1976.
- [4] *Stress Intensity Factors Handbook*. Edited by Y. Murakami, Pergamon Press, 1987.
- [5] **SZÚCS, N., TÓTH, L., SZÁVAI, SZ.:** *Repedés terjedési érzékenység index*, Anyagvizsgálók lapja, 2008/2, 66-71.
- [6] **TÓTH, L.:** *A computer aided assessment system of reliability cyclic loaded construction elements having flaws*. Proc.1st Int. Conf. on Computer-Aided Assessment and control of

- Localized Damage. Portsmouth, UK., Springer-Verlag, 1990, Vol.1. 39-53.
- [7] **TÓTH, L.:** *Reliability Assessment of Cracked Structural Elements under Cyclic Loading. in Handbook of Fatigue Crack Propagation in Metallic Structures.* Edited By A. Carpinteri. Elsevier. 1994. 1643-1683.
- [8] **KÉZI, CS.G., SZÍKI, G.Á., VÁMOSI, A., VINCZÉNÉ VARGA, A.** (szerk. Kocsis, I.): *Matematikai szoftverek alkalmazása műszaki számításokban* (megjelenés alatt)

## ORTOFOTÓK MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA ERDŐHATÁROK GEODÉZIAI FELMÉRÉSE ALAPJÁN

### STUDYING THE RELIABILITY OF ORTHOPHOTOS ON THE BASIS OF THE GEODESIC SURVEY OF FOREST BORDERS

Varga Zsolt<sup>1</sup>, Czédli Herta<sup>2</sup>, Bíró János<sup>3</sup>, Fekete Ákos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>tanársegéd, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, e-mail: [v.zs.ferenc@gmail.com](mailto:v.zs.ferenc@gmail.com)

<sup>2</sup>docens, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, e-mail: [hzedli@gmail.com](mailto:hzedli@gmail.com)

<sup>3</sup>tanársegéd gyakornok, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, e-mail: [gisparkbt@gmail.com](mailto:gisparkbt@gmail.com)

<sup>4</sup>csoportvezető, Geodéziai és Térképészeti ZRT., e-mail: [feketeakos9@gmail.com](mailto:feketeakos9@gmail.com)

**Kivonat:** Az állami földmérés az ortofotókat többek között különféle adatbázisok létrehozására és térképfelújításokra használja. Így például, a légifelvételek képezik az alapját a mezőgazdasági parcellaazonosító rendszernek (Mepar), a térinformatikai szőlőültetvény regiszternek (VinGIS), a földhivatalok által végzett kataszteri ellenőrzéseknek valamint a topográfiai térképek felújításának is.

Az ortofotók alkalmazása előtt azonban ismernünk kell, hogy a felhasználandó felvételekből nyert adatok milyen várható pontossággal rendelkeznek, s így eleget tesznek-e az elvégzendő feladat pontossági követelményeinek, esetleg elmaradnak attól vagy adott esetben jelentősen meghaladják azt. A vizsgált munkaterületen a terepen mért, valamint az ortofotókról digitalizált poligonok összehasonlítását végeztük el. Jelen vizsgálatunkban kizárólag az ortofotókon szereplő erdőhatárok pontatlanságaival foglalkozunk. Tanulmányunkban arra kívánunk rávilágítani, hogy az általunk alkalmazott vizsgálatok közvetlenül felhasználhatók az erdők területeinek lehatárolásához, a faállományok elemzéséhez és tervezési-kutatási munkákhoz, illetve az alkalmazott módszerrel kapott eredmények sikeresen használhatóak az ortofotókon lévő poligonok, foltszerű alakzatok pontosságának meghatározásához is.

**Kulcsszavak:** felszínborítás változásai, erdőhatárok, digitalizálás, ortofotó, trimble R6

**Abstract:** National land-measurements use orthophotos for establishing various databases and renewing maps. For example, aerial photos give the basis of the agricultural parcel identification system (Mepar), the geoinformatic vineyard register, cadastral controls made by land register offices and the renewal of topographic maps as well.

Prior to using orthophotos, the expected accuracy of the data obtained from the orthophotos have to be assessed in order to decide whether they are accurate enough for the requirements of the task to be performed or they exceed or stay below them significantly. Comparison of the polygons of field survey and that of orthophoto digitization was performed. In the present paper only the accuracy of forest borders on the orthophotos is studied. Analyses performed in the paper can be used directly to define the area of forests, to analyse the standing timber and for planning and research. Results obtained from the applied method can be used successfully to determine the accuracy of polygons and patches present on the orthophotos.

**Keywords:** landscape changes, forest borders, digitization, orthophoto, Trimble R6.

## 1. BEVEZETÉS

Magyarországon a nemzetgazdasági célok illetve az EU kötelezettségek megvalósítása érdekében országos légifényképezéseket végeztek [1],[2]. A légifényképek alapján állították elő a felvételezett terület ortofotóját. Ez tulajdonképpen a terület térképe ( ortofotó-térképe) , melyről vízszintes adatok nyerhetők. Ahhoz, hogy az ortofotó előállítását végre lehessen hajtani, ismerni kell, a légifelvételek külső és belső tájékozási elemeit illetve a terep magassági adatait is. Az ortofotók tényleges pontosságát ugyanis a tájékozási adatok, a digitális domborzatmodell (magassági adatok) pontossága és az ortofotó felbontása (pixel

mérete) határozza meg. [3] Jelen vizsgálatunkban kizárólag az ortofotók alapján meghatározható erdőhatárok pontosságával foglalkozunk.

Az állami földmérés az ortofotókat térképfelújításokra és különféle adatbázisok létrehozására használja. Így például a teljesség igénye nélkül, a légifelvételek képezik az alapját a mezőgazdasági parcellaazonosító rendszernek (Mepar), a térinformatikai szőlőültetvény regiszternek (VinGIS), a földhivatalok által végzett kataszteri ellenőrzéseknek.

De használhatóak a felvételezés időpontjához rögzítetten a szántóföldi növények, szőlő, gyümölcsösök állapotának felmérésére, talajerózió lehatárolásra, belvízkárok kimutatására, erdő területek lehatárolására, erdő területen belüli faállomány meghatározására, a tényleges erdő területek és a jogi állapot összevetésére egyaránt. Bár az erdőterületek változásainak vizsgálatára elsősorban űrfelvételeket használnak. Ennek oka, hogy légifelvételezés minden egyes évben nem terjedt ki az ország teljes területére, hanem évenként más-más országrészek kerültek fényképezésre. A Földmérési és Távérzékelési Intézet a 2000, 2005, 2007-2013 években készült ortofotókat tartja nyilván az egyes országrészekről.

A kutatást egy 144 km<sup>2</sup>-es területen végeztünk. A kutatási terület, löszös síkság. (N 47° 38' 11" – N 47° 44' 52"; E 21° 29' 48" – E 21° 39' 41" (1. ábra)



1. ábra A digitalizált erdőhatárok elhelyezkedése a vizsgált légifelvételen

A nagy felbontású digitális távérzékeléses felvételek lehetőséget teremtenek nagyobb területek összehasonlító értékelésére, ami a terepi interpretációk idő-és költségigényét figyelembe véve kiemelt szempont. A természeti környezet, az ökológiai adottságok kedvező szinten való fenntartásában vagy helyreállításában az erdőnek potenciálisan kiemelt szerepe van.

Az erdők növekedésének értékelése során [5] figyelembe kell vennünk, hogy az ökoszisztéma nyílt dinamikus rendszerként értelmezhető, így működése a külső tényezők folyamatos változásától függ. Az életközösségek és populációk szintjén megvalósuló stabilitást a rendszer identitásának fenntartása határozza meg. A vizsgált területen

elhelyezkedő társulás tehát akkor is stabil maradhat, ha külső hatásra (klímaváltozás, talajviszonyok, csapadékellátás stb.) valamilyen állapotváltozáson megy keresztül.

## 2. MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK

Mindkét munkaterületen a terepen mért, valamint az ortofotókról digitalizált pontokat, vonalakat, poligonokat hasonlítottuk össze. A területekről készült felvételek közül a legnagyobb felbontású ortofotókat elemeztük, így a 2000., 2005., 2006. és a 2007. évben készített 0,5 m/pixel felbontású valamint a 2011-ben készült 0,4 m/pixel felbontású felvételek képezték a vizsgálat tárgyát.

A vizsgált területeken a geodéziai meghatározást statikus mérési módszerrel hajtottuk végre. A terepi mérések során meghatározásra kerültek a kutatási területeken lévő erdőhatárok töréspontjainak Egységes Országos Vetületbeli (EOV) koordinátái. A munka terület felmérése 2012 év nyarán, Trimble R6 kétfrekvenciás GPS vevővel történt. A mérés során az erdők lombkoronáinak merőleges vetületei kerültek meghatározásra. A GPS méréshez szükséges korrekciókat a FÖMI által üzemeltetett debreceni permanens állomás szolgáltatta. A légi felvételek vektorizálása, a terepi mérések feldolgozása és dokumentálása ITR5, ArcGIS és Microsoft Excel 2010 szoftverekkel történt. A digitalizált és mért vízszintes koordináták felhasználásával számítottuk az eltérések összegét, az eltérések négyzetének összegét, az átlagos eltérést, a Gauss-féle négyzetes eltérést, az eltérések szórását, mediánját, minimális, maximális eltéréseket, a hibaterjedelmet és a t-próba kritikus értékét egy várható értékre. Az ehhez szükséges számításainkat a Maple 15 matematikai szoftver segítségével végeztük. Ahhoz, hogy a kutatás eredményeinek alapját képező mérési eredmények pontossága is bizonyított legyen, szükség van a felmérés során alkalmazott műszer pontosságának ellenőrzésére is.

A vizsgálat során felhasznált referenciapont pontosságának vizsgálatát a munkaterületen elhelyezkedő vízszintes alappontok meghatározásával végeztük el, amely alapján megállapítható, hogy az alkalmazott hálózati RTK megoldással mekkora dx és dy koordináta eltérésekkel kell számolnunk. Az ortofotó digitalizálását EOV vetületi rendszerben, 1:600 és 1:700 közötti méretarányokban végeztük. Ennek oka az volt, hogy 1:1000-tól kisebb méretarány esetén már a poligonok kisebb töréspontjai sem voltak láthatóak, az 1:500-tól nagyobb méretarányban való digitalizálás pedig a kép pixelesedése miatt volt pontatlan.

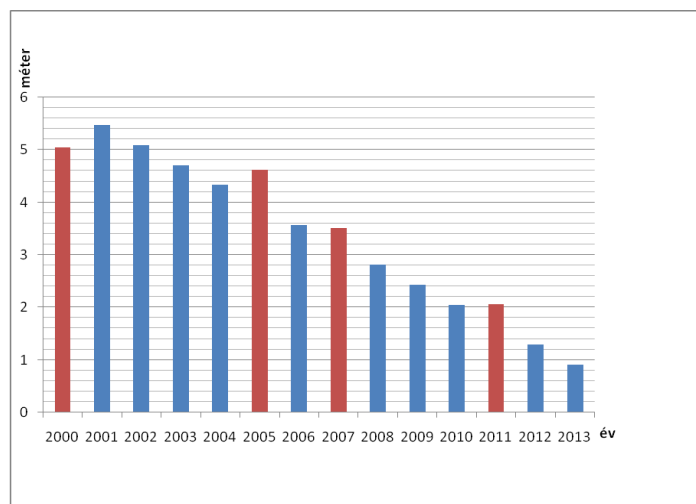
A különböző években készült ortofotók vizsgálatát úgy végeztük, hogy a légifelvétel tartalmát képező poligonokat, digitalizáltuk és adatbázisba szerveztük. Ugyanezeket a pontokat, vonalakat, poligonokat a terepen ugyanabban a koordináta rendszerben GPS technikával megmértük. A digitalizált és a terepi eredmények összevetése után azt határoztuk meg, hogy egy felszínborításra vonatkoztatva mekkora a pontossága és a megbízhatósága a vizsgált ortofotónak. Ezek után az eredmények felhasználásával meghatároztunk egy függvényt, annak érdekében, hogy a hiányzó (2000-2013 időintervallumba eső, de rendelkezésünkre nem álló) felvételek pontosságait is meg tudjuk határozni. A számításaink eredményeinek ellenőrzésére egy a vizsgálatban nem szereplő ortofotót (2006 év) használtunk fel. Ennek okai egyrészt, hogy a 2006-os ortofotó a vizsgált időintervallum közepén helyezkedik el, másrészt ez az egyetlen egy légifelvétel amely egy másik szolgáltatótól került beszerzésre, így a felvétel független a vizsgált felvételektől.

## 3. EREDMÉNYEK

A felhasznált referencia hálózat megbízhatóságának vizsgálatához a kutatási területen lévő 3 alappont koordinátáit mértük meg. Az ellenőrző mérések során, számítottuk a dx és dy koordináta eltéréseket. Az eltérések értéke a kutatás során alkalmazott egyik műszer esetében sem haladta meg a  $\pm 5$  cm-t, így megállapítottuk, hogy a referencia pont pontossága a

vizsgálatot érdemben nem fogja befolyásolni, hiszen az eredmények ideális esetben is méteres nagyságrendűek lesznek.

A vizsgált években a kutatási területekre vonatkozó terepi felmérés és digitalizálás lineáris eltérései normális eloszlásúak (2. ábra). Az ábrán egy Gauss haranggörbe felét mintázó sorozat látható, ez azért van így, mert a pontosságot a hibák abszolút eltérései alapján határozzuk meg, ezért nincs negatív tartomány a diagramon, ebből adódóan csak egy fél görbét láthatunk.



2. ábra A terepen mért és a digitalizált pontok koordinátái közötti eltérések a darabszámok függvényében a vizsgált években, mindkét mintaterületen

Ezen különbségek felhasználásával statisztika vizsgálatokat végeztünk. Elemzéseink segítségével az alábbi következtetéseket vonhatjuk le: Az átlagos abszolút eltéréseket vizsgálva, látható, hogy évről évre egyre „jobbak”, megbízhatóbbak az ortofotók, hiszen a vizsgált átlagos eltérések időben szigorúan monoton csökkenő sorozatot alkotnak.

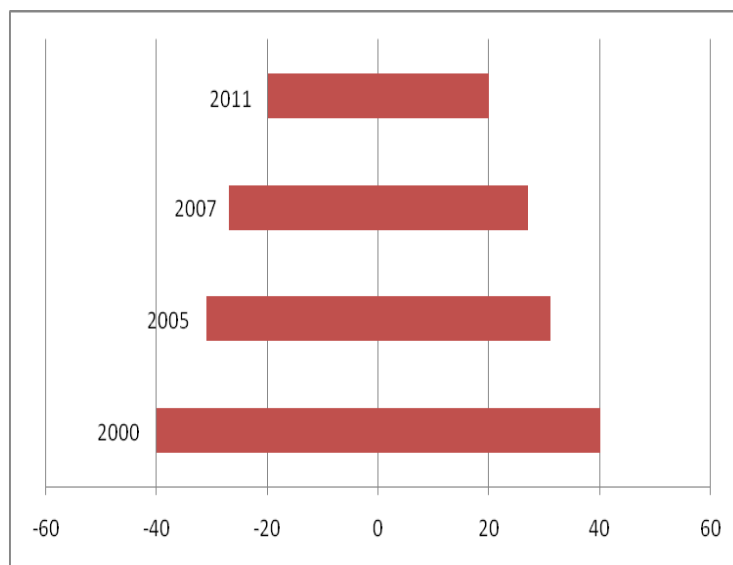
A variancia (szórásnégyzet) vizsgálatakor megfigyelhető, hogy időben előrehaladva egyre kisebb a szórás, azaz az átlagtól való négyzetes eltérés folyamatosan csökken, tehát egyre több mintaelem van az átlaghoz „közel”, egyre kevésbé „szóródnak” az értékek, így a megbízhatóság nő. A vizsgált ortofotók 2000 és 2011 évek közötti időszakban készültek, azonban a kutatás során csak a 2000, 2005, 2007, 2011 évek felvételei álltak rendelkezésünkre. Így az előbbi évek mérési eredményei alapján becslést adunk arra vonatkozóan, hogy a hiányzó (2000-2004, 2006, 2008-2010, 2012, 2013) években milyen átlagos abszolút eltérést feltételezhetünk.

A módszer lényege, hogy az adataink között lineáris kapcsolatot feltételezve, meghatározzuk azt az egyértelműen létező egyenest, melynek a meglévő pontoktól vett távolságának négyzetösszege minimális.

Megfigyelhető az 1. táblázat alapján, hogy a várható értékek a 2000. évtől folyamatosan csökkennek, tehát a pontosság lineárisan növekszik. Ennek oka az, hogy a terepi mérés előtti években készített légifelvételeken a felszínborítás eltér a mérés évében lévőétől. A mérések azt támasztják alá, hogy a légifelvételeken leképződött erdők lombkoronája vízszintes értelemben folyamatosan nőtt. A terepi felmérés 2012-ben készült, így az ezektől eltérő években készült ortofotók esetén a felszínborítás változásaival is számolnunk kell. A geodéziai felmérés éveiben készült felvételek digitalizálásából határozható meg az adott felvétel pontossága, hiszen ezeken a felszínborítás változásaiból eredő hibák elhanyagolhatóak. Az erdészeti szolgálatoknak, erdőgazdaságoknak nem áll rendelkezésükre olyan információ, amely alapján megállapítható lenne az egyes fajok lombkoronájának vízszintes irányú változása egy adott



évre vonatkozóan. Ilyen jellegű kutatások sem ismeretesek. Ennek ellenére a vizsgálati eredményekből a terepi mérés évtől eltérő években is meghatározható az erdőhatárok digitalizálásának pontossága, de ez a mérőszám tartalmazni fogja a felszínborítás változásait is. Vagyis ha megvizsgálunk egy 2013 évben készült ortofotót, úgy annak pontossága, erdővel foltszerűen tagolt területeken, ahol a határok vizuálisan jól azonosíthatóak 0.9 m, olyan területeken ahol egybefüggő erdők találhatóak, körbezárt tisztásokkal, nehezen azonosítható új telepítésű erdőkkel, ott az erdőhatárok interpretációja is jóval nehezebb. Az ortofotók megbízhatósága (várható értéktől való eltérése) a terepi felmérés éve felé közeledve, évről évre javul (3. ábra).



3. ábra Megbízhatóság (cm-ben), vizsgált értékenként

A 2011. évben a megbízhatóság mindkét munkaterületen eléri a +/- 0.2 m-es értéket, míg ez az érték a kétszeresére nő a vizsgált legrégebbi felvételek esetén, tehát +/- 0.4 m. A hiányzó értékek (évek) számítási eredményeinek ellenőrzésére egy független szolgáltató által készített, a vizsgált idősor közepén lévő, 2006-ban készült ortofotót használtunk fel. Az ellenőrző vizsgálat eredménye 95%-os konfidencia szinten (-0,28) – (+ 0,28) várható értéktől való eltérést és 3,90 m várható értéket mutatott. A 2006-os ortofotó megbízhatósága tehát 3.6 m – 4.2 m között van. Az ugyanerre az évre a függvényből számított érték pedig 3.6 m pontosságot mutat. Megállapítható tehát, hogy a mért értékekre illesztett függvény a vizsgálatban nem szereplő évekre is megbízható eredményt ad.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgáltuk, hogy milyen eltérések adódnak egy ortofotóról meghatározott vektoros állomány és egy geodéziai módszerrel meghatározott vektoros állomány között. A vizsgált ortofotók digitalizálásainak megbízhatóságai, pontosságai mindig a vizsgálat évében készült felvételeknél a legjobbak. Ez azt jelenti, célszerű az erdőhatárok vektorizálásához mindig a tárgyévhez legközelebbi (legfrissebb) felvételt alkalmazni, hiszen az ettől korábban készült ortofotók a felszínborítás változásaiból fakadó hibákat is tartalmazni fogják. Megállapítható továbbá, hogy egy síkvidékről készített 0.5m/pixel felbontású felvétel esetén az erdőhatárok vektorizálása 1.29 m pontossággal és +/- 0.2 m megbízhatósággal végezhető el 95%-os konfidencia szinten, ha a területen az erdők foltokban helyezkednek el és intenzív erdőgazdálkodás nem folyik a területen.

A vizsgált ortofotók (2000, 2005, 2007, 2011 évek) várható értékei alapján számított függvény alkalmazásával meghatározható a rendelkezésünkre nem álló (2001-2004, 2006, 2008-2010, 2012, 2013 évek) 0.5m/pixel felbontású felvételein szereplő erdőhatárok digitalizálásának várható pontossága, megbízhatósága is. A vektorizálással párhuzamosan minden esetben szükség van terepi ellenőrző mérésekre. Az eredmény hasznos lehet minden olyan területen, ahol a fenti megbízhatóság elegendő a tervezési, vizsgálati, kutatási munkákhoz. Ezáltal a terepi felmérés költsége jelentős mértékben csökkenthető.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **IVÁN, GY., WINKLER, P., REMETÉY-FÜLÖPP, G.** (2003) *The hungarian digital orthophoto database as a basis for 3D visualisation of world heritage sites in Hungary*- The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX.
- [2] **WINKLER P., IVÁN GY.** (2003). *The Hungarian Digital Orthophoto Database as a basis for 3D visualisation of World Heritage Sites in Hungary*. 23rd EARSeL Symposium, 2-5 June, 2003, Gent, Belgium.
- [3] **MÉLYKÚTI G.:** *Fotogrammetria- BMEEOFTAG12 segédlet a BME Építőmérnöki Kar hallgatói részére*. HEFOP/ 2004/ 3.3.1/ 0001.01, 2007. pp. 3-122.
- [4] <http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf>
- [5] **KARABURUN, A.** (2009) *Estimating Potential Erosion Risks in Corlu Using the GIS-Based RUSLE Method*, Fresenius Environmental Bulletin 18(9a), 1692-1700.
- [6] **MOZGERIS, G.** (2004) *Interpretation criteria of orthophotos, used in forest inventory*. *Transactions of Lithuanian Forest Institute and Lithuanian University of Agriculture. Silviculture 1* (55), 49-59. [in Lithuanian].
- [7] **SPRADLEY, L. H.** (1996) *Costs of softcopy orthophoto bases for GIS projects*. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 51 (4), 182–187.

# NAPENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE, AVAGY NINCS ÚJ A NAP ALATT

**Kovács Ágota**

BSc hallgató  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék  
4028, Debrecen, Ótemető utca 2-4  
kovacs.agota94@gmail.com

**Kivonat:** Dolgozatomban a napenergia-hasznosítás történetét tekintem át az ókortól napjainkig. A Nap már a korai civilizációknál is központi szerepet töltött be. Nemcsak Istenként imádták, hanem megpróbálták az energiáját csapdába „ejteni”, hasznosítani. Az ókorban számos, ma már elfeledett eszközt használtak arra, hogy a nap segítségével fűtsenek, világítsanak vagy akár gyógyítsanak. A középkor-néhány évszázados visszaesés után - újra felfedezte az antik kultúrát és technikáját. A napenergia hasznosításának lehetősége számos tudóst megragadott. Az ipari forradalomtól a napenergia kutatás és hasznosítás területén egy nagyarányú felívelés következett be, amelynek még nagyobb lendületet az 1973-as olajválság adott.

**Kulcsszavak:** Napenergia, Nap, Napenergia története

**Abstract:** In my dissertation I review the history of solar energy use from ancient to the present time. The Sun already played a central role in the early civilizations' lives. Not only they worshipped it as God, but also tried to „trap” the energy and use it their own interest. In ancient times, many tools were used to heat, light and even heal with the help of the Sun. The Middle Ages – after several centuries of decline – discovered the ancient culture and technique again. The possibility to utilize solar energy impressed many scientists. From the industrial revolution in the field of solar energy research and utilization a large-scale upswing occurred which was given an even greater impulse by 1973 oil crisis.

**Keywords:** Solar energy, Solar, history of Solar energy

## 1. BEVEZETÉS

A Föld legnélkülözhetlenebb energiaforrása a Nap. A Napban lévő folyamatok összetettek, a belsejében állandóan energia szabadul fel, amely sugárzás útján távozik. Ez az egyetlen olyan energiaforrásunk, amely még több milliárd évig rendelkezésünkre fog állni. A napenergia tudatos használata több ezer éves múltra tekint vissza. Már a neolitikumban a napon szárította az ember a vályogtéglaírt illetve agyagedényeit. Az évezredek folyamán egyre tudatosabban aknázták ki a nap melegét. Segítségével tüzet gyújtott, melegen tartotta otthonát, elkészítette ételeit, fényt varázsolt épületeibe, felhasználta a fémek olvasztására és gépek hajtására.

## 2. AZ ÓKORI CIVILIZÁCIÓK NAPENERGIA-HASZNOSÍTÁSA

A régvolt korok társadalmaiban központi szerepet töltött be a napisten. Az egyiptomiak Amon-Ra-nak, a babilóniaiak Samasnak, az indiaiak Savitrinak, a görögök Héliosznak hívták, a japánok Amaterasunak. Kínában több napisten volt ismeretes. A közép-amerikai civilizációknál is a Nap volt a vallás meghatározója. Tiszteletére szentélyeket, templomokat építettek, himnuszokat írtak róla.

A Nap energiáját egyrészt passzív módon, alapvetően építészeti eszközökkel (épület tájolása, az árnyékolási megoldások és a felhasznált építőanyagok) másrészt aktív módon, a napsugarak befogására kialakított eszközök segítségével hasznosították.

## 2.1. Passzív napenergia hasznosítás

A korai civilizációk építőmesterei jelentős csillagászati ismeretekkel rendelkeztek, épületeiket a Nap járásának megfelelően tájolták, figyeltek az épületek egymástól való távolságára, magasságára [1]. Az ókori kínai, japán, koreai népek, vagy a görögök az épületeik ablakait úgy helyezték el, hogy azok a déli irányba nézzenek és a Nap egész nap besüssön rajtuk. Így megoldották a helyiségek világítását, illetve kihasználták a téli napsütés erejét [2]. Szókratész (i.e. 469 – i.e. 399) szerint „a jó lakóház nyáron hűvös, télen meleg.” E célból kifejlesztett egy szolárházat, a Megaront, amely egy főtéréből és egy árnyékolt előtérből állt. Az épület a déli irány felé nyílt, így a hideg évszakokban az alacsonyabb napmagasság mellett a lakótér nagy tömegű belső falait és burkolatát a napsugárzás felmelegítette, és e szerkezetek hőtárolása révén a belső teret kellemesen temperálta. A nyári magasabb napállásoknál a lakóhelyiség előtti fedett terasz védte a lakóteret a túlmelegedéstől [3].

A passzív napenergia hasznosításában áttörést jelentett az ablaküveg használata, amely az ókori rómaiak nevéhez fűződik. Korábban az ablakokra állati bőrt vagy bédarabot feszítettek. A gazdagok palotáikban vékonyra csiszolt márványlemezt vagy hasított csillámot használtak [4]. Ez azzal járt, hogy az épület belseje sötét lett, a belső terekben csak a tűz adott fényt. A rómaiak a nagy üvegtáblákat elsősorban a fürdőtermek tetővilágítására használták, valamint növényházak fedésére. I.sz. 100 körül kisebb, hengerelt üvegtáblácskákat készítettek (a forró üvegmasszát homokkal beszórt lapra öntötték, fogóval nyújtották és hengerrel simították), amelyek előállításuk jóval egyszerűbb és megfizethetőbb lett a módosabb római lakosok számára. A római kori ablaküvegek nem hasonlítottak a mai ablaküvegekre. Egyik oldaluk sima és fényes, a másik pedig durva volt. Színük a világoskék-től a barnás zöldig változott [5]. Magyarországon, Aquincumban is találtak egy ilyen 40x40 cm-es ablaküveget.

A keleti civilizációk az ablakok befedésére papírt használtak [2].

A VI. századi Kelet-Római Birodalomban, állami törvényben (Codex Justinianus) rögzítették a Naphoz való jogot, büntették azt, aki beárnyékolta a szomszédját [1].

## 2.2 Aktív napenergia-hasznosítás

A napsugarak összegyűjtésére már több ezer éve használtak különböző eszközöket. Régészeti ásatások során (pl. a mezopotámiai Ninivében) számos csiszolt kristálylencse került elő, amelyekkel a napsugarakat begyűjtve lángra lehetett lobbantani száraz fűvet, faforgácsot [6]. Az első ismert, megmunkált lencse a kb. 3000 éves Nimrud lencse, amelyet 1850-ben találtak egy asszír palota romjai feltárása közben.

Egyiptomnak már Kr.e. 1350-ben fejlett üvegipara volt és képesek voltak lencséket csiszolni. A British Múzeum egyiptomi gyűjteményében olyan nagyító üvegek is vannak, amelyekkel tüzet is lehetett gyújtani [7].

Az ókori Kínában tűzgyújtásra egy különleges homorú bronztárgyat, a yang sui-t (1. ábra) használták. A tudósok a régi kínai szövegekben több utalást találtak létezésükre, de csak a 1990-es évek közepén akadtak rá erre a különleges szerszámmra. Lu Demming and Zhai Keyong kínai régészek egy kb. 3000 éves sírt tártak fel. A sírban egy csontváz egy tál alakú tárgyat „tartott” a kezében. A tál belső része egy wok-ra hasonlított, a külsején viszont egy fogantyú volt. Miután a régészek a bronztárgyat alaposan megtisztították a lerakódásoktól, a napfény felé fókuszálták. A visszatükröződő napsugarak segítségével szinte másodpercek alatt sikerült egy gyúlékony anyaggal bevont fáklyát meggyújtani. A múzeumok később mintegy húsz tárgyat tudtak napgyújtóként beazonosítani [8].



1. ábra Yang sui

Az ókori Görögországban már több tudós foglalkozott a gyújtótükrökkel, amelyeket szakrális (pl. a Vesta-szüzek, ha az általuk őrzött örök tűz véletlenül kialudt, a Nap felé fókuszáló tükrökkel lobbantották újra, ill. az olimpiai lángot is így gyújtották meg) és hadászati célra is alkalmaztak. Kezdetben a tükrök csiszolt fémből, rézből, bronzból és főként ezüsből készültek, a hátsó felület foncsorozását nem ismerték. A tükröket sokszor kellett újracsiszolni, mert felületük a levegőn oxidálódott, így hamar elhomályosodott.

Hadászati célra a gyújtótükröket először Arkhimédész (Kr.e. 287 – Kr.e. 212) alkalmazta, akinek i.e. 211-ben sikerült felgyújtania a Siracusa-t ostromló római hajóflottát, amely nagymennyiségű kátránnyal és szurokkal volt felszerelve. Erről Titus Livius *A római néptörténete* munkájában ír.

A gyújtótükrök tudományos elméletét elsőként Eukleidész (Kr. e. 300 körül) fénytani művében, a *Katoptrikában* tárgyalta.

Az ókori görögök tudtak üvegszerszámmal sugártörés útján gyújtópontot létesíteni, miként ezt Arisztophanész *Felhők* (Kr. e. 420) című vígjátékában leírta. A darab egyik szereplője egy pontosan beállított gyújtóüveg segítségével a viasztáblára vésett, ellene írt bizonyító iratot akarja megsemmisíteni [9].

A rómaiak szappanbuborék elven működő üvegfúvócsövet fejlesztettek ki, melynek segítségével finom, vékony üvegeket is elő tudtak állítani, pl. üvegtégelyeket, üveggömböket.



2. ábra: Schusterkugel

A vízzel teli üveggömbök gyújtó- és nagyító hatása ismeretes volt a rómaiak előtt [10]. Plinius a *Historia Naturalis*-ban egy vízzel teli üveggömből ír, amelyet a napra tettek és az abban lévő hideg víz felforrt [6]. Ezeket a vízzel teli gömböket fény felé fordították, így kiválóan lehetett használni a tárgyak felnagyításához, (pl. Seneca is így olvasott) a szobabelsők megvilágításához, illetve a kor orvosai sebet is égettek vele. (Ezek az állványra

akasztható, vízzel tölthető üveggömbök, melyeket német nyelvterületen Schusterkugel-nek hívnak, még a múlt században is használatosak voltak a cipésműhelyekben.) (2. ábra).

A világ hét csodájának egyike az alexandriai világítótorony volt. Arab források szerint a torony nem csupán a kikötőbe érkező hajók tájékozódását szolgálta, hanem igen komoly hadászati eszköz is volt. A szerkezet lényege az, hogy a világítótoronyba beépítettek egy hatalmas teleszkópot, mellyel az ellenséges hajók mozgását követték, illetve egy hatalmas lencsét, mely a napsugarakat összegyűjtve és az érkező flotta ellen irányítva, nagy távolságból semmisítette meg az ellenséget. A felégetett hajók nyomára eddig ugyan nem bukkantak Alexandria partjainál, ám az is igaz, hogy nem is kerestek eddig ilyeneket [11].

Az ókor híres gépésze, az alexandriai Heron az i.e. I. században egy olyan szökőkutat szerkesztett, melyet a Nap energiájával működtetett.

### 3. KÖZÉPKOR ÉS A RENESZÁNSZ

A középkor Európában visszaesést hozott a napenergia hasznosítása területén. A Nyugat-Római Birodalom összeomlása után (i.sz.476) a háborúk és a folyamatos népvándorlások miatt jelentős kulturális és gazdasági, valamint technikai hanyatlás következett be.

A VIII. és a XII. század között a tudományos élet, a tudományos tevékenység központjai az Arab Birodalom kalifátusai lettek. Az arabok Egyiptom bevétele (i.sz. 640-642) után megismerve az ott virágzó üveggyártást, üvegedényeket (retorta) készítettek, amelyekben a napsugarak segítségével folyadékokat desztilláltak [12].

A távolsági kereskedelem a középkorban is megmaradt. A különböző használati tárgyak adás-vétele mellett a kereskedők megoszthatták egymással ismereteiket, tapasztalataikat. Így fordulhatott elő, hogy a vikingek a fekete-tengeri népekkel való kereskedéseik során finoman megmunkált optikai minőségű kvarclencsére tettek szert, melyek segítségével kiválóan tudtak tüzet gyújtani. Ezeket az ún. Visby lencsét a balti-tengeri Gotland szigeten található X-XI. századi viking temetőben találták [13].

A XII–XIII. századi Európában nagy változásokat figyelhetünk meg. Megalakultak az első egyetemek, melyek a világi képzési célokat szolgálták. Az arabok által megőrzött és továbbfejlesztett görög tudomány rövid idő alatt visszaáramlott Európába.

A XIII. századi francia Jan de Meun a *Rózsaregény* elbeszélő költeményében több versszakon keresztül foglalkozik a tükrökkel és név szerint megemlíti Alhazen (965-1039) arab tudóst, aki az optikáról írt könyvet, valamint Arkhimédészt. A 18275. versszak a gyújtótükrőről szól:

„Van ám aztán oly tükör is,  
mi egy tárgyat lángba borít,  
ha gondosan tesszük elé,  
hogy vetítse a fényt felé,  
begyűjtve a nap sugarát,  
hogy tüzze azt a tükrön át” [14]

Roger Bacon (1214-1292) angol ferences rendi szerzetes is jól ismerte a tükrök elméletét. Azt javasolta, hogy a keresztes hadak gyújtótükrökkel gyújtsák fel a Szentföldön ellenük induló arab sereget, emiatt eretnokség vádjával börtönbe zárták.

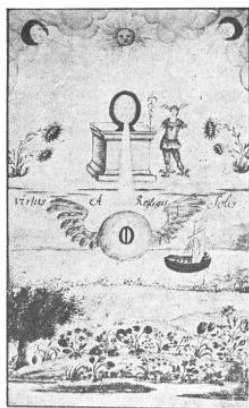
A XIII. századra az üveg- és tükrögyártás központja Velence melletti Murano lett. Itt fejlesztették ki a foncsorozás technikáját: vékony ólomlemezre higanyt öntöttek, amire üveglapot szorítottak. Így jobb minőségű, tartósabb tükröt tudtak előállítani.

A nagy reneszánsz művészt, Leonardo da Vinci-t is foglalkoztatták a tükrök, mint erről a *Tanulmányok homorú tükrök elméletére* 1492-ben keletkezett rajza is tanúskodik.

A kiváló szobrász, festő és ötvös Andrea del Verocchio a firenzei Santa Maria del Fiore Katedrális kupolájára egy rézgömböt készített, amelyet gyújtótükör segítségével forrasztott a kupolához.

Lonicer német kémikus és botanikus 1561-ben megjelent könyvében leírja azt, hogyan kell parfümöt előállítani. A virágokat egy vízzel teli üvegvázába kell rakni, melyet egy gömb alakú tükör fókuszpontjába kell helyezni, a hő hatására desztillációval virágesszenciák keletkeznek [15].

Magyar alkímisták is használták a gyújtóüvegeket és tükröket. Az alkímisták királyának is nevezett II. Rudolf német-római császár, cseh és magyar király prágai palotájában, egy jól felszerelt laboratóriumban végezte kísérleteit. Bethlen Gábor (1613-1629) erdélyi fejedelem is nagy kedvelője volt a tudományoknak. Michael Sendivogius lengyel alkímistával folytatott értekezéseiről leírást készíttetett II. Mátyás királynak. Előkerült egy, a fejedelem kamarása, Csáki Imre gróf által készített kézirat, amely a tinktura universalisról szól és a Sendivogius-féle magnetumokkal (égitestekkel) foglalkozik. A kéziratból megtudhatjuk, hogy a tiszta tűz (napsugarak általi) gyújtásához üveg- vagy homorú acélból készült gyújtótükröket használtak és a napsugarak segítségével is desztilláltak [16].



Üveg-lencsén átvezetett napsugarak és mercur segítségével előállított  $\text{O}$  (nitrum- (sáletromsav.) Symboluma.

3. ábra Részlet Csáki kéziratából

#### 4. ÚJKOR, A NAGY TECHNIKAI ÚJÍTÁSOK

A Nap melegének hasznosítási kérdése az 1600-as években került előtérbe. Nyugat-Európában ekkor terjedt el az üvegházi kultúra. Az Újvilágból rengeteg növényt hoztak be, amelyeket csak üvegházi körülmények között lehetett termelni. Hollandia 1599-ben építette fel az egzotikus növények számára az első üvegházát, míg Magyarországon erre a XIX. század elején került sor Kismartonban.

Az, hogy az üveggel határolt nyílászárók mennyire tartják a hőt, tudományosan a svájci, de Saussure (1740-1799) vizsgálta meg elsőként. 1767-ben egy napmelegét tároló tartályt épített. Készített egy téglalap alakú fadobozt, melybe több réteg üveglapot helyezett úgy, hogy azokat légrés választotta el egymástól. A napra kihelyezve akár 109 °C-os hőmérsékletet is lehetett mérni a fadoboz belsejében. A modern síkkollektorok is az elven működnek [17]. Ezen elvből kiindulva vetette fel Saussure az épületek dupla (kettős) ablakainak használatát.

A tudósok újra érdeklődést mutattak az arkhimédészi gyújtótükrök iránt. A híres magyar természettudós, Segner János András (1704–1777), aki egy időben, Debrecenben orvosként dolgozott, 1732-ben Jénában értekezést írt az arkhimédészi tükrökről *De speculis archimedeis tentamen* címmel [18].

Georges Buffon (1707-1788) francia természettudósnak sikerült először gyakorlatban is

igazolnia Arkhimédészt.1747-ben egy 168 darab (15x15 cm-es) tükörből álló napkemencét készített. A Francia Királyi Kertben 60 méter távolságról kátrányolt fenyő- és bükkfa deszkát lobbantott lánggra [6].

Laurent Lavoisier (1743-1794) francia tudós egyik korai munkájában a napenergia segítségével vizsgálta a levegő összetételét és az oxigént. Lencséből álló, napsugárzás irányába állítható berendezésével 1773 °C-on sikerült platinát megolvasztania. Lavoisier volt az első, aki felhívta a figyelmet arra, hogy a fosszilis tüzelőanyagok egyszer elfogynak a földön és a napsugárzással működő berendezések milyen nagy előnnyel rendelkeznek [20].

## 5. AZ IPARI FORRADALOMTÓL NAPJAINKIG

A 19. század elején egy nagyarányú ipari fejlődés kezdődött Nyugat-Európában, amelyet ipari forradalom időszakaként tartunk számon. A fejlődés élharcosa Anglia volt, Franciaország szűkös szénkészletei miatt hátrányba került.

Mouchot, a francia matematikatanár szerette volna elérni, hogy a hagyományos energiaforrásokban szegény Franciaország iparát a napenergia ipari léptékű hasznosításával lendítsék fel. *La Chaleur solaire et ses applications industrielles* (1869) című művében felhívta a figyelmet, hogy ki kell használni a Nap melegének erejét.

Az Algírban kutató Mouchot az 1878-as párizsi világkiállításra egy olyan gépet épített, amelyet egy napüzemű gőzgép hajtott. A berendezés gőzgépet és szivattyút működtetett, amely óránként több mint 2000 liter vizet szállított. Ugyanezzel a napkazánal alkoholt desztilláltak, ételeket főztek, sőt egy hozzákapcsolt hűtőberendezés segítségével jégkockákat is előállítottak. Mouchot fedezte fel az energiatárolás mindmáig legkorszerűbbnek tartott módját, a vízbontást elektromos árammal. A napközben felszabaduló hidrogén elégetésének eljárásával biztosítható az energiaellátás a fényszegény időkben. Csakhogy időközben a franciák újra a bányászat felé fordultak, nem tartották rentábilisnak a további ráfordításokat a napenergiára, így Mouchot ismét a katedrára állt matematikát tanítani [17].

Angliában Sir Henry Bessemer (1813–1898), az ismert angol acélgyártó 1868-ban egy 100 szegmensből álló, 3 méter átmérőjű tükörrel napkohót készített, amelyet réz és horgany olvasztására használtak [17].

A napenergia hasznosításának kérdése megjelenik a német szocialista teoretikában is. August Bebel *A nő és a szocializmus* művében figyelmeztetett a kőszén kimerülésére és felhívja a figyelmet a Nap melegének és a Föld belsejében lévő hőségnak a felhasználására [20]. Amerikában is voltak törekvések a napenergia hasznosítására. Az első napmotor Ericsson nevéhez fűződik. A fölfogott Nap melegét egy kazánra összpontosította, amely minden tíz négyszögméter besugárzott felület ellenében egy lóerőt szolgáltatott [21]. Különösen a száraz, sivatagos vidékeken, ahol kevés a tüzelőanyag és folyamatosan tűz a nap alkalmazták és fejlesztették tovább Ericsson elgondolásait.

W.G. Adams és R.E. Day tudósok a szilárd szelénben figyelték meg a fotoelektromos jelenséget és megalkották az első szelén alapú napelem cellát. Felfedezésüket 1883-ban *A fény hatása a szelénben* címmel publikálták a *Proceedings of the Royal Society* folyóiratban. Az első működő napelemet 1885-ben Charles Fritts készítette New Yorkban: egy táblára felvitt szelén réteget vékony és félig átlátszó aranyfilmmel vont be. Ezzel már folyamatosan tudott áramot termelni, kb. 1-2 %-os hatásfokkal [17].

A XX. század már jelentős fejlesztéseket hozott, a kor legjelentősebb tudósai foglalkoztak a napenergiával (Einstein, Edison, Tesla stb.). Edison 1931-ben élete végén így fogalmazott: „Minden pénzem a Napba és a napenergiába fektetném. Micsoda energia! Remélem, nem kell kivárnunk, míg az olaj és szén kifogy, mielőtt elérhetjük”[22].

1905-ben megjelent Einstein a fotoelektromos hatásról szóló cikke, amelyért később Nobel díjat kapott. Ezen elven működnek a napelemek.



A mérnököket mindig foglalkoztatta a melegvíz tárolása. Korábban feketére festett tartályokat helyeztek a háztetőkre, amelyekből - napsütéses idő esetén - néhány óra múlva melegvizet nyertek. A probléma csak az volt, hogy éjszakára lehültek. 1891-ben Clarence Kemp Baltimore-ban (Maryland állam) újítást vezetett be: a fekete tartályokat üveglefedésű kazettába helyezte, így az üvegházhatás közbeiktatásával a készülék hőtartása sokkal jobb lett. Ezt a tartályt 1909-ban William Bailey továbbfejlesztette és megalkotta a nagy teljesítményű, éjjel-nappali melegvíz-szolgáltatásra alkalmas („Day and Night” típusú) készüléket. Mindkét mérnök munkássága hozzájárult ahhoz, hogy az 1920-as, 30-as években a napkollektor gyártás virágzó iparág volt Kaliforniában és Floridában [17].

Frank Shuman tervei alapján 1913-ban Egyiptomban, Kairó mellett egy naperőtelep létesült, melynek 73 kW teljesítményével a Nílusból egy gypotültetvényre szállították a vizet [17].

A legtöbb napenergia témában beadott szabadalom a magyar Telkes Mária (1900-1995) nevéhez fűződik, aki az Amerikai Egyesült Államokban dolgozott. Egyik híres találmánya a napenergiával működő tengervíz - sótalanító berendezés, amely segítségével ivóvízzé lehet alakítani a tengervizet. A II. világháborúban nagy hasznát vették ennek az eszköznek azok a pilóták, akiknek a gépe a tengerbe zuhant, de a zuhanást túléltek. Ez a felfújható berendezés minden pilóta életmentő csomagjában helyet kapott. Ezeken kívül tervezett még szolárházat és még hűsítőket is, ami szintén a naptól nyerte erejét [23].

A napenergiában rejlő lehetőségek megragadták a sci-fi írók fantáziáját is. Hugo Gernsback (1884-1967) 1911-ben a *Ralph 124C41* című regényében írta, hogy 2660-ban New York teljes energiaellátását naperómű generátorok fogják biztosítani [24].

A Nap energiája a náci tudósokat is érdekelte. A neves magyarországi születésű rakétatudós, Hermann Oberth 1923-as ötlete alapján egy olyan napfegyvert akartak készíteni, amely az űrből a napsugarakat fókuszálta volna a Föld egy megadott pontjára, hogy felégesse azt. A német hadsereg a Napfegyverrel ellenséges városokat akart felperzselni, illetve az óceán bizonyos pontjait felforralni. [25].

A II. világháború befejezése után az energia-ellátási nehézségek miatt tovább folytatódtak a kutatások. Sajnos nem minden kezdeményezés járt sikerrel. 1946-ban az indiai kormány két gyárat hatalmazott fel, hogy naptűzhelyeket állítsanak elő India 300 millió parasztja számára. Egy éves termelés után csupán 50 tűzhelyet tudtak eladni, mert arra senki nem gondolt, hogy a parasztok fő étkezési ideje este van és az asszonyoknak nem volt kedvük a tűző napon a tűzhely mellett állni [26]. 1955-ben az Arizonában megrendezett konferencián 37 ország több mint ezer szakembere cserélte ki a tapasztalatait a napenergia hasznosításával kapcsolatban [27].

1954-ben a Bell cég laboratóriumában megszületett az – ekkor még kizárólag - szilíciumalapú napelem, amely már képes volt a háztartásban alkalmazott gépek számára elegendő elektromos áramot termelni (ennek a hatásfoka kb. 6 % volt.)

Az űrkutatásban is megjelenik a napenergia: 1958-ban a Vanguard I. műhold 5 MW-os rádióadójának energiaellátására alkalmaztak napelemeket [17].

Az 1950 - 60-as években visszaesett a napenergia iránti érdeklődés az olcsó fosszilis anyagoknak köszönhetően. Áttörést csak a jom-kippuri háború miatt kialakuló 1973-as olajválság hozott, amelynek következtében a nyers kőolaj hordónkénti ára rövid idő alatt a négyszeresére növekedett.

Az olajválság után a napenergia-kutatás jelentős iparaggá fejlődött. A 80-as évek elején megépítették az első napenergiával hajtott közlekedési eszközöket. 1981-ben megalkották az első repülőgépet, amellyel sikeresen átrepülték a La-Manche csatornát. 1982-ben pedig napvilágot látott az első gépjármű is, mely átszelte Ausztráliát [28].

Napjainkban tovább folynak a kutatások a napelemek hatásfokának jobb kihasználása érdekében, mert a jelenleg használatos szilícium alapú napelemek hatásfoka kb. 15 %-os. A

gallium-arzénid (GaAs), kadmium-tellúrid (CdTe) és réz-indium-diszelenid (CIS) gyártástechnológiája még fejlesztés alatt van [29].

A világon egyre több naperómű épül. Jelenleg a kaliforniai Topaz a világ legnagyobb kapacitású fotóvillamos naperóműve, mely 550 megawatt energiát képes előállítani. Ez az energiamennyiség 160 ezer háztartást képes ellátni elektromos energiával [30]. Scott Bursaw 2009-ben megalkotta a napelemes utat. A különleges, edzett üveg alá épített cellákkal egyrészt az út fűthető, azaz télen könnyen leolvasható róla a hó és a jég, másrészt a felfestett jelzések is külső áramforrás nélküli LED-es fényekkel helyettesíthetők [31].

Egyre több az olyan háztartás, amely az energia költségeinek csökkentése céljából napenergiát hasznosító berendezéseket használ (napkollektor, napelem). Napkollektor segítségével hőenergia állítható elő, melyet fűtésre és a használati melegvíz készítésére lehet alkalmazni, valamint úszómedencék vízének melegítésére vagy terményszárításra. A napelemek a fényenergiát közvetlenül elektromos árammá alakítják át. A napelem nagyon sok használati eszközben megtalálható (akkutöltők, számológépek, órák, klímaberendezések, szivattyúk, lámpák, intelligens ruházatok, GPS, Ipod, stb.). Ezeknek az eszközöknek a bekerülési költsége jelentős, így nem mindenki tudja megfizetni. Törekvések vannak arra, hogy a világ szegényebb országainak lakosai is minél „olcsóbban” részesüljenek a Nap energiájából. Pl. Manilában és a hasonló településeken rendkívül zsúfoltan állnak egymás mellett az épületek, a bádogviskókban nappal is sötét van. A bádogtetőkön egy lyukat vágnak, melybe egy vízzel teli 2 literes palackot úgy helyeznek be, hogy alsó része kiáll a plafonból. A tiszta víz minden irányba szétszórja a napfényt és ezzel egy 55 Wattos égőnek megfelelő fényerővel világítja be a szobát [32]. Jon Boehmer egy mindössze hat dollárba kerülő főződobozt alkotott. A tűzhely két kartondobozból készült, fényvisszaverő fóliával és fekete festékkel vonták be a doboz belsejét a napenergia maximális elnyelése érdekében. A főzőedényt áttetsző anyaggal vonták be, hogy megtartsa a meleget. Az edényben a hőmérséklet ily módon elérheti a 80 Celsius-fokot. Ez az ötletes találmány kb. 3 milliárd szegény embernek segíthet abban, hogy ne tűz, azaz faégetés révén jusson ételkészítéshez, vízsterilizáláshoz szükséges energiához [33].

Magyarországon a napelemek és napelemes áramforrások fejlesztése a 70-es évek elején indult és az első napelemes áramforrás, amely egyébként saját fejlesztésű szilícium napelemekből készült 1975-ben a Dunántúlon, Székesfehérvár mellett, Iszkahegyen került telepítésre [19].

Magyar kutatók számos technológiai újításon dolgoznak. Kifejlesztették a napenergiás tetőcserepet, kutatásokat végeznek nanokristályokkal, hogy fokozzák a napelemek hatásfokát.

## 6. ÖSSZEGZÉS

Tanulmányomban áttekintettem a napenergia felhasználását az Ókortól - napjainkig. Ráműtöttem arra, hogy már a korai civilizációk is jól tudták hasznosítani a napenergiát. Sok olyan praktikus eszközt használtak, amelyek segítségével megkönnyítették a mindennapjaikat. Az, hogy a XXI. században még nem olyan elterjedt a napenergia hasznosítása az annak köszönhető, hogy a különböző napelemes illetve napkollektoros rendszerek bekerülési költsége igen magas, így az emberek jelenleg nem motiváltak arra, hogy befektessenek ilyen eszközökbe, inkább a könnyebben elérhető és jelenleg olcsóbb fosszilis energiát használják.

Nagy szükség van olyan innovációkra, amelyek a nagy tömegek számára is lehetővé teszik a napenergia használatát, egyszerűek, olcsók és környezetbarát megoldást jelentenek.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SANTOS-BLASTIK, D., STOCKER GY.** *A szoláris építés rövid története.* In: Energiatudatos megoldások 2015. 1. sz. p.46-48.

- [2] Solar Energy Conversions Systems 27. p.
- [3] **SZÚCS M.:** *Passzív napenergia hasznosítás.* In: Falu város régió. 2000. 4. sz. p. 17-21.
- [4] **SEIDLA. –SEIDL M.,** *Napfény és árnyék.* Budapest. Műszaki kvk, ÉTK. 1987. p. 47.
- [5] **KNAPP O.:** *Építészet és üveg.* Budapest. Műszaki Kvk. 1960.
- [6] **HOLLÓSY J.:** *A távcsők történelmének vázlatja.* In: Magyar Akadémiai Értesítő. 1864. 5. köt. p.21-65.
- [7] **TWYMAN, F.** *Prism and Lens Making,* London. Hilger and Watts.1952. 7. p.
- [8] *The oldest solar device in the world.* In: <http://cleantechnica.com/2014/12/04/just-found-oldest-solar-device-world/> Letöltés ideje: 2015. május 26. 9:00
- [9] **ILOSVAY L.** *Az ókori Egyiptom némely csodái mai világításban* In: Természettudományi Közlöny, LXI. évfolyam, 1929
- [10] *Az ókori Róma üvegművészete.* In: [http://www.romaikor.hu/romai\\_muveszet/a\\_romai\\_muveszet/uvegmuveszet/cikk/az\\_okori\\_rom\\_a\\_uvegmuveszete](http://www.romaikor.hu/romai_muveszet/a_romai_muveszet/uvegmuveszet/cikk/az_okori_rom_a_uvegmuveszete) Letöltés ideje: 2015. május 27. 9:21
- [11] *Éles elméjű Kleopátra és az ókori csillagászati program.* In: [http://www.ng.hu/Civilizacio/2004/11/Eleselmeju\\_Kleopatra\\_es\\_az\\_okori\\_csillaghaborus\\_program](http://www.ng.hu/Civilizacio/2004/11/Eleselmeju_Kleopatra_es_az_okori_csillaghaborus_program) Letöltés ideje: 2015. május 27. 10:13
- [12] **SABADY, P. R.:** *A napenergia építészeti hasznosítása.* Budapest. Műszaki Kvk. 1980. 27. p.
- [13] **HEGEDÜS T.:** *Innováció a hazai és a nemzetközi csillagászatban.* In: Tudományos Mozaik. 6. köt. 1. rész. Kalocsa. Tomori Pál Főisk. 2009. p. 43-64.
- [14] **LORRIS-DEMEUN:** *Rózsaregény* [ford. Rajnavölgyi Géza]. Budapest. Eötvös Kiadó. 2008, p. 420-421.
- [15] **BUTTI, K. – PERLIN, J. :** *A golden thread.* Palo Alto. Cheshire Books. 1980
- [16] **ORIENT GY.:** *Erdélyi alchímisták.* II. Bethlen Gábor erdélyi fejedelem alchémiaja. In: Erdélyi irodalmi szemle. 1927. 4. évf. 3-4. sz. p. 335-378.
- [17] **UJFALUDY L.,** *A napenergia-hasznosítás rövid története.* In: <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0303/ujfal0303.html> Letöltés ideje: 2015. május 27. 13:40
- [18] **SZABÓ G.** *A természet és a technika tudománya.* In: <http://mek.oszk.hu/09100/09175/html/86.html> Letöltés ideje: 2015. május 27. 14:40
- [19] **PÁLFY:** *Épületgépészet a gyakorlatban.* 12.7. rész. p. 1-3.
- [20] **BEBEL, A.** *A nő és a szocializmus.* Budapest. Népszava. 1919. p. 375.
- [21] *Napmótorok.* In: Korunk találmányai. Budapest. Franklin. 1910 p. 235-240.
- [22] **NEWTON J.,** *Uncommon friends.* Life with Thomas Edison, Henry Ford, Harvey Firestone, Alexis Carrel & Charles Lindbergh. San Diego. Harcourt. 1987 p. 31.
- [23] **PAP J:** *A napenergia magyar tudósnője, a szolártechnika nagyja telkes Mária.* In: Asszonyorsok a XX. században. p. 79-84.
- [24] **KHAMMAS, A. A. W.:** *Sonnenkraftgeschichte.* In: <http://schwarmkraft.at/erneuerbare-energie/sonnenkraft/sonnenkraft-geschichte/> Letöltés ideje: 2015. május 27. 15:00
- [25] *Napfegyver volt a nácik álma:* In: [http://www.gyartastrend.hu/cikk/napfegyver\\_volt\\_a\\_nacik\\_alma](http://www.gyartastrend.hu/cikk/napfegyver_volt_a_nacik_alma) Letöltés ideje: 2015. május 27.
- [26] **WILSON, M.,** *Az energia.* Bp. Műszaki kvk. 1978. 185. p.
- [27] **BITÓ J. – SINKA J.:** *Jövők kulcsa az energia.* Budapest. Kossuth. 1973. p. 157.
- [28] *Napenergia.* In: <http://elte.prompt.hu/sites/default/files/tananyagok/MegujuloEnergiaforrasok/ch03.html> Letöltés ideje 2015. május 27.
- [29] *Napelemek laboratóriumi segédlet.* In: [ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai\\_merések\\_II/Napelemek%20Seg%C3%A9dlet\\_2015\\_Sch%C3%B6n\\_B\\_1.0.pdf](ftp://ftp.energia.bme.hu/pub/Energetikai_merések_II/Napelemek%20Seg%C3%A9dlet_2015_Sch%C3%B6n_B_1.0.pdf) Letöltés ideje: 2015. május 27. 18:50
- [30] *Elindult a világ legnagyobb naperőműve.* In: <http://www.origo.hu/techbazis/20141128-elindult-a-vilag-legnagyobb-naperomuve.html> Letöltés ideje: 2015. május 27.
- [31] *Napelemes utak a jövőbe:* In: <http://www.homeinfo.hu/hirek/1430-napelemes-utak-a-jovobe.html>) Letöltés ideje: 2015. május 27. 21:00
- [32] *Fény a palackban.* In: <http://www.diverziti.hu/4068/feny-a-palackban/> Letöltés ideje: 2015.

május 28. 10:00

[33] *Főződoboz nyerte a klímadíjat.* In:

[http://www.uzletietika.hu/20090410/napenergi-as\\_fozodoboz\\_nyerte\\_a\\_klimadijat](http://www.uzletietika.hu/20090410/napenergi-as_fozodoboz_nyerte_a_klimadijat) Letöltés ideje: 2015. május 28. 23:00

## ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON

### SELF COMPACTING CONCRETE

Kovács József<sup>1</sup>, Salem Georges Nehme<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tanszéki mérnök, <sup>2</sup> Egyetemi docens,

<sup>1</sup> Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék, <sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítési Tanszék

<sup>1</sup> j.kovacss@gmail.com, <sup>2</sup> sgnehme@yahoo.com

**Kivonat:** A jobb minőségű betonok iránti állandó kereslet, a vasbeton építmények esztétikus megjelenésére irányuló megnövekedett igény és az új betonozási eljárások gyors fejlődése az utóbbi évtizedekben a betont sokoldalúan alkalmazható és költségtakarékos építőanyaggá tették. Napjaink betontechnológiája a korszerű betonadalékszereknek köszönhetően lehetővé teszi az egyre nagyobb teljesítőképességű és élettartamú betonrendszerek megvalósítását. A nagy korai szilárdságú és több mint 150 N/mm<sup>2</sup> nyomószilárdságú betonok, valamint a bedolgozás előtt hosszabb időn keresztül stabilizálható betonkeverékek erre meggyőző bizonyítékot nyújtanak.

**Kulcsszavak:** Öntömörödő beton, nyomószilárdság, megszilárdult beton porozitása

**Abstract:** As a result of the demand for special concrete and the claim for aesthetics of reinforced concrete construction as well as new concreting procedures, concrete was made economical and multi-faceted. The up-to-date concrete technology and the modern admixture makes high performance and high durability concrete realisation possible. High early strength, high strength of concrete and long tenability of fresh concrete is an evidence for this. Self compacting concrete is one of the greatest results of concrete technology in the last 15 years. Spreading of the self compacting concrete (SCC) technology makes it necessary to develop new mix design philosophy that can easily be used in engineering practice. Aim of the thesis is to represent a factors affecting the strength of self compacting concrete.

**Keywords:** Self compacting concrete, compressive strength, porosity of hardened concrete

## 1. BEVEZETÉS, FOGALOMMEGHATÁROZÁS

A publikáció célja az öntömörödő betonok nyomószilárdságára hatással lévő paraméterek felkutatása, különös tekintettel a porozitásra, valamint a kiegészítő anyag és a cementmennyiség adagolásának hatására.

A Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Laboratóriumában kísérletet végeztünk öntömörödő betonokkal. Vizsgálataink közvetlen célja a cement és a mészkőliszt adagolási mennyiségének hatását vizsgálni a megszilárdult beton nyomószilárdságára, valamint a porozitásra.

Az öntömörödő beton zsaluzatba töltésekor szükségtelen a beton bármilyen tömörítése, minden kiegészítő tömörítési energia nélkül, csupán a nehézségi erő hatására üregmentesen ki tudja tölteni a tetszés szerinti alakú zsaluzatot. Ezenkívül szétosztályozás és kivézés nélkül, önállóan légtelenítődik, és szinte tökéletesen kiegyenlítődik.

## 2. KÍSÉRLETI TERV

Az **1. táblázat** alapján a kísérleti paraméterek az alábbiak:

- a cement mennyisége:  
320 kg/m<sup>3</sup>; 350 kg/m<sup>3</sup>; 380 kg/m<sup>3</sup>
- a finomrész (cement és mészkőliszt) mennyisége:

520 kg/m<sup>3</sup> - 620kg/m<sup>3</sup> (20kg/m<sup>3</sup> lépcsőben)

		Kiegészítő anyag adagolása [kg/m <sup>3</sup> ]											
Cement-adagolás [kg/m <sup>3</sup> ]		120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
	320					520	540	560	580	600	620		
	350				530	550	570	590	610	630			
	380		520	540	560	580	600	620					

1. táblázat: Kísérleti terv

Kísérleti állandók:

- az adalékanyag szemeloszlási görbéje
- víztartalom  
v=170 l/m<sup>3</sup>

## 2.1. Alkalmazott beton-összetételek

Adalékanyagként mosott, osztályozott és szárított homokot, ill. kavicsot alkalmaztunk. Az adalékanyagot három frakcióból kevertük. A finomabb frakció szemcseátmérője 0,063-4 mm között, a durvább frakció szemcseátmérője 4-8 mm ill. 4-16mm között változott. A homok finomrész tartalmát (d≤0,125 mm) szitavizsgálattal határoztuk meg, mely 2m%-ra adódott. Kötőanyagként CEM I 42,5 N cementtípust alkalmaztam.

A megfelelő konzisztencia elérésének érdekében Glenium C 300 nagyteljesítményű folósítószer alkalmaztam. A polikarboxiléter alapú, komplex és rugalmas óriásmolekula, amely különféle lánchosszúságú, többfajta funkciós csoporttal rendelkezik.

## 2.2. Próbatetek

Minden különböző betonösszetételhez 15 db 150 mm élhosszúságú, valamint 2 db 100 mm élhosszúságú próbakockát készítettünk. Öntömörödő betonról lévén szó semmilyen tömörítést nem alkalmaztunk, a próbatetek csak a nehézségi erő hatására légtelenedtek és tömörödtek, tehát tömörítésbeli különbségek nem léphetnek fel az azonos összetételű próbatetek között.

A próbakockákat az MSZ 4798-1:2004 előírásainak megfelelően a kizsaluzástól a törés előtti 15. percig vízben tároltuk.

## 3. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS ÉS MÉRÉSI MÓD

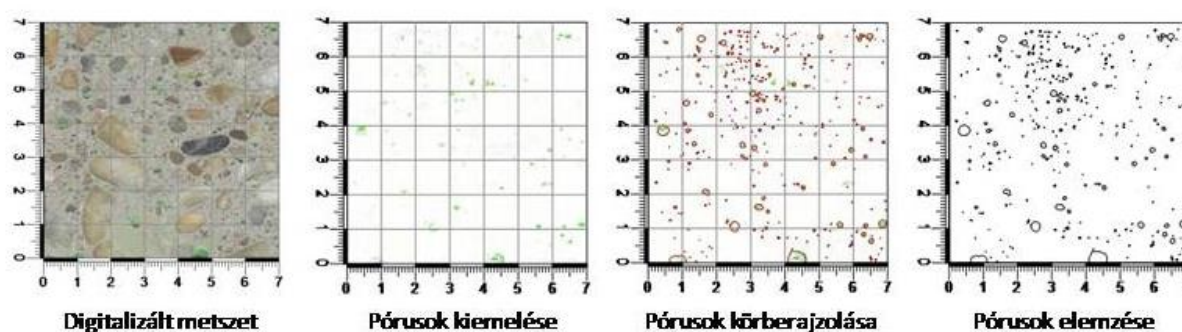
### 3.1. Nyomószilárdság

Kísérleteink során a beton nyomószilárdságát vizsgáltuk 2, 7, 14, ill. 28 napos korban. A nyomószilárdsági vizsgálatokat a FORM+TEST típusú 3000 kN-os erővezérelt terhelőberendezéssel végeztük el az MSZ 4798-1:2004 előírásainak megfelelő 11,20 kN/s erőléptékkel.

### 3.2. Metszett felületek porozitása

A 100 mm élhosszúságú próbatestekből kővágó tárcsa segítségével 100×100 mm felületű vágott elemeket készítettünk. A vágott felületeket vizes gyémántcsiszolással sík felületűre csiszoltuk, majd a csiszolt felületet a beton alkotóinak színétől eltérő (világoszöld) színűre festettük. A festett felületet a száradás után újra csiszoltuk, így az élénkzöld festék csak a pórusokban maradt meg. A második csiszolásnál ügyelve arra, hogy a pórusokban ne maradjon a por, magasnyomású mosóval tisztítottuk meg a csiszolt felületet.

A előkészített csiszolatokat HP Scanjet G3010 típusú scannerrel 1200dpi felbontással digitalizáltuk. Az acélsablon póruseloszlásra való hatásának kiküszöbölése érdekében a próbatest szélétől mért 15 mm-es sávot nem vettük figyelembe a porozitás és a póruseloszlás kiértékelésekor. Az így kapott felület 70×70 mm-es.



1. ábra: Csiszolt felületek póruseloszlásának vizsgálata

A digitalizált felületek kiértékelése a kép fényerősségének és kontrasztjának a kiértékeléshez ideális értékekre (fényerő  $\approx 55\%$ ; kontraszt  $\approx 85\%$ ) történő beállításával kezdjük. Ezek után a felületről a Photoshop program segítségével leválasztottuk a világoszöld festéknek megfelelő árnyalatú és színű pixeleket, majd azok területét Archi Cad program segítségével határoztuk meg (**1. ábra**). A pórusok kiértékelésénél ügyeltünk arra, hogy csak a cementkőben lévő pórusokat vegyük figyelembe, mivel az adalékanyagban lévő pórusok jelentős része (eltekintve az adalékanyagban lévő repedésektől) a víz számára nem járható zárt pórus.

A pórusok területéből kör alakú pórust feltételezve a  $(I)$  összefüggés alapján határoztuk meg a pórusok átmérőjét, az ellenőrző mérések szerint ez nagy biztonsággal megegyezik egy adott pórus legkisebb és legnagyobb átmérőjének átlagával. Az 1600dpi felbontás esetén egy pixel mérete 0,01mm. A módszerrel vizsgálható legkisebb pórus átmérője  $\approx 0,05$ mm átmérőjű.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \quad (1)$$

## 4. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉS FELDOLGOZÁS

### 4.1. Kísérleti eredmények

*Frissbeton tulajdonságok:*

Az elvégzett konzisztencia vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a frissbeton öntömörödő betonként viselkedett (Slump Flow 710÷800mm; Slump Flow 600÷790mm; V-funnel

kifolyási idő 6,5÷10,2 sec) A konzisztencia- és a töréskép-vizsgálatok során szétosztályozódást nem tapasztaltam.

*Megszilárdult beton tulajdonságai:*

A megszilárdult betonra jellemző tulajdonságokat (nyomószilárdság 28 napos korban, testsűrűség) a 2. táblázat ismerteti.

sorszám	cement	kieg. anyag	víz adagolás [kg/m <sup>3</sup> ]	Slump Flow terület (tájékoztató) [mm]	száraz testsűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	f <sub>c,m,cube,150</sub> [N/mm <sup>2</sup> ]
	CEM II 42,5 [kg/m <sup>3</sup> ]	mészkeőliszt [kg/m <sup>3</sup> ]				
A1	320	200	170	750	2,341	48,42
A2	320	220	170	715	2,349	53,92
A3	320	240	170	770	2,338	53,37
A4	320	260	170	740	2,378	53,37
A5	320	280	170	800	2,392	56,06
A6	320	300	170	760	2,432	56,84
A7	350	180	170	700	2,332	58,86
A8	350	200	170	740	2,379	60,38
A9	350	220	170	790	2,369	59,94
A10	350	240	170	780	2,435	62,24
A11	350	260	170	790	2,357	63,43
A12	350	280	170	690	2,390	66,63
A13	380	140	170	710	2,378	58,06
A14	380	160	170	650	2,344	57,78
A15	380	180	170	750	2,342	62,32
A16	380	200	170	725	2,369	64,95
A17	380	220	170	735	2,376	66,48
A18	380	240	170	780	2,380	68,97

2. táblázat: Megszilárdult beton tulajdonságok

*Póruseloszlás:*

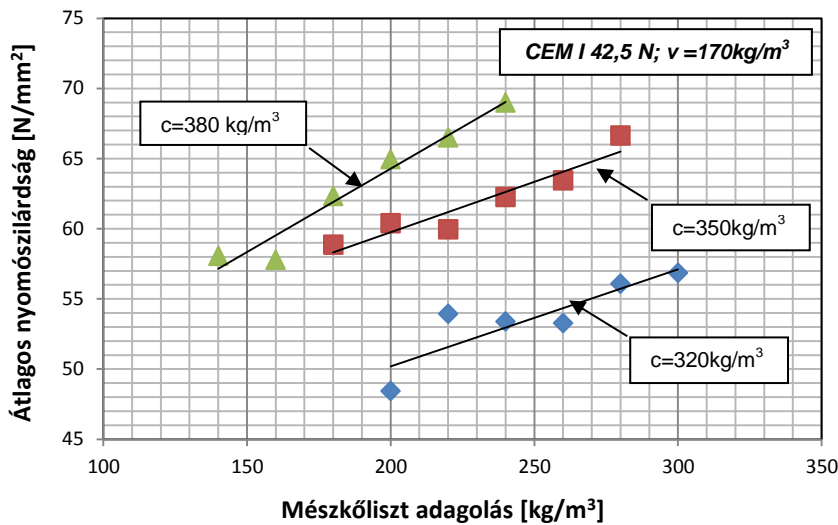
A póruseloszlás feldolgozása során vizsgáltuk a pórusok számát, az átmérők átlagát és szórását, valamint a pórusátmérők logaritmusának átlagát és szórását.

#### 4.2. Értékelés

*Mészkeőliszt adagolás hatása a 28 napos nyomószilárdságra:*

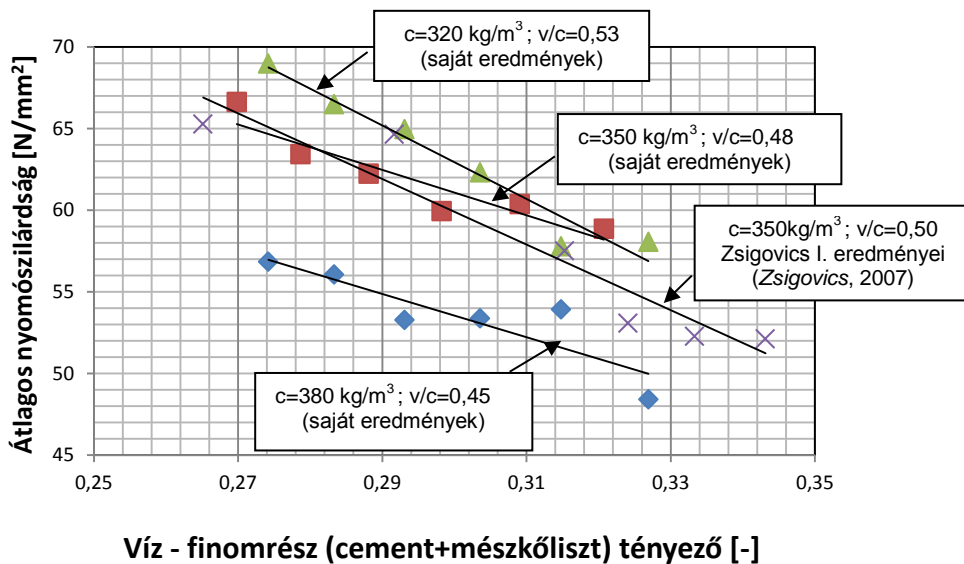
Az alábbiakban azonos cementminőségű, azonos víztartalmú, de különböző finomrész kiegészítő anyag (mészkeőliszt) tartalmú betonkeverékek nyomószilárdsági eredményeit hasonlítjuk össze.





2. ábra: Nyomószilárdság alakulása a finomrész mennyiségének függvényében

A 2. ábra alapján megállapítható, hogy a megszilárdult beton 28 napos nyomószilárdsága és a mész-kőliszt adagolás közötti összefüggés a vizsgált tartományon közel lineáris. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált tartományon 20 kg/m<sup>3</sup> mész-kőliszt adagolás növelés hatására ~3% szilárdságnövekedés várható. A 380 kg/m<sup>3</sup> cementtartalmú keverékek esetén a szilárdságnövekedés intenzitása nagyobb mértékű (20 kg/m<sup>3</sup> mész-kőliszt adagolás növelés hatására ~4% szilárdságnövekedés várható).



3. ábra: Nyomószilárdság alakulása a  $m_v/m_f$  függvényében

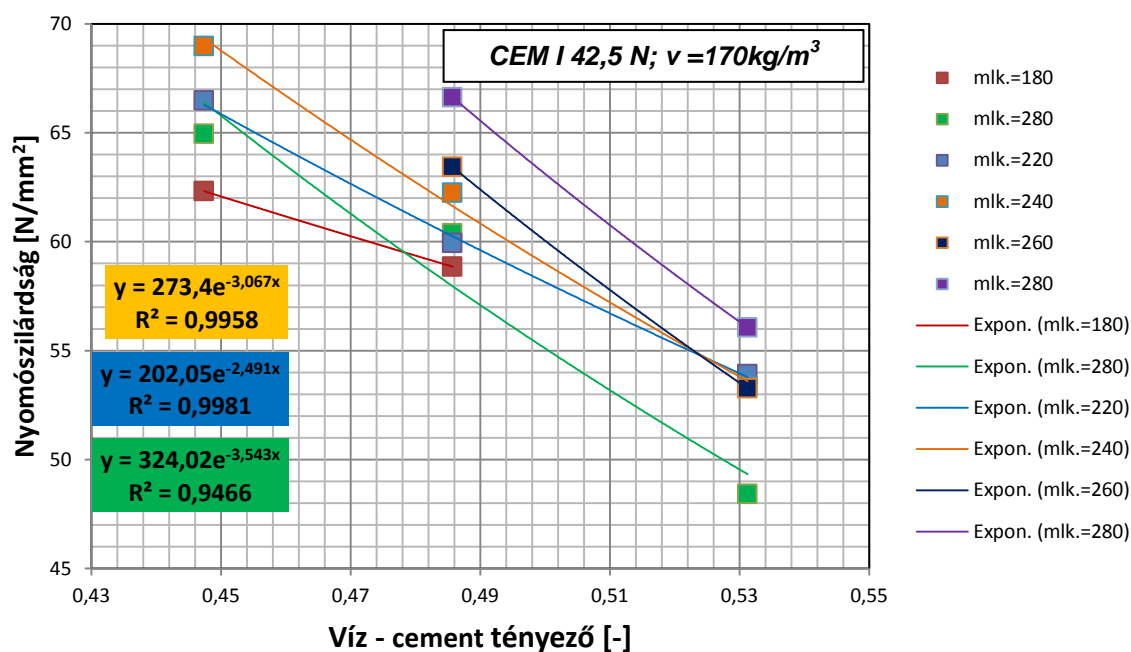
A mész-kőliszt adagolásának mennyisége egy bizonyos érték elérése után szilárdságcsökkenést okoz (Zsigovics, 2007), de a kísérletsorozat vizsgálati tartománya nem terjedt ki ilyen magas mész-kőliszt adagolásokra. A mész-kőliszt mennyisége mellett hatással van a mész-kőliszt fajlagos felülete is a megszilárdult beton nyomószilárdságára (Szabó, 2007)

Az előző bekezdések megállapításait érdemes kiterjeszteni a víz-finomrész tényezőre is. E-szerint 1%-os víz-finomrész tényező csökkenés hatására (azonos víz-cement tényező

esetén;  $0,25 \div 0,35$  tartományon vizsgálva) 3%-os szilárdságnövekedés tapasztalható. A vizsgálatoknál figyelembe vettem Zsigovics István azonos cementminőségű és hasonló víz-finomrész tényezőjű betonreceptúráinak nyomószilárdsági eredményeit is ( $350 \text{ kg/m}^3$  cementadagolás; CEM I 42,5N cement;  $175 \text{ kg/m}^3$  vízadagolás).

*Víz-cement tényező hatása a 28 napos nyomószilárdságra:*

Az alábbiakban azonos cementminőségű, azonos víztartalmú, valamint azonos mészköliszt adagolású, de különböző víz-cement tényezőjű betonkeverékek nyomószilárdsági eredményeit hasonlítom össze.

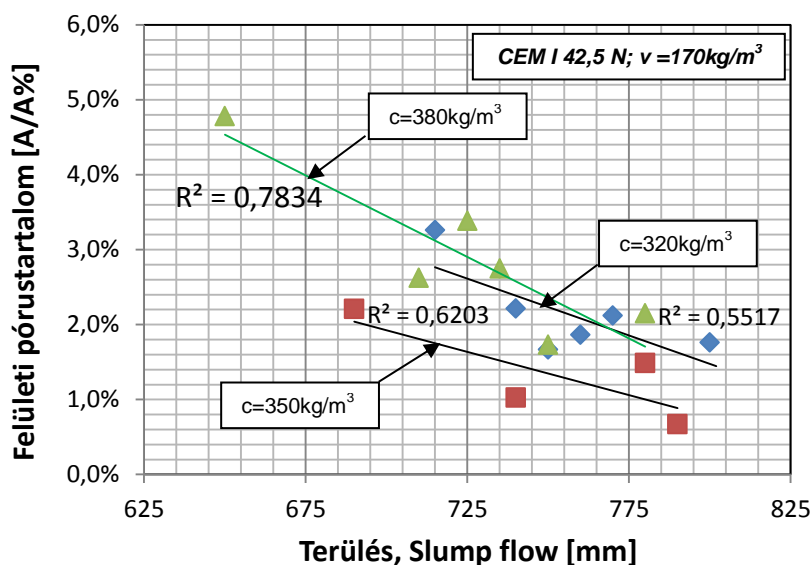


4. ábra: Nyomószilárdság alakulása a víz-cement tényező függvényében

A 4. ábra alapján megállapítható, hogy a megszilárdult beton 28 napos nyomószilárdsága és a cement adagolás közötti összefüggés a vizsgált tartományon exponenciálisnak tekinthető. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált tartományon azonos víztartalom mellett  $30 \text{ kg/m}^3$  cement mennyiség növelés, azaz a víz-cement tényező 4%-os növelésének hatására ~10% szilárdságnövekedés várható.

*Konzisztencia hatása a porozitásra:*

Jelen fejezetben azt kívánjuk vizsgálni, hogy milyen hatással van az öntömörödő beton konzisztenciája a csiszolt felületek pórustartalmának változására. A kiértékelésnél azonos cementtartalmú és víz- cement tényezőjű keverékek mérési eredményeit hasonlítottuk össze (5. ábra). Az ábra alapján megállapítható, hogy 50 mm terület növekedés ~1% porozitás csökkenést okoz. A különböző víz-cement tényezőjű és cementtartalmú keverékek esetén a pórustartalom csökkenések tendenciájában nem tapasztaltunk különbséget. Ennek oka, hogy a folyósabb, viszkózusabban viselkedő frissbeton légtelenedése nagyobb mértékű, a gravitációs erő hatására bekövetkező öntömörödés hatékonyabb.



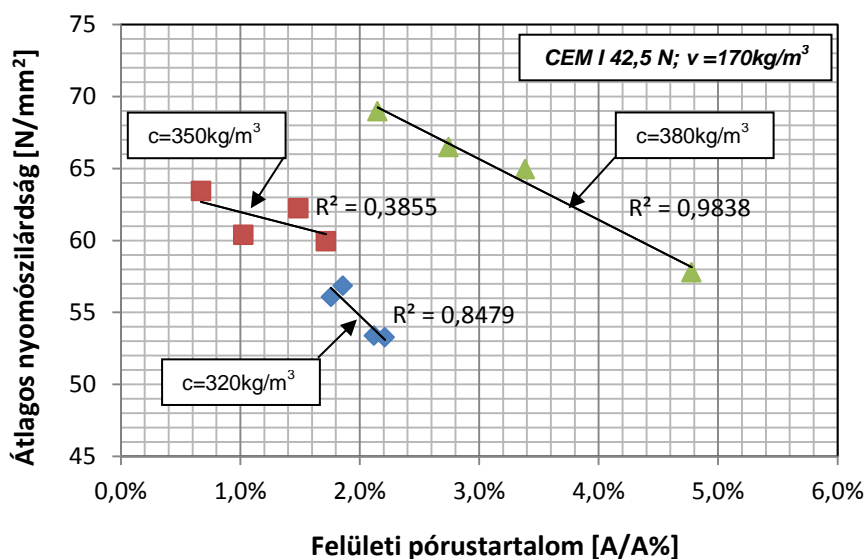
5. ábra: Felületi pórustartalom alakulása a terülés függvényében

Az öntömörödő beton konzisztenciáját a mészköliszt adagoláson kívül (Zsigovics, 2007) az adagolt szuperfolyósító szerek is nagy mértékben befolyásolják. A kísérletsorozatunk elvégzésénél a szükséges folyósítószer mennyiségét próbakeveréssel határoztuk meg úgy, hogy a konzisztencia vizsgálatok alapján a frissbeton öntömörödő konzisztenciájú legyen (terülés 650 ÷ 750 mm). A folyósítószer mennyisége a mészköliszt tartalom függvényében nem lineáris, ezért a két hatás külön – külön történő vizsgálata nem lehetséges a felületi pórustartalomra, ezért a konzisztencia változására vonatkozóan vizsgáljuk a felületi pórustartalmat (A/A%).

#### Porozitás hatása a nyomószilárdságra

Az alábbiakban azonos cementtartalmú, azonos víztartalmú, valamint közel azonos konzisztenciájú és átlagos pórusátmérőjű betonkeverékek nyomószilárdsági eredményeit hasonlítjuk össze. Ennek megfelelően a mérési adatok átlagához viszonyított alacsony terülésű és magas átlagos pórusátmérőjű adatokat eltávolítottuk a sorozatokból (A<sub>1</sub>; A<sub>2</sub>; A<sub>12</sub>; A<sub>13</sub>; A<sub>15</sub>), mivel ezek a jellemzők nagy mértékben befolyásolják a szilárdságot.

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy öntömörödő betonok esetén 1 %-os porozitás növekedés 5-6 %-os szilárdságsökkenést eredményez. Ezt a megállapítást normálbetonokra hasonlóan alakul (Nehme, 2004).



6. ábra: A nyomószilárdság alakulása a felületi pórustartalom függvényében

## 5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

### 1. Mész-köliszt adagolás hatása a szilárdságra

A vizsgált tartományon ( $140 \div 300 \text{ kg/m}^3$ )  $20 \text{ kg/m}^3$  mész-köliszt adagolás növelés hatására ~3% szilárdságnövekedés várható. Ennek oka, hogy a mész-köliszt adagolás hatására jobb a konzisztencia és hatékonyabb az öntömörödés.

### 2. Víz-finomrész tényező

A víz-finomrész tényező csökkentésével, a cementtartalom növelése nélkül növelhetjük a megszilárdult beton nyomószilárdságát. 1%-os víz-finomrész tényező csökkenés hatására (azonos víz- cement tényező esetén;  $0,25 \div 0,35$  tartományon vizsgálva) 3%-os szilárdságnövekedés tapasztalható. Gazdaságos betonkeverékek készítésénél tekintettel kell lenünk a víz-finomrész tényezőre.

### 3. Víz-cement tényező

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált tartományon azonos víztartalom mellett  $30 \text{ kg/m}^3$  cement mennyiség növelés, azaz a víz – cement tényező 4%-os növelésének hatására ~10% szilárdságnövekedés várható. Megállapítható továbbá, hogy alacsony víz-cement tényező esetén az öntömörödő hajlamnak köszönhető szilárdságnövekedés nagyobb mértékű, mint magas víz cement tényező esetén.

### 4. Konzisztencia hatása a porozitásra

A konzisztenciában bekövetkezett 50 mm terület (Slump flow) növekedés ~1% porozitás csökkenést okoz. Ennek oka, hogy nagyobb konzisztencia esetén az öntömörödő beton légtelenedése hatékonyabb, a frissbetonban lévő légbuborékok a nagyobb viszkozitásnak köszönhetően könnyebben távoznak a betonkeverékből.

### 5. Porozitás hatása a nyomószilárdságra

Mint tudjuk, normálbetonok esetében a porozitás növekedése a szilárdság romlásával jár. Öntömörödő beton esetén 1 %-os porozitás növekedés 5-6 %-os szilárdságcsökkenést eredményez.

## 6. Póruseloszlás

Öntömörödő beton esetén a  $\sim 40\mu\text{m}$  feletti pórusok eloszlása lognormális eloszlást követ. A normalitásvizsgálat eredményei alapján arra következtettek, hogy ez nagy valószínűséggel érvényes a pórusátmérők teljes tartományára.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **DEGUSSA** (2004): „*TERVEZÉSI SEGÉDLET öntömörödő beton készítéséhez Glenium adalékszerekkel*” pp 1-23
- [2] **ERDÉLYI A.** : *Duna-Dráva Cement (2007): Cement- Beton Zsebkönyv Öntömörödő betonok*
- [3] **NEHME G. S.** (2004): „A beton porozitása” PhD értekezés, pp 31-33
- [4] **OKAMURA, H. AND OZAWA, K.** (1995): „*Mix-design for self-compacting concrete.*” Concrete Library of JSCE, 25, 107-120.
- [5] **OKAMURA, H. AND OUCHI, M.** (2003): „*Self-compacting Concrete*”, Journal of Advanced Concrete Technology Vol. 1, No. 1, 5-15, April 2003.
- [6] **SIDNEY MINDESS, J. FRANCIS YOUNG** (1981) „*Concrete*” Prentice Hall International, INC., London pp. 544-548
- [7] *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete* (2005): Specification, Production and Use 2005 May
- [8] **UJHELYI J.** : *Duna-Dráva Cement (2007): Cement- Beton Zsebkönyv A beton*
- [9] **UJHELYI J.** (2005): *Beton ismeretek* pp 26-47
- [10] **ZSIGOVICS I.** (2007) *3rd Central European Congress on Concrete Engineering 2007 Visegrád*
- [11] *Topic 1 Tailored Properties Of Concrete, SCC and LWC: Mix design of self compacting concrete* pp 161-164

## ABSZORPCIÓS HŰTÉSI RENDSZER MODELLEZÉSE

### MODELLING OF ABSORPTION REFRIGERATION SYSTEM

Krámer Gyula<sup>1</sup>, Siménfalvi Zoltán<sup>2</sup>, Szepesi L. Gábor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD hallgató, <sup>2,3</sup> egyetemi docens,

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,  
vegkygy@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** Az abszorpciós hűtés a legolcsóbban üzemeltethető hűtési eljárás. A berendezés ammónia-víz hűtőközegpárral hőszivattyúként is alkalmazható. E cikkben bemutatjuk a módszer helyét a hűtési eljárások világában, majd felvázoljuk a működés alapelveit, végül emutatunk egy matematikai modellt, mellyel a hűtési eljárás sarokszámait elfogadható pontossággal kalkulálhatóak, anélkül, hogy drága és nehezen elérhető programokat, illetve adatbázisokat használnánk.

**Kulcsszavak:** Hűtés, abszorpció, ammónia, víz.

**Abstract:** The absorption refrigeration is the cheapest cooling method. That device, with ammonia-water refrigerant pair is able to be used as a heat pump as well. In this article, we show its place among the refrigeration methods, then draw up the base of this method, finally we introduce a mathematical model to calculate the main features of this refrigerant system, which works without difficultly available databases and expensive programs background.

**Keywords:** Refrigeration, absorption, ammonia, water.

## 1. BEVEZETÉS

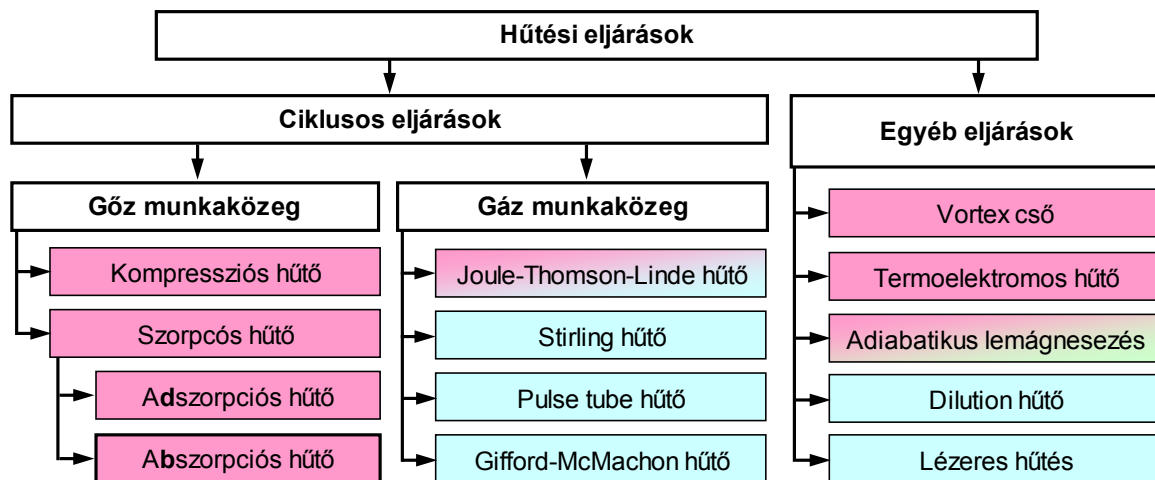
Számos, különféle ipari, kereskedelmi és kriotechnikai felhasználású hűtési eljárás létezik. (1. táblázat) Ezek az eljárások lefedik a teljes hőmérsékletskálát egészen az abszolút nulla fokig.

Megnevezés	Jellemző hőmérséklettartomány
Légkondicionálás	+20...+10 °C
Élelmiszerhűtés	+5...-5 °C
Élelmiszer mélyhűtés	-20...-35 °C
Élelmiszer gyorsfagyasztás	-50...-100 °C
Gázok cseppfolyósítása	-150...-250 °C
Szupravezető mágnesek hűtése	-200...250 °C
0 K közeli kutatások	-250...-273,4 °C

1. táblázat: A hűtéstechika néhány alkalmazási területe.

Természetesen, a különböző hőmérsékleteket különböző működési elveken működő berendezésekkel érhetjük el. A 2. táblázat a hűtéstechika területét foglalja össze. A gőzciklusos eljárások az ipari-kereskedelmi hűtők alapvető eszközei, gázciklusos hűtők a kriotechnika (világoskéssel jelölve) alapgépei, a csúcsgépei az egyéb eljárások között találhatóak.

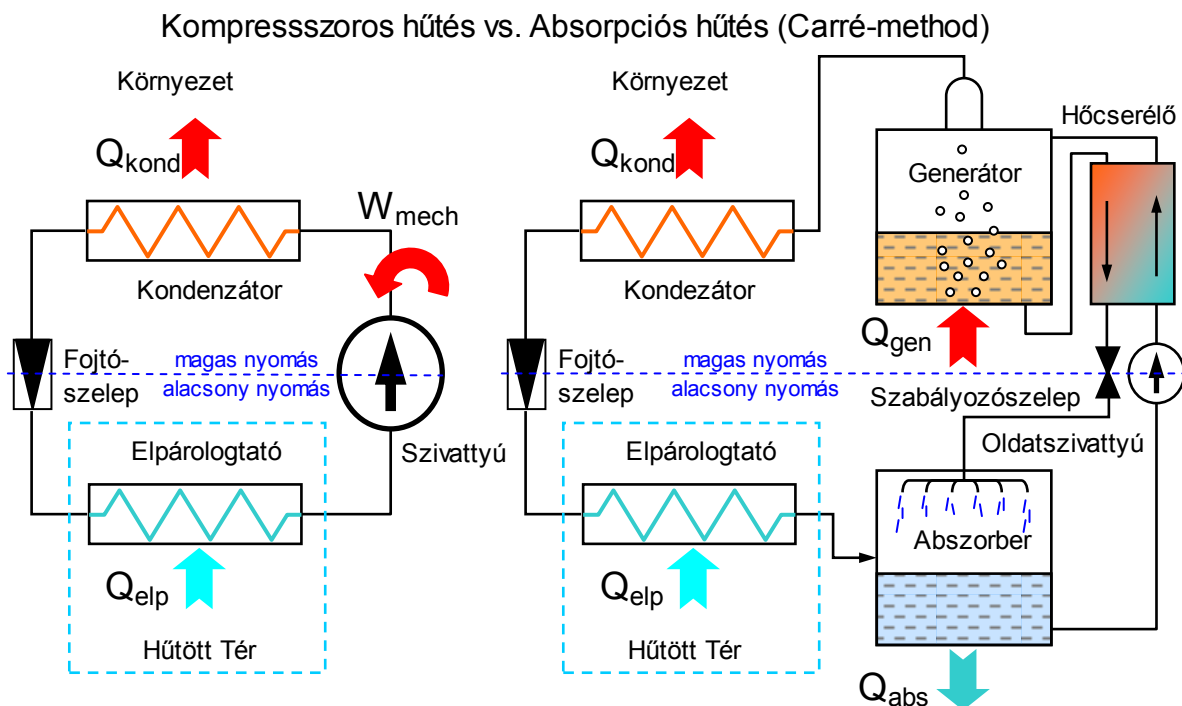
Ha rendelkezésre áll valamilyen hőforrás (geotermikus vagy napenergia, vagy hulladékhő), akkor a szorpciós eljárások üzemeltetési költségei messze a legalacsonyabbak.



2. táblázat: A hűtéstechika világa

## 2. AZ ABSZORPCIÓS HŰTÉSI ELJÁRÁS

A leghatásosabb abszorpciós hűtés a Carré-féle, más néven oldatszivattyús eljárás [1]. Mindenki ismeri a gőzkompressziós hűtést, mint az úgynevezett közös hűtési eljárást. Itt az a különbség, hogy egy generátor abszorber párral helyettesítjük a nagyteljesítményű szivattyút. (1. ábra)



1. ábra: A kompressziós és az abszorpciós hűtő összehasonlítása

### 2.1. Az abszorpciós hűtés működési elve

A berendezésben nem tiszta egykomponensű hűtőközeg van, hanem egy munkaközeg pár. Ezt az oldatot, ami pl. 30%-ban tartalmazza a hűtőközeget, a generátorban felmelegítünk

80...120 °C-ra. A hűtőközeg forró gőzként távozik, és belép kondenzátorba, ahol lehül 30...40 °C-ra, és cseppfolyósodik. Majd áthalad az expanziós szelepen, belép az alacsony nyomású részbe, és elpárolog, alacsony hőmérsékleten hőt von el. Ezután belép a 30...40 °C-os abszorberbe, ahol oldatba megy. Ezáltal a generátor oldata egyre szegényedne, az abszorberé dúsulna, ezért kell egy szivattyú, ami folyamatosan keringeti az oldatot (ennek teljesítménye a teljes folyamat 0,5...2 %-a), valamint szükségünk van egy hőcserélőre is, mivel igen nagy a hőmérséklet-különbség.

A kompresszoros hűtés fajlagosan 2x-3x kevesebb energiát használ fel, de módszer nagy előnye, hogy 98-99%-ban csak hőre van szükségünk, ami többnyire ingyen rendelkezésre áll.

### 3. AZ AMMÓNIA-VÍZ RENDSZER FIZIKAI TULAJDONSÁGAI

A leggyakrabban használt hűtőközeg-oldószer pár az ammónia-víz oldat. Igaz, hogy ártalmas és korrozív anyag, de alkalmas mélyhűtésre és hőszivattyús alkalmazásra is.

Ahhoz, hogy megalkossuk a hűtési kör modelljét, szükségünk van a közegpár fizikai tulajdonságaira. Ehhez készítettünk egy egyszerű, könnyen használható, és kielégítő pontosságú módszert. [2]

A következő anyagtulajdonságokra van szükség a számítások elvégzéséhez:

- Gőznyomás görbe,
- Egyensúlyi görbe,
- Entalpiagörbék (telített folyadék és telített gőz)
- Egyéb értékek (oldat fajhője, sűrűsége, viszkozitása)

Valójában 3 dimenziós görbéket kell leírunk. Ezekre több, eléggé meglehetősen bonyolult közelítés létezik. Célunk, egy egyszerű megoldást alkalmazása, majd összevetése korábban publikált munkákkal. [3] [4]

#### 3.1. Gőznyomás görbe

Ez azt adja meg, hogy az adott x ammónia-koncentrációjú oldat adott t hőmérsékleten, milyen p nyomású telített gőzzel tart egyensúlyt. Tudjuk, hogy elméletileg az Antoine-egyenlet adja ezt a görbét. Ahogy Carl G. Almén [3] munkájára támaszkodva, mi is ebből indultunk ki. (1) Mivel térgörbénk van, kell még egy változó. (2) Ebből könnyen kifejezhető a hőmérséklet is. (3)

$$p(t) = e^{A - \frac{B}{t+C}} \quad (1)$$

$$p(t, x) = e^{A(x) - \frac{B(x)}{t-C(x)}} \quad (2)$$

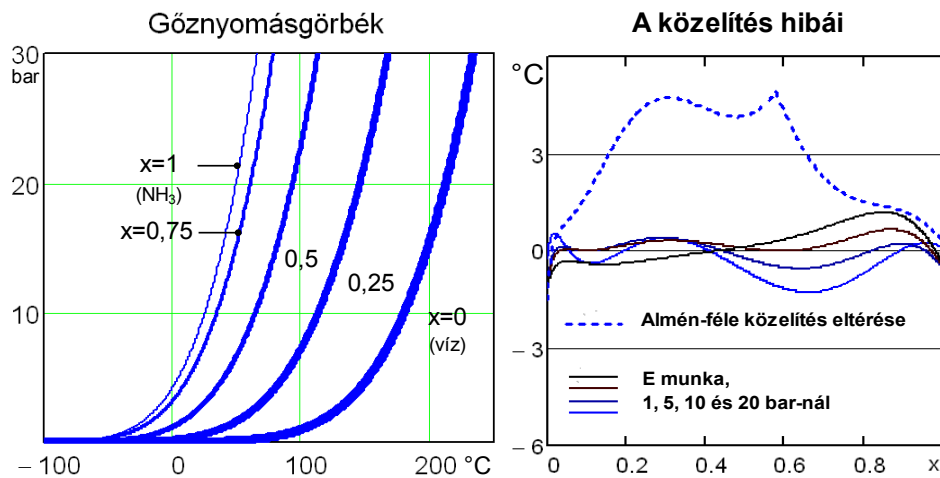
$$t(p, x) = \frac{B(x)}{A(x) - \ln(p)} - C(x) \quad (3)$$

Az A(x), B(x), C(x)-re a következőt kaptuk: (4)

$$\begin{aligned} A(x) &= 11,675 \cdot \left[ 1 - (0,223 - 0,155 \cdot x) \cdot \sqrt{x} \right] \\ B(x) &= 3840 \cdot \left( 0,216 \cdot x^{2,62} + 0,1157 \cdot x^{1,62} - 0,62 \cdot x^{0,62} + 1 \right) \\ C(x) &= \left( 229 + 47,7x - 20x^2 \right) - 7 \sin(2,8x) - 1,5 \sin(8,5x) \end{aligned} \quad (4)$$



Ábrázolva a diagramot, látható, hogy pontosabb a korábbi közelítésnél. (2. és 3. ábra)



2. és 3. ábra: Gőznyomásgörbék, különböző koncentrációknál, ill. a közelítés hibái

### 3.2. Egyensúlyi görbe:

Ez pedig azt adja meg, hogy az adott  $t$  hőmérsékletű,  $x$  koncentrációjú oldat felett a már ismert nyomású gőzben mennyi az ammónia koncentrációja ( $y$ ). Erre a következő függvényel (5) közelítve regressziós módszerekkel a következő egyenletet kaptuk (6):

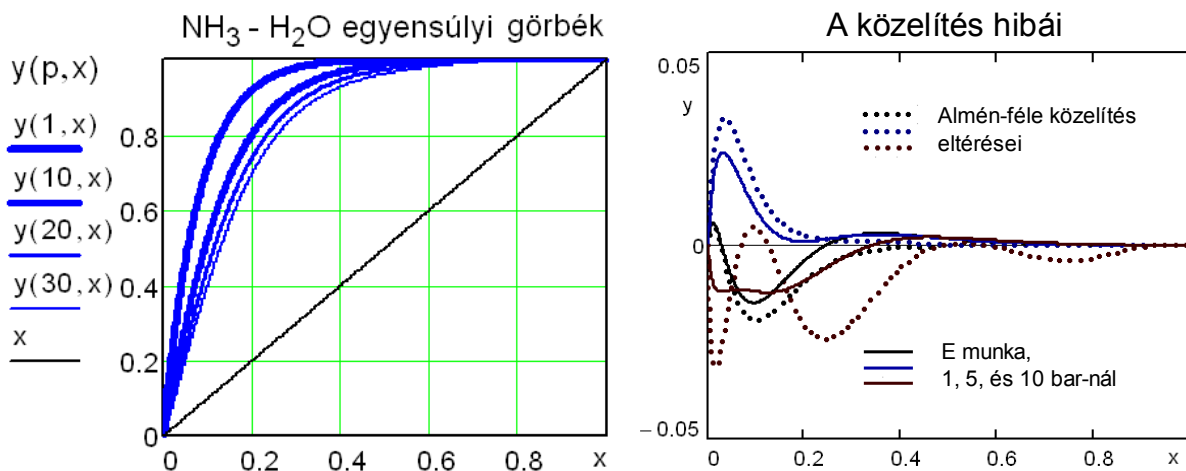
$$y(p, x) = B_y(x) - e^{-A_y(p) \cdot x} \quad (5)$$

Ahol  $A_y(x)$  és  $B_y(x)$ :

$$A_y(p) = 1,5413 \cdot e^{-p} + 2,5151 \cdot \ln(p) - 14,2715 \quad (6)$$

$$B_y(x) = 1 - 0,0353 \sin(\pi \cdot e^{-8x})$$

Ábrázolva a diagramot, látható, hogy pontosabb a korábbi közelítésnél. (4. és 5. ábra)



4. és 5. ábra: Egyensúlyi görbék, különböző koncentrációknál, ill. a közelítés hibái

E cikkben nincs mód minden egyes mennyiség leírására. Ám ezeket a [2] forrás tartalmazza.

#### 4. A HŰTŐKÖR MODELLJE

Ahhoz, hogy az egész folyamatot modellezni tudjuk, le kell írunk a részfolyamatokat.

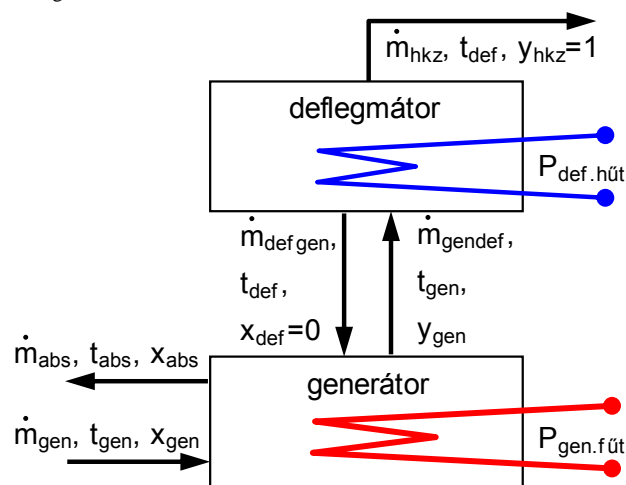
Ezek rendre:

- Generátor – hűtőközeg kiűzése az oldószerből,
- Kondenzátor – hűtőközeg kondenzációja,
- Fojtószelep – izentalpikus expanzió,
- Elpárolgató – itt történik a hőelvonás,
- Abszorber – a hűtőközeg oldatba vitele,
- Hőcserélő – a híg és tömény oldat közti hőátadás.

Ezek után számítható a hűtési teljesítmény, fűtési igény, jósági fok.

##### 4.1. A generátor folyamatának számítása:

Nézzünk meg egy példát, a generátort. Ez a legbonyolultabb része a rendszernek. (6. ábra) A tulajdonképpeni generátor részben visszük be a fűtőtelijsítményt ( $P_{gen.fűt}$ ). Az itteni hőmérséklet ( $t_{gen}$ ) határozza meg a nyomást. Ebből kikövetkeztethetjük a keletkező gőz ammóniatartalmát ( $y_{gen}$ ). Ez a gőz ( $\dot{m}_{gendef}$ ) bejut a deflegmátorba, ahol némileg visszahűtjük, úgy, hogy az összes víz lekondenzálódjon ( $x_{def} = 0$ ). Ez visszajut a generátorba ( $\dot{m}_{defgen}$ ), így belőle gyakorlatilag tiszta ammónia távozik ( $y_{hkz} = 1$ ). Hogy az ammónia fogyását pótoljuk, az oldatot folyamatosan keringetjük a generátor ( $x_{gen}, t_{gen}$ ) és az abszorber ( $x_{abs}, t_{abs}$ ) között. (természetesen  $\dot{m}_{abs} = \dot{m}_{gen}$ )



6. ábra: A generátor modellje

Ismerve a hőmérsékleteket és a koncentrációkat, az ammónia-víz rendszer modelljéből ki tudjuk számítani a nyomásokat, a keletkező fázisok koncentrációit, és az entalpiáit. Ha ez megvan, akkor egy egyszerű energia-egyenletet felírva, megkapjuk a fűtőtelijsítményt. (7)

$$P_{gen} := \dot{m}_{gen} \cdot h_{old.gen} + \dot{m}_{gendef} \cdot h_{gendef} - \dot{m}_{abs} \cdot h_{old.abs} - \dot{m}_{defgen} \cdot h_{defgen} \quad (7)$$

Hasonló gondolatmenettel leírható a többi részegységben zajló folyamat is, így kiszámíthatjuk a hűtőtelijsítményt és a szivattyútelijsítményt is, ezekből pedig kiszámítható a teljes rendszer jósági foka, a COP.

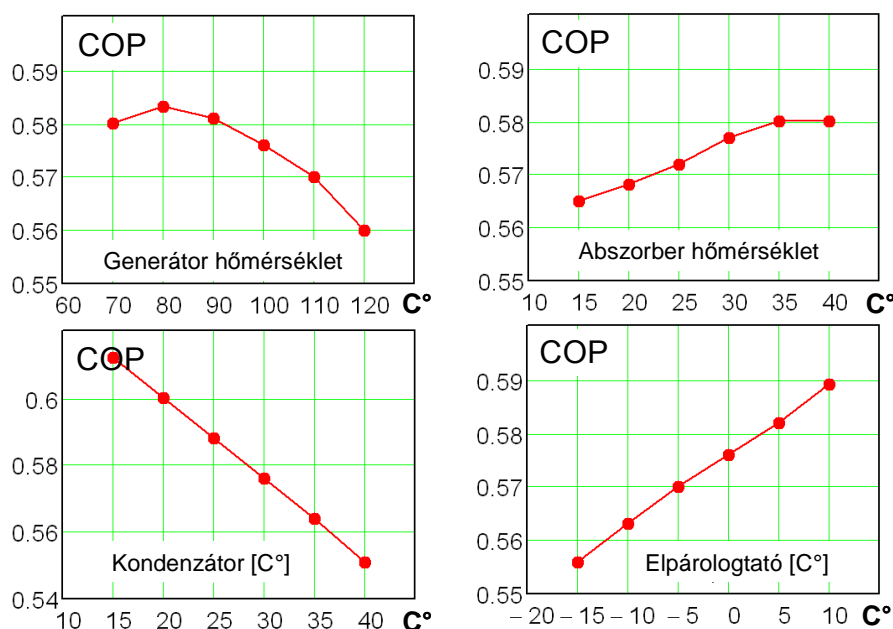
E cikkben nincs lehetőség mindent részletesen tárgyalni, de a [5] forrás tartalmazza az teljes számítást.

#### 4.2. A modell viselkedése

Mivel ki tudjuk számítani a teljes rendszer energiamérlegét, írjuk fel jósági fokát, a COP-t. Ez nem más, mint az elvont hő, vetítve a befektetett energiára. (8)

$$COP = \frac{Q_{hasznos}}{W_{befektetett}} \quad (8)$$

Vizsgáljuk meg, hogy függ a COP a részegységek hőmérsékletétől! Láthatjuk, hogy a modell összecseng a mért eredményekkel, és más, sokkal bonyolultabb felépítésű modellek viselkedésével. [6]



7. ábra: A COP függése az egyes részegységek hőmérsékletétől

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

E cikkben bemutattuk az abszorpciós hűtés helyét a hűtéstechika világában, valamint ezen eljárás lényegét. Felvázoltuk a leggyakrabban használt hűtőközegpár, az ammónia-víz rendszer fizikai jellemzőinek számítását, melyre alapozva a teljes hűtőkör modellezése is elvégezhető. Végül bemutattuk magát a modellt, és annak viselkedését.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KRAMER G., SIMÉNFALVI Z, SZEPESI L. G.:** *Ad- és abszorpciós hűtési eljárások áttekintése, és összehasonlítása*, 2014,
- [2] **KRAMER G., SIMÉNFALVI Z, SZEPESI L. G.:** *ammónia-víz rendszer adatainak számítása abszorpciós hűtési eljárások tervezéséhez*, 2015,
- [3] **ALMÉN G. CARL:** *Gas absorption refrigeration*, 1985,
- [4] **CONDE M. R.:** *Thermophysical properties of NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O solutions for industrial design of absorption refrigeration equipment*, 2004,

- [5] **KRAMER G., SIMÉNFALVI Z, SZEPESI L. G.:** *Ammónia-víz rendszerű abszorpciós hűtési folyamat hatásosságának és hőigényének számítási módszere, 2015,*
- [6] **SINGH R., DR. KUMAR R.:** *Theoretical Analysis of Nh3-H2o Refrigeration System, 2011.*

## EGY LIEBHERR FORGÓKOTRÓ GÉMTÖRÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Kozma Ferenc<sup>1</sup>, Varga Ferenc<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>okleveles gépészmérnök  
<sup>1</sup>igazságügyi műszaki szakértő  
<sup>1</sup>fg.kozma@gmail.com  
<sup>2</sup>vargaf@eng.unideb.hu

**Kivonat:** A vizsgálat tárgyát képező forgókotró kotrószerelékét lecserélve, megemelt egy vasúti vágánymezők és kitérők cseréjére szolgáló univerzális hidraulikus gépsor, 3600 kg tömegű, PUM típusú elemét. (Ennek befoglaló mérete 2225x3050x2365 mm volt.)

Emelés közben a három tagból álló gém első eleme alsó harmadánál, keresztmetszete mentén eltört. Ennek következtében a teher lezuhant, a gémbillentő munkahenger dugattyúrúdja meghajlott, kb. 10<sup>0</sup>-15<sup>0</sup> hajlítási szögben.

A vizsgált kotrógép meghibásodását a gémszerkezet szekrénytartója hegesztett tompakötésének hőzónájában legalább 1 évvel korábban bekövetkező repedésnek kifáradásos töréssé fejlődése okozta.

A korábban keletkezett repedést alkalmas vizsgálati módszerrel fel lehetett volna tárni, ilyen módon a bekövetkező kár mérsékelhető, vagy elkerülhető lett volna.

**Kulcsszavak:** Hidraulikus forgókotró, túlterhelés, fáradt törés, konstrukciós hiba, hegesztési hiba

Megbízás alapján, egy meghibásodott LIEBHERR 900 ZW típusú, hidraulikus, gumikerekes forgókotró eltört gémszerkezetének egy eltört elemét, hegesztő-mérnök kollégámmal közösen, vizsgáltuk meg.

Vizsgálataink eredményét egy szakvéleményben írtuk le és adtuk át a megbízónknak.

### 1. ELŐZMÉNYEK

A vizsgálat tárgyát képező forgókotró kotrószerelékét lecserélve, megemelt egy vasúti vágánymezők és kitérők cseréjére szolgáló univerzális hidraulikus gépsor, 3600 kg tömegű, PUM típusú elemét. (Ennek befoglaló mérete 2225x3050x2365 mm volt.)

Emelés közben a három tagból álló gém első eleme alsó harmadánál, kereszt-metszete mentén eltört. Ennek következtében a teher lezuhant, a gémbillentő munkahenger dugattyúrúdja meghajlott, kb. 10<sup>0</sup>-15<sup>0</sup> hajlítási szögben.

Az eltört gém 450 mm-es darabját, melyet a megbízó vágott ki a gémből, további vizsgálatok céljára rendelkezésünkre bocsátotta.



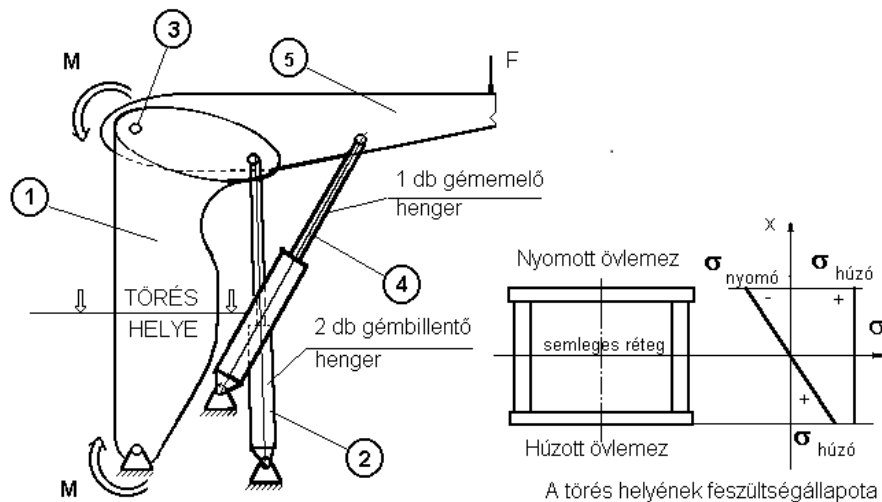
1. ábra

Megbízó átadta a meghibásodott kotró gépkönyvét, Üzemeltetési és karbantartási utasítását, valamint a kotróról készült fényképeket.

A szakértői vizsgálatot a meghibásodott kotró vizsgálata, az átadott minta, dokumentumok és képek alapján végeztük el.

## 2. SZAKÉRTŐI VIZSGÁLAT

A kotró gémszerkezete 3 tagból áll. Az első tag az alváz körül elfordítható felépítményhez kapcsolódik, olyan módon, hogy a függőleges síkban (fel-le) emelhető-süllyeszthető. A gémszerkezet ezen tagjának döntését két hidraulikus munkahenger végzi. (1. és 2. számú ábra)



2. ábra

A 2. ábrán 2. tételszámmal jelölt gémtag 3. tételszámú csap körüli elfordítását, emelését a töréskor deformálódott, a gémszerkezet középső részén lévő hidraulikus munkahenger biztosítja.

A gémszerkezet első -törött- tagjának (1.) billentését végző munkahenger-pár (2.) a 2. számú ábrán jelzett módon egy keretet alkot.

A keret terhelését az 5. számú gémtag adja, melyet a 4. számú hidraulika henger mozgat.

Az 1. gémtag igénybevétele - a hármas tag működtetése során - hajlító+húzó igénybevétel, a kialakult törés a húzott rétegben van.

Az 1. számú tag teherviselő keresztmetszete a tervek szerint és a törött darab megvizsgálása alapján is szögletes szekrénytartó.

A húzott oldalon várható nagyobb igénybevétel ellensúlyozása érdekében, a húzott övlemezt - megfelelő átmenettel - kétszeres falvastagságúra alakították ki.

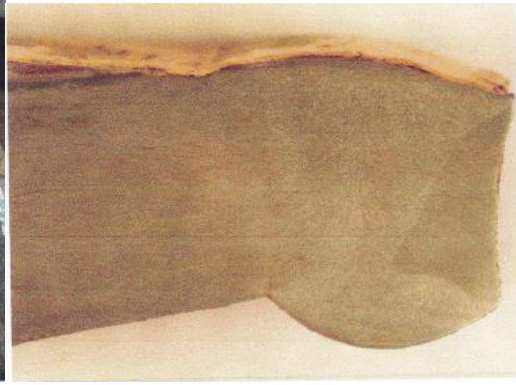
A törés ezen elem elvékonyításának toldásánál következett be olyan módon, hogy a vékonyabb keresztmetszetű lemez, hegesztési hőzónájából kiindulva átrepedt. (3. és 4. ábra)

A tompakötés gyök után hegesztéssel készült, ez azt bizonyítja, hogy a szekrénytartó ezen eleme szerelés előtt - korábban - készre hegesztett volt.

A gyök után hegesztés varratmagassága a lemez síkjáig lemunkált – mindkét oldalon – a keresztvevő varrat környezetében (helyes kialakítás).



3. ábra



4. ábra

A keresztmetszeti csiszolaton (4. ábra) látható, hogy a kötés V-varrattal készült – gyök után hegesztéssel. A koronavarrat enyhén domború, megfelelő magasságú átmenete mindkét oldalon kifogástalan és szegélykiolvadás nem lát-ható. A gyökoldali után hegesztés kissé aszimmetrikus, előnytelenül domború, bár szegélykiolvadás nem látható, az átmenetnél a fáradás következtében a berepedés elkezdődött.

Szövetszerkezete ferrit-perlites, durvulás még a hőzónában sem jelentkezik.

Keménysége: -  
 alapanyag: 180-190 HV10  
 -varrat: 170-180 HV10  
 -hőzóna: 180-200 HV10

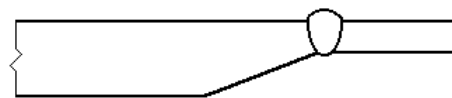
Egy ilyen helyen kialakított hegesztett kötés súlyos szakmai hiba!!! (5. ábra)

A zónák közötti keménység-szóródás nem számottevő, gyakorlatilag azonos mindhárom helyen.

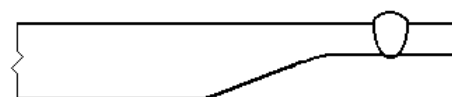
A fentiek alapján e korábban legyártott elem tompakötése feszültség-csökkentő hőkezelésnek lett alávetve

A repedés a 1. számú elem keresztmetszet változásának geometriai határán van. (A lemez merevsége is jelentősen változott!!!)

A húzott övlemez repedése a gyártást követő kezdeti időszakban alakulhatott ki, melyet a töretfelület korróziója és a gerinclemezek fáradási képe egyértelműen bizonyít. (6.a és 6. b. ábrák)



A varrat helytelen elhelyezése a toldásnál



A varrat helyes elhelyezése a toldásnál

5. ábra



6.a. ábra



6.b. ábra

A **fáradási folyamat**, tehát a húzott réteg hajlítása minden egyes munkaműveletnél ismétlődött és mivel nem volt látható (festékréteg takarhatta, rozsdásodott, műszeres vizsgálattal nem volt ellenőrizve) így előrehaladása **észrevétlen maradt**, bár az időszakos vizsgálat során a meglévő repedést folyadékbehatolásos vagy mágneses repedés vizsgálattal ill. ultrahangos vizsgálattal fel lehet táni.

A vizsgálathoz 2-es fokozatú vizsgálói felkészültség (PT2 vagy MT2 ill. UT 2, az MSZ EN 473 :2001 szerint) szükséges és a nagyértékű, vagy életveszélyt jelentő hegesztett szerkezeteknél nem kellett volna az elvégzését „megtakarí-tani”.

A szekrénytartó kialakítása az övlemezek és gerinclemezek csatlakozásá-nál tompakötéssel készült. A tompakötés keresztmetszeti csiszolata gyökhibát tartalmaz, néhol bezáródott salakot, és átmenete sem tökéletes az övlemeznél, részben szegély-kiolvadás, részben előnytelen varratátmenet következtében. (7. ábra)



7. ábra

A hidraulikus kotró alkalmas teheremelésre is. A gépkönyv foglalkozik is ezzel, kiemelve hogy ez csak akkor lehetséges, ha a kötelező biztonsági szerelvények fel vannak szerelve:

- teherfelvevő eszközök a teher biztonságos rögzítéséhez



- túlterhelő figyelmeztető berendezés
- vezetéktörés biztosítása az ISO 8643 szerint
- megengedett teher táblázata a vezetőfülkében

Jelen berendezésnél, ha a tehernyomás az emelőhelyzetben eléri a kap-csolónyomást, akkor a nyomáskapcsoló jelet ad az ellenőrző lámpának és a berregőnek, ezzel figyelmezteti a gépkezelőt.

A túlterhelés figyelmeztető berendezés a megengedett terhelés túllépésekor nem helyezi a gépet üzemem kívül, csupán a vezetőt értesíti a kialakult helyzetről.

A gépkönyvben olvasható: „... a túlterhelés figyelmeztető berendezést naponta az emelés megkezdése előtt le kell ellenőrizni!”

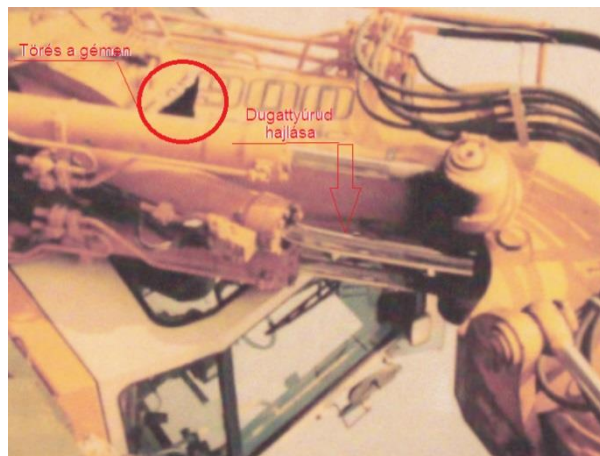
A fentiek rögzítése azért szükséges, mert a gép törése emelés közben következett be, annak ellenére, hogy az elmúlt évben időszakos vizsgálaton esett át, amely szerint megfelelt a biztonságos üzemeltetés szabályainak.

Néhány megjegyzés a vizsgálati jegyzőkönyvhöz:

1. A jegyzőkönyvön nincs dátum, csak a frontoldalon látható R-276/04 számból lehet következtetni a 2004 évre!
2. A hivatkozott szabványok közül az MSZ 17227:1984 és az MSZ 17228:1983 2003. 11.01-én visszavonásra került.
3. A gépkönyv emelésre vonatkozó kitételei ellenére a felülvizsgálati jegyzőkönyv nem érinti a túlterhelés figyelmeztető berendezés állapotát, ez csak 1 tonna emelési teher alatt fogadható el.

Az övlemez töretfelülete rozsdás, ez a repedést követően évek alatt alakult ki. Az átrepedés magába foglalja a varrat hőzónáját is, mely részben a varrathibák, részben a nem megfelelő hegesztési sorrend miatt alakulhatott ki.

A zárt szekrénytartó ennek megfelelően lényegesen gyengült és az ismétlődő használat következtében a kezdeti repedés terjedt- egyre jobban gyengítve szekrénytartóként való működését. Ez a jelenség előrevetíti a meghibásodás törésként való végkimenetelét, hiszen ha a szekrénytartó egyik eleme átreped, akkor nyitott U-tartóvá válik és a hajlító igénybevétel azonnali horpadáshoz, vagy töréshez vezet.



8. ábra

### 3. Szakértői végkövetkeztetés

- A vizsgált kotrógép meghibásodását a gémszerkezet szekrénytartója hegesztett tompakötésének hőzónájában legalább 1 évvel korábban bekövetkező repedésnek kifáradásos töréssé fejlődése okozta.
- A korábban keletkezett repedést alkalmas vizsgálati módszerrel fel lehetett volna tártani, ilyen módon a bekövetkező kár mérsékelhető, vagy elkerülhető lett volna.
- A túlterhelésre figyelmeztető jel működési körülményei bizonytalanok.

Debrecen, 2015. április 18.

## MŰANYAG SZÁLERŐSÍTÉSŰ VASBETON GERENDÁK ALAKVÁLTOZÁSI ÁLLAPOTA

### DEFLECTION OF PLASTIC FIBRE REINFORCED CONCRETE BEAMS

**Mező Norbert János<sup>1</sup>, Taiierling János<sup>2</sup>, Kovács Imre<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup> IV. évf. építőmérnök hallgató

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

<sup>1</sup>mezonorb328@gmail.com, <sup>2</sup>taiierlingjanos@yahoo.com

<sup>3</sup> tanszékvezető, főiskolai tanár

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék

dr.kovacs.imre@gmail.com

**Kivonat:** A különböző anyagú szálak alkalmazása betonban egyes mechanikai jellemzőinek javítása érdekében napjainkban egyre elterjedtebb technológiává vált az építőiparban. A betonban alkalmazott szálak közül legelterjedtebbek a különböző anyag összetételű és alakú acél- és műanyag szálak. Az építőanyagok fejlődésének köszönhetően a mai műanyag szálak szilárdsági jellemzőikkel vetekednek az acélszálak hasonló tulajdonságaival. A Debreceni Egyetem Építőmérnök Tanszékén kutatási programot dolgoztunk ki a műanyag szálak vasbeton gerendák alakváltozásaira gyakorolt hatásának megismerése céljából. Kísérleteinkben olyan műanyag szálerősítésű vasbeton gerenda próbatesteket vizsgáltunk, melyekben az alkalmazott műanyag szálak szilárdsági jellemzői a legmagasabbak a piacon kapható szálak csoportjában. Vizsgálataink célja a különböző szaladagolások hatásának vizsgálata volt szerkezeti elemeink alakváltozási jellemzőire.

**Kulcsszavak:** használati határállapot, alakváltozás, repedésmentes és berepedt állapot, szálerősítés, műanyag szál, a nyomatek és a görbület összefüggése

**Abstract:** Application of different fibre reinforcement in concrete is a spreading technology in the building industry nowadays. However, current applied fibre material is generally steel and/or plastic. Development of building materials results better and better plastic fibre types, by the increase of yield strength. At the Department of civil Engineering University of Debrecen an intensive experimental program was developed in order to investigate the effect of plastic fibres on the structural performances of concrete members. The specimens of our experiment were plastic fibre reinforced RC beams made with different fibre quantity. The purpose of this experiment was to investigate the effect of fibre reinforcement on the deflection behaviour in the serviceability limit state.

**Keywords:** serviceability limit state, deflection, cracked and uncracked section, fibre reinforcement, plastic fibre reinforcement, moment curvature relationship

## 1. BEVEZETÉS

Az alakváltozások mértékét a vasbetonszerkezetek funkciójának biztosítása, a szerkezeti elemek megfelelő működése, a kedvezőtlen megjelenés elkerülése továbbá a csatlakozó elemek károsodásának megelőzése érdekében korlátozni kell. A lehajlás pontos becslése összetett probléma, mely nem lineáris és hosszantartó számítást eredményező analitikai módszerek alkalmazását igényli. Az egyes szerkezetek alakváltozásainak ellenőrzéséhez a mindennapi mérnöki gyakorlatban a tervezés fázisában egyszerűen és megbízhatóan alkalmazható eljárások szükségesek. Az alakváltozások meghatározására a különböző szabványok eltérő összefüggéseket ajánlanak. Kutatásaink során ezen előírások közül az MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC2), illetve az ACI 318 szabvány eljárásainak ellenőrzését hajtottuk végre kísérleti vizsgálataink eredményei alapján. Tekintettel az alkalmazott gerendák kísérleti paramétereire, lehetőségünk volt a műanyag szálerősítés alakváltozásra gyakorolt hatásának feltárására is.

## 2. LEHAJLÁS VIZSGÁLAT AZ MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC2) ALAPJÁN

Amennyiben a részletes alakváltozás vizsgálat mellőzhetőségét biztosító, a szerkezet karcúságának ellenőrzésén alapuló közelítő eljárás alapján részletesebb vizsgálat szükséges, akkor egy vasbeton szerkezet lehajlását egy hossza mentén repedésmentes (I. fesz. állapot) és egy berepedt (II. fesz. állapot) tartó viselkedésének kombinációjaként kell meghatározni, ahol a fenti két szélső állapot közötti tényleges szerkezeti viselkedés jellemzésére az alábbi összefüggés alkalmazható:

$$\alpha = \zeta \cdot \alpha_{II} + (1 - \zeta) \cdot \alpha_I \rightarrow w = \zeta \cdot w_{II} + (1 - \zeta) \cdot w_I,$$

ahol egy vasbeton tartó lehajlásainak pontos értékeit – a kúszás és a zsugorodás figyelembe vételével – az alábbi összefüggésekkel határozhatjuk meg:

$w_I$  – a repedésmentes (I. feszültségi állapotban lévő) szerkezet lehajlása:

$$w_I = \frac{5}{384} \cdot \frac{P_{d,quasi} \cdot L_{eff}^4}{E_{c,eff} \cdot I_I} + \frac{1}{8} \cdot L_{eff}^2 \cdot \kappa_{I,cs} \quad \text{ahol } \kappa_{I,cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot S_{s,I}}{E_{c,eff} \cdot I_I}$$

$w_{II}$  – a berepedt (II. feszültségi állapotban lévő) szerkezet lehajlása:

$$w_{II} = \frac{5}{384} \cdot \frac{P_{d,quasi} \cdot L_{eff}^4}{E_{c,eff} \cdot I_{II}} + \frac{1}{8} \cdot L_{eff}^2 \cdot \kappa_{II,cs} \quad \text{ahol } \kappa_{II,cs} = \varepsilon_{cs} \cdot \frac{E_s \cdot S_{s,II}}{E_{c,eff} \cdot I_{II}}$$

$\xi$ : – a húzott beton öv merevítő hatását figyelembe vevő tényező:

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left( \frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \rightarrow \xi = 1 - 0,5 \cdot \left( \frac{M_{crack}}{M_{d,quasi}} \right)^2$$

## 3. LEHAJLÁS VIZSGÁLAT AZ ACI 318 ALAPJÁN

Az ACI 318 alapján a szerkezet lehajlásai meghatározhatók a rugalmas alakváltozás számításánál megszokott módszerekkel, vagy olyan összefüggésekkel, melyek figyelembe veszik a repedéseknek és az acélbetéteknek az elem merevségére gyakorolt hatását is. A pillanatnyi lehajlás értéke – amennyiben nem áll rendelkezésre pontosabban meghatározott adat erre vonatkozóan – számítható a beton rugalmassági modulusának ismeretében ( $E_c$ ) valamint az inercianyomatéokra ( $I$ ) vonatkozó alábbi összefüggések alapján:

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] \cdot I_{cr} \leq I_g$$

ahol:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t}$$

$f_r$  – a húzószilárdság értéke

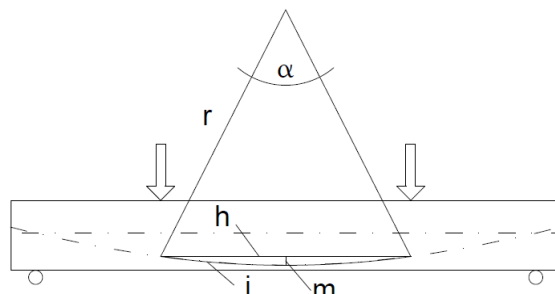
$M_a$  – a vizsgált teherszinthez tartozó nyomaték

$I_g$  – a teljes keresztmetszet inerciája repedésmentes állapotban, vasalás nélkül

$I_{cr}$  – az inercianyomaték a teljesen berepedt állapotban:  $I_{cr} = \frac{b \cdot x^3}{12} + n \cdot A_s \cdot (d - x)^2$

#### 4. INERCIANYOMATÉK SZÁMÍTÁSA VÁLTOZÓ GÖRBÜLET ALAPJÁN

A terhelés jellegéből kialakuló alakváltozás sajátossága alapján a körszeletre vonatkozó geometriai képletből a görbületi sugarat kifejezve, majd behelyettesítve a rugalmas vonal elméletén alapuló, a hajlítónyomaték és a görbület közötti összefüggésbe, az egyenlet rendezésével az inercianyomaték kifejezhető.



1. ábra: A görbületi sugar és a görbület harmadpontos terhelés esetén, a tiszta hajlítás szakaszán

$$m = r - \frac{\sqrt{4r^2 - h^2}}{2} \longrightarrow 2r - 2m = \sqrt{4r^2 - h^2} \longrightarrow 4r^2 - 8m + 4m^2 = 4r^2 - h^2$$

$$4r^2 - 8m + 4m^2 = 4r^2 - h^2 \longrightarrow -8m = -h^2 - 4m^2 \longrightarrow r = \frac{-h^2 - 4m^2}{-8m}$$

$$\longrightarrow \frac{1}{r} = \frac{M}{EI} \longrightarrow I = \frac{Mr}{E}$$

#### 5. KÍSÉRLETI PROGRAM

A szálak hatásának vizsgálatára, valamint a modellben szereplő kísérleti tényezők meghatározására kísérleti programot dolgoztunk ki.

##### 5.1. Alkalmazott szálak

Vizsgálataink során ( $l = 48 \text{ mm}$ ) Barchip 48-as műanyag szálakat alkalmaztunk. A szál anyaga módosított olefinszál, melynek húzószilárdsága  $640 \text{ N/mm}^2$ , rugalmassági modulusa  $10000 \text{ N/mm}^2$ . A gerendák négy különböző száltartalommal készültek:  $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $2 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$  és  $6 \text{ kg/m}^3$ .

##### 5.2. Betonösszetétel

A próbatestek az MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC2) szerint C40/50 szilárdsági osztályba tartozó betonból készültek. A kísérlet során nyomószilárdság és hasító-húzószilárdság vizsgálat is történt  $150 \text{ mm}$  élhosszúságú kocka próbatesteken a előszámítások és a számítási modell pontosságának növelése érdekében.

### 5.3. Hajlított-nyírt gerendák, terhelési és mérési módszerek

A kísérleti programban 16 db eltérő paraméterekkel rendelkező gerenda szerepelt. A próbatestek  $L = 3960$  mm hosszú, 125 mm x 500 mm keresztmetszetű vasbeton gerendák, amelyek azonos hosszvasalással lettek kialakítva. A hosszvasalás 6 db, végein megfelelően lehorgonyozott, két sorban elhelyezett  $2 \times 3 \times \varnothing 12$ -es acélbetétekkel került kialakításra. A kengyelek 5,5 mm átmérőjű acélbetétek felhasználásával készültek. A kengyeltávolságot a dolgozó magasság ( $d = 450$  mm) figyelembe vételével, annak függvényében határoztuk meg, 450 mm, 300 mm, 150 mm kengyeltávolságú, tovább kengyelezés nélküli gerendák készültek. A műanyag szálak hatásának vizsgálata céljából a gerendákban eltérő száltartalom került alkalmazásra,  $0 \text{ kg/m}^3$ ,  $2 \text{ kg/m}^3$ ,  $4 \text{ kg/m}^3$  és  $6 \text{ kg/m}^3$  száltartalommal. A kísérleti mátrixot ennek megfelelően 4 eltérő nyírási vasalású és 4 különböző szaladagolású gerenda alkotta.

A terhelés módja a harmadpontos terhelésnek megfelelő volt, a teherátadás a támaszoktól 900 mm távolságra ( $2 \times 450$  mm) történt, így a tartó középső 1800 mm hosszú ( $4 \times 450$  mm) szakaszán a terhelési módnak megfelelően tiszta hajlítás alakult ki.

A kísérletek során rögzítésre kerültek az alakváltozások, mely alakváltozásokat a terhelési pontok, valamint a tartó középső keresztmetszetében vettünk fel digitális adatrögzítéssel teherlépcsőnként (10kN), továbbá a repedéstávolságok, repedéstávolságok és a repedéshosszak melyeket analitikus eszközökkel rögzítettünk.



2. ábra: Barchip 48-as műanyagszál



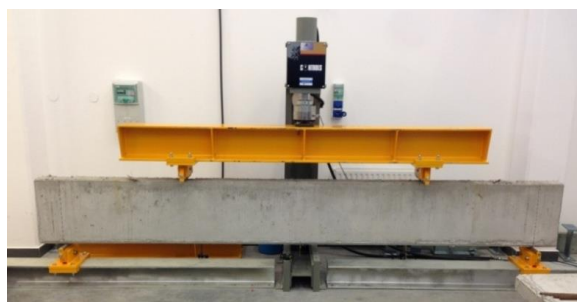
3. ábra: Gerenda vasalása



4. ábra: A gerendák bedolgozása



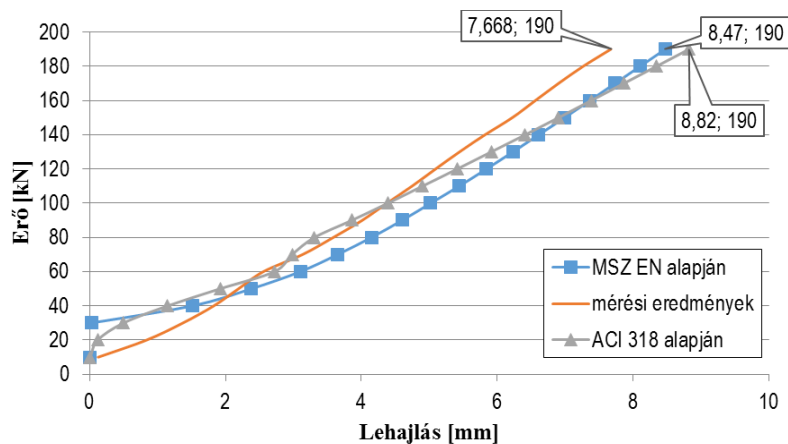
5. ábra: Nyomószilárdság vizsgálat



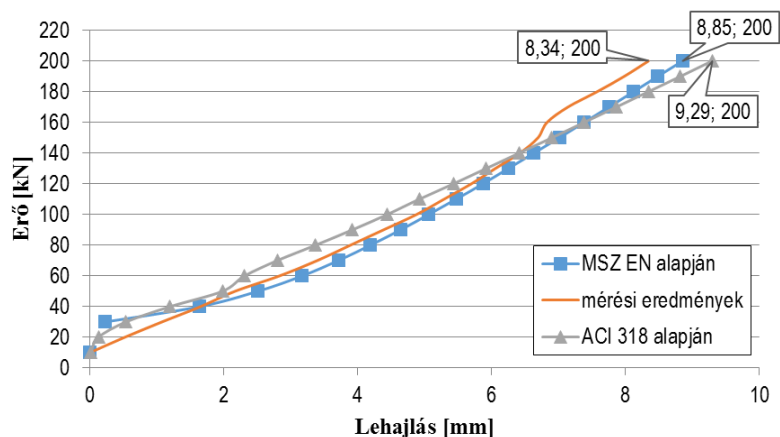
6. ábra: A gerenda elhelyezkedése a terhelőpadon

## 5. SZABVÁNY-JAVASLATOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA MÉRÉSI EREDMÉNYEKKEL

Kísérleti eredményeinket feldolgozó erő-lehajlás diagramok (7. ábra, 8. ábra) alapján megállapítható, hogy a berepedt tartományban mindkét szabvány (MSZ-EN, ACI) viszonylag pontosan követi le a mérési eredményeket.



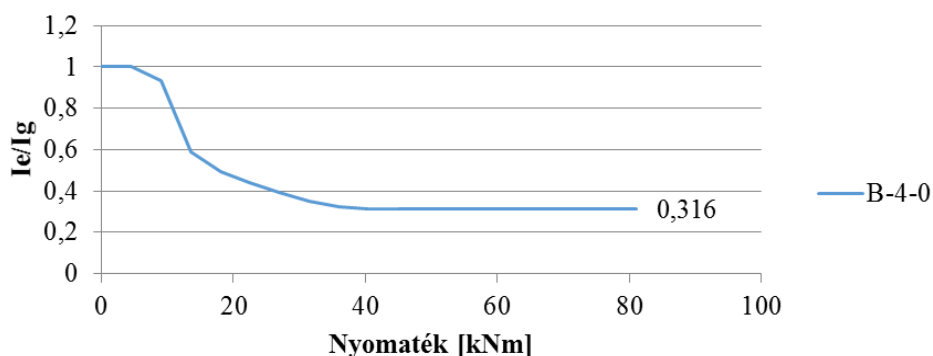
7. ábra: B-0-0 jelű gerenda alakváltozásai



8. ábra: B-4-0 jelű gerenda alakváltozásai

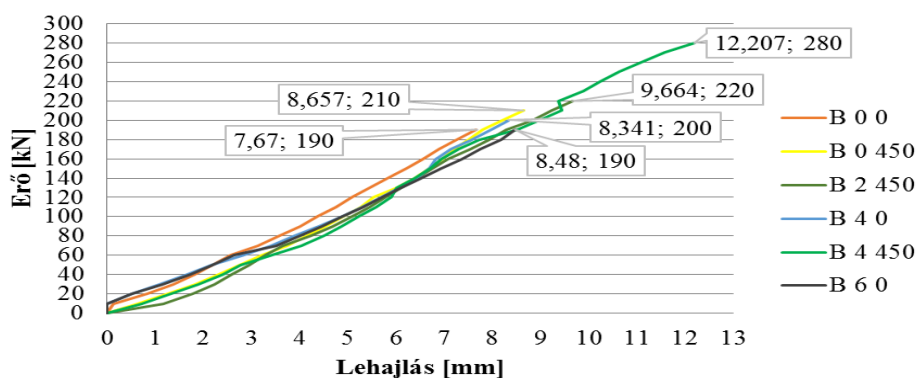
## 6. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

A geometriai összefüggések alapján kifejezett, és kísérleti eredmények alapján meghatározott inercianyomatékok és a teljes keresztmetszet inercianyomatékának aránya és a hajlító nyomatékok összefüggése kerül ábrázolásra a 9. ábrán. A függvényen megfigyelhető, hogy a B-4-0 jelű gerenda esetén kb. 10-12 kNm-es nyomatékig az inerciák aránya 1-et ad, tehát a tartó még repedésmentes. Ezt követően, a húzott beton öv bereped, az inercianyomaték lecsökken, melyet a teher növekedésével további repedések megjelenése következtében folyamatos inercia csökkenés követ a már kialakult repedések hosszának növekedése mellett, kb 40 kNm-es nyomatéki igénybevételig. Megfigyelhető, hogy az inercianyomaték csökkenése ezen a teherszinten megáll, azaz elérjük a repedések állandósulásának szakaszát, ami jó közelítéssel a II. (beped) és az I. (repedésmentes) feszültségállapotban számítható inerciák aránya.



9. ábra: B-4-0 jelű gerenda inercianyomaték-nyomaték összefüggése

Az eltérő száltartalmú és kengyelezésű gerendák erő-alakváltozás összefüggései (10. ábra) alapján megállapítható, hogy egy adott teherszint esetén, a lehajlások közötti eltérések kicsik, illetve nem mutatható ki markánsan a száladagolás alakváltozásra gyakorolt hatása.



10. ábra: Eltérő száltartalmú és kengyelezésű gerendák erő-alakváltozás összefüggése

## 7. MEGÁLLAPÍTÁSOK

Kísérleti eredményeink alapján megállapítható, hogy a gerendák alakváltozási jellemzőit az MSZ EN 1991-1-1:2010 és az ACI 318 szabványok alapján számítható lehajlási értékek kellő biztonsággal követték.

Megállapíthatjuk továbbá, hogy a kísérleti eredmények és a kiselmozdulások elve alapján számított nagytolt eltolódási értékek jó egyezést mutatnak.

Kísérleti vizsgálataink folyamatban vannak, eddigi eredményeink alapján előirányozható, hogy a műanyagszálak alkalmazásának nincs jelentős hatása a vasbeton szerkezetek alakváltozására, azaz a hajlítási merevséget jelentősen nem befolyásolják.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] ACI 318 - American Concrete Institute. *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-1995) - Chapter 9 – Strength and Serviceability requirements, Detroit, USA, 1997.
- [2] KOVÁCS I.: *Effect of steel fibres on the structural behaviour of concrete members*, Doktori PhD. Értekezés, 2004
- [3] KOVÁCS I.: *Structural performance of steel fibre reinforced concrete*, 2004
- [4] MEZŐ N. J., TAIERLING J., *Műanyag szálerősítésű vasbeton gerendák repedezettségi állapotának vizsgálata és modellezése*, TDK dolgozat, 2014
- [5] MSZ EN 1992-1-1:2010 EUROCODE 2: *Betonszerkezetek tervezése*. 7.4 fejezet



# A NYÍRSÉG CSAPADÉK IDŐSORAINAK STATISZTIKUS ÉS CIKLIKUS JELLEMZŐINEK VÁLTOZÁSA

## STATISTICAL AND SPECTRAL ANALIZATION OF THE PRECIPITATION TIME SERIES OF THE NYÍRSÉG REGION

Ilyés Csaba<sup>1</sup>, Turai Endre<sup>2</sup>, Szűcs Péter<sup>3</sup>

<sup>1</sup>doktorandusz, <sup>2</sup>egyetemi docens, <sup>3</sup>egyetemi tanár  
Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport  
kapcsolat: hgilyes@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** A kutatómunka során Nyírség két meteorológiai állomásának hosszú távú csapadék idősorait vizsgáltuk leíró statisztikai, korrelációs számításokkal és Diszkrét Fourier-transzformáción alapuló spektrális elemzéssel. A vizsgálatok során a két állomás földrajzi közelsége miatt nagy mértékű korrelációs együtthatót számoltunk, a ciklusok tekintetében is hasonló eredmények születtek. A ciklikus komponenseket két részre osztva kijelenthető, hogy mindkét állomás adataiban két főciklus és nagyszámú mellékciklus található. A két főciklus az éves, és féléves ciklusok 60 % feletti relatív amplitúdó tartományba esnek, míg a 20-50 % közötti tartományban 17 illetve 19 mellékciklus került kimutatásra.

**Kulcsszavak:** Nyírség, spektrális elemzés, statisztikai elemzés, csapadék, ciklusok

**Abstract:** In this paper, we examined precipitation datasets from two meteorological stations in the Nyírség Region. The two long term datasets were examined with descriptive statistical methods and spectral analysis. The results showed, that the two meteorological stations have almost the same parameters, the correlation between these two data are strong. The spectral analysis showed two major cycles, a one year, and a half year long cycles, and large number of additional cycles with relative amplitude range between 20-50 %. The numbers of additional cycles were 17, and 19.

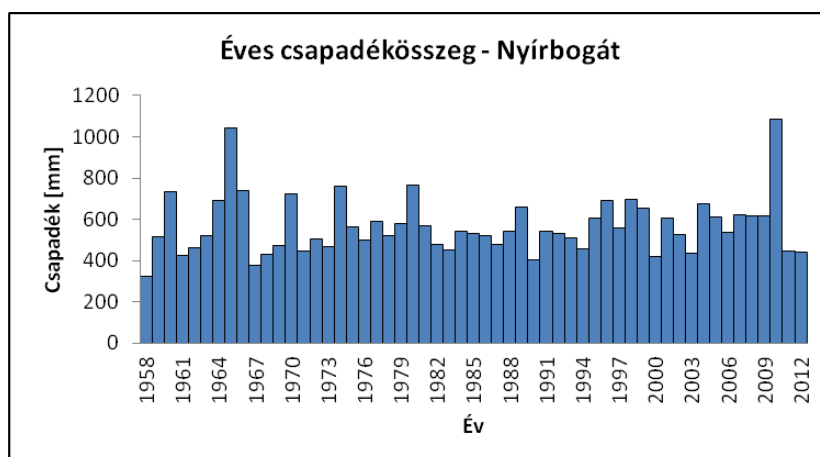
**Keywords:** Nyírség, spectral analysis, statistical analysis, precipitation, cycles

### 1. BEVEZETÉS

Korábban a Bükk és a Mátra területére 52 éves periódusra elvégzett [1] és [2] kutatások alapján, ahhoz hasonlóan leíró statisztikai módszereket és diszkrét Fourier-transzformációt alkalmazva az ország Észak-keleti régiójában a Nyírség keleti részén található Nagyecsed és Nyírbogát területére vonatkozó csapadék adatokat vizsgáltuk. A Nyírség területén található két meteorológiai állomás hosszú távú hidrometeorológiai adatsoraiban végeztünk leíró statisztikai és cikluselemzéses vizsgálatokat. A két állomás – Nagyecsed és Nyíradony – 1958-tól és 1961-től regisztrált havi csapadékösszegeit vizsgáltuk.

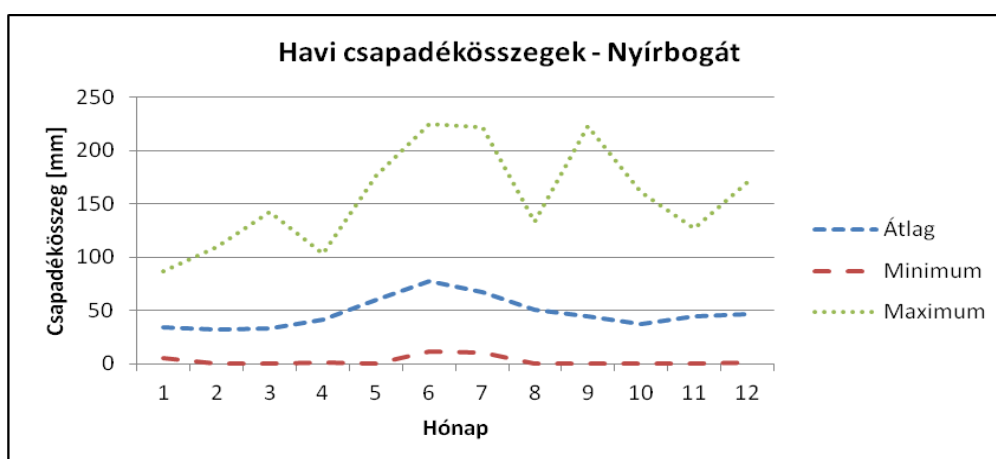
### 2. LEÍRÓ STATISZTIKAI ELEMZÉS

Nyírbogát állomáson az évi átlagos csapadék 567,29 mm. Az éves csapadékösszegekben nagy változékonyság figyelhető meg (1. ábra), de a lineáris trendszámítások szignifikáns változást nem mutattak ki az idősorban. Az éves csapadékösszegek 322 és 1085,7 mm között mozogtak, a legnagyobb érték az ország nagy részében 2010-es évben adódott, mely rekord magasnak számít. Az év elején a minimum és maximum értékek viszonylag kis intervallumon belül mozognak, míg a nyári hónapokban és az év végén nagy különbségek fordulnak elő a csapadék értékeinek mennyiségbeli változékonyságában.



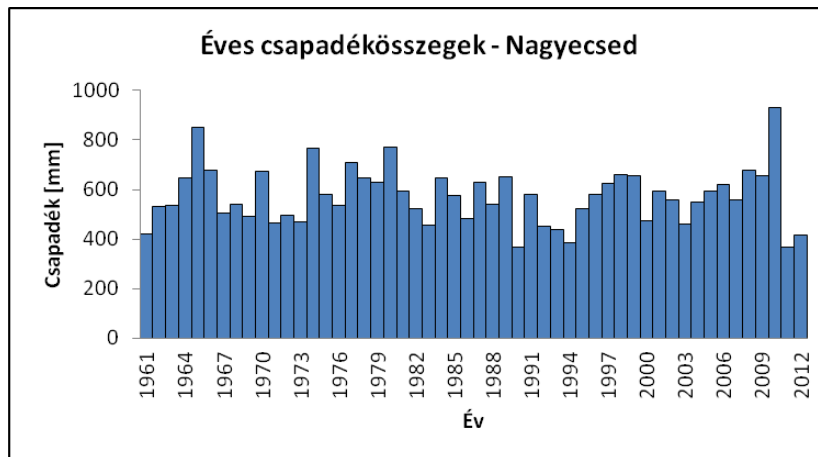
1. ábra: Éves csapadékösszegek - Nyírbogát

A 2. ábrán látható, hogy a csapadékok éven belüli eloszlása nagy intervallumon belül mozog, a minimum értékek közel minden hónap esetében 0 és 10 mm között alakulnak, míg a nyári hónapokban a regisztrált maximum érték 225,6 mm is volt a megfigyelt 55 évben. A havi átlagos értékekben a legnagyobb csapadék a nyári hónapokban tapasztalhatóak, a legszárazabb a tél vége és a tavasz, míg a regisztrált maximum értékekben több hónapra is 200 mm feletti értékek voltak jellemzőek, az átlagos havi csapadékösszeg a vizsgált időszakra 47,44 mm.



2. ábra: Havi csapadékösszegek - Nyírbogát

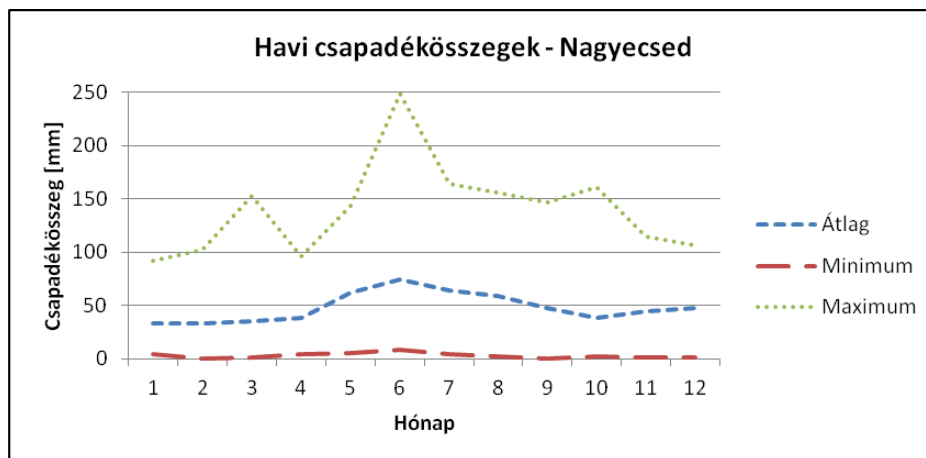
Nagyecsed állomáson az évi átlagos csapadék 572, 37 mm volt. Ezen az állomáson is nagy változékonyság figyelhető meg az éves csapadékösszegeket vizsgálva (3. ábra). A legnagyobb különbség az 1900-as évek óta tartó mérések sorában 2010 és 2011. évek között alakul, miszerint 2010-ben rekordmagas csapadékmennyiséget mértek, ezt követően ez 2011-ben rekordalacsony volt. Az éves csapadékösszegek 365,3 és 931 mm közötti értékben változtak a vizsgált időintervallumon belül, ami szintén hasonlóságot mutat a másik állomás adataiban tapasztaltnál. Az idősorra illesztett lineáris trendvonal szignifikáns változást nem mutatott, a csapadékösszegekben csökkenés vagy növekedés egyértelműen ebben az esetben sem mutatható ki.



3. ábra: Éves csapadékösszegek - Nagyecséd

A havi átlagos csapadék adatokat a 4. ábra szemlélteti. Az ábra alapján a havi csapadék értékek mennyiségének eloszlása hasonló képet mutat, mint a másik állomás adatsora. A regisztrált maximum értékek csak júniusban lépik át a 200 mm-es határt, a többi esetben 100-200 mm között mozogtak. A havi átlagos értékek egyenletes eloszlást mutatnak a hónapok esetén, a maximum a nyári hónapokra esik, de az év vége is csapadékosabbnak számít. A legnagyobb havi csapadékösszeg 248,5 mm volt, míg a vizsgált időszakban az átlagos havi csapadékösszeg 47,85, ami közel tízre azonos a másik állomásra számított középértékkel.

A két állomás adatsora között Pearson-féle korrelációs vizsgálat lett elvégezve [3], ami erős kapcsolatot mutatott. A korrelációs együttható értéke:  $r=0,839$ .



4. ábra: Havi csapadékösszegek - Nagyecséd

### 3. A VIZSGÁLAT ELMÉLETI ALAPJA

Az elemzés elvi alapja a Fourier-transzformáció. A frekvencia és amplitúdó értelmezése során  $2\pi$  szerint periodikus  $\cos(t)$  függvényből indulunk ki, ahol  $T=2\pi$  a periódushossza, ami alapján a  $\cos(t)$  függvény az alábbi szerint alakítható:

$$\cos(t) = \cos\left(\frac{2\pi}{2\pi}t\right) = \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = \cos\left(2\pi\frac{1}{T}t\right) = \cos(2\pi ft), \quad (1)$$

ahol  $f$  a frekvenciát jelenti, amely:

$$f = \left(\frac{1}{T}\right), \quad (2)$$

Amennyiben a  $t$  térbeli hosszát jelent, akkor a frekvencia az egységnyi térbeli hosszra eső peridusok számát fogja megadni.

A Fourier-transzformáció segítségével a tér-idő tartományból a jeleket frekvenciatartományba vihetjük át. Az eljárás során a jelek frekvencia tartománybeli képét spektrumoknak – Fourier-spektrumoknak nevezzük. Analitikus Fourier-transzformáció [4] során harmonikus függvényekkel ( $\cos(2\pi ft)$  és  $\sin(2\pi ft)$ ) dolgozva komplex Fourier-spektrumokat kapunk, amelyet egy valós és egy képzetes részre bonthatunk:

$$\operatorname{Re}[F(f)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \cos(2\pi ft) dt, \quad (3)$$

$$\operatorname{Im}[F(f)] = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \sin(2\pi ft) dt, \quad (4)$$

A Fourier-spektrumokat a valós és képzetes rész összegeként írhatjuk fel. A jel kialakításánál a sinusos tagok a képzetes spektrum a cosinusos tagok a valós spektrumok súlyát adják. Az  $F(f)$  komplex spektrum exponenciális alakban két másik valós spektrum segítségével is felírható:

$$F(f) = A(f)e^{j\Phi(f)}, \quad (5)$$

Az így bevezetett  $A(f)$  spektrumot amplitúdó spektrumnak, amely megadja, hogy a tetszőleges  $f$  frekvencia körüli egységnyi frekvenciasávba eső harmonikus komponensek súlyát a jel kialakításánál, a  $j=\sqrt{-1}$ , képzetes egység, míg a  $\Phi(f)$  spektrumot fázisspektrumnak nevezzük, amely azt adja meg, hogy  $e$  harmonikus komponens maximuma a periódushossz hányad részével tolódik el [5].

A spektrális elemzés során a vizsgált  $y(t)$  csapadékmennyiségekben keressük a determinisztikus periodikus komponenseket.

#### 4. CIKLUSOK VIZSGÁLATA

A kutatás során a Diszkrét-Fourier transzformációnak egy analitikus változatát alkalmazva a két adatsorban fellelhető ciklusok megtalálása volt a cél. A két állomás adataiból származó eredmények jobb összehasonlíthatósága céljából mindkét adatsort az 1961-2013 közötti időszakra vizsgáltuk. A két elemzés mellé a területet jellemző átlagos értékekkel is elvégeztük a vizsgálatot. A vizsgálat során meghatároztuk a havi csapadékértékek függvényének komplex amplitúdó sűrűség spektrumait.

Mindkét idősnornál drasztikusan jelentkezik az éves és féléves főciklus, habár 50 % relatív amplitúdó tartomány felett több főciklus nem található, ami a korábbi [2] Bükki-Mátrai mérésekhez képest újdonság. Emellett mindkét esetben több mellékciklus (20-40 % relatív amplitúdóval) is megtalálható a vizsgált adatsorokban. A nagy számú mellékciklusok a rövid mintavételi időköz (1 hónap) és a hosszú (629 hónapos) idősorok miatt mutatható ki.

	$T$ (hónap)	$T$ (év)	$AY(T)_{max}$ (%)		$T$ (hónap)	$T$ (év)	$AY(T)_{max}$ (%)
Fő				Mellék			
1.	12,00	1,00	100,00	10.	4,70	0,39	29,10
2.	6,00	0,50	61,01	11.	14,40	1,20	26,77
				12.	3,80	0,32	26,17
Mellék:				13.	25,20	2,10	26,13
3.	128,00	10,67	38,80	14.	17,90	1,49	25,41
4.	11,60	0,97	38,79	15.	9,90	0,83	25,33
5.	13,60	1,13	38,54	16.	22,60	1,88	25,15
6.	8,20	0,68	32,17	17.	53,00	4,42	25,04
7.	4,30	0,36	31,74	18.	405,00	33,75	24,05
8.	3,00	0,25	30,76	19.	179,00	14,92	18,90
9.	28,70	2,39	30,21				

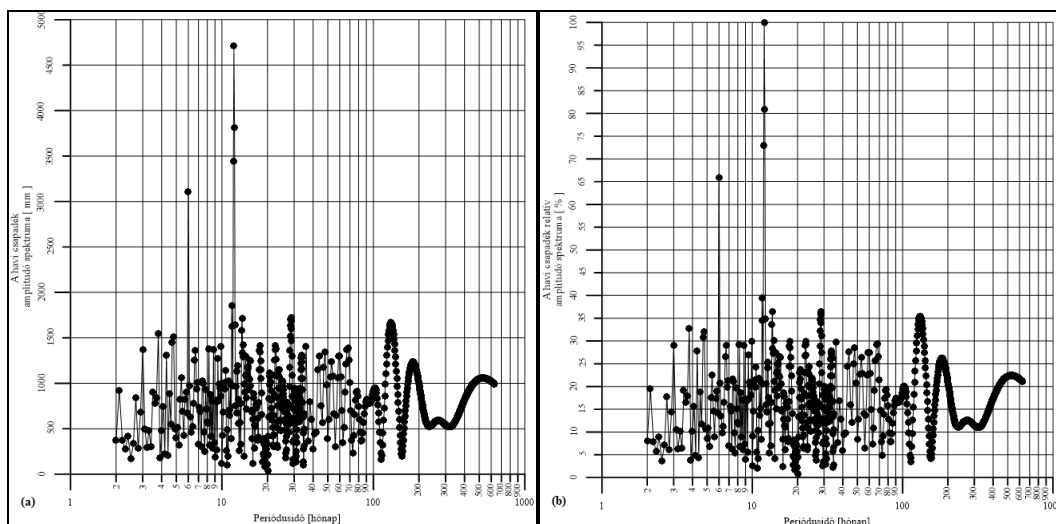
1. táblázat: Fő- és melléciklusok Nagyecséd állomásra

	$T$ (hónap)	$T$ (év)	$AY(T)_{max}$ (%)		$T$ (hónap)	$T$ (év)	$AY(T)_{max}$ (%)
Fő				Mellék			
1.	12,00	1,00	100,00	11.	9,90	0,83	35,70
2.	6,00	0,50	70,59	12.	68,00	5,67	35,67
				13.	23,80	1,98	35,47
Mellék				14.	133,00	11,08	34,97
3.	28,50	2,38	43,00	15.	184,00	15,33	34,70
4.	17,70	1,48	42,01	16.	60,00	5,00	34,11
5.	4,80	0,40	39,88	17.	13,60	1,13	34,09
6.	36,00	3,00	39,80	18.	14,90	1,24	34,08
7.	3,80	0,32	39,43	19.	44,00	3,67	32,31
8.	6,70	0,56	37,64	20.	48,00	4,00	30,80
9.	13,90	1,16	37,42	21.	578,00	48,17	30,54
10.	8,80	0,73	36,37				

2. táblázat: Fő- és melléciklusok Nyírbogát állomásra

A két állomás adatai (1. táblázat és 2. táblázat) között sok hasonlóság mutatkozik. A ciklusok közül mindkettőben megjelenik egy nagy ciklus (33, ill. 44 év), a rövidebb ciklusok közül hasonlóak a 184 és 179 hónapos ciklusok, a 128 és 133 hónaposak, továbbá az 53 és 60 hónapos ciklusok. A 10-30 hónapos ciklusok közül fellelhető párok a 28,5 ill. 28,7 hónapos, a 17,9 ill. 17,7 hónapos, illetve mindkettőben megjelenik a 13,6 hónapos ciklus közel azonos amplitúdó gyakorisággal. A 10 hónapnál rövidebb ciklusok közül a 9,9 hónapos mindkettőnél megjelenik, míg a 8,2 és 8,8 hónapos is tekinthető közel azonosnak. Az amplitúdó gyakoriságokat vizsgálva elmondható, hogy a Nyírbogati állomás relatív amplitúdó spektrum ( $AY(T)_{max}$ ) tartománya nagyobb értékeket mutat, a 30%-nál nagyobbak szerepelnek a táblázatban, míg a másik állomás adatai közül az enyhébb 18,9% is melléciklusnak számít még.

Mindkét állomásnál jelentkezik a 2 főciklus, az éves és fél éves, ami a csapadékok időbeli eloszlását ismerve várható eredmény. Nagyecséd esetében a fél éves főciklus amplitúdó spektruma 10%-al kisebb a Nyíradonyi állomás adataihoz képest.



5. ábra: A havi csapadékmennyiség amplitúdó (a) és relatív amplitúdó spektruma (b) a két terület átlagára 1961. január és 2013. május között

A két állomás adataiból képzett átlagos havi csapadékösszegeket is megvizsgáltuk, amely hasonló eredményt hozott, mint a külön megvizsgált két település időszora. Az átlagos csapadékösszegekre számított amplitúdó spektrumokban (5.a ábra) és relatív amplitúdó spektrumokban (5.b ábra) egyaránt megtalálható a két főciklus, az éves és a féléves, a 19 melléciklusban megtalálhatóak a másik két vizsgálat során már felkutatott ciklusok, a legnagyobb 44 éves, az utána következő 15 és a több, kisebb frekvenciájú melléciklus.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

A Diszkrét Fourier-transzformációval elvégzett elemzés kimutatta, hogy a havi csapadékösszegeket vizsgálva két főciklus, és több melléciklus is kimutatásra került. A vizsgálat során megkapott fő- és melléciklusok alapján 10-20 éves időtávra előrejelzés is készíthető [2], amivel a területre havi csapadékösszegeket lehet meghatározni, ami további éves, vagy napi adatokból készített mérésekkel tovább finomítható. A továbbiakban a rendelkezésre álló talajvíz adatsorokban is végrehajtható az elemzés, a paraméterek közti csatolás kimutatásának céljából.

## 6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0003 jelű projekt részeként, Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KOVÁCS, F. *A Mátra-Bükk-i terület csapadékjellemzőinek alakulása az utóbbi ötven évben (1960-2012)*. Bányászati és Kohászati Lapok Bányászat 147. évf. (2014) 1. sz. pp. 1-6.
- [2] KOVÁCS, F., TURAI, E. *A Mátra-Bükkalja csapadékjellemzőinek ciklikus változása, prognózis módszer megalkotása*. Bányászati és Kohászati Lapok Bányászat 147. évf. (2014) 2. sz. pp. 2-10.
- [3] DENKINGER, G. *Valószínűségszámítás*, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2001
- [4] BRACEWELL, R. N., *The Fourier Transform and its Applications*, McGraw-Hill Book Company, 1978
- [5] TURAI, E. *Spektrális adat- és információfeldolgozás – egyetemi jegyzet*. Miskolci Egyetem, Miskolc, 2005

## AEROSZOL VIZSGÁLATOK PASSZÍVHÁZ TECHNOLÓGIÁS ÉÜLETEKBEN

### AIRBORNE PARTICULATE MATTER INVESTIGATION IN BUILDINGS WITH PASSIVE HOUSE TECHNOLOGY

**Kozmáné Szirtesi Krisztina<sup>1</sup>, Angyal Anikó<sup>2</sup>, Szoboszlai Zoltán<sup>2</sup>, Furu Enikő<sup>2,3</sup>,  
Török Zsófia<sup>2,3</sup>, Kertész Zsófia<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> tanársegéd, Debreceni Egyetem Műszaki Kar 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4. E-mail: kszk@eng.unideb.hu

<sup>2</sup>MTA Atommagkutató Intézete, Ionnyaláb-alkalmazások Laboratóriuma 4026 Debrecen, Bem tér. 18/c.

<sup>3</sup>Debreceni Egyetem, 4010 Debrecen, Egyetem tér 1.

**Kivonat:** A külső eredetű belső téri légszennyezés az épület jellemzőitől függ: az épületburok szerkezetétől és a szellőzés módjától. A passzívházak speciális szellőzési rendszere és határolószerkezeteinek légtömörsége az, ami indokolja a belső tér aeroszolszennyezettségének vizsgálatát. A belső téri aeroszol vizsgálatokat 3 családi házban végeztük (két passzív ház és egy „hagyományos” lakóépület). Beltéri és kültéri aeroszol mintákat gyűjtöttünk, Nuclepore kétfázisú mintavevővel és 10 fokozatú kaszkád impaktorról. A részecskék elemösszetételének meghatározását PIXE módszerrel végeztük. Kültérben és beltérben egyaránt vizsgáltuk a  $PM_{10}$  és  $PM_{2.5}$  tömegkoncentrációját, méreteloszlását, valamint dúsulási tényezőjét. Eredményeink nem szerint azonban a légtömör passzívházakban az aeroszolszennyezettség magasabb volt, mint a hagyományos épületben.

**Kulcsszavak:** aeroszol, PIXE, passzívház, légtömörség

**Abstract:** Indoor air pollution from outdoor sources depends on the characteristics of the buildings: the structure of the building envelope and the ventilation system. Passive houses have a special ventilation system and airtightness that is the reason why the investigation of the indoor air contamination is relevant. Indoor air particle matter was examined in detached houses (two passive houses and a “conventional” one) in Ócsa, Hungary during winter season in 2012. Both indoors and outdoors aerosol samples were collected by Nuclepore two-stage-samplers and ten-stage cascade impactors. Particle Induced X-ray Emission method (PIXE) was used to identify the elemental compositions of particle samples at the IBA Laboratory of MTA-Atomki. The  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  mass concentrations, mass size distributions and the indoor EF ratios were examined both indoors and outdoors. As a consequence, that the airtightness of the houses with passive house technology was significantly better than the conventional ones, the PM contamination was higher in the “conventional house”.

**Keywords:** airborne particulate matter; PIXE; passive houses; airtightness

## 1. BEVEZETÉS

A passzívházak korunk építészeti színvonalának (technológiai szempontból) legmagasabb szintű képviselői. Fajlagos éves fűtési hőigényük nem lehet nagyobb, mint  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , a fajlagos primer energiaszükséglet pedig nem haladhatja meg a  $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  értéket. Ennek teljesíthetősége érdekében a határolószerkezetek hőátbocsátási tényezőinek maximális értéke is meghatározott (átlátszatlan szerkezetek esetén  $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , üvegezett szerkezetek esetén pedig ajánlott a max.  $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). A légcseré fűtési idényben csak gépi, hővisszanyerővel ellátott szellőzőrendszerrel történhet. Hogy az ellenőrizetlen légcseré minimális legyen, a Blower-door teszttel mért,  $50 \text{ kPa}$  alul- illetve túlnyomáson meghatározott légcsereszám megengedhető értéke max.:  $n_{50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$ . [1] A szakirodalmat megvizsgálva alig található a passzívházak belső levegőminőségére vonatkozó alapkutatói eredmény. Ezért tartottuk fontosnak az ezzel kapcsolatos vizsgálatok végzését.

A légköri aeroszol egy olyan diszperz rendszer, melynek diszpergáló közege a levegő, diszpergált részecskéi pedig kolloidális méretű, finoman eloszlott szilárd vagy folyadék

részecskék. A légköri aeroszolk („particulate matter”, azaz PM) napjaink egyik legnagyobb környezeti problémáját jelentik. [2] A városiasodással megnövekedett aeroszol tartalom komoly egészségügyi problémákhoz vezet, mely különösen a légzőrendszert érinti. [3] [4] Bár a városi levegő minőségét (beleértve az aeroszolszennyezettséget is) külső térben széles körben monitorozzák, a belső mérésekkel kapcsolatosan nagyon kevés tanulmány érhető el. Jenkins és társai [5] a kaliforniai lakosság körében végeztek vizsgálatokat és úgy találták, hogy a lakosok idejük 62%-át otthon, 25%-ot pedig más belső terekben töltik; 7%-ot zárt közlekedési terekben, és csupán 6%-ot külső térben.

A Kulmala és társai [6] szerint a kitörésszerű kültéri légszennyeződés (pl. radioaktív felhők) a beltéri szennyeződés koncentrációjában meredek emelkedést okoznak, majd a kialakult csúcs után lassú csökkenés kezdődik. A szennyezés ki- és bejutásának időtartamára valamint a beltéri szennyezetttség koncentrációjára hatással van többek között a szellőzés mértéke és az infiltráció. [6] Koponen és társai [7] úgy találták, hogy a beltéri koncentráció tizedrésze a kültérinek és némi késéssel követi a külső koncentrációt, és ez az összefüggés főleg a hatékony szellőzőrendszerrel magyarázható. Martuzevicius és társai [8] főbb autópályák közelében fekvő lakóépületekben vizsgálták a közlekedésből eredő PM<sub>2,5</sub> aeroszolverhelést. Véleményük szerint nem az autópályáktól való távolságnak és a forgalom intenzitásának van kulcsfontosságú szerepe a beltéri közlekedési eredetű PM<sub>2,5</sub> koncentráció alakulásában, hanem az épületburok szerkezetének, jellemzőinek, és az épület szellőzési típusának. Az épületek szellőzését háromféle mechanizmus által mehet végbe: a természetes szellőzés (ablak), a mesterséges szellőzés (ventilátorok), illetve az épületburok résein keresztül történő szellőzés, azaz az infiltráció. A külső aeroszol részecskék beltérbe történő kerülését ezen mechanizmusok eredményezik. [9] A szennyeződést a szintén szellőzés távolítja el. Zhao és társai [10] kutatásaik alapján úgy találták, hogy a legfontosabb szerepet ebben a légcsereszám játssza. Ellenben maga az épületburok nem kellően hatékony a beszűrődő szennyezőanyagok eltávolításában. [11]

Ha nincsenek belső források, a beltéri PM koncentráció alacsonyabb a külsőnél, az épületburok csillapító hatása miatt. Belső források megléte esetén azonban a szennyezetttség koncentrációja a belső térben magasabb lesz, mint a külső térben. Az INDAIR modell [12] azt mutatja, hogy a kültéri PM koncentráció csökkenésekor a belső források jelentősége megnő. A belső forrású szennyezést jórészt emberi tevékenységek okozzák (például dohányzás, főzés, takarítás). Legjelentősebb okozója a gáztűzhelyen történő főzés. [13] [14]

Mivel a passzívházak légtömörősége igen nagy, valamint speciális szellőztető rendszerrel rendelkeznek, úgy tűnik, hogy érdemes őket beltéri aeroszol vizsgálatnak alávetni. Mesterséges szellőzési rendszer és légtömör épületburok esetében az aeroszolszennyezés behatolási tényezőjét a szellőztető berendezésbe épített szűrők (filterek) határozzák meg. [15] Felmérésünk célja a levegőminőség és az életkörülmények vizsgálata volt passzívház technológiás épületekben, valamint a levegőminőség összehasonlítása a hagyományos épületben mért értékekkel. Vizsgáltuk a külső környezet egyes jellemzőinek hatását a belső környezetre, megpróbáltuk feltárni a fennálló összefüggéseket. Kapcsolatot kívántunk keresni a szellőzési módok, valamint a lakók beltéri tevékenységei, aktivitása között.

## 2. MÓDSZER

### 2.1. Az épületek

Magyarországon egyelőre igen kevés számú passzívház épült, így nehéz feladat volt egymáshoz közel fekvő, megfelelően kialakított lakóépületeket találni. Ócsán találtunk végül három vizsgálható épületet. Mindhárom vizsgált épület önálló családi ház. Egymástól mért



távolságuk nem több, mint 1 km. Az első épület („A”) egy 100 év körüli tetőtérbeépítéses, bővített vályogtéglá lakóház, felújított, tömített nyílászárókkal. Az épületet faelgázosító kazán fűti. Nincs mesterséges szellőzés. Vizsgálatunk szempontjából az épület mind az anyagait, szerkezeteit, mind a fűtési és szellőzési rendszert figyelembe véve „hagyományosnak” tekinthető.

A másik két vizsgált épület (mindkettő alapincézetlen, földszintes) új, a mérések idején még egy éve sem volt lakott. Eredetileg mindkettő passzívházként lett tervezve, de végül a passzívház-követelményeket egyikük sem tudta végül maradéktalanul teljesíteni. Így a vizsgálatban „passzívház technológiás” épületként fogjuk említeni őket. A második épület („B”) BAULAND építési rendszerrel, látszó gerendás fafödémekkel épült. A födém bonyolult geometriája és a kivitelezők hozzá nem értése a passzívházakra előírt légtömörséget nem tudták biztosítani. A nyílászárók minősített passzívház-ablakok illetve ajtók. A szellőztetés kiegyenlített hővisszanyerős szellőzőberendezéssel történik. Az épület fűtéséről egy, a nappaliban elhelyezett elektromos radiátor valamint a fürdőszobában a padlóburkolat alá beépített elektromos fűtőpanel gondoskodik. A mérési kampány során fűrészi munkákat végeztek a nappaliban; az ezzel okozott légszennyezés a gyűjtött mintákban is megjelent.

A harmadik épület („C”) falazott technológiával épült, vasbeton födémekkel. Az ablakok, külső ajtók passzívház nyílászárók. Az épület szellőztetését kiegyenlített hővisszanyerős szellőzőrendszer biztosítja. A fűtés elektromos mennyezeti panelekkel történik. Az épület a passzívház-követelményeknek két kivétellel felel meg: az éves fűtési hőigény a megengedettnél kicsit nagyobb, a légtömörség pedig az elfogadhatónál némileg rosszabb.

A belső tér elvárható levegőminőségét gazdaságosan kétfokozatú szűrő beépítésével ajánlott biztosítani: az első fokozat ún. durva porszűrő (G3 vagy G4), a második pedig egy finom porszűrő (F7-F8 fokozatú). Ennek ellenére mindkét vizsgált épületünkbe csupán az első fokozat (G4) lett beépítve.

## 2.2. A légtömörség és az éves infiltráció mértéke közötti összefüggés

Az épületeken az éves infiltráció megbecslése céljából, a légtömörség meghatározására Blower-door tesztet végeztünk  $\Delta P = 50$  Pa légnyomáskülönbség mellett, alul-, illetve túlnyomás esetén, a két mérés átlagából pedig egy óránkénti légcserezszámot kaptunk, melyet korábban  $ACH_{50}$ -nel jelöltek (Air Change per Hour), ma használatos jelölése  $n_{50}$  ( $h^{-1}$ ). Az  $ACH_{50}$  vagy  $n_{50}$  nem azonos az infiltráció mértékével, hiszen ez egy mesterségesen indukált körülmények között végbemenő légáramlás. Azaz ez egy mutatószám, amely az épület tömítettségét jellemzi. [16] Az épületburok légtömörsege ( $n_{50}$ ) és az éves infiltráció mértéke közötti összefüggés meghatározásával több tanulmány foglalkozik. Az úgynevezett Kronwall-Persily modell alapján kifejlesztett LBL infiltrációs modell [16] illetve ennek korrekciós tényezőkkel továbbfejlesztett változata a becsült éves infiltráció mértékét a következőképpen adja meg:

$$N = N_0 \cdot cf_1 \cdot cf_2 \cdot cf_3 \dots \quad (1)$$

ahol:

$ACH$  – az óránkénti légcserezszám ( $h^{-1}$ );

$cf_{1,2,3}$  – a korrekciós tényezők;

$N_0$  – az alapvető ki- és beszívárgási arány, amely nem az épülettől, hanem a helyszín éghajlati tényezőitől függ. A korrekciós tényezőket viszont az épület tulajdonságai határozzák meg (magasság, szélnek való kitétség, tömítettség stb.). Az USA

területén grafikonon jelölték a zónákat, ahol azonos a ki- és beszívárgási arány ( $N_0$ ) (17-23 között változik).

### 2.3. Aeroszol mintavétel

Az aeroszol mintavételi kampány 2012. 01. 03-tól 01. 16-ig, két héten keresztül tartott, nagyjából 48 órás mintavételi periódusokkal. A mintavételre használt eszközeink a következők voltak: Nuclepore kétfázisú mintavevő, melyben két db, eltérő pórusátmérőjű Nuclepore polikarbonát szűrő található. Az egyik szűrő pórusmérete 8  $\mu\text{m}$  a durva frakció felfogásához ( $\text{PM}_{2.5-10}$ ), a másik, 0,4  $\mu\text{m}$  pórusátmérőjű filter a finom frakciójú részecskék ( $\text{PM}_{2.5}$ ) felfogására szolgál. A 10 fokozatú PIXE International kaszkád impaktorról (mely kapton fólia felfogó felülettel rendelkezik) méret szerint osztályozott mintát gyűjtöttünk a következő frakciójú részecskékből: >16, 16–8, 8–4, 4–2, 2–1, 1–0.5, 0.5–0.25, 0.25–0.12, 0.12–0.06 és <0.06  $\mu\text{m}$  aerodinamikai átmérő.

### 2.4. Analízis

A gyűjtött mintákat PIXE (**P**article **I**nduced **X**-ray **E**mission, részecske indukált röntgen-emisszió) módszerrel elemeztük. A vizsgálandó mintát gyorsítóból nyert töltött részecske nyalábbal sugározzák be, és vizsgálják a mintában lévő targetatomok legerjesztődése során kibocsátott karakterisztikus röntgensugárzást. A minták PIXE analízise az MTA ATOMKI Ionnyaláb-alkalmazások Laboratóriumában lévő 5 MV névleges feszültségű Van de Graaff gyorsítójának bal 45°-os nyalábcatornáján lévő PIXE mérőkamrában történt, a minták besugárzásához 40 nA áramú 2 MeV energiájú protonnyalábot használtunk. A töltésgyűjtés minden minta esetében 40  $\mu\text{C}$  volt. Az elemösszetétel meghatározásához ( $Z \geq 13$ ) a PIXYKLM számítógépes programot használtuk.

## 3. EREDMÉNYEK

### 3.1. Az infiltrációból, szellőztetésből eredő és teljes légcseré

Sherman ki- és beszívárgási arány térképét összevetve a Köppen-Geiger-féle éghajlati osztályozással úgy találtam, hogy a ki- és beszívárgási arány a vizsgált területen  $N_0 = 18$ -nak felel meg. Jokisalo és társai [17] vizsgálatai szerint a szabadonálló házak infiltrációs légcseréje a téli időszakban kétszer akkora, mint nyáron. Mivel számunkra a téli infiltráció megbecslésére szükséges, jó értéket kaphatunk erre az éves átlag 1.33-szoros szorzatával. A becsült infiltrációs légcseré tehát (1. táblázat):

$$n_{\text{inf, winter}} = 1.33 n_{50} / 18 cf_1 cf_2 cf_3 \quad (2)$$

ahol:

$n_{\text{inf, winter}}$  – az óránkénti infiltrációs légcseré a téli (fűtési) szezonban;

$n_{50}$  – az 50 Pa légnnyomáskülönbség mellett mért óránkénti légcseré ( $\text{h}^{-1}$ );

$cf_{1,2,3}$  – az 1. táblázatban megadott korrekciós tényezők.

A PHPP (a passzív házak energetikai tervezését segítő program) az infiltrációt az EN 13790 szabvány szerint számítja [1], de ez csak passzív ház esetén alkalmazható. Az 1. táblázatból látható, hogy az infiltrációs légcserére ( $n_{\text{inf, winter PHPP}}$ ) kapott értékek az előzőkhöz képest elhanyagolható mértékben különböznek. Mivel az A épületben nincsen mesterséges szellőzés,

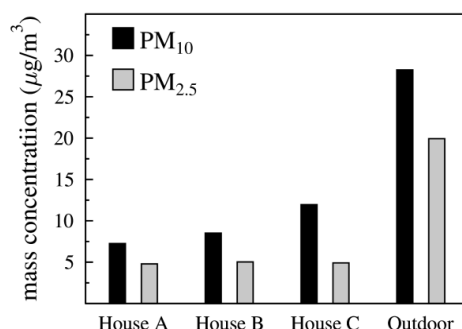
ennél az épületnél a légszere az épületburok résein keresztül megy végbe. A további, rövid idejű szellőztetés a téli időszakban inszignifikánsnak tekinthető. A másik két épület kiegyensúlyozott hővisszanyerős szellőzéssel van ellátva. A passzívházakban az  $n_{vent} = 0.3 \text{ h}^{-1}$  biztosítása javasolt, és vizsgált épületeinkre is ez volt jellemző.

épület	$n_{50}$ [h <sup>-1</sup> ]	ki- és beszívárgási arány [dimenzió nélkül]	korrekciós tényezők [dimenzió nélkül]			$n_{inf, winter}$ [h <sup>-1</sup> ]	$n_{vent}$ [h <sup>-1</sup> ]	$n_{total}$ [h <sup>-1</sup> ]	$n_{inf, winter PHPP}$ [h <sup>-1</sup> ] a PHPP számítás alapján $n_{inf} = n_{50} \cdot 0.07$
			$cf_1$ épület- magassági együttható	$cf_2$ szélvé- delmi együttható	$cf_3$ légtömör- ségi együttható				
A	7.13	18	0.8	1.0	0.7	0.94	0	0.94	- *
B	1.60	18	1.0	1.0	1.0	0.12	0.30	0.42	0.11
C	0.89	18	1.0	1.0	1.4	0.05	0.30	0.35	0.06

1. táblázat: Óránkénti légszere, az infiltrációból illetve a mesterséges szellőzésből eredően  
\*A PHPP a hagyományos épületeknél nem alkalmazható

Az 1. táblázatból látható, hogy a hagyományos épület légszereje magas, de ez csupán az infiltrációs légszerejét jelenti. A másik kettőnek a természetes infiltrációja egy nagyságrenddel kisebb, azonban a mesterséges szellőzési rendszernek köszönhetően mégis viszonylag magas (de a referenciaépülethez képest kisebb) légszerezéssel rendelkeznek.

### 3.2. PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> tömegeloszlás



1. ábra: Átlagos PM<sub>10</sub> és PM<sub>2.5</sub> tömegkoncentráció

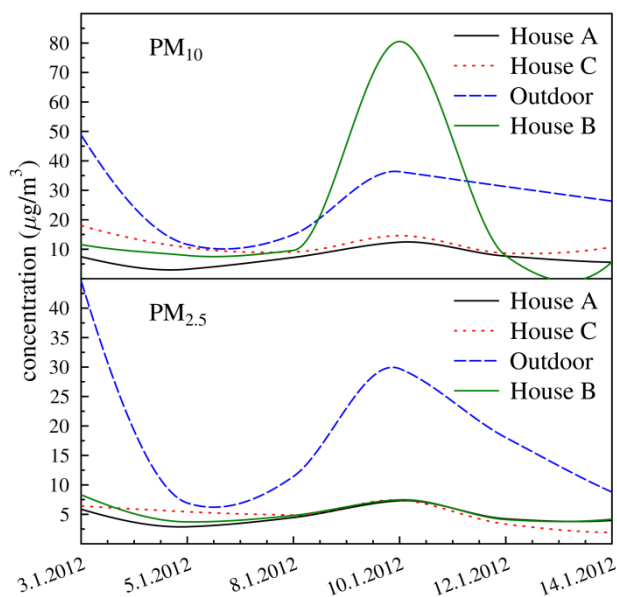
Vizsgáltuk a PM<sub>10</sub> és PM<sub>2.5</sub> kültéri és beltéri átlagos tömegeloszlását, eredményei az 1. ábrán láthatók. Az átlagos PM<sub>2.5</sub> és PM<sub>10</sub> koncentráció a passzív házak esetén magasabb volt, mint a hagyományos épületben. Az átlagos PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> arány  $0.59 \pm 0.13$  volt a B épület esetében és  $0.41 \pm 0.14$  a C épületnél, míg az A épület esetén  $0.69 \pm 0.13$ . Ez az érték hasonló a kültéri térben mért PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> arányhoz, mely  $0.67 \pm 0.21$  volt. Ez azt jelzi, hogy a finom részecskék nagy mennyiségben fordulnak elő a PM<sub>10</sub> aeroszolfrakcióban minden mérési helyen (kivéve C épület), ahol a durva részecskék a meghatározóak (ezek többnyire a földkéreg mechanikai szétaprózódása, dezintegráció nyomán keletkeznek). A beltéri/kültéri aeroszol koncentrációk közötti viszonyt az indoor/outdoor ratio, vagyis I/O arány (beltéri/kültéri arány) mutatja. A mérési helyeken kapott átlagos I/O arány összegzése a 2. táblázatban látható.

	PM <sub>2.5</sub> /PM <sub>10</sub>	I/O		
		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5-10</sub>	PM <sub>2.5</sub>
Kültéri	0.67±0.21	-	-	-
A épület	0.69±0.13	0.28±0.12	0.39±0.32	0.31±0.13
B épület	0.59±0.13	0.40±0.23	0.67±0.50	0.37±0.15
C épület	0.41±0.14	0.49±0.23	1.17±0.85	0.34±0.24

2. táblázat: Átlagos PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> arány és átlagos kültéri/beltéri arány (I/O) a PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5-10</sub> és PM<sub>2.5</sub> frakciók esetén

Az átlagos I/O arány a PM<sub>2.5</sub> esetén alacsonyabb volt, mint a PM<sub>2.5-10</sub>-nél, amely jelzi a passzívházak esetén a gyengébb belső PM<sub>2.5</sub> forrásokat, arra utalva, hogy a szálló por fő belső forrásaként a házi por felkeveredése és az emberi tevékenységek jöhetnek szóba.

A PM koncentráció adataira alapozva nem találtunk figyelemre méltó eltéréseket az épületek között, kivéve a 2012. január 10-ei napon, amikor a B épületben a PM<sub>10</sub> koncentráció szignifikánsan megemelkedett. A PM<sub>10</sub> értéke ekkor túllépte a WHO irányelv által meghatározott egészségügyi határértéket is, amely 50µg/m<sup>3</sup>. A megemelkedett koncentrációt a házban végzett építési tevékenység okozta: a vasbeton fal átfúrása.

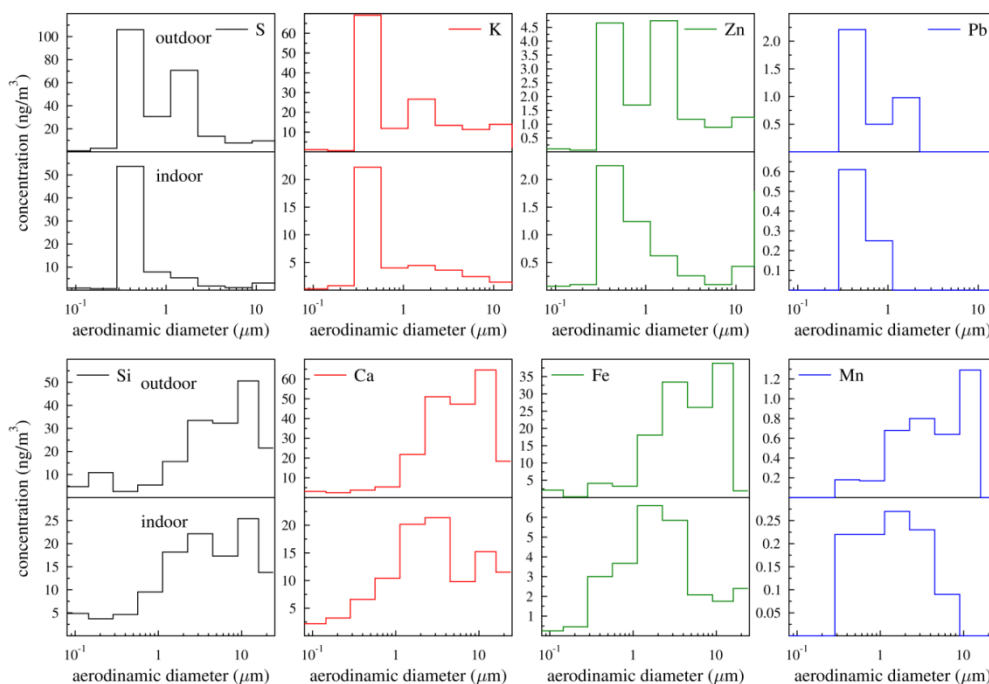


2. ábra: A PM<sub>10</sub> and PM<sub>2.5</sub> tömegkoncentrációk váltakozása

### 3.3. Méreteloszlás

Mértük egyes elemek koncentrációját a méreteloszlás függvényében a belső térben (a B épületben), valamint külső térben (3. ábra). A mintagyűjtés (kaszád impaktorral) 2012. 01. 03-tól 06-ig tartott. Az elemeket mindkét esetben két különböző csoportba osztottuk. Az egyik csoport (természetes eredetű elemek) tartalmazza az alumínium-szilikát ásványok elemeit, mint a Si, Ca, Fe és Mn. Ezen elemek esetében a kültéri mérési helyen két domináns csúcsértéket találtunk a durva frakcióban: egyet a 2-4 µm aerodinamikai átmérő tartományában és egy még magasabb csúcsot a 8-10 µm-es tartományban. Egyúttal a Fe és Mn méreteloszlásában is emelkedés látható a beltéri mérés (B épület) esetén: egy alacsonyabb kiugrás figyelhető meg a 0.25-0.5 µm-es tartományban és egy második domináns csúcs az 1-2

$\mu\text{m}$  aerodinamikai átmérő tartományában. A másik csoportba az antropogén eredetű elemek kerültek: S, K, Zn és Pb. Ezek az elemek az égési folyamatokból (fűtés, közlekedés) származhatnak: ilyen például biomassza égetése vagy az olajtüzelés. Az antropogén csoport elemei a  $0.25\text{-}0.5 \mu\text{m}$  és az  $1\text{-}2 \mu\text{m}$  aerodinamikai átmérő tartományában mutatnak emelkedést a külső mérési helyen (A épület). Ugyanakkor egy meghatározó csúcs található a  $0.25\text{-}0.5 \mu\text{m}$ -es tartományban a beltéri mérési helyen (B épület), ami azt jelzi, hogy a durva frakció kiszűrése biztosított a passzíváz esetén. Ezenkívül azt is leolvashatjuk, hogy a beltéri koncentráció értékek minden esetben nagyjából a kültéri koncentrációk felének felelnek meg.



3. ábra: Az egyes elemek koncentrációjának méreteloszlása beltérben (B épület) és kültérben

### 3.4. Emissziós források

A dúsulási tényező (EFs; Enrichment Factor) a referencia elemhez képesti relatív koncentráció értékét adja meg. Ennek értékelése azt mutatja meg, hogy az adott aeroszol földkéreg eredetű, vagy antropogén tevékenységből származik-e. A dúsulási tényező meghatározása az átlagos kőzetösszetételhez viszonyítva történik a szilícium, mint referenciaelem használatával. Munkánkban a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$EF(\text{Si, reference}) = \frac{(\text{Element/Si})_{\text{PM}}}{(\text{Element/Si})_{\text{Earth crust}}} \quad (3)$$

Ezek az arányok nem írják le pontosan a külső források viszonylagos erősségét, ezért a beltéri/kültéri dúsulási tényező arányát határoztuk meg. A különböző mérési helyeken a beltéri/kültéri dúsulási arány (EF) az egyes elemek és méretfrakciók esetében a 3. táblázatban látható. A  $\text{PM}_{2.5}$  belső dúsulási aránya minden elem esetében 1 alatti értéket mutat, ami azt jelzi, hogy ezek az aeroszol komponensek valószínűsíthetően külső eredetűek minden vizsgált épület esetén. Ugyanakkor a  $\text{PM}_{2.5-10}$  belső téri dúsulási aránya a durva frakciót vizsgálva néhány elem esetében 1-nél nagyobb (K, P, Cu, Zn, S), jelezve, hogy ezek az aeroszol összetevők nagymértékben feldúsultak, belső forrásokból származtathatók. A hagyományos épületnél a legnagyobb mértékű belső dúsulás a K, P és Cu esetén figyelhető meg. A K és P belső tüzelésnek köszönhetően dúsulhatott fel a belső térben. A Cu feltételezhető forrásaként

elektromos készülékeket jelölhetünk meg, amelyeknek motorját réz anyagú kapcsolószerkezetek működtetik (pl. porszívó vagy elektromos ventilátorok). Ebben az épületben az előteret mindennap felporszívózták. A B épületben a dúsulási arány viszonylag alacsony volt minden elem esetén (a Ca és Cu esetén volt kicsivel nagyobb, mint 1), amely összhangban van azzal, hogy a vizsgált időszakban a lakók alig tartózkodtak otthon. Az EF a C passzívházban a K, S, Cu és Zn esetében jóval magasabb volt 1-nél. A kálium összefügg a belső forrásokkal (főzés, dohányzás, fatüzelés emissziója és egyéb emberi tevékenységek). [18] A C épületben kisgyermekkel folyamatosan otthon tartózkodtak, főztek, takarítottak. Tudomásunk szerint egyik épületben sem dohányoztak, így a dúsulásnak ez nem lehet oka.

	PM <sub>2.5</sub>			PM <sub>2.5-10</sub>		
	A Ház	B Ház	C Ház	A Ház	B Ház	C Ház
Al	0.2	0.2	0.3	0.9	0.9	<b>1.2</b>
Ti	0.5	0.3	0.9	0.8	0.7	<b>1.3</b>
Ca	0.9	0.5	1.1	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	1.0
Mn	0.3	0.2	0.3	0.7	0.7	0.9
Fe	0.2	0.2	0.3	0.6	0.6	0.8
S	0.2	0.1	0.3	0.9	0.7	<b>2.6</b>
K	0.5	0.1	0.4	<b>8.2</b>	0.8	<b>3.3</b>
P	-	-	-	<b>1.4</b>	0.1	0.3
Cl	0.6	0.2	0.4	0.7	0.2	0.6
Cu	0.9	0.2	0.8	<b>3.5</b>	<b>1.2</b>	<b>2.5</b>
Zn	0.3	0.1	0.4	<b>1.2</b>	0.6	<b>3.2</b>

3. táblázat: Beltéri/kültéri dúsulási arány (EF) a PM<sub>2.5</sub> és PM<sub>2.5-10</sub> frakciók esetén (medián)

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Várakozásainkkal ellentétben, a vizsgálatok során nem igazolódott be az a feltevés, hogy a passzívház közeli épületek belső levegőjének aeroszol szennyezettsége a szokványos épületekhez képest kisebb lenne. Az okokat keresve azt találtuk, hogy a vizsgált mesterséges szellőzőberendezéssel ellátott épületek légszűrői a lakóépületekben javasolt legalább F7 finomságúak helyett csupán G4 finomságúak, vagyis több szennyeződést (a durva frakció egy részét is) átengedik. A szűrés hatása a méreteloszlásra a 3. ábrán látható. Finomabb szűrők beépítésével a finom frakciók mennyisége tovább csökkenthető lenne. Megérné újabb méréseket végezni jobb, akár HEPA szűrővel ellátott épületekben. Belátható, hogy a szellőzőberendezés szűrési lehetőségének ki nem használásával a belső levegőminőség az aeroszoltartalom tekintetében nem javítható a passzívházak esetében sem.

Mind a külső, mind a belső eredetű szennyeződések kijuttatása nehézkes a légréseken keresztül [11], a szellőzőrendszeren keresztül azonban hatékonyabb. Viszont maga a szellőzőrendszeren keresztül végbemenő légcserre jelen esetben jóval kisebb, mint a hagyományos épület infiltrációja (1. táblázat), vagyis a kétféle szellőzés a szennyeződés eltávolításának hatékonysága szempontjából összevethető.

Áttekintve több PM mérési kampányt, Hänninen és társai [19] úgy találták, hogy mind a három vizsgált európai régióban (Észak-, Közép- és Dél-Európa) a belső terek jobban elszigetelődnek a külső tértől a téli időszakban, és a legmagasabb infiltráció nyáron mérhető. Ennek oka valószínűleg a szellőztetés, mivel a réseken keresztüli levegőáramlás a nagyobb hőfokkülönbség esetén (télen) jelentősebb. Az Egyesült Királyság területén végzett mérések szerint pedig a légcserre nyitott ablakok mellett (nyáron) körülbelül kétszerese a zárt ablakok

mellett talált értékeknek. [20] Az eltérő nyári és téli szellőztetés illetve infiltráció miatt érdemes volna további vizsgálatokat végezni nyári körülmények között is.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **FEIST, W.** *Passivhaus Projektierungs-Paket PHPP 2007*. User's manual, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2007
- [2] **AMANN, M., BERTOK, I., COFALA, J., GYARFAS, F., HEYES, C., KLIMONT, Z., SCHÖPP, W., WINIWATER, W.**, *Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFÉ) Programme*, Final report, 2005, [http://www.iiasa.ac.at/rains/CAFE\\_files/Cafe-Lot1\\_FINAL\(Oct\).pdf](http://www.iiasa.ac.at/rains/CAFE_files/Cafe-Lot1_FINAL(Oct).pdf)
- [3] **POPE, C. A., BURNETT R. T., THUN, M. J., CALLE E. E., KREWSKI D., ITO K., THURSTON G. D.**, *Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution*, *JAMA* **287** (2002) p. 1132-1141.
- [4] **REICHARDT, T.**, *Veiching the health risk of airborne particulate matter*, *Environm. Sci. Technology* **29** (1995) p. 360A-364A
- [5] **JENKINS P. L., PHILLIPS T. J., MULBERG J. M. AND HUI S. P.**, *Activity patterns of Californians: use of and proximity to indoor pollutant sources*. *Atmospheric Environment* **26A** (1992) p. 2141-2148.
- [6] **KULMALA, M., ASMI, A., PIRJOLA, L.**, *Indoor air aerosol model: the effect of outdoor air, filtration and ventilation on indoor concentrations*. *Atmospheric Environment* **33** (1999) p. 2133-2144.
- [7] **KOPONEN, I. K., ASMI, A., KERONEN, P., PUHTO, K., KULMALA, M.**, *Indoor air measurement campaign in Helsinki, Finland 1999 – the effect of outdoor air pollution on indoor air*. *Atmospheric Environment* **35** (2001) p. 1465-1477.
- [8] **MARTUZEVICIUS, D., GRINSHPUN, S. A., LEE, T., HU, S., BISWAS, P., REPONEN, T., LEMASTERS, G.**, *Traffic-related PM<sub>2.5</sub> aerosol in residential houses located near major highways: Indoor versus outdoor concentrations*. *Atmospheric Environment* **42** (2008) p. 6575-6585
- [9] **CHEN, C., ZHAO, B.**, *Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor*. *Atmospheric Environment* **45** (2010) p. 275-288.
- [10] **ZHAO, W., HOPKE, P. K., NORRIS, G., WILLIAMS, R., PAATERO, P.**, *Source apportionment and analysis on ambient and personal exposure samples with a combined receptor model and adaptive blank estimation strategy*. *Atmospheric Environment* **40** (2006) p. 3788-3801
- [11] **THATCHER, T. L., LAYTON, D. W.**, *Deposition, resuspension, and penetration of particles within a residence*. *Atmospheric Environment* **29** (1995) p. 1487-1497.
- [12] **DIMITROULOPOULOU, C., ASHMORE, M. R., HILL, M. T. R., BYRNE, M. A., KINNERSLEY, R., INDAIR: A probabilistic model of indoor air pollution in UK homes. *Atmospheric Environment* **40** (2006) p. 6362-6379**
- [13] **ÖZKAYNAK, H., XUE, J., SPENGLER, J. D., WALLACE, L. A., PELLIZZARI, E. D., JENKINS, P.**, *Personal exposure to airborne particles and metals: results from the particle TEAM study in Riverside, California*. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* **6** (1996) p. 57-58.
- [14] **ABT, F., SUH, H., CATALANO, P., KOUTRAKIS, P.**, *Relative contribution of outdoor and indoor particle source to indoor concentrations*. *Environmental Science and Technology* **34** (2000) p. 3579-3587.
- [15] **HUSSEIN, T., KORHONEN, H., HERRMANN, E., HÄMERI, K., LEHTINEN, K. E. J., KULMALA, M.**, *Emission rates due to indoor activities: indoor aerosol model development, evaluation, and applications*. *Aerosol Science and Technology* **39:11** (2005) p. 1111-1127
- [16] **SHERMAN, M. H.**, *Estimation of Infiltration from Leakage and Climate Indicators*. *Energy and Buildings* **10** (1987) p. 81-86

- [17] **JOKISALO, J., KURNITSKI, J., KORPI, M., KALAMEES, T., VINHA, J.,** *Building leakage, infiltration, and energy performance analyses for Finnish detached houses.* Building and Environment 44 (2009) p. 377-387
- [18] **MOSCHANDREAS, D. J., WINCHESTER, J. W., NELSON, J. W., BURTON, R. M.,** *Fine Particle Residential Indoor Air Pollution.* Atmospheric Environment 13 (1979) p. 1413-1418
- [19] **HÄNNINEN, O., HOEK, G., MALLONE, S., CHELLINI, E., KATSOUYANNI, K., GARIAZZO, C., CATTANI, G., MARCONI, A., MOLNÁR, P., BELLANDER, T., JANTUNEN, M.,** *Seasonal patterns of outdoor PM infiltration into indoor environments: review and meta-analysis of available studies from different climatical zones in Europe.* Air Quality and Atmosphere Health (2010)
- [20] **HILL, M. T. R., DIMITROULOPOULOU, C., ASHMORE, M. R., BATTY, K.,** *Measurement and modelling of short-term variations in particle concentrations in UK homes.* Indoor and Built Environment 10 (2001) p. 132-137



# A JÁRMŰIPARI FOLYAMATTERVEZŐ SPECIALIZÁCIÓ SZEREPE A DE-MK GÉPÉSZMÉRNÖKI TANSZÉKÉNEK OKTATÁSI STRUKTÚRÁJÁBAN

Hajdu Sándor<sup>1</sup>, Ráthy Istvánné<sup>2</sup>

<sup>1</sup>főiskolai adjunktus, <sup>2</sup>főiskolai tanár  
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék  
4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

[hajdusandor@eng.unideb.hu](mailto:hajdusandor@eng.unideb.hu), [rathyne@eng.unideb.hu](mailto:rathyne@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A Debreceni Egyetem Műszaki Karának Gépészmérnöki Tanszéke a 2015/16-os tanév őszi szemeszterétől egy új specializáció bevezetését tervezi a gépészmérnöki alapszakon. Jelen cikk ezt az új, járműipari folyamat tervező specializációt mutatja be.

**Kulcsszavak:** járműipari folyamat tervező specializáció, duális képzés, gépészmérnöki alapszak

**Abstract:** The Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Debrecen proposes to introduce a new specialization in the mechanical engineering BSc from the fall semester of academic year 2015/16. This paper presents this new, automotive process engineering specialization.

**Keywords:** automotive process engineering, dual training, mechanical engineering BSc

## 1. BEVEZETÉS

A hazai járműipar Magyarország gazdaságának egyik húzóágazata. Az autóiipari gyártók és azok különböző szintű beszállítói az ország egész területén megtalálhatók. Az Észak-alföldi régiókban is számos vállalat tevékenykedik ezen a területen. Ezen vállalatokra gyakran jellemző, hogy bárminemű továbbképzés nélkül azonnal foglalkoztatható gépészmérnököket keresnek, olyanokat, akiknek tapasztalatuk, gyakorlati ismeretük van a cég speciális tevékenységi területén, jártasak a csoport- és projektmunkában, továbbá megfelelő a kommunikációs és problémamegoldó készségük. Az egyetemi oktatás (főként az alapszakok tekintetében) természeténél fogva elméleti, a tantervek sok esetben nem illeszkedhetnek az egyes ipari vállalatok szerteágazó elvárásaihoz. Ennek a problémának a megoldása érdekében döntött úgy a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Gépészmérnöki Tanszéke, hogy a 2015/16-os tanév őszi szemeszterétől kezdődően bevezeti a duális képzési modellt. Emellett a meglévő gépjárműtechnikai- és üzemeltető-karbantartó specializációk mellé egy új, kimondottan a vállalati igényekre épülő specializációt (járműipari folyamat tervező) indít el. Ennek tárgyköreit és tartalmát a Tanszék a partnervállalataival közreműködve alakította ki.

A duális képzés a felsőoktatási intézmények és az érintett iparvállalatok együttműködésén alapuló, gyakorlatorientált képzés [1]. A minőségi elméleti tudás mellett gyakorlati tapasztalatokkal és készségekkel rendelkező pályakezdők képzését szolgáló modell. A képzés folyamán az egyetem és a vállalat a képzés időtartamán osztozik. Ez a megvalósított képzések esetében többnyire azt jelenti, hogy az alapképzés képzési idejének (3,5 év) csaknem felét a vállalatnál tölti a hallgató. Az egyetem feladata elsősorban az elméleti-, míg a vállalat feladata a gyakorlati képzés.

Jelen cikk célja az újonnan kialakított specializáció bemutatása, a Gépészmérnöki Tanszék oktatási struktúrájába való illeszkedésének elemzése, a korábban meglévő specializációkhoz való viszonyának ismertetése.

## 2. A SPECIALIZÁCIÓ IPARI PARTNEREI

Az utóbbi években – a közlekedési infrastruktúra fejlődésével (autópályák, repülőtér), illetve a tudatos regionális fejlesztési stratégia kialakításával (ipari parkok létesítése, helyi vállalkozások támogatása, multinacionális vállalatok ösztönzése) – olyan körülmények jöttek létre az Észak-alföldi régióban és centrumában, Debrecenben, hogy a kereslet a jól képzett, a gyakorlatban közvetlenül foglalkoztatható, modern műszaki ismeretekkel rendelkező, valamint idegen nyelveket is beszélő műszaki szakemberek (gépészmérnökök) iránt jelentősen megnőtt. A munkaerő-piaci és társadalmi igény, valamint az indítandó specializáción végzett gépészmérnökök várható elhelyezkedése túlmutat az Észak-alföldi régió határain és országos jelentőségű.

A járműipari folyamattervező specializáció kidolgozásában közvetlenül az alábbi multinacionális vállalatok vettek részt: FAG Magyarország Ipari Kft., ZF Lenksysteme Hungária Kft. (most ROBERT BOSCH Automotive Steering Kft), ZF Hungária Kft., Aventics Kft (volt Bosch Rexroth Pneumatika Kft.). A specializáció indításával kapcsolatban pedig a következő további vállalatok biztosítottak támogatásukról: National Instruments Kft., Bumet Kft., Oerlikon Eldim Kft., Hajdu Autótechnika Zrt., Michelin Hungária Abroncsgyártó Kft., Vibroacoustic Kft., Diehl Aircabin Hungária Kft., MSK Hungary Gépgyártó Kft. Az előbb felsorolt vállalatok mind érdekeltek a járműiparban. Ezen támogató vállalati háttér és annak aktivitása nagyban hozzájárul ahhoz, hogy az indítani kívánt specializáció egyedülálló, kimondottan vállalati igényeken alapuló legyen.

## 3. A TANSZÉK KÉPZÉSI RENDSZERE

A Tanszék alapvetően a gépészmérnök hallgatók képzésében vesz részt. Ennek megfelelően a kialakított specializációk is ehhez a területhez kapcsolódnak. A gépészmérnök képzés tantervének összetétele az 1. táblázatban került összefoglalásra, vastagon kiemelve az egyes specializációknak megfelelő tantárgyak összes kreditpont értéke látható. Ez a 48 kreditpontnyi tantárgy különbözteti meg tehát egymástól az egyes specializációkat.

1. táblázat A gépészmérnök képzés tantervének összetétele

Természettudományi alapismeretek: 44 Kredit (Matematika, Mechanika, stb.)
Gazdasági és humán ismeretek: 20 Kredit (Közgazdaságtan, Minőségügy, Menedzsment)
Szakmai törzsanyag: 73 Kredit (Gépelemek, Anyagismeret, Gyártástechnológia, stb.)
<b>Differenciált szakmai ismeretek: 48 Kredit</b>
Szabadon választható tárgyak: 10 Kredit
Projektfeladat és Szakdolgozat készítés: 15 Kredit

Az újonnan bevezetésre kerülő specializációval együtt összesen három specializáció fog szerepelni a Gépészmérnöki Tanszék kínálatában: a gépjárműtechnikai-, az üzemeltető-karbantartó- valamint a járműipari folyamattervező specializáció. Azonban a vállalati igények felmérése során nyilvánvalóvá vált, hogy nincs szükség mindhárom specializáció duális képzésbe való bevonására. A régióban fellelhető iparvállalatok tevékenységi köréből fakadóan jelenleg az üzemeltető-karbantartó- valamint a (kimondottan vállalati együttműködéssel összeállított) járműipari folyamattervező specializációk kerülnek be a

duális képzésbe. Azonban ezen két terület között bizonyos átfedések is kialakíthatók, melyeket a specializációk tantárgyainak meghatározása során figyelembe kell venni.

Specializáció megnevezése	Üzemeltető-karbantartó specializáció	Járműipari folyamattervező specializáció
Közös tantárgyak	Hidraulika és pneumatika, Végeselem-módszer, Anyagmozgatás, Robottechnika, Üzemeltetés és karbantartás I.	
Specifikus tantárgyak	Acélszerkezetek	Folyamatelemzés, -optimalizálás I-II.
	Gyártástervezés	Járműipari minőségbiztosítás
	Programozható logikai vezérlők I.	Számítógéppel segített gyártás
	Hajtástechnika	Szereléstechológia
	Törésmechanika alapjai	Polimertechológia
	Üzemeltetés és karbantartás II.	Logisztika II.
	Gépjavítás I-II.	Vállalatirányítási rendszerek és IT
	Diagnosztika	Projektmenedzsment és kontrolling
		Kompetenciafejlesztés mérnököknek

1. ábra A duális képzésbe bevont specializációk tantárgyai

Az 1. ábrán a duális képzés specializációinak közös- és specifikus tantárgyai kerültek bemutatásra. Látható, hogy az üzemeltető-karbantartó specializáció a termelő vállalatok berendezéseinek üzemeltetésére, gépek, szerkezetek diagnosztikai vizsgálatára, karbantartási, megbízhatósági, javítástechnológiai feladatainak kidolgozására fekteti a hangsúlyt.

Ezzel szemben a járműipari folyamattervező specializáció gépészeti technológiai folyamatok irányítására, gépi berendezések kiszolgálásának szervezésére fókuszál, a járműiparban gyártói vagy beszállítói tevékenységet folytató vállalatok igényeinek megfelelően. A folyamatelemzés, -optimalizálás tantárgy elsajátítása során például a hallgatók megismerik a tevékenységmenedzsmentet a vállalati folyamatokon keresztül. A tantárgy célja a vállalati értékek és kultúra megismertetése, a folyamszintű gondolkodásmód kialakítása a leendő mérnökökben, mely alkalmazkodik a termelési környezethez.

A járműipari minőségbiztosítás című tárgyban a gyártásban alkalmazott dokumentációs módszerek alapjaira támaszkodva, a műszaki gondolkodásmód formálása, a helyes mérnöki szemlélet megalapozása, valamint az ipari gyakorlatban alkalmazott minőségirányítási és problémakezelő- és megoldó eszközök megfelelő használata a fő cél. A tantárgy elsajátítása után a hallgató alkalmassá válik arra, hogy egy gyártó üzemen minőségbiztosítással, minőségirányítással kapcsolatos feladatokat lásson el.

A vállalatirányítási rendszerek és IT tantárgyban a hallgatók elsajátítják az SAP rendszer használatához szükséges alapvető ismereteket, rálátást kapnak a rendelkezésre álló eszköztárra. Az itt szerzhető ismeretekkel képessé válnak a rendszer alapfunkcióinak magabiztos használatára. Képessé válnak a rendszerben lévő adatok kinyerésére: bizonylatok megjelenítésére, listák lekérdezésére. Megismerkednek a rendelkezésre álló riportformázási és feldolgozási eszköztárral. Megismerik továbbá az alapvető beszerzési, készletgazdálkodási, pénzügyi számviteli és kontrolling folyamatokat, és képessé válnak az ezekkel járó SAP-s feladatok (adatrögzítés és riportolás) végrehajtására. Ismereteket szereznek a gyártásütemezés és minőségbiztosítás modul használatában.

A projektmenedzsment és kontrolling tantárgy tananyagának elsajátítása után a hallgatók olyan átfogó szakmai ismeretekkel rendelkeznek, amelyek révén képessé válnak egy projekt kialakítására, elemzésére és lebonyolítására. A team munka során fejlesztik kommunikációs képességeiket, a csoportos munkavégzésre vonatkozó készségeiket.

A hallgató a kompetenciafejlesztés mérnököknek tantárgy keretein belül kialakítja és fejleszti önismeretét, konfliktuskezelési, probléma megoldási, tárgyalástechnika, flexibilitási, együttműködési kompetenciáit. Az önismeret révén megvizsgálja személyiségleltárját és saját motivációs eszköztárát.

A bemutatott tantárgyi kompetenciákból megállapítható, hogy a járműipari folyamattervező specializáció a klasszikus tervező gépészmérnöki feladatoktól a termelés, az ipari folyamatok menedzsmentje irányába mozdul el. A kevésbé vállalat-specifikus tudásra vágyó hallgatók igényeinek kielégítését, az általános gépészeti tervezési képességek elmélyítését szolgálja a gépjárműtechnikai specializáció, amely a gépjárművek példáján keresztül valósítja meg az itt bemutatott célokat. Teljessé téve ezzel a Tanszék oktatási kínálatát.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben bemutatásra került az újonnan kialakított járműipari folyamattervező specializáció, a lényegesebb tantárgyainak kompetenciái, a Gépészmérnöki Tanszék oktatási struktúrájába való illeszkedése, a korábban meglévő specializációkhoz való viszonyának ismertetése.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkaalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://www.eng.unideb.hu/userdir/gepesz/old/index.php/hu/a-dualis-kepzesrl>
- [2] **HAJDU, S.**, *A Járműipari folyamattervező specializáció bemutatása*, Duális Képzés Konferencia, Debrecen, 2014.10.09.
- [3] <http://www.kormany.hu/download/d/90/30000/felsőoktatási%20konceptió.pdf>

# LEMORZSOLÓDÓ HALLGATÓK A GÉPÉSZMÉRNÖKI ALAPSZAKON, RÉSZISMERETI TUDÁS BESZÁMÍTÁSA AZ OKJ KÉPZÉSBE

## DROPOUT STUDENTS IN MECHANICAL ENGINEERING BSC, ACCEPTING PARTIAL KNOWLEDGE IN NQR TRAININGS

Huri Dávid<sup>1</sup>, Fazekas Lajos<sup>2</sup>, Balogh Gábor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>tanszéki mérnök, <sup>2</sup>főiskolai tanár, <sup>3</sup>tanársegéd  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
[huri.david@eng.unideb.hu](mailto:huri.david@eng.unideb.hu), [fazekas@eng.unideb.hu](mailto:fazekas@eng.unideb.hu), [balogh.gabor@eng.unideb.hu](mailto:balogh.gabor@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A Debreceni Egyetem és az Alföld Szakképző egy olyan rendszer kidolgozásában tevékenykedik, amelynek eredményeként a megszerzett egyetemi tudás beszámításra kerülhet felnőttképzésben, vagy iskolarendszerű szakképzésben. Erre azért van nagy szükség, mert például a műszaki felsőfokú tanulmányokat elkezdő hallgatók jelentős része a tanulmányaik során lemorzsolódik, azaz hallgatói jogviszonya megszűnik különböző okokból. Ugyan számos tantárgyat teljesített, de ezek a jelenlegi rendszer szerint teljesen elvesznek.

**Kulcsszavak:** elfogadtatás, lemorzsolódó hallgatók, moduláris képzési rendszer

**Abstract:** University of Debrecen and Alföld Technical Training School are just about working out such a system which would result in the acceptance of university knowledge in adult training. It is required as a significant part of the students started any technical training in higher education drop out during the academic years so their student status stop for some reasons. Though they have fulfilled several courses those are lost according to the present (educational) system.

**Keywords:** acceptance, dropout students, modular training

### 1. BEVEZETÉS

Egy 2013-as adat szerint a felsőfokú tanulmányaikat elkezdő hallgatók 35%-a valamilyen okból lemorzsolódik [1]. A lemorzsolódás azt jelenti, hogy hallgatói jogviszonyuk megszűnik, és nem szereznek diplomát. A lemorzsolódásnak számos oka lehet, legjellemzőbb az, hogy a követelményeket nem tudják teljesíteni, de természetesen az is felmerülhet, hogy a választott szak nem tölti be a hozzá fűzött reményeket. Ez nemzetgazdasági szinten is jelentős pazarlásnak minősül. A szakképzésben már jól bevált a moduláris rendszer, viszont a felsőoktatás még ezt nem vezette be. A jelen munka azt vizsgálja, hogy milyen módon lehet a meglévő felsőoktatási szakokban modulokat kialakítani úgy, hogy azok teljesítése elismerhető legyen egy későbbi szakképzésben a lemorzsolódó hallgatóknak. Pilot jelleggel a Debreceni Egyetem Műszaki Kar gépészmérnöki alapszakját vettük górcső alá.

### 2. MODULÁRIS KÉPZÉSI RENDSZER

A tananyag kisebb, önmagában koherens részei a modulok, melyek az egyes tanórák anyagánál általában nagyobb, de a tanterv egészénél kisebb egységek. A modulok a tananyag egészén belül, azzal összehangoltan saját, jól átlátható követelménnyel rendelkeznek, azonos didaktikai elveket kell, hogy kövessenek. A modulok önmagukban koherensek, vagyis egy témakört, témát tartalmaznak. Az OKJ képzések esetén ez egy jól bevált rendszer, a képesítések anyaga modulokból épül fel (1. ábra).

<b>Gépgyártástechnológiai technikus (54 521 03)</b>	
<b>Követelmény modul azonosítószáma:</b>	<b>Követelménymodul neve:</b>
10162-12	Gépészeti alapozó feladatok
10163-12	Gépészeti munkabiztonság és környezetvédelem
10169-12	Forgácsoló technológia hagyományos és CNC szerszámgépeken
10170-12	Gyártástervezés és gyártásirányítás
10171-12	Karbantartás és üzemvitel
10172-12	Mérőtermi feladatok
11498-12	Foglalkoztatás I.
11499-12	Foglalkoztatás II.
11500-12	Munkahelyi egészség és biztonság

1. ábra Szakmai követelménymodulok OKJ-s szakképesítésen belül [2]

Az OKJ számok felépítése alapján a tanulmányi területek 8 főcsoportba különíthetők el. A Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Hivatal honlapján elektronikusan elérhető hatályos országos képzési jegyzék alapján [3] megkerestük a képzési területek közül azokat a szakképesítéseket, melyek a szakképesítés azonosító száma alapján az 5-ös számjeggyel ellátott műszaki, ipari és építőipari képzések főcsoportjába tartoznak. Figyelembe véve a gépészmérnöki alapképzés tantervi hálóját a következő szakképesítéseket vesszük relevánsnak a további vizsgálatokhoz (2. ábra).

<b>Szakképesítés megnevezése</b>	<b>Szakmacsoport</b>
Autógyártó	5
CNC gépkezelő	5
Erőművi gépész	5
Építő- és anyagmozgató gép kezelője	5
Épületgépész technikus	5
Gázipari műszaki-biztonsági felülvizsgáló	5
Gázturbina gépész	5
Gépgyártástechnológiai technikus	5
Gépi forgácsoló	5
Gyártósori gépbeállító	5
Hegesztő	5
Ipari gépész	5
Járműipari fémalkatrész-gyártó	5
Létesítményi energetikus	5
Mechatronikai technikus	5
Nyomástartóedény-gépész	5
Szerszámkészítő	5
Vízgépészeti és technológiai berendezésszerelő	5

2. ábra Szakképesítések a műszaki, ipari és építőipari képzések főcsoportjában

Elkészítésre került egy úgynevezett modulterkép, mely a szakképesítéseken belüli modulegyezőségre kíván rámutatni (3.ábra).

		34 521 01	34 521 03	54 521 03	34 521 05	34 521 06	34 521 04	34 521 07	54 523 04	34 523 01	34 521 10	32 582 02	32 524 01	35 521 01
		Autógyártó	Gép forgácsoló	Gépgyártástechnológiai technikus	Gyártósori gépbeállító	Hegesztő	Ipari gépész	Járműipari fémalkatrész-gyártó	Mechatronikai technikus	Mechatronikus-karbantartó	Szerszámkészítő	Építő- és anyagmozgató gép kezelője	Nyomástartóedény-gépész	CNC gépkezelő (Gépi forgácsolóra épülő)
10161-12	Autógyártó feladatok	X												
10162-12	Gépészeti alapozó feladatok	X	X	X	X	X	X	X	X		X			
10163-12	Gépészeti munkabiztonság és környezetvédelem	X	X	X	X	X	X	X	X		X			
10164-12	Gépgyártósori gépkezelői, gépszerelői feladatok	X			X									
11497-12	Foglalkoztatás I.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
11499-12	Foglalkoztatás II.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
11500-12	Munkahelyi egészség és biztonság	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
10173-12	Anyagvizsgálatok és geometriai mérések	X					X	X			X			

3. ábra OKJ-s modulterkép részlete

Ennek alapján kigyűjtöttük azokat az modulokat, amelyek több OKJ-s szakképesítésben is szerepelnek (4. ábra).

Követelmény modul azonosítószáma:	Követelménymodul neve:
10162-12	Gépészeti alapozó feladatok
10163-12	Gépészeti munkabiztonság és környezetvédelem
10173-12	Anyagvizsgálatok és geometriai mérések
10443-12	Gépkezelők általános ismeretei
11498-12	Foglalkoztatás I.
11499-12	Foglalkoztatás II.
11500-12	Munkahelyi egészség és biztonság

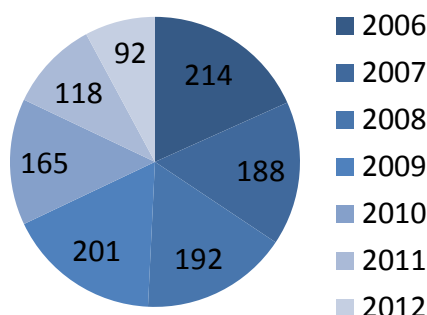
4. ábra Szakmai követelménymodulok

Megfigyelhető, hogy ezek elsősorban alapmodulok. Ezek tartalmazzák azt a szakmai tudást, ami az adott szakképesítés-csoporton belül mindegyik szakképesítésnél szükséges [4]. Az alapmoduloknál lehetőséget látunk az elfogadtatásra a gépészmérnöki alapképzés tantervi hálójában szereplő tárgyakból képzett modulok teljesítése esetén.

### 3. LEMORZSOLÓDÁS ELEMZÉSE A DEBRECENI EGYETEM MŰSZAKI KARÁN

A felsőoktatásba bekerülő hallgatók jelentős része szembesül az elméleti képzés nehézségeivel. Például a Debreceni Egyetem Műszaki Karán évenként jelentős számú hallgatónak szűnik meg a hallgatói jogviszonya (5. ábra). Ugyan lemorzsolódnak ezek a hallgatók, de mire odáig eljutnak számos szakmai alapozó tárgyat teljesítenek. Feltehetően szeretnének továbbra is szakmához jutni, így nagy részük megjelenik a felnőttképzéseken.

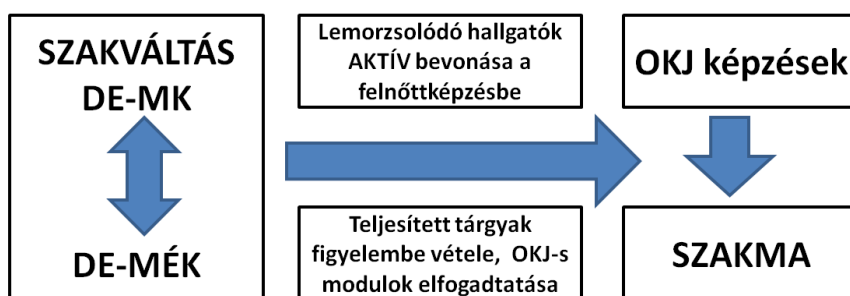
Vélhetően az érdeklődésük irányában a felsőoktatási képzéshez hasonló területű szakképesítés megszerzésével próbálkoznak.



5. ábra Évenkénti lemorzsolódás főben a Debreceni Egyetem Műszaki Karán

A gond az, hogy jelenleg a felsőoktatásban megszerzett tudás nincs figyelembe véve, ami mind az egyén, mind a nemzetgazdaság szempontjából nagy pazarlásnak tekinthető. A Debreceni Egyetem meg kívánja teremteni annak a lehetőségét, hogy a lemorzsolódó hallgatói könnyebben kapcsolódhassanak be felnőttképzési programokba, esetleg iskolarendszerű szakképzésbe úgy, hogy az egyetemen megszerzett tudás beszámításra kerül.

A moduláris képzési rendszer célja az iskolarendszeren belül olyan tantárgyi blokkok (modulok) kialakítása, amelynek teljesítése valamilyen módon elismerésre kerül. Ezzel a hallgatók ún. részterületi képzettséget szereznek. Jelenleg az egyetemen lemorzsolódó hallgatók más felsőoktatási szakot kezdenek el, vagy szakmát tanulnak, vagy képesítés nélküli munkavállalók lesznek. A moduláris képzési rendszer felsőoktatásba való bevezetésével a lemorzsolódó hallgatókat segíteni lehetne a mielőbbi szakképesítés megszerzésében (6. ábra).



6. ábra Moduláris képzési rendszer helye a lemorzsolódó hallgatók szakmához jutásához

#### 4. GÉPÉSZETI RÉSZISMERET BESZÁMÍTÁSA AZ OKJ KÉPZÉSBE

A célunk tehát egy olyan megfeleltetési táblázat elkészítése, mely segítségével kimutatható, hogy a felsőoktatásban elvégzett tárgyak tematikája mekkora százalékban fedi le egy adott szakmai modul ismereteit és kompetenciáit. A felsőoktatási tárgyakat a tantárgyi tematika heti bontásában szereplő elméleti és gyakorlati ismeretei alapján vetettük össze a modulokkal (7. ábra).

Az elemzés Microsoft Excelben készült el több szakmai követelménymodul szakmai ismeretei és kompetenciái, valamint a gépészmérnöki BSc képzés hasonló kompetenciákat tartalmazó tárgyainak tematikája között. A táblázatban tárgyanként külön vizsgáltuk az ismeretek és kompetenciák egyezőségét egy-egy kiválasztott szakmai moduléval. Ezáltal az



egyezőséget 0-100%-os kategorizálásban tudtuk számszerűsíteni a tárgy és a modul tartalma között. A táblázat kitöltése bináris nyelven történt, ahol az 1-es jel jelenti az egyezőséget a 0-ás jel pedig azt, hogy nem található egyezés.

A Gépészeti alapozó feladatok megnevezésű, 10162-12 azonosító számú szakmai követelménymodul	MŰSZAKI ÁBRÁZOLÁS II.						
	Műszaki rajz formai követelménytelensékek, alapszabályok, Vettési irány	Egyszerű metszetek, összetett metszetek, lépcsős metszet, befordított összetett metszet.	Metszetek kerülése. Szelvény ábrázolási fajták: vetületen belül, vetületen kívül. Képszerűség és lejtés szabványos megadása.	A különféle anyagok metszeti jelölése. Csavarmentek jelölése.	Gépelemek ábrázolása: Hengeres fogaskerék ábrázolása nézeten, metszeten. .	Gépelemek ábrázolása. Bordás tengely, hornyos furat ábrázolása, bordás tengelykötés ábrázolása.	Hegesztett kötések ábrázolása Rajzjel megadás.
<b>Szakmai Ismeretek</b>							
<i>Géprajzi alapfogalmak, szerkesztések, ábrázolási módok</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Gépészeti műszaki rajzok olvasása, értelmezése, készítése</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Szabadkézi vázlatrajzok készítése egyszerű alkatrészekről</i>	1	1	1	1	1	1	1
...	0	0	0	0	0	0	0
<b>Szakmai készségek</b>							
<i>Gépészeti rajz olvasása, értelmezés, alkatrészbizottság készítése, szabadkézi vázlat</i>	1	1	1	1	1	1	1
<i>Diagram, nomogram olvasása, értelmezése, műszaki táblázatok kezelése</i>	0	0	0	0	0	0	0
<i>Gépipari mérőeszközök használata, fémgyártó készítmények és kisgy</i>	0	0	0	0	0	0	0
...	0	0	0	0	0	0	0
<b>A tárgy és a modul százalékos egyezősége</b>	12.121212 %						

7. ábra Megfeleltetési táblázat részlete

Ezután a beépített függvények segítségével automatikusan elkészül egy összesítő táblázat. Ez a táblázat arra szolgál, hogy több tárgyat is figyelembe véve megadja a tematikák egyezőséget a moduléval. A 8. ábrán látható táblázat eredményeként megkapjuk, hogy mely tárgyak teljesítése esetén lehet szó az elfogadtatásról vagy az esetleges modulok kialakításáról.

A Gépészeti alapozó feladatok megnevezésű, 10162-12 azonosító számú szakmai követelménymodul	ÁLTALÁNOS GÉPTAN	MŰSZAKI ÁBRÁZOLÁS II.	GÉPELEMEK I.	ANYAGISMERET I.	ANYAGISMERET II.
<b>TELJESÍTETT-E A TÁRGY?</b>	1	1	1	1	1
<b>Szakmai Ismeretek</b>					
<i>Géprajzi alapfogalmak, szerkesztések, ábrázolási módok</i>	0	1	1	0	0
<i>Gépészeti műszaki rajzok olvasása, értelmezése, készítése</i>	0	1	1	0	0
<i>Szabadkézi vázlatrajzok készítése egyszerű alkatrészekről</i>	0	1	1	0	0
...					
<b>Szakmai készségek</b>					
<i>Gépészeti rajz olvasása, értelmezés, alkatrészbizottság készítése</i>	0	1	1	0	0
<i>Diagram, nomogram olvasása, értelmezése, műszaki táblázatok kezelése</i>	1	1	1	1	1
<i>Gépipari mérőeszközök használata</i>	0	0	1	1	1
...					
	0	0	0	0	0
<b>A tárgy és a modul százalékos egyezősége [%]</b>	3.030303	15.15152	18.18182	6.060606	6.060606
<b>TELJESÍTETT TÁRGYAK ÉS A MODUL EGYEZŐSÉGE</b>	18.18182 %				

8. ábra Összesítő táblázat részlete

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Összegzésként megállapíthatjuk, hogy a beszámítás nemzetgazdasági és munkavállalói érdek, források takaríthatók meg és a már valamilyen képzésben megszerzett tudás gyorsabban konvertálható az alábbi szempontok alapján:

1. Gazdaságosabb képzés a felsőoktatásban és a szakképzésben/felnőttképzésben.
2. Marketing szempontok felsőoktatási beiskolázásban (jelentkezők száma, tudása)
3. Egyén szempontjából rövidebb képzési idő, gyorsabb elhelyezkedés.
4. Munkaerőpiacon elvárt gyakorlati tudás elismerése.

Vizsgálati módszer került kidolgozásra a moduláris rendszer kialakításának lépéseire. A cikkel együtt elkészült egy megfeleltetési táblázat, a gépészeti szakmacsoportos OKJ-s modulok és Gépészmérnöki alapképzési szak tantárgyainak tartalmi összevetésére. A táblázat használata nagy segítségül szolgál a felsőoktatásban megszerzett tudás beszámítására a felnőttoktatásba.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkaalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTERIUMA**, *Fokozatváltás a felsőoktatásban, A teljesítményelvű felsőoktatás fejlesztésének irányvonalai*, 2015. március 4., pp. 27.
- [2] [www.nive.hu](http://www.nive.hu), Országos modultérkép
- [3] [https://www.nive.hu/index.php?option=com\\_content&view=article&id=297](https://www.nive.hu/index.php?option=com_content&view=article&id=297)
- [4] [http://szakkesites.hu/interaktiv\\_okj.html](http://szakkesites.hu/interaktiv_okj.html)

# TECHNOLÓGIAI RENDSZER SZINTŰ PROBLÉMÁK A HAZAI, MEZŐGAZDASÁGI EREDETŰ BIOMASSZÁRA ALAPOZOTT BIOGÁZÜZEMEK TARTÓS, FENNTARTHATÓ ÜZEMELTETÉSÉBEN

## TECHNOLOGY SYSTEM LEVEL PROBLEMS OF DURABLE, SUSTAINABLE OPERATION AT DOMESTIC BIOGAS-FACTORIES BASED ON BIOMASS OF AGRICULTURAL ORIGIN

**Kalmár Imre<sup>1</sup>, Kalmárné Vass Eszter<sup>2</sup>, Grasselli Gábor<sup>3</sup>, Szendrei János<sup>4</sup>**

<sup>1,2</sup>főiskolai tanár, <sup>3</sup>egyetemi docens, <sup>4</sup>tudományos munkatárs

<sup>1</sup>Nyíregyházi Főiskola MATI – <sup>2</sup>Debreceni Egyetem Műszaki Kar MMVT

<sup>1</sup>kalmi@nyf.hu, <sup>2</sup>kalve@nyf.hu, <sup>3</sup>grasselli@eng.unideb.hu, <sup>4</sup>szendrei.janos@eng.unideb.hu

**Kivonat:** A mezőgazdaságból és a feldolgozóiparból származó szerves anyagok hasznosításának egyik legcélszerűbb módja a biogázüzemekben történő anaerob lebontás. Ennek haszna egyrészt a melléktermék- és hulladékfeldolgozás környezeti és gazdasági előnyei, másrészt a keletkező biogáz energiája és a kiejert biotrágya. Hazai példa mutatja azonban, hogy a biogázüzem gazdasági fenntarthatósága csak akkor biztosítható, ha a rendszer inputjaként rendelkezésre áll a szükséges mennyiségű és összetételű lebontandó biomassza, valamint a termelt energia és a kiejert biomassza hasznosítása is megoldható. A javasolt modellt követve ezek a problémák nagyrészt kivédhetők, amire szintén találunk példát is.

**Kulcsszavak:** biogáz termelés, technológiai rendszerek, ökonómiai és ökológiai fenntarthatóság

**Abstract:** One of the best ways to utilize organic substances stemming from agriculture and processing industry is anaerobic digestion at biogas plants. This results in the environmental and economic benefits of processing by-products and wastes, on the one hand, and biogas energy and fermented bio-fertilizer, on the other hand. However, domestic example shows that economic sustainability of a biogas plants can be ensured only in case the biomass to be digested is available in the required quantities and composition, and exploitation of produced energy and fermented biomass can also be solved. Following a proposed model, these problems can largely be prevented, for which we can also find an example.

**Keywords:** biogas production, technological systems, economic and ecological sustainability

## 1. BEVEZETÉS

Az ember létfenntartása érdekében tudatosan használja a természeti erőforrásokat. A mezőgazdasági technológiáknál a növekvő mennyiségű főtermékkel arányosan nő a keletkező melléktermékek és hulladékok mennyisége is, melyek káros lokális vagy lokális környezeti hatásokhoz is vezethetnek. Ugyanakkor az egyes melléktermékek és hulladékok sok esetben a hagyományos erőforrások részbeni kiváltására is alkalmasak.

A nem megújuló erőforrások a készletének fogyásával egyre inkább felértékelődnek és ezzel párhuzamosan nő a megújítható erőforrások jelentősége is. A levegő, a víz, a talaj, a növények és az állatok környezetünk elemei, egyben termelési alapok, termelési eszközök is a mezőgazdaság számára. A megújuló energiaforrások használata nem oldja meg ugyan az összes energetikai, környezetszennyezési és társadalmi problémánkat, de elősegíti egy környezetbarát és fenntartható energiagazdaság, valamint egy kiegyensúlyozott mezőgazdálkodás megteremtését [9].

A növénytermesztés, a növényi eredetű élelmiszer és takarmány, valamint megújuló anyag és energiahordozó előállítás folyamán is keletkeznek olyan melléktermékek és hulladékok, amelyek továbbhasznosításáról gondoskodni kell. Ezek EU által is elfogadott gyakorlata a

biogázüzemi hasznosítás. Magyarországon is létesültek olyan mezőgazdasági eredetű biomasszára alapozott biogázüzemek, amelyek ökológiailag pozitív működtetését ökonómiai szempontok veszélyeztetik. A biogáz-előállítás és hasznosítás problémái technológiai rendszer eredetűek.

## **2. A BIOGÁZELŐÁLLÍTÁSI TECHNOLÓGIA RENDSZERSZEMLELETŰ MEGKÖZELÍTÉSBN**

Rendszerszemléletű megközelítésben a termelési-technológiai folyamatok a bemenetekkel, a kimenetekkel, a környezetükkel és a rendszert alkotó elemek, részrendszerek összességével, azok működésével definiálhatók. A kimenet befolyást gyakorolhat a működési környezetre és visszahat a rendszer bemenetére és magára a rendszer működésére is. A kimeneti oldalán a termék mellett megjelenik a melléktermék és hulladék is.

A fejlett termelési-technológiai rendszerek fenntarthatóságát bemeneti oldalon a természeti és a mesterséges erőforrások megfelelő mennyiségű és minőségű rendelkezésre állásának, kimeneti oldalon az elhasználandó főtermék visszaforgathatóságának, valamint a keletkező melléktermékek és hulladékok elhelyezésének problémái veszélyeztethetik.

A biogáz-előállítás egy olyan technológiai rendszer, amely segítségével a szagemisszió és fertőzőképesség szempontjából környezeti veszélyekkel járó, hulladék jellegű biomasszából energetikailag hasznosítható metánt, a növények számára felvehető CO<sub>2</sub>-ot és ásványosodott alkotórészeket tartalmazó növényi tápanyagot állíthatunk elő [8],[10]. Ugyanakkor energetikai szempontból a biogáz-előállítás egy olyan energiahordozó transzformáló rendszer, amely bemenetét biomassza kémiai kötött energiátartalma, a kimenetét pedig továbbhasznosítható biogáz és hőenergia képezi. A biogáz-előállító rendszert és annak működését az egyes alrendszereinek elemei és a közöttük lévő kapcsolat, a megvalósított technológia és annak paraméterei, valamint az inputok és a környezeti jellemzők együtt határozzák meg.

A biogáz-előállítás azonban csak egy eleme a biomassza előállítás és a megújuló energia hasznosítását is magában foglaló ellátási láncnak, amelynek gazdasági és ökológiai fenntarthatóságát teljes összefüggésben kell elemezni, szem előtt tartva, hogy a mezőgazdasági eredetű biomasszára alapozott biogázüzemek létesítésének két alapvető célja a hulladékmegsemmisítés és az energiahordozó előállítás.

Biogáz-előállításra potenciálisan alkalmas biomasszaféleség sok helyen rendelkezésre áll [3], azonban a biogáz-előállítás és hasznosítás energetikai kérdés is. Elsődleges szempont, hogy a lokális energia szükséglet minél kevesebb külső energiaforrás felhasználásával legyen történő kielégítése, azonban már a létesítmény tervezésénél figyelembe kell venni a tartós működtetés ökológiai és ökonómiai szempontjait is. A biogázüzemek létesítésének és üzemeltetésének a technológiai feltételei ma már általánosan ismertek, a létesítmények alacsony működési kockázattal megvalósíthatók. A kockázati elemek elsősorban a technológiai rendszer inputjainak tartós rendelkezésre állása és outputok hasznosíthatósága.

## **3. A BIOGÁZÜZEMEK LÉTESÍTÉSÉNEK ÉS FENNTARTHATÓ ÜZEMELTETÉSÉNEK PROBLÉMÁI**

### **3.1. A biogáz-előállítás működését veszélyeztető tényezők**

A biogáz-előállítás fenntartható technológiája a trágyakezelés mellett sok mezőgazdasági és élelmiszer-előállítási melléktermék továbbhasznosításának és visszaforgatásának. Ezen

hulladékkezelési és megújuló energia előállítási technológia magyarországi széleskörű elterjedését a biogázüzemek fenntartható üzemeltetésének technológiai rendszer szintű zavarai is akadályozzák.

A biogázüzemknél a technológiai folyamat kimenetén biogáz és kiejert trágya jelenik meg. A beruházási döntés előtt vizsgálni a keletkező biogáz helyi szükségletek kielégítésére történő hasznosítását, ami prioritást kell élvezzen a közüzemi hálózatra csatlakozással szemben. A kiejert biotrágya tartós felhasználása csak megfelelő méretű termőterület tulajdonjoga vagy hosszú, ill. középtávú földhasználati szerződés által biztosítható.

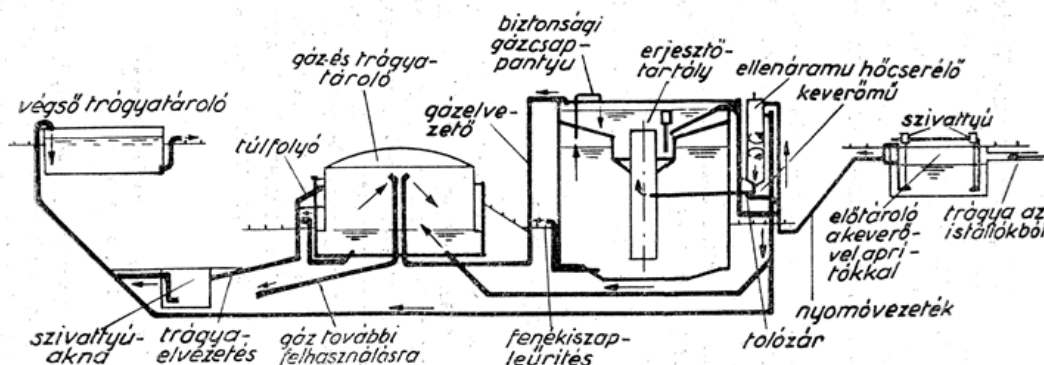
A biogázüzemek környezetében a szaghatás teljes mértékben nem küszöbölhető ki, az érintett közösséggel az előzetes egyeztetés számos problémát megelőzhet.

Biogáz szerves anyagok anaerob lebontása folyamán keletkezik, ezért a betáplálendő nyersanyagok tartósan alacsony kockázatszint és elfogadható költségek melletti rendelkezésre állása a biogázüzemek létesítésének és üzemeltetésének alapvető feltétele. Az alacsony száraz szerves anyag tartalmú hígtrágyára alapozott biogáz-előállító létesítmények üzemeltetése Magyarországon a jelenlegi létesítési és megújuló energiahordozó átvételi feltételek mellett nem lehet gazdaságos. Ugyanez vonatkozik az adalékanyagok biztosítására is, a saját gazdaságban keletkező alap- és adalékanyagok prioritást kell, hogy élvezzenek stb. A társadalom egésze érzékeny a megújuló energiahordozók hasznosítási arányának növelése iránt, ami azonban nem minden esetben jelenik meg a gazdasági ösztönző rendszerben. Magyarország megújuló energia stratégiájában a biogáz hasznosítás növekvő arányú, de a rendelkezésre álló energetikailag hasznosítható biomassza potenciálhoz képest alacsony mértékű.

A biogázüzemek létesítését az adott időpontban a megújuló energiát előállító és a környezetterhelést mérséklő technológiák támogatási rendszere is befolyásolja. A támogatási rendszer változása miatt nehéz felelősséggel dönteni egy biogázüzem létesítéséről.

### 3.2. Egy magyar példa: a szécsényi biogázüzem

A szécsényi folyamatos üzemelésű, nedves eljárású biogáztelep alapításának fő indoka a jelentős (66%-os) állami támogatás volt, amit a VI. ötéves terv célkitűzései közt megfogalmazott energiaracionalizálási törekvések indokoltak ([1],[6]). A II. Rákóczi Ferenc Termelőszövetkezet számára üzemi szintű előnyöket a rendelkezésre álló alapanyagbázis kihasználása, a tápanyag-gazdálkodás (illetve a hígtrágya-kiöntözés) javítása, ezenkívül a baromfitelepek téli fűtése jelentett [1] **Hiba! A hivatkozási forrás nem található..**



1. ábra A szécsényi biogáztelep technológiai folyamatábrája [6]

A fenti ábrán látható elvű telephez rendelkezésre álló inputbázist a 737 férőhelyes szarvasmarha telep és a 198 ezer férőhelyes broilertelep trágyakibocsátása jelentette. Az

adaptált osztrák BVT-BIMA technológia alapján a napi kb. 60 m<sup>3</sup> 10% szárazanyag-tartalmú alapanyagot folyamatos üzemben, mezofil (30-35 °C) hőmérsékleti tartományban fermentálták. Az automata és kézi üzemmódban is vezérelhető biogáztelepnél a hígtrágyát hőcserélőn keresztül vagy azt kikerülve lehetett az erjesztőbe juttatni.

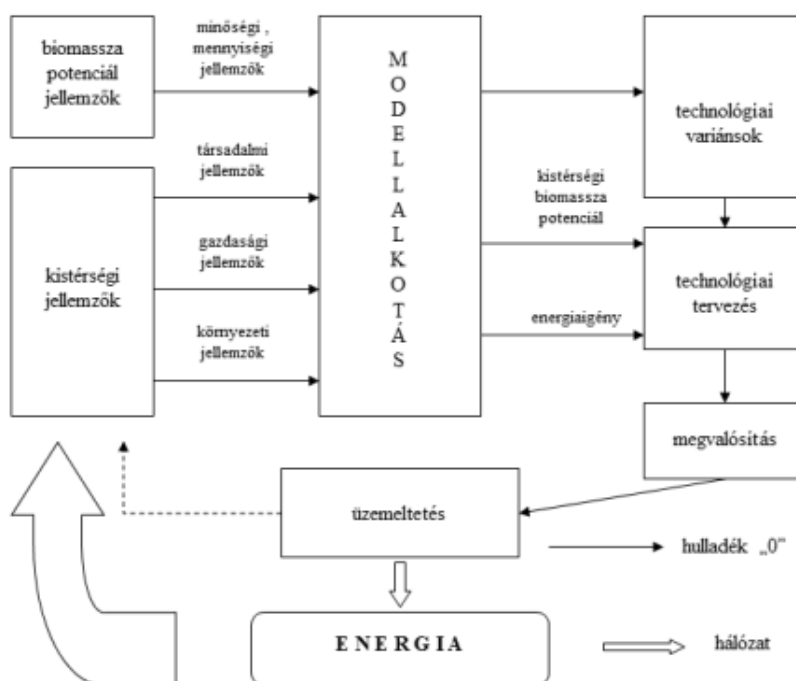
Az üzemeltetésben problémát jelentett a fűtési idényen kívül a gáz hasznosítása. Az utolsó években a baromfitelep felszámolása miatt már télen sem volt teljes a gázfelhasználás [1]. A rendszer gazdaságtalanná válását a környezeti és társadalmi előnyök nem tudták ellensúlyozni. A tervezési-szervezési problémákat az üzemelés első éveiben nem sikerült orvosolni, így a problémák a biogáztelep leállításához vezettek.

#### 4. A LOKÁLIS ENERGIASZÜKSÉGLET KIELÉGÍTÉSÉT CÉLZÓ BIOGÁZ-ELŐÁLLÍTÁS PROBLÉMÁI ÉS LEHETSÉGES MEGOLDÁSA

##### 4.1 Energetikai célú biomassza előállítási-hasznosítási modell struktúrávázlata

A biogáz-előállítás fejlesztési modelljének kidolgozásánál a mezőgazdasági termelés alapfunkciójának módosulásából, a megújuló energiaforrások iránti igény növekedéséből, valamint a jelenlegi energetikai célú biomassza hasznosítás alacsony arányának növelési igényéből kiindulva behatárolhatók a biomassza alapú energiatermelés aktuális lehetőségei. A helyi megújuló energiatermelésnek elsősorban a lokálisan rendelkezésre álló erőforrásokra támaszkodva helyi energia szükségletet kell kielégíteni.

A lokális megújuló energia előállító és hasznosító rendszerek jelentőségéről megjelent hazai közleményekben is megállapításra került, hogy kidolgozható egy tudományosan megalapozott – kísérleteken nyugvó – módszertan és modell, egy adott konkrét helyen adott alap- és adalékanyagokra alapozott technológia (2. ábra).



2. ábra Energetikai célú biomassza előállítási és hasznosítási modell struktúrávázlata [5]

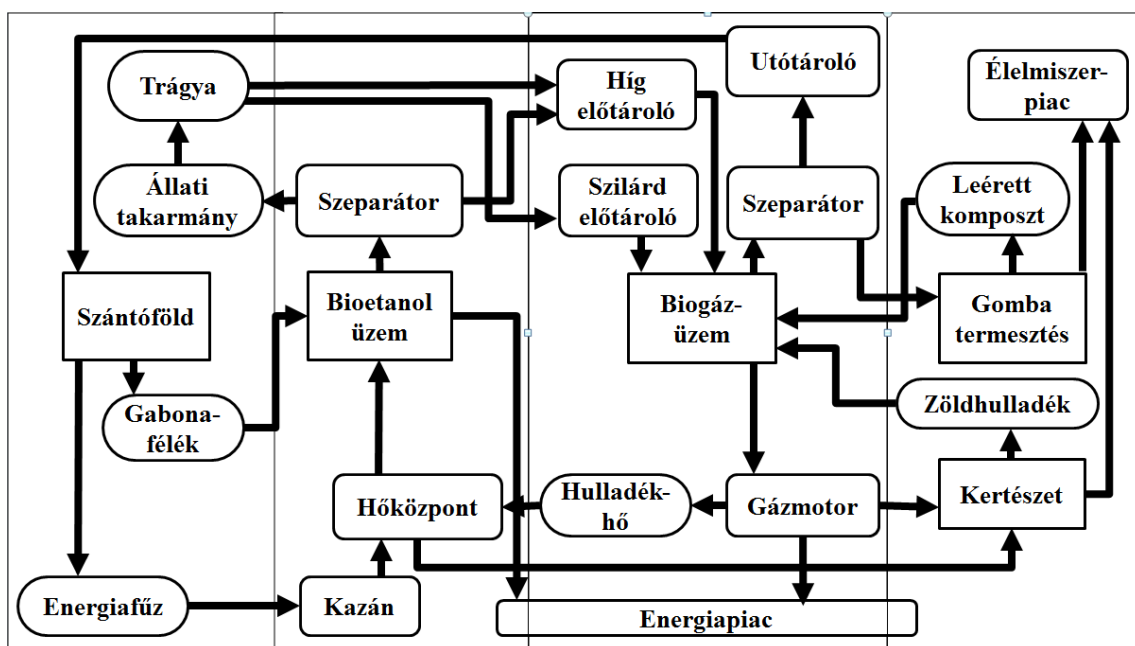
A fejlesztési modell az energia előállításán túlmenően a lokális igényekből kiindulva a megújuló energia felhasználására is kiterjed. A modell megvalósításának rész célja a leszakadó

kistérségek felzárkózási esélyének növelése is. A modell a lokálisan potenciálisan rendelkezésre álló erőforrásokat használja és a lokálisan keletkező energiaigény kielégítésére koncentrálna. A modell az ökológiai és az ökonómiai fenntarthatósági elveknek is megfelel. A megújuló energia előállítás inputjainak, az előállításnak és felhasználásnak komplex rendszerként kezelése egy záródó ciklusú – a technológiai hulladékokat és melléktermékeket visszaforgató – versenyképes technológiát eredményezhet.

A modell alkalmazásának jelentőségét az előző példában is ismertetett problémák adják. A fentebb ismertetett példán túl is fennáll a veszélye, hogy a tervezési és szervezési hiányosságok súlyosbodása veszteségekhez, sőt üzembezáráshoz vezet. Magyarországon jelentős vissza nem térítendő támogatással jöttek létre olyan biogázüzemek, melyeket a kockázatokra is figyelmeztető korabeli publikációk ellenére gyakran nagyrészt külső forrásból származó biomasszára alapoztak és az elektromos energiaellátó hálózatra termeltek. Ezek egy részét már nem üzemeltetik és további létesítmények gazdaságilag fenntartható működtetése is veszélyben van. A szennyvíziszapot és a depóniagázt hasznosító és a termelt elektromos energiát „sziget üzem módban” saját célra használó üzemek életképesek. Szintén stabilak a feldolgozóipari melléktermékeire (vágóhidak, cukorgyár stb.) melléktermékeit és hulladékait is hasznosító üzemek, ahol a kiejert fermentlé, ill. biotrágya kihelyezésének feltételei biztosítottak.

#### 4.2. Egy másik magyar példa: energiafarm Dombóváron

Dombóvár mellett két mezőgazdasági cég kezdeményezésében elkezdődött egy energiafarm létesítése ([2],[7]). A Kaposzsekcsői Mezőgazdasági Zrt. négyszáz állatnyi tehenészet és ugyanakkora állományú sertés-telepe adja a 2010-ben átadott biogázüzem inputjának alapját, egyéb hulladékok hasznosítása mellett. A dombóvári Agrár-Béta Kft. egy bioetanol üzem létesítését kezdte meg, első lépcsőben tizenötezer, később harmincezer tonna kukorica feldolgozására. A keletkező szeszmoszlék 85%-a a biogázüzemben hasznosul. Az energiafarm harmadik egysége egy biomassza kazán, amely a bioetanol előállításához szükséges hőmennyiséget mintegy 200 hektár energiafűz ültetvény fahozamából biztosítja (3. ábra).



3. ábra A dombóvári energiafarm koncepciója ([4] alapján)

Amint az a 3. ábrából is látszik, az üzem koncepciója ma is fejlesztés áll: az energiafarm input- és outputoldalához gombatermesztés és kertészet is kapcsolható. Ez az energiahasznosítás javításán és az energiatermelés volumenének növelésén túl a gazdálkodás több lábón állását és a további munkahelyteremtést is szolgálhatja.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

Ahol a biogáz-előállító és hasznosító komplex rendszer inputjaként nem áll rendelkezésre a szükséges mennyiségben és összetételben a lebontandó biomassza illetve nem biztosított az összes kinyerhető energiatartalom hasznosítása, illetve nem adottak a kiejtett anyag kihelyezésének a feltételei, ott csak magas kockázati szint mellett tarthatóak fenn a hatékony üzemeltetés feltételei. Ezek a problémák körültekintő tervezéssel, a javasolt modell struktúráját követve, nagyrészt kiküszöbölhetők. Öröndetes tény, hogy vannak olyan példák, melyek követni látszanak ezeket az elveket és további létesítmények számára is mutatják a követendő irányt.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Európai Unió és a Magyar Köztársaság pénzügyi támogatásáért a TÁMOP-4.2.2.D-15/1/Konv-2015-0010 projekt keretében.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BAI, A.,** *A biogáz előállítása - jelen és jövő,* Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2005., pp. 242.
- [2] *Energiafarm Dombóvár mellett.* Agrárunió, 2009.12.02
- [3] **GRASSELLI, G., GÁL, T., SZENDREI, J.,** *Possibilities to establish biogas plants in the Northern Great Plain Region, based on cattle and pig manure,* Hungarian Agricultural Engineering Volume 22 (2009), pp. 85-87.
- [4] **KALMÁR, I., KALMÁRNÉ VASS, E., GRASSELLI, G., SZENDREI, J.,** *Technológiai rendszer eredetű kockázatok a biogáz üzemek létesítésében gazdaságos üzemeltetésében,* XII. ENERGOexpo Nemzetközi Konferencia és Szakkiállítás, 2015. május 28-29.
- [5] **KALMÁR, I., NAGY, V., SZABÓ, E.,** *Megújuló energia előállítás és hasznosítás technológiai folyamatok összekapcsolásával,* In: VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, Mezőtúr, 2008.10.16-2008.10.17. Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás, 2008. p. 6.
- [6] **KISSNÉ QUALLICH, E.,** *A biogáz,* Mezőgazdasági Könyvkiadó, Budapest, 1983., pp. 204.
- [7] **MOLNÁR, I.,** *Biogáz - Biomassza – Bioethanol,* <http://www.agrar-beta.hu/bioenergia.html>, hozzáférés: 2015.05.27
- [8] **NAGY, V., MEGGYES, A.,** *Waste or Energy?,* Pollack Periodica: An International Journal for Engineering and Information Sciences 9:(Suppl.) (2014), pp. 17-21.
- [9] **NAGY, V., KESZTHELYI-SZABÓ, G.,** *Az energetika a fenntarthatóság szolgálatában, avagy az energetika interdiszciplináris jellegének hangsúlyozása a mikrohullámmal segített biodízel előállítás példája kapcsán,* Tájökológiai Lapok 12 (2) (2014), p. 307–312. (2014)
- [10] **SALLAI, L.,** *Egy adott gazdasági szerkezetű, kisebb régió szerves hulladékaira alapozott biogáz előállítási technológia kialakítása,* PhD értekezés, Debreceni Egyetem, Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma, Kerpely Kálmán Doktori Iskola, 2012, pp. 131.



## ADDITÍV GYÁRTÁSSAL KÉSZÍTETT ALKATRÉSZEK MIKROSZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA

### INVESTIGATION ON MICROSTRUCTURE OF PARTS MANUFACTURED BY ADDITIVE TECHNOLOGY

**Dezső Gergely<sup>1</sup>, Szigeti Ferenc<sup>2</sup>**

főiskolai tanár<sup>1</sup>, tanszékvezető<sup>2</sup>  
Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet,  
Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszék,  
4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b  
dezsog@nyf.hu, szigetif@nyf.hu

**Kivonat:** *Additív gyártással készített alkatrészek mikroszerkezetére vonatkozó vizsgálataink eredményeit mutatjuk be ebben a dolgozatban. Szabványos ütőmunka próbatesteket készítettünk OBJETT Eden 350 V additív gyártó rendszeren, három különböző térbeli irányítottsággal, majd Charpy-féle ütőművel eltörtük azokat. Az eltört próbadarabok felületeit elektronmikroszkóp segítségével tanulmányoztuk. A felületeken számos különböző struktúra figyelhető meg, amelyek kapcsolatba hozhatók a gyártási technológia sajátosságaival és az anyagi tulajdonságokkal. Kimutatható, hogy az anyag rideg. A mikroszkópos vizsgálatok megmutatták, hogy az anyag belső szerkezete kifejezetten anizotróp.*

**Kulcsszavak:** *additív gyártás, gyors prototípus gyártás, mikroszerkezet, töréstan, elektronmikroszkóp*

**Abstract:** *Microstructure of additive manufactured parts is studied in this work. Standard impact test parts were manufactured on OBJETT EDEN 350V machine in three different orientation, and they were broken by a Charpy impact test machine. Different surfaces of broken parts were studied with an electron microscope. High variety of structures were observed, and explained by technological aspects of manufacturing system, and material properties. It is shown, that material is surprisingly brittle. Microscopic study showed, that microstructure is definitely anisotropic.*

**Keywords:** *additive manufacturing, rapid prototyping, microstructure, impact test, electron microscope*

## 1. BEVEZETÉS

Az additív gyártásra, amit a kezdeti időkben gyors prototípus gyártásnak neveztek, számos kifejezés használatos, mint például szabadformájú gyártás (solid freeform fabrication), 3D nyomtatás (+D printing). Bár ezek és más kifejezések gyakran szinonimaként használatosak (más szerzők viszont éles különbséget tesznek közöttük, és megpróbálnak pontos, egymástól eltérő definíciókat adni rájuk), a sokféleség önmagában is jól mutatja az élénk fejlődést és a hatalmas tudományos és ipari potenciált, amely a területben rejlik [1]. Az additív gyártás a gyártási technológiák egy népes, és jelenleg is intenzíven fejlődő családját jelöli. Ezekben a technológiákban az a közös, hogy a gyártás közvetlenül a 3D CAD model alapján történik anyaghozáadással, “a semmiből a teljességig”. Ennek megvalósítása igen nagy változatosságot mutat. A nyomtató-szerű technikák (ink jet technologies) ezeknek a technikáknak egy csoportját alkotják.

Az additív gyártás napjainkban három fő irányban fejlődik. Egyrészt az additív gyártást olyan megoldásként alkalmazzák, amellyel térbeli prototípusok gyárthatók irodai körülmények között. Másodsorban az additív gyártást egyre inkább alkalmazzák olyan, nagy hozzáadott értékű iparágakban, mint a repülőgépgyártás, vagy az orvosi eszközök (különösen az implantátumok) gyártása. A harmadik fejlődési ág a mikro- és nanoméretű eszközök gyártása, amely jelenleg intenzív akadémiai kutatás tárgyát képezi [4].

A jövőben további lehetséges kutatási területek a folyamat szimulációja, szabályozása, anyagtudományi kutatások, eljárások és eszközök fejlesztése, orvosi és biológiai alkalmazások, energetikai és fenntarthatósági vizsgálatok.

Ebben a dolgozatban egy nyomtató-szerű eljárás vizsgálatát mutatjuk be, amely rétegről rétegre építi fel a modellt fotopolimer műgyantából. Egy rétegen belül mikrométer nagyságrendű cseppecskéket lő ki a nyomtatófej, majd ultraibolya fénnel világítja meg, aminek következtében a gyanta polimerizálódik, így megszilárdul [2,3].

A mikroszerkezetet erősen befolyásolja a gyártási technológia, az anyagi tulajdonságokat pedig a mikroszerkezet. Egy korábbi dolgozatban bemutattuk, hogy kocka alakú próbatetek méret- és alakhelyessége hogyan függ a gyártórendszerbeli orientációtól. A méret- és alakhelyességnek ez az irányfüggése szoros kapcsolatban áll a gyártási technológiával. Várható, hogy nem csak a méret- és alakhelyesség, hanem az anyagi tulajdonságok is mutatnak anizotrópiát, ami a megszilárdult anyag szerkezetének anizotrópiájával magyarázható.

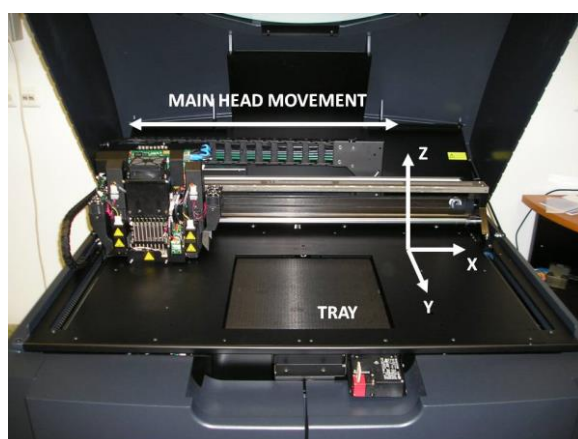
## 2. A KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Agrártudományi Intézetében, a Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszék Additív Gyártás Laboratóriumában üzemel egy OBJET Eden 350 V típusú additív gyártó berendezés (1. ábra). Ezt használtuk a próbatetek gyártására. Szabványos próbatesteket készítettünk úgy, hogy 3-3 próbatest hossz tengelye rendre a tér három különböző irányával voltak párhuzamosak.

Két kísérletet végeztünk el a próbatetekkel.

Az egyik a Charpy-féle ütőmunka vizsgálat volt, amely egy szabványosított, gyors alakváltozással járó vizsgálat a törés során elnyelt energia meghatározására. Ez a vizsgálat információt ad az anyag szívósságáról, illetve ridegségéről. Azért választottuk ezt a vizsgálatot, mert technikai egyszerűsége mellett nagy mennyiségű és összetett információt képes szolgáltatni a próbatest anyagáról. A különböző orientációban gyártott próbatetek töréskeresztje betekintést adhat a mechanikai tulajdonságok irányfüggésébe.

A töréskeresztet az MSZ EN ISO 179-1:2010 szabvány szerint végeztük a tanszékünk akkreditált Anyagvizsgáló Laboratóriumában.



1. ábra Az OBJET Eden 350 V additív gyártó rendszer  
2.

A másik kísérlet a mikroszkópos vizsgálat volt. A próbatetek eredeti és tört felületeit vizsgáltuk elektronmikroszkóppal.

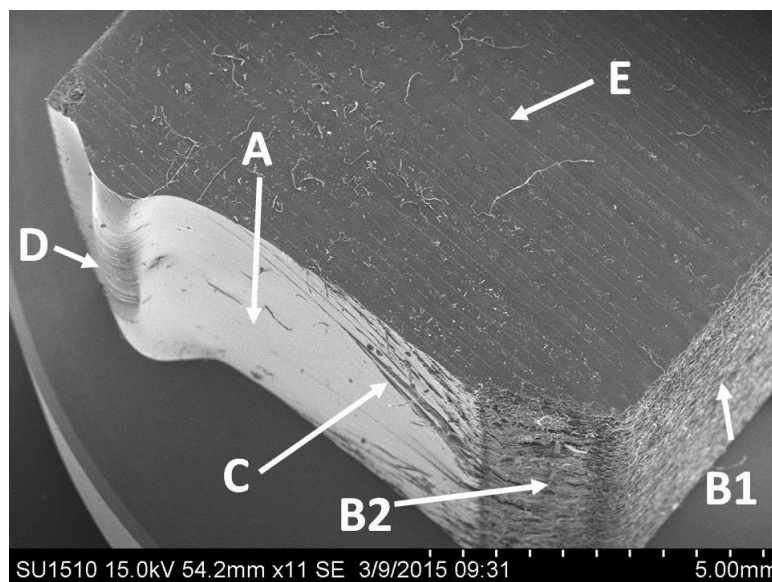
A vizsgálathoz a tanszékünkön működő HITACHI SU-1510 típusú pásztázó elektronmikroszkópot (SEM) használtuk. A felvételek nagyítása 10 és 500 között változott, 15 kV gyorsítófeszültség mellett (2. ábra). Ez egy elektronágyú típusú SEM kompakt felépítéssel, kiegészítő egységekkel. A mintatartó legfeljebb 153 mm nagyságú mintát képes befogadni. A mikroszkóp számítógéphez csatlakozik, amelynek segítségével elvégezhető a kísérletek beállítása és a felvételek rögzítése, elemzése.



3. ábra A HITACHI SU-1510 típusú elektronmikroszkóp

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat a következő felületeken végeztük el (3. ábra):

- az eredeti függőleges felületek: B1 és B2, ezek közül B2 a bevágás felülete,
- a töret felszíne, sima rész, amely az anyag keresztmetszeteként értékelhető: A,
- a töret felszíne, lépcsőzetes részek: C és D,
- a próbatest eredeti, vízszintes felszíne, amelyet nem befolyásolt a törés: E.



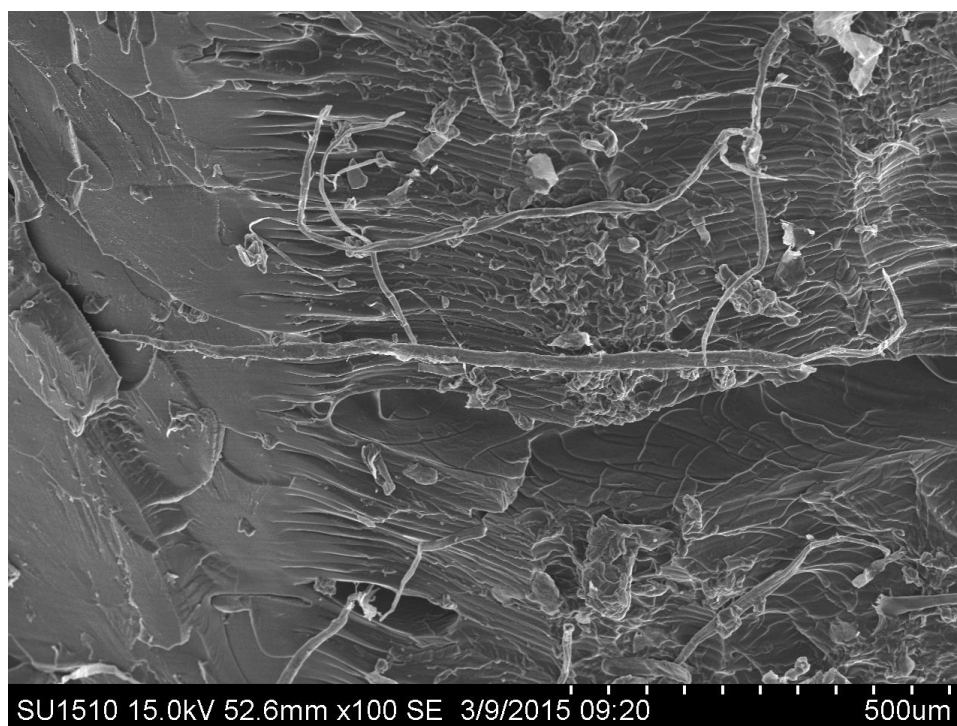
4. ábra Az egyik eltört próbatest a mikroszkóp mintatartójában. Az A, B1, B2, C, D és E jelölések magyarázata a szövegben található.

### 3. EREDMÉNYEK

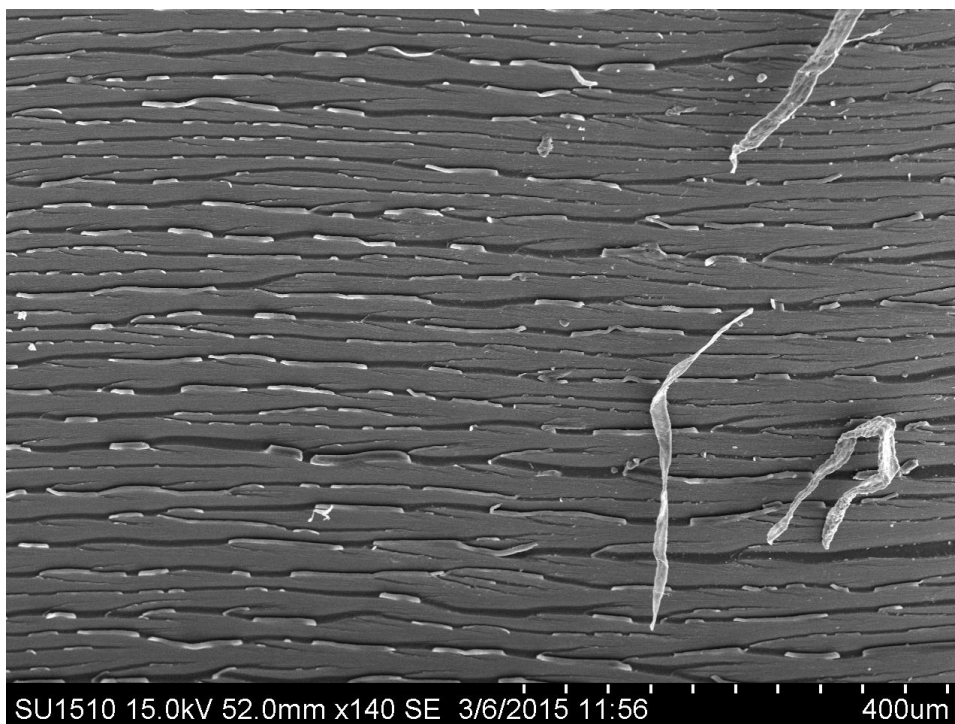
A Charpy-féle ütőmunka vizsgálat elsődlegesen elnyelt energia adatokat szolgáltat, amelyekből az anyag ridegségére (vagy szívósságára) lehet következtetni. Az 1. táblázatban közölt adatokból két következtetést lehet levonni. Az ütőmunka minden orientáció esetén igen kicsiny, ami azt mutatja, hogy a törés rideg. A második következtetés az, hogy a különböző orientációval készített próbatestek ütőmunkája nem tér el szignifikánsan, tehát itt nem érhető tetten az anizotrópia.

A próbatest jele	Elnyelt energia (J)
z1	0,2
z2	0,3
z3	0,2
y1	0,2
y2	0,3
y3	0,2
x1	0,3
x2	0,4
x3	0,4

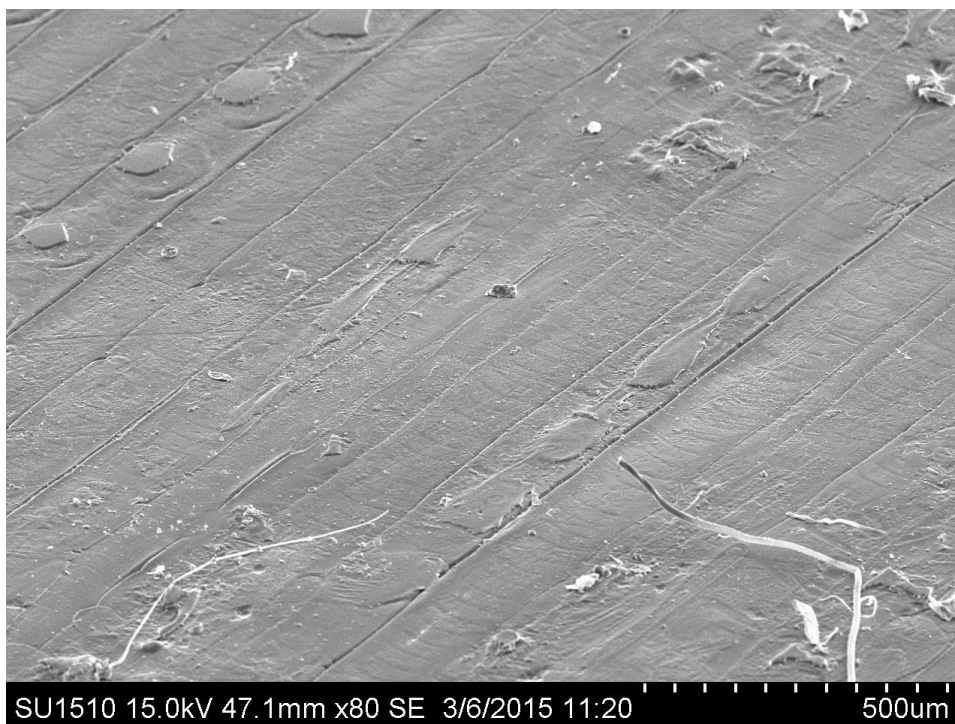
1. táblázat A Charpy-féle ütőmunka vizsgálatok eredményei



5. ábra A B1 és B2 felületek szerkezete azonos



6. ábra A töret A jelű sima felülete, jól látható a sávos szerkezet



7. ábra A próbatest felső felülete (E), amelyen láthatók a simítás nyomai

Az elektronmikroszkópos vizsgálatok a felületek szerkezetének nagy sokféleségét mutatták meg. A 4. ábrán a próbatesteknek a gyártás során függőleges helyzetű felületének egy darabja látható 100-szoros nagyításban. A rendezetlen, szálás és laza szerkezet minden bizonnyal abból adódik, hogy ezeken a felületeken nincs simítás. Ezzel ellentétben a 6. ábra a felső

simított felületet mutatja, a nagyítás 80. A sávok és az elnyújtott cseppek a felszínen a simító henger hatását mutatják. Tekintettel arra, hogy simítás a gyártás során folyamatosan történik, nem csak a felszínen, hanem az anyag belsejében is ilyen (szemmel nem látható) szerkezet sejtethető. Ezt a sejtést igazolja az 5. ábrán bemutatott szerkezet. Ez a töret sima felülete (A), amely nem sík, de közelítőleg egy olyan függőleges sík mentén helyezkedik el, amely a 6. ábrán mutatott felületre merőleges. A sávos szerkezet az elsimított rétegek egymásra rendeződéséből adódik.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Olyan munkadarabok anyagi tulajdonságait és belső szerkezetét vizsgáltuk, amelyek OBJET Eden 350 V típusú additív gyártó berendezéssel készültek.

Charpy-féle ütőmunka vizsgálathoz készítettünk szabványos próbatesteket, és eltörtük azokat.

A törésteztek nem mutatták ki az ütőmunka szignifikáns függését a gyártási orientációtól. Az ütőmunka igen kicsiny, ami mutatja, hogy a törés rideg. A töreten két olyan terület figyelhető meg, amely a törési folyamat során két képlékeny jellegű fázisra utal.

Az elektronmikroszkópos vizsgálatokat az alábbi felületeken végeztük el: az eredeti függőleges felületen és a töret három, egymástól eltérő részén. A gyártási folyamat során történő simítás jelenléte vagy hiánya egyértelműen kimutatható a felvételeken. A töret sima része az anyag metszeteként értelmezhető. Itt sávos szerkezet fedezhető fel, ami egyértelműen mutatja azt, hogy az anyag belső szerkezete nem homogén, hanem jellegzetes irányítottsággal bír.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **D. L. BOURELL, M. C. LEU, D. W. ROSEN** (eds.), (2009). *Roadmap for additive manufacturing, identifying the future of freeform processing*, University of Texas, Laboratory for Freeform Fabrication, Advanced Manufacturing Center, USA, <https://wohlersassociates.com/roadmap2009.pdf> (downloaded on 25.03.2015).
- [2] **G. DEZSŐ, P. KÓSA** (2012). *Roughness of plane faces produced by additive manufacturing*, International Journal of Engineering, X. 2. pp 181-184. ISSN:1584-2665
- [3] **G. DEZSŐ, I. DUDÁS, P. KÓSA, A. SZÁZVAI** (2012). *Study on size accuracy of 3D printing*, XXVI. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc, 29-30 March, 2012. (elektronik issue, ISBN: 978-963-661-773-8, L8\_Dezso\_Gergely.pdf)
- [4] **N. HOPKINSON** (2010). *Additive manufacturing: What's happening and where are we going with printing in the third dimension?* [http://www.researchgate.net/publication/266469818\\_Additive\\_Manufacturing\\_What%27s\\_happening\\_and\\_where\\_are\\_we\\_going\\_with\\_printing\\_in\\_the\\_third\\_dimension\\_Additive\\_Manufacturing\\_What%27s\\_happening\\_and\\_where\\_are\\_we\\_going\\_with\\_printing\\_in\\_the\\_third\\_dimension](http://www.researchgate.net/publication/266469818_Additive_Manufacturing_What%27s_happening_and_where_are_we_going_with_printing_in_the_third_dimension_Additive_Manufacturing_What%27s_happening_and_where_are_we_going_with_printing_in_the_third_dimension) (downloaded on 24.03.2015)

# MATEMATIKAI MODELLEK ÉS TÉRFOGATI HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐK DOBSZÁRÍTÓKNÁL

## MATHEMATICAL MODELS AND VOLUMETRIC HEAT TRANSFER COEFFICIENTS AT ROTARY DRUM DRYERS

Poós Tibor

Adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék  
H-1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 4-6.  
poos@mail.bme.hu

**Kivonat:** Az ipari szárítók leggyakrabban levegővel vagy füstgázzal, konvekciós úton adják át a hőt a száradó anyagnak, és ezzel egyidejűleg az anyagban lévő nedvesség páragóz formájában kerül a szárítógázba. A szárítók műveleti méretezéséhez a hőközlő közeg és az anyag közötti hőátadási tényezők ismerete szükséges, melyek meghatározása általában méréssel történik. A szárítással foglalkozó szakirodalom az átadási tényezőt az érintkezési felülettel összevonva térfogati átadási tényezőként kezeli. Az átadási tényezők a szárítás folyamatát leíró differenciálegyenlet-rendszer megoldásának bemenő adatait képezik.

**Kulcsszavak:** szárítás, forgó dobszárító, térfogati hőátadási tényező, matematikai modell

**Abstract:** In industrial drying processes heat transfers commonly from air or flue gas to the wet material, and moisture diffuses to the drying gas simultaneously. Scaling up drying processes the transfer coefficients between drying gas and material are needed. These physical properties are determined commonly using measurements. The literature define these parameters as volumetric transfer coefficients, eliminated the uncertainties the determination of the heat transfer surface. The transfer coefficients are input data describing the drying process by solving of differential equations.

**Keywords:** drying, rotary drum dryer, volumetric heat transfer coefficient, mathematical model

### 1. BEVEZETÉS

Száradás során a legtöbb esetben a szárítógáz hőt közvetít a száradó anyag felé, mely következtében a szárítógáz hőmérséklete is jelentősen csökkenhet. A száradó anyag nedvességének a szárítógázba történő párolgása a szárítógáz nedvességtartalmát jelentős mértékben megnöveli. Így a száradás ideje alatt sem a szárítógáz hőmérséklete, sem annak nedvességtartalma nem tekinthető állandónak ( $T_G \neq \text{áll}$  és  $Y \neq \text{áll}$ ). Ilyenkor a száradás során a hőmérséklet- és a nedvességtartalom hajtóerő csökkenése nem hagyható figyelmen kívül. Az állandó gáz állapotjelzőkkel modellezett esethez képest a hajtóerő csökkenés a szárítási idő, a szárításhoz szükséges érintkező felület vagy a szárító hosszának növekedését eredményezi.

Változó gáz állapotjelzőkkel végzett folyamatos szárító esetén, a szárítógáz belépési és kilépési hőmérséklete, valamint nedvességtartalma jelentősen eltér egymástól. Változó gáz állapotjelzőjű szárítás esetén is a négy főbb szakasz jellemzi a szárítási folyamatot.

Száradó anyagok geometriai vagy párolgó felületének meghatározása sok esetben csak nehezesen és pontatlanul lehetséges. Legtöbbször az érintkező felület helyett a szárító berendezés jellemző méretének pl. hosszának vagy magasságának ismerete szükséges. A száradó anyag felületének jellemzésére olyan mérőszám adható meg, amely a szárító geometriájától és az érintkeztetés, anyagmozgatás módjától is függ. Ez a halmazok jellemzésénél is alkalmazott ún. gáz-anyag közötti fajlagos érintkezési felület:

$$\alpha_{G-P} = \frac{dA_{G-P}}{dV_D} = \frac{dA_{G-P}}{A_D dz}. \quad (1)$$

ahol:

- $\alpha_{G-P}$  – a szárítógáz és a száradó anyag közötti fajlagos érintkezési felület [ $m^2/m^3$ ];
- $A_{G-P}$  – a szárítógáz és a száradó anyag közötti érintkezési felület [ $m^2$ ];
- $V_D$  – a dobszárító szárítótérének térfogata [ $m^3$ ];
- $A_D$  – a dobszárító szárítótérének keresztmetszet-felülete [ $m^2$ ];
- $dz$  – a dobszárító szárítótér hosszának differenciálja [ $m$ ];

Konvekciós hőátadás esetén a levezetés részletes ismertetése nélkül meghatározható a szárító hossza [1]:

$$Z = \int_{z=0}^{z=Z} dz = \frac{-\dot{m}_G c_G}{\alpha_{G-P} a_{G-P} A_D} \int_{T_G=T_{G,in}}^{T_G=T_{G,out}} \frac{dT_G}{(T_G - T_F)}. \quad (2)$$

ahol:

- $\alpha_{G-P}$  – a szárítógáz és a száradó anyag közötti hőátadási tényező [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ];
- $c_G$  – a szárítógáz állandó nyomáson vett fajhője [ $J/kg \cdot ^\circ C$ ];
- $T_F$  – a száradó anyag felületi hőmérséklete [ $^\circ C$ ];
- $T_G$  – a szárítógáz hőmérséklete [ $^\circ C$ ];
- $Z$  – a dobszárító szárítótérének tényleges hossza [ $m$ ];
- $\dot{m}_G$  – a szárítógáz tömegárama a dobszárítóban [ $kg/s$ ];

Az átviteli egységek módszere széles körben alkalmazható olyan esetekben, amikor a hőátadás és/vagy anyagátadás érintkező felülete nem, vagy csak nehezen jellemezhető szabályos geometriai felülettel. A (2) egyenletben az  $\alpha_{G-P} a_{G-P}$  szorzat a térfogati hőátadási tényező. Ez adott szárító típusnál a szárítógáz-száradó anyag érintkeztetési formától függő, általában kísérletileg meghatározható érték. A térfogati hőátadási tényező alatt azt a hőáramot értjük, amely egységnyi dobtérfogaton adódik át, egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására.

A modellek alkalmazásával lehetőség van egy adott folyamat leírására. A matematikai modell a kvantitatív modellek egyik fajtája, mely algebrai, differenciál vagy integrál egyenletekből állhat. A matematikai modellek fő előnye, hogy alkalmazásukkal kísérletek nélkül lehet leírni az adott művelet folyamatának lépéseit. A vegyipari folyamatok – többek között a szárítás - matematikai modelljei fizikai és kémiai alaptörvényeken alapszanak, úgy, mint a kontinuitás egyenlete, tömeg, energia és lendület megmaradás, átadási folyamatok, tömeg, energia és lendület transzport, egyensúlyi egyenletek, fázis és kémiai egyensúly, kinetikai és statikai egyenletek. Az egyes egyenletek külön-külön vagy rendszerben történő megoldásának bonyolultsága miatt, a modell vagy az egész folyamatnak egy durva leképezése, vagy a folyamat egy elemének a részletes leírása. A modell fejlesztésénél feltételezésekkel élünk, mely meghatározza a modell alkalmazásának pontosságát, érvényességét és komplexitását.

## 2. MATEMATIKAI MODELLEK DOBSZÁRÍTÓRA

A dobszárítókat jellemző modellek hő- és anyagátadást leíró differenciálegyenletei lineáris differenciálegyenletekből alkotott rendszerből állnak. Az így kapott modellek alkalmasak a száradó anyag és a szárítógáz nedvességtartalmának és hőmérsékletének axiális irányú változásának a leírására. A szárítási görbék megbízhatóságát azonban nehéz bizonyítani, mivel a



dobon belüli mintavételezés és mérés nehezen megoldható.

A dobszárítóban lezajló szárítási jelenség vizsgálatához olyan matematikai egyenletrendszerre van szükség, mely megfelelő pontossággal írja le a folyamatot.

Myklestad [2] az első kutatók között volt, aki a forgó szárítókra vonatkozó modellt alkotott az 1960-as évek elején. Kifejlesztette az ellenáramú, konvekciós forgó dobszárítókra vonatkozó egyenletrendszert, melynél a következő feltételezésekkel élt:

- gáz-anyag közötti térfogati hőátadási tényezőket használt fel;
- az állandó száradási sebességű szakaszon az anyag hőmérséklete állandó a szárító hossza mentén, míg a csökkenő száradási sebességű szakaszon lineáris kapcsolatban áll az anyag nedvességtartalmával;
- a szárítógáz hőmérséklete és az anyag nedvességtartalma között lineáris a kapcsolat.

Az általa alkalmazott modell alkalmas az anyag nedvességtartalmának meghatározására a szárító hossza mentén, az állandó és a csökkenő száradási sebességű szakaszon:

$$X = X_{in} e^{\left( \frac{-k_1 \alpha a_{G-P} A_D}{r_F \dot{m}_P} z \right)} + \frac{b - T_P}{k_1} \left[ e^{\left( \frac{-k_1 \alpha a_{G-P} A_D}{r_F \dot{m}_P} z \right)} - 1 \right], \quad (3)$$

ahol:

- $X$  – a száradó anyag nedvességtartalma [ $kg_{H_2O}/kg_{száranyag}$ ];
- $k_1, b$  – a szárítógáz hőmérsékletéből meghatározható konstansok [ $^{\circ}C$ ];
- $\dot{m}_P$  – a száradó anyag tömegárama a dobszárítóban [ $kg/s$ ];
- $r_F$  – víz-vízgőz fázisváltási hője [ $J/kg$ ];
- $T_P$  – a száradó anyag hőmérséklete [ $^{\circ}C$ ];

A továbbiakban összefoglalásra kerülnek azoknak a szerzőknek a munkái, akik matematikaik hozták létre forgó dobszárítókat.

Sharples *et al.* az egyenáramú, konvekciós, forgó dobszárítókra vonatkozó hő- és anyagátadási folyamat modellezésére differenciálegyenletet írtak fel [3]. A száradási sebességre empirikus összefüggést állapítottak meg, mely az anyag hőmérsékletétől, nedvességtartalmától és a szárítógáz sebességétől függ.

Douglas *et al.* koncentrált paraméterű modellt fejlesztettek ki [4], melyben az ellenáramú, konvekciós, forgó dobszárítót több részre osztották fel, feltételezve az egyensúlyi működési feltételeket, tökéletes keveredést és az egyenletes száradási sebességet a hővesztesség figyelembe vétele mellett.

Shene *et al.* [5] a modellt konvektív, egyenáramú, forgó dobszárítóhoz hozták létre.

Rastikian és munkatársai olyan matematikai modellt hoztak létre ellenáramú, konvekciós, forgó dobszárítóhoz, ami figyelembe veszi a szemcse belső hővezetési ellenállását [6].

Iguaz *et al.* munkájuk [7] során egyenáramú, konvektív, forgó dobszárítóhoz hoztak létre differenciálegyenlet-rendszert.

Arruda *et al.* [8] modellt hoztak létre ellenáramú, konvektív, forgó dobszárítóhoz.

### 3. TÉRFOGATI HŐÁTADÁSI TÉNYEZŐK

A dobszárítók szimulációs programokkal történő vizsgálatához, műveleti és konstrukciós tervezéséhez ismerni kell a térfogati hőátadási tényezőket. A dobszárítóban a hőátadás a gáz-anyag, a fal-anyag, és a gáz-fal között játszódik le. Irodalmak alapján [9-12] a szárítást döntően meghatározó hőátadás a gáz-anyag között valósul meg, ezért vizsgálataimat is ez irányba végeztem. A térfogati hőátadási tényező értékét többnyire empirikus úton lehet meghatározni,

mely összefüggés különböző feltételek mellett alkalmazható.

*Miller et al.* az elsők között publikáltak összefüggést a forgó dobszáritókra vonatkozó térfogati hőátadási tényező meghatározására. Konvekciós szárítással a következő változók hatását vizsgálták a térfogati hőátadási tényezőre [13]:

- a keverőelemek száma;
- a logaritmus közepes hőmérséklet különbség;
- a szárítólevegő tömegárama;
- a keverő mérete;
- a tartózkodási idő.

A kísérleteket ellenáramú 0,2 m átmérőjű és 1,22 m hosszú forgó szárítóban végezték, ami 6 vagy 12 darab keverőelemmel volt felszerelve. Mindegyik mérés állandó 4,3 l/min fordulatszámra történt, de a dob lejtését változtatták 30 mm/m és 60 mm/m között.

Megállapították, hogy a tartózkodási időt befolyásoló lejtésszög és fordulatszám nincs hatással a hőátadásra.

*Miller et al.* a térfogati hőátadási tényezők számítására a következő összefüggéseket állapították meg:

$$\alpha\alpha_{G-P} = 19,4(N_f - 1) \frac{\dot{m}_G^{0,46}}{d_D^{1,92}} \quad (4)$$

6 keverőelem esetén, és

$$\alpha\alpha_{G-P} = 14,1(N_f - 1) \frac{\dot{m}_G^{0,46}}{d_D^{2,2}} \quad (5)$$

12 keverőelem esetén.

ahol:

$N_f$  – a dobban található keverőelemek száma [db];

$d_D$  – a dobszáritó belső átmérője [m];

*Friedman és Marshall* összesen 134 egyen- és ellenáramú mérést végzett dobszáritóban négy különböző homoktípuson [14]. Az anyag átlagos szemcsemérete 150-2300  $\mu\text{m}$ , a dob fordulata 3,35-18,5 l/min, lejtése 0-46 mm/m, keverőelemek száma 0-8, levegő térfogatárama 195-7320  $\text{kg/m}^2\text{h}$ , betáplálás 35-304  $\text{kg/h}$ , töltési fok 0,8-12,4% között változott. Mérések során vizsgálták a gáz tömegáramának, a töltési foknak, a fordulatszámnak és a keverőelem számának a térfogati hőátadási tényezőre gyakorolt hatását. Négy különböző szárítógáz térfogatáram mellett, két homoktípuson vizsgálták az anyag tömegáramának hatását a térfogati hőátadási tényezőre ellenáramú, 8 keverőelemes dobszáritóban.

A szerzők vizsgálták a töltési fok hatását állandó lejtésszög és fordulatszám mellett. Különböző gáz térfogatáramokon vizsgálva, megállapították, hogy a töltési fok is hatást gyakorol a térfogati hőátadási tényezőre.

*Friedman és Marshall* további méréseket végeztek, hogy megvizsgálják a fordulatszám hatását a térfogati hőátadási tényezőre, mely alapján megállapították, hogy a fordulatszám hatása jelentéktelen. A keverőelemek darabszámának térfogati hőátadási tényezőre gyakorolt hatását vizsgálva megállapították, hogy keverő nélkül az anyag az ágy felületén konvekciós úton, míg a dob alján kondukciónal kap hőt a dob falától. Két keverőelem esetén jelentős növekedés látható a gáz-anyag közötti térfogati hőátadási tényezőben, mert a keveredő anyag jelentősen megnöveli az érintkezési felületet. A keverők számának 4-ről 8-ra történő emelésével megállapították, hogy ezáltal kevésbé növekszik az érintkező felület, következésképpen a

térfogati hőátadási tényező növekedése sem jelentős

*Friedman és Marshall* arra a megállapításra jutottak, hogy a térfogati hőátadási tényező függ a szárítógáz sebességétől, az anyag sebességétől és annak tartózkodási idejétől. A munkájuk során a következő kifejezést publikálták a térfogati hőátadási tényező meghatározására, mely egyenletet *Alvarez és Shene* egy későbbi munkájában is [15] alkalmazzák:

$$\alpha a_{G-P} = 31,5(N_f - 1) \frac{\dot{m}_G^{0,46}}{d_D^{1,92}} \quad (6)$$

*McCormick* [16] a *Miller et. al* [13], a *Friedman és Marshall* [14] valamint a *Saeman és Mitchell* [17] által kapott mérési adatokat használta fel és fejlesztette tovább:

$$\alpha a_{G-P} = 278 \frac{\dot{m}_G^{0,67}}{d_D^{2,34}} . \quad (7)$$

*Myklestad* 2,5 mm átmérőjű szemcsés habkővet szárított ellenáramú, forgó dobszárítóban [2]. A habkő kiindulási nedvességtartalma  $X_{in}=0,3\div0,36$ , valamint tömegárama  $\dot{m}_{dP} = 6\div10$  kg/h volt. A levegő tömegárama 119÷192 kg/h közötti, belépési hőmérséklete 30, 40 és 50 °C. A mérések alapján a térfogati hőátadási tényezőre felírt összefüggés:

$$\alpha a_{G-P} = 513,5 \frac{\dot{m}_G^{0,8}}{d_D^{1,6}} . \quad (8)$$

*Douglas, Kwade, Lee, Mallick és Whaley* különböző hő- és anyagmérlegen alapuló matematikai modellt alkalmazott aprított cukorhoz felhasznált forgó dobszárító dinamikus szabályozásához [4]. A modelljükben alkalmazott térfogati hőátadási tényező függvénykapcsolat az anyag dobra vonatkozó töltési fokát is figyelembe vette:

$$\alpha a_{G-P} = 221,5l^{0,5} \frac{\dot{m}_G^{0,6}}{d_D^{0,32}} . \quad (9)$$

ahol:

$l$  – a dob töltési foka [ $m_p^3/m_D^3$ ];

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A témával foglalkozó szakirodalmak áttekintése alapján megállapítható, hogy a szárítás során a hőátadási tényezők csak számos feltétel teljesülése esetén alkalmazhatóak, ezért az ún. térfogati hőátadási tényezőket célszerű használni. A dobszárítók szimulációs programokkal történő vizsgálatához, valamint műveleti és konstrukciós tervezéséhez a térfogati hőátadási tényezők ismerete szükséges. A forgó dobszárítóknál az irodalomban található térfogati hőátadási tényezők csak szűk tartományban alkalmasak a szárítók méretezésére. A matematikai modellek fő előnye, hogy alkalmazásukkal kísérletek nélkül lehet leírni az adott művelet folyamatának lépéseit, és vizsgálni az egyes műveleti és készülék paraméterek hatását a szárítás folyamatára. A matematikai modellel leírhatók a szárítási jellemzők úgy mint az anyag nedvességtartalmának, hőmérsékletének, a szárítógáz hőmérsékletének, és nedvességtartalmának változása a dob hossza mentén.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ÖRVÖS, M.:** *Diffúziós eljárások és berendezések. 1. rész (szárítás).* Oktatási segédlet, Budapest, 2006.
- [2] **MYKLESTAD, O.:** *Heat and mass transfer in rotary dryers.* Chemical Engineering Progress Symposium Series 41 (59), 1963, p. 129-137.
- [3] **SHARPLES, K., GLIKIN, P. G., WARNE, R.:** *Computer simulation of rotary driers.* Trans. Instn Chem. Engrs. 42, 1964, p. 275-284.
- [4] **DOUGLAS, P. L., KWADE, A., LEE, P. L., MALLICK, S. K., WHALEY, M. G.:** *Modelling, simulation & control of rotary sugar dryers.* Drying '92, 1992, p. 1928-1939.
- [5] **SHENE, C., CUBILLOS, F., PÉREZ, R., ALVAREZ, P. I.:** *Modelling and simulation of a direct contact rotary dryer.* Drying Technology 14 (10), 1996, p. 2419-2433.
- [6] **RASTIKIAN, K., CAPART, R., BENCHIMOL, J.:** *Modelling of sugar drying in a countercurrent cascading rotary dryer from stationary profiles of temperature and moisture.* Journal of Food Engineering 41, 1999, p. 193-201.
- [7] **IGUAZ, A., ESNOZ, A., MARTÍNEZ, G., LÓPEZ, A., VÍRSEDA, P.:** *Mathematical modelling and simulation for the drying process of vegetable wholesale by-products in a rotary dryer.* Journal of Food Engineering 59, 2003, p. 151-160.
- [8] **ARRUDA, E. B., LOBATO, F. S., ASSIS, A. J., BARROZO, M. A. S.:** *Modeling of fertilizer drying in roto-aerated and conventional rotary dryers.* Drying Technology 27, 2009, p. 1192-1198.
- [9] **NASTAJ, J. F.:** *Numerical model of vacuum drying of suspensions on continuous drum dryer at two-region conductive-convective heating.* Int. Comm. Heat Mass Transfer 27 (7), 2000, p. 925-936.
- [10] **SHENE, C., BRAVO, S.:** *Mathematical modelling of indirect contact rotary dryers.* Drying Technology 16 (8), 1998, p. 1567-1583.
- [11] **DENG, W-Y., YAN, J-H., LI X-D., WANG, F., LU, S-Y., CHI, Y., CEN, K-F.:** *Measurement and simulation of the contact drying of sewage sludge in a Nara-type paddle dryer.* Chemical Engineering Science 64, 2009, p. 5117-5124.
- [12] **KASSAI, M., GAOMING, G., SIMONSON C., J.:** *Dehumidification performance investigation of liquid-to-air membrane energy exchanger system.* Thermal Science, 2014, p. 129-143.
- [13] **MILLER, C. O., SMITH, B. A., SCHUETTE, W. H.:** *Factors influencing the operation of rotary dryers.* American Institute of Chemical Engineers 38, 1942, p. 841-864.
- [14] **FRIEDMAN, S. J., MARSHALL, W. R.:** *Studies in rotary drying, Part II – Heat and Mass transfer.* Chemical Engineering Progress 45 (9), 1949, p. 573-588.
- [15] **ALVAREZ, P. I.; SHENE, C.:** *Experimental determination of volumetric heat transfer coefficient in a rotary dryer.* Drying Technology 12 (7), 1994, p. 1605-1627.
- [16] **MCCORMICK, P. Y.:** *Gas velocity effects on heat transfer in direct heat rotary dryers.* Chemical Engineering Progress 58 (6), 1962, p. 57-61.
- [17] **SAEMAN, W. C., MITCHELL, T. R.:** *Analysis of rotary dryer and cooler performance.* Chemical Engineering Progress 50 (9), 1954, p. 467-475.

## FÉM HABOK MODELLEZÉSI KÉRDÉSEI

### MODELLING QUESTIONS OF METAL FOAMS

**Mankovits Tamás<sup>1</sup>, Varga Tamás Antal<sup>2</sup>, Manó Sándor<sup>3</sup>  
Balogh Gábor<sup>4</sup>, Kocsis Imre<sup>5</sup>, Budai István<sup>6</sup>  
Gábora András<sup>7</sup>, Tóth László<sup>8</sup>**

<sup>1</sup>egyetemi docens, tanszékvezető helyettes, <sup>2</sup>III. éves gépészmérnök hallgató  
<sup>3</sup>tudományos segédmunkatárs, gépészmérnök, <sup>4</sup>tanársegéd  
<sup>5</sup>főiskolai tanár, tanszékvezető, <sup>6</sup>egyetemi docens  
<sup>7</sup>tanszéki mérnök, <sup>8</sup>egyetemi tanár

<sup>1,4,7,8</sup>Debreceni Egyetem Műszak Kar Gépészmérnöki Tanszék,  
4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

<sup>3</sup>Debreceni Egyetem Ortopédiai Klinika,  
4028 Debrecen, Nagyerdei körút 98

<sup>6</sup>Debreceni Egyetem Műszak Kar Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék,  
4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

<sup>5</sup>Debreceni Egyetem Műszak Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék,  
4028 Debrecen, Ótemető utca 2-4

<sup>1</sup>[tamas.mankovits@eng.unideb.hu](mailto:tamas.mankovits@eng.unideb.hu); <sup>2</sup>[tomivarga27@gmail.com](mailto:tomivarga27@gmail.com); <sup>3</sup>[manos@med.unideb.hu](mailto:manos@med.unideb.hu)  
<sup>4</sup>[balogh.gabor@eng.unideb.hu](mailto:balogh.gabor@eng.unideb.hu); <sup>5</sup>[kocsisi@eng.unideb.hu](mailto:kocsisi@eng.unideb.hu); <sup>6</sup>[budai.istvan@eng.unideb.hu](mailto:budai.istvan@eng.unideb.hu)  
<sup>7</sup>[andrasgabora@eng.unideb.hu](mailto:andrasgabora@eng.unideb.hu); <sup>8</sup>[laszlo.toth@bayzoltan.hu](mailto:laszlo.toth@bayzoltan.hu)

**Kivonat:** A mérnöki kutatások egyik nagy kihívása a mára már széles körben alkalmazott fémhabok geometriai modellezése, valamint a megalkotott 3D-s modell numerikus szilárdságtani vizsgálata. A fémhab struktúrája meglehetősen bonyolult, így a valóságot jól megközelítő CAD modell előállításában is komoly mérnöki feladat, annak adott terhelésre történő végelelemes szimulációja pedig a kutatások középpontjában áll. A projekt ezen részének célja az előzőekben tárgyalt témakörökre vonatkozó nemzetközi szakirodalom kritikai elemzése és az eredmények adaptálási lehetőségei.

**Kulcsszavak:** fémhab, modellezés, 3D rekonstrukció, végelelem-módszer

**Abstract:** The development of an efficient procedure for 3D modelling and finite element simulation of metal foams is one of the greatest challenges to engineer researchers nowadays. Creating 3D CAD model is alone a demanding engineering task due to its extremely complex geometry, and the proper finite element analysis process is still in the center of the research. The aim of this project is to analyze the related literature and to adapt the results may be considered.

**Keywords:** metal foam, modelling, 3D reconstruction, finite element method

## 1. BEVEZETÉS

A fémhabok viszonylag új és korszerű anyagok, melyeknek magas a tömegükhöz viszonyított térfogata, jó hő- és hangszigetelő, valamint kitűnő energiaelnyelő képességgel rendelkeznek, melynek révén számos felhasználási területen jól alkalmazhatóak. Ennek következtében egyre szélesebb területen alkalmazzák őket szerkezeti elemként, autóalkatrészként, hang- és rezgés elnyelő alkatrészként, vagy akár orvosi implantátumként. A fémhabok mechanikai tulajdonságait alapvetően három fő tényező befolyásolja, nevezetesen az alapanyag jellemzői, a szilárd fázis relatív sűrűsége és a térbeli eloszlása, azaz a fémhab struktúrája (cella eloszlás, a cellák alakja). A fémhabok nagyon népszerűek, de ezek tulajdonságai még mindig nem kellőképpen ismertek. Ez főleg a szerkezetük sztochasztikus

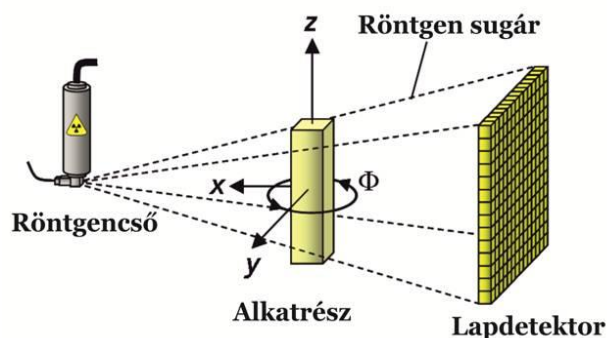
természete miatt van. A belső szerkezet vizsgálatára a komputertomográf egy megfelelő eszköz. A belső szerkezet vizsgálata elengedhetetlen ahhoz, hogy numerikusan tudjuk modellezni a fémhab szerkezetet. A fémhabok geometriai modellezése és azok végelemes analízise komoly mérnöki feladat, amelynek eredményeképpen a legyártásra kerülő fémhab alkatrész tervezhető és optimalizálható lesz. Az utóbbi években számos kutató foglalkozott a fémhabok modellezésével és végelem szimulációjával, több-kevesebb sikerrel. Jelen cikk főleg a nemzetközi szakirodalomban fellelhető fémhab modellezési lehetőségekről kíván számot adni.

## 2. FÉM HABOK MODELLEZÉSI LEHETŐSÉGEI

A fémhab geometriai modellezését alapvetően kétféle stratégiával lehet megvalósítani. Az egyik az, amikor a komputertomográf felvételekből generált statisztikai adatokból felépítünk egy olyan idealizált modellt, amely hasonlóan viselkedik terhelés hatására, mint az eredeti. A másik lehetőség az, hogy a legyártott fémhabról készült CT felvételek segítségével építjük fel a valós geometriai modellt. Mindkét eljárásnak van előnye és hátránya is. Az idealizált modell előnye, hogy néhány előre meghatározott adatból képesek vagyunk felépíteni egy modellt, de a nagy hátránya az, hogy csak megközelítőleg tudjuk szimulálni a fémhab reakcióját, hiszen ez a 3D-s modell nem teljesen egyezik meg a legyártott próbatesttel. A CT felvételnek nagy előnye, hogy ugyanazt a 3D-s geometriát tudjuk vizsgálni, mint a vizsgált fémhab. Hátránya, hogy a gyártástechnológiából fakadó nehéz reprodukálhatóság miatt csak a konkrét fémhab szerkezetre tudunk információt szolgáltatni. Mindkét eljáráshoz szükséges tehát egy olyan drága berendezés, amely nem mindenhol érhető el.

## 3. A CT VIZSGÁLAT EREDMÉNYEINEK FELDOLGOZÁSA

A CT berendezés az egyedüli mérés technikai eszköz, amellyel olyan térfogat-információ szerezhető a vizsgált alkatrésztől, ami nemcsak a külső burkolófelület topológiáját határozza meg nagy pontossággal, hanem adatot szolgáltat a belső struktúráról, inhomogenitásról is [1]. Napjainkban a CT berendezéseket számos vizsgálathoz alkalmazzák. Az egyik legismertebb alkalmazási terület az orvostudomány, de számos műszaki alkalmazási területe van. A CT berendezés 2D-s felvételt készít az adott munkadarabról, majd a munkadarabot az asztallal együtt egy bizonyos szögben elfordítja, és újabb felvételt készít róla (1. ábra). Ez addig folytatódik, amíg az adott munkadarab teljesen körbe nem fordul. Az alkatrész ellentétes oldalán elhelyezett detektor érzékeli a különböző röntgen intenzitást. A vizsgálat elvégzése után rendelkezésünkre áll minden egyes egységnyi szögelfordulás után egy 2D-s kép.



1. ábra CT működési elve [1]

A CT vizsgálat után rendelkezésre áll számos 2D-s felvétel, amelyeket általában a CT berendezéshez kapott szoftverrel lehet összeállítani, hogy egy 3D-s modellt kapjunk. Ezek a 3D-s modellek .stl kiterjesztésűek, amelyek voxel elemekből állnak és ez csak vizuális megjelenítésre alkalmasak. A voxel háromdimenziós képi elem, mind a három tengely mentén kiterjedéssel bíró pontegység, mint térfogat-képpalkotási eszköz, standard az orvosi diagnosztikában. Ezzel ellentétben, a műszaki gyakorlatban a burkolófelületet leíró hálót (.dxf), vagy térfogati elemet alkalmaznak (.iges), tehát az eredeti voxel modellt át kell alakítani. Azonban ezeken a modelleken, CT felvételeken keletkeznek hibák, zajok, amelyeket el kell tüntetni a felvételekről, továbbá a létrehozott modell sem egységes, ezért rekonstruálni kell azokat. Ezeket az eljárásokat számos szoftverrel el lehet végezni.

Nyílt cellás alumíniumhabot, illetve nikkelhabot vizsgál Michailidis és szerzőtársai [2]-ben. A rekonstrukció első lépéseként a CT felvételeket módosítják, amelyen eltávolítják a 70 $\mu$ m-től kisebb méretű pontokat. Ezt követően létrehoznak egy 3D-s térfogat modellt (.iges kiterjesztés) amely térfogatelemekből áll. Sajnos a cikkben nem említik a rekonstrukcióhoz használt szoftvert. A 3D-s modellnek a mérete 7.3x6.1x1.4 mm, amelyet a nagy alakváltozás miatt az Ansys végeelem szoftver NLGEOM funkcióját használják.

A [3]-ban a szerzők zártcellás alumíniumhabot vizsgálnak. A CT által elkészített 2D-s képeket MATLAB szoftverrel rekonstruálják. A rekonstrukció első lépéseként a CT felvételekből bináris képet készítenek, majd ezeken eltávolítják a tévesen érzékelt pontokat. Ezt követően meghatározzák a cellák határvonalait, ezáltal pontosítva a képeket. Ebben a cikkben 2D-s modellekkel dolgoznak, míg [4]-ben már egy  $\varnothing$ 14x5 mm nagyságú modellen végzik a vizsgálataikat. A végeelem vizsgálathoz az ABAQUS szoftvert használják.

Ramirez és szerzőtársai szintén nyílt cellás alumíniumhabot vizsgálnak [5]-ben. A CT felvételek rekonstrukciójához a MIMICS trial verzióját használják. Ezt követően a modellre végeelem hálót generálnak az ABAQUS szoftver segítségével, amivel el is végzik a végeelem vizsgálatot. Az általuk használt modell a próbatestből kivágott keskeny kis darabka.

A [6]-ban nyílt cellás M-Pore® és zárt cellás Alporas® alumíniumhabokat vizsgálnak. A 3D rekonstrukciót a phoenix datos|x nevezetű szoftverrel végzik el, majd ezt követően a végeelem vizsgálatot a MSC.Marc szoftverrel. Az általuk generált modellek nagysága 14x14x14 mm illetve 28x28x28 mm.

Zárt cellás ALPORAS alumíniumhabot vizsgálnak a [7]-ben. A rekonstrukcióhoz Octopus 8.1 szoftvert használnak. A végeelem vizsgálathoz 50x50x5.5 mm és 50x50x13.5 mm nagyságú modelleket használnak.

A [8]-ban zárt cellás ALPORAS alumíniumhabot vizsgálnak. Maga a CT felvételek rekonstrukciójához TRI/3D-BON of Ratoc System Engineering Co. Ltd. szoftvert használtak. Ezt követően a röntgen filmeket RapidForm of INUS szoftverrel illesztették össze, amelyből 3D-s felületi modellt alkottak. Ezután a végeelemes hálót hozták létre a PATRAN of MSC programmal. A végeelem vizsgálatot ABAQUS programmal végezték el. A végeelem vizsgálatot 5x5x5 mm-es modellen végezték el.

A fentiekből látható, hogy számos lehetőség van a fémhabok modellezésére, valamint ahhoz számos szoftvert használnak sikeresen. Észrevehető az is, hogy leginkább kis méretű modelleket használnak, mivel egy ekkora modell rekonstrukciója, illetve végeelem szimulációja is sok ideig tart.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Amint látható számos lehetősége van a fémhabok modellezésének. A modellezési stratégia kialakításánál el kell dönteni, hogy a statisztikai adatokból felépített idealizált modellt

használnuk, vagy a valós modellt próbáljuk felépíteni. A Debreceni Egyetem kutatói az utóbbi években komoly eredményeket értek el a fémhabok geometriai modellezésében és numerikus szilárdságtani vizsgálataiban.

## 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az Intelligens funkcionális anyagok: Mechanikai, termikus, elektromágneses, optikai tulajdonságaik és alkalmazásaiak TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0036 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KOZMA, I.**, *A komputertomográf ipari alkalmazásai*, "A jövő járműve járműipari innováció 2006", Győr, Hungary, Volume 5/3-4, p. 8–11.
- [2] **N. MICHAILIDIS, F. STERGIODI, H. OMAR, D. PAPADOPOULOS, D.N. TSIPAS**, *Experimental and FEM analysis of the material response of porous metals imposed to mechanical loading*, „Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects” 382 (2011) 124–131.
- [3] **X., ZHU, S. AI, D. FANG, B. LIU, X. LU**, *A novel modeling approach of aluminum foam based on MATLAB image processing*, Computational Materials Science” 82 (2014) 451–456.
- [4] **X. ZHU, S. AI, X. LU, X. LING, L. ZHU, B. LIU**, *Thermal conductivity of closed-cell aluminum foam based on the 3D geometrical reconstruction*, „International Journal of Heat and Mass Transfer” 72 (2014) 242–249.
- [5] **J.F. RAMÍREZ, M. CARDONA, J.A. VELEZ, I. MARIAKA, J.A. ISAZA, E. MENDOZA, S. BETANCOURT, P. FERNÁNDEZ-MORALES**, *Numerical modeling and simulation of uniaxial compression of aluminum foams using FEM and 3D-CT images*, „Procedia Materials Science” 4 ( 2014 ) 227 – 231.
- [6] **C. VEYHL, I.V. BELOVA, G.E. MURCH, T. FIEDLER**, *Finite element analysis of the mechanical properties of cellular aluminium based on micro-computed tomography*, „Materials Science and Engineering” A 528 (2011) 4550–4555.
- [7] **M. SAADATFAR, M. MUKHERJEE, M. MADADI, G.E. SCHRODER-TURK, F. GARCIA-MORENO, F.M. SCHALLER, S. HUTZLER, A.P. SHEPPAR, J. BANHART, U. RAMAMURTY**, *Structure and deformation correlation of closed-cell aluminium foam subject to uniaxial compression* „Acta Materialia” 60 (2012) 3604–3615.
- [8] **I. JEON, T. ASAHINA, K. KANG, S. IM, T. J. LU**, *Finite element simulation of the plastic collapse of closed-cell aluminum foams with X-ray computed tomography*, „Mechanics of Materials” 42 (2010) 227–236.



## REPEDÉSGEOMETRIA VIZSGÁLATA BETONBAN KÉPDIGITALIZÁLÁSI ELJÁRÁSSAL

### ANALYSING CRACK GEOMETRY OF CONCRETE WITH IMAGE DIGITALIZATION

Nagy Réka Anna<sup>1</sup>, Borosnyói Adorján<sup>2</sup>

<sup>1</sup>doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék  
nagy.reka@epito.bme.hu

<sup>2</sup>egyetemi docens

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék  
borosnyoi.adorjan@epito.bme.hu

**Kivonat:** A betonacél korrózió összetett folyamat, melyet számos tényező befolyásol. A környezetben található, a korróziót elősegítő anyagok koncentrációja mellett a beton áteresztőképessége bír jelentős szereppel. A repedések betonfedésen belüli geometriája kevésbé tárgyalt a szakirodalomban. Szakirodalmi megfigyelések alapján a beton külső felületén mért repedéstágasság nem elégséges paraméter a betonacél korróziós kockázatának vizsgálatához. További befolyásoló tényező a repedéstágasság betonfedésen belüli változása és a repedés tekervényessége. A repedés geometria vizsgálatához hatékony eszköz a képdigitalizálási eljárás, mely lehetővé teszi – a manuális leolvasással szemben – a geometria objektív, megismételhető vizsgálatát. Laboratóriumi kísérleteket követően a húzott vasbeton próbatestek repedéseiről felvételek készültek digitális mikroszkóppal, melyekről megfelelő feldolgozás után a repedések koordinátái pixelenként leolvashatóvá váltak és numerikus számítások alapjául szolgáltak. Jelen tanulmány ennek eredményeit mutatja be.

**Kulcsszavak:** beton, repedéstágasság, digitális képfeldolgozás, tekervényesség

**Abstract:** Reinforcement corrosion is a complex process influenced by various factors. Besides the concentration of corrosive agents the permeability of concrete plays a key role. Geometry of cracks within concrete cover is not widely discussed in the literature. Studies reveal that crack width measured at the outer surface of concrete is not a sufficient parameter to describe risk of corrosion. Further influencing factor is the crack width variation within concrete cover and the tortuosity of the crack. Image digitalization is an effective tool to analyse crack geometry and it makes possible the objective, repeatable analysis in contrast to manual readings. Laboratory tests have been performed with reinforced concrete tie members and cracks were investigated with digital microscope. The coordinates of crack pixels were obtained and subjected to numerical calculations.

**Keywords:** concrete, crack width, digital image processing, tortuosity

#### 1. BEVEZETÉS

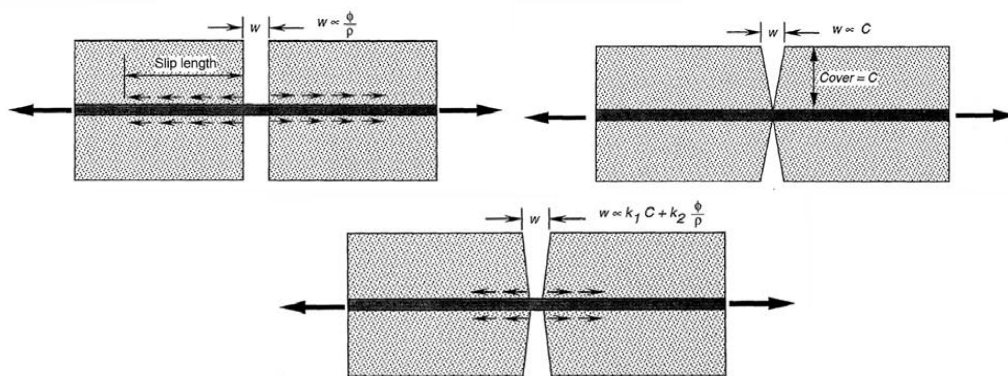
A betonacél korrózióknak két fontos tényezője van. Egyrészt a környezet, melyből a korróziót elősegítő anyagok (kloridion, szén-dioxid, oxigén és víz) a koncentráció kiegyenlítődése érdekében a beton belseje felé vándorolnak. Másrészt a beton ellenálló képessége, mely az áteresztőképességgel jellemezhető és meghatározza, hogy az adott koncentrációjú korrozív anyagok mennyi idő alatt érik el a betonacélt és indul meg a betonacél korróziója. Az áteresztőképesség függ a beton összetételétől, a tömörítéstől és utókezeléstől, valamint a repedések jelenlététől és azok jellemzőitől. A repedések geometriájával és ennek az áteresztőképességre gyakorolt hatásával korlátozott számú szakirodalom foglalkozik. [1-7]

## 2. REPEDÉS GEOMETRIA

Szakirodalomban kimutatták, hogy a beton áteresztő képessége nagyobb repedéstágasság esetén növekszik [8,9]. Nem egyértelmű azonban, hogy a repedéstágasságot hol és hogyan értelmezzük, valamint milyen egyéb tulajdonságokkal rendelkezik a repedés.

### 2.1. Repedéstágasság

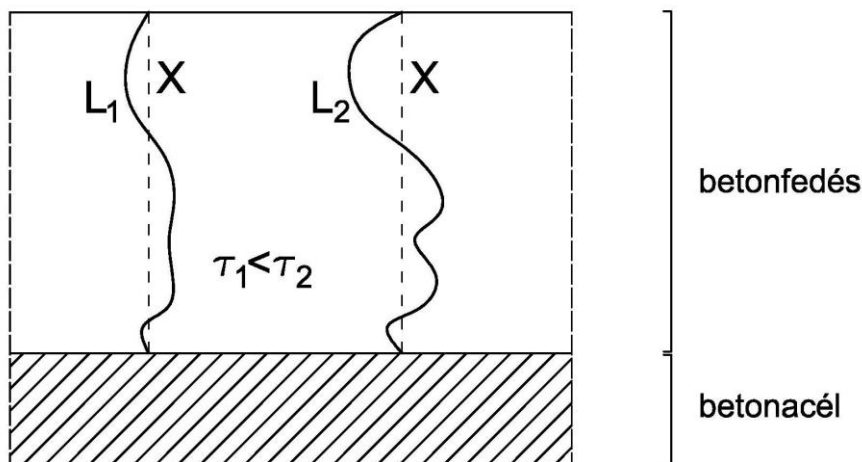
Repedéstágasság alatt többnyire a beton külső felületén mért repedéstágasságot értjük, mely könnyen észlelhető, mérhető, szabványok által rögzített módon számolható és korlátozható. A repedéstágasság azonban változik a betonfedésen belül és más értéket mutat a betonacél felületén, ahol a korrózió történik. A betonacél felületén mért repedéstágasság függ a beton és az acél közötti tapadástól, a betonacélban ébredő feszültségtől és a betonfedés mértékétől (1. ábra).



1. ábra Repedéstágasság modellezése [10]

### 2.2. Tekervényesség

A tekervényesség (tortuosity) fogalmával találkozhatunk porózus anyagoknál, amikor azt vizsgálják, hogy a kapilláris pórusok tekervényessége hogyan befolyásolja az áteresztőképességet. Ezt a fogalmat kiterjesztettük repedések vizsgálatára. A tekervényesség meghatározására nem áll rendelkezésre egy pontos számítási mód, többnyire az adott görbe egyenestől való eltérését veszik figyelembe oly módon, hogy az a vizsgált paraméterhez illeszkedjen. A tekervényesség elvi sémáját a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra Tekervényesség elvi sémája

A későbbiekben alkalmazott számítási módszer [11] alapján:

$$\tau = \left(\frac{x}{L}\right)^2, \quad (1)$$

ahol:

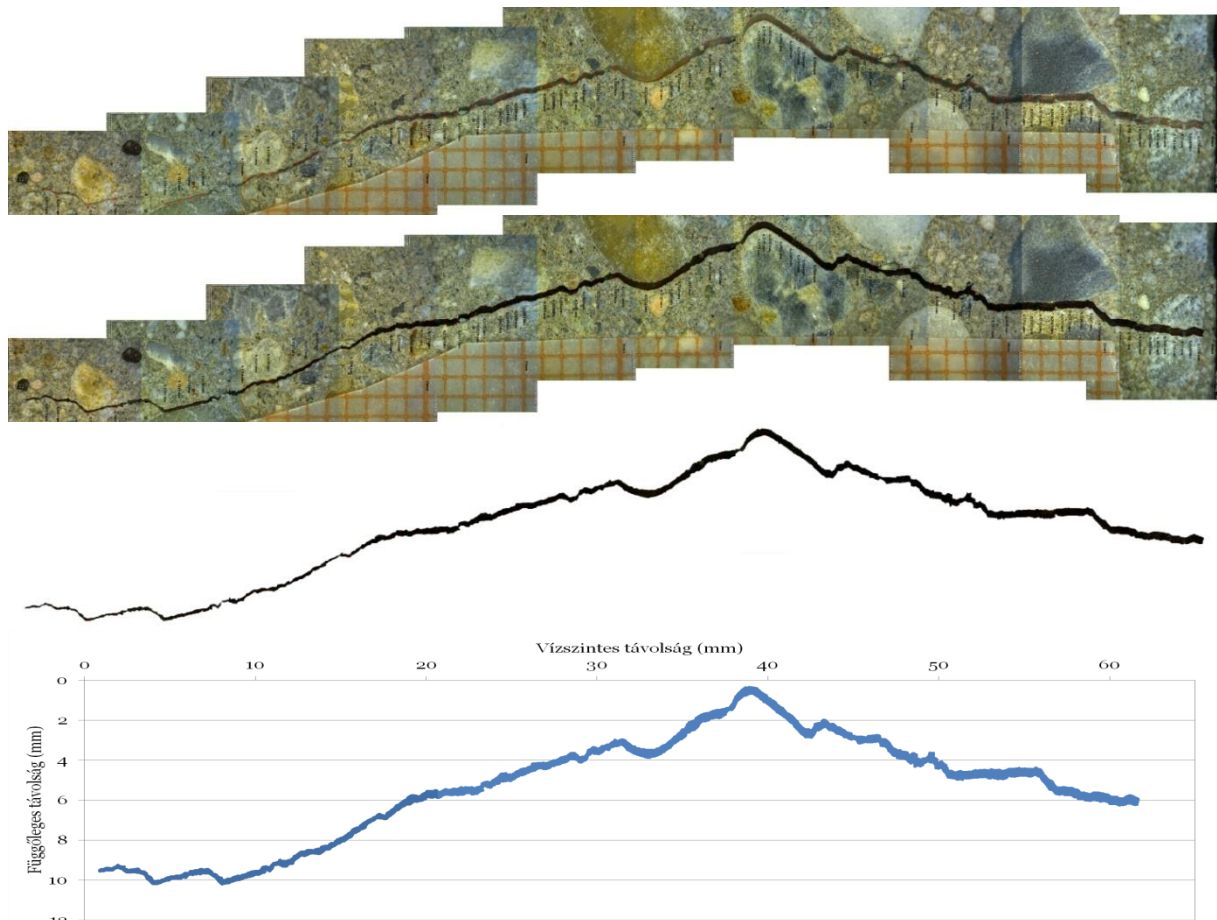
X – a repedés kezdő és végpontja közötti távolság;

L – a repedés betonfedésen belüli hossza.

### 3. LABORATÓRIUMI KÍSÉRLET

A laboratóriumi kísérletek során vasbeton rúdelemeket vizsgáltunk, melyek különböző betonfedésekkel készültek. Húzóerő hatására a próbatesteken repedések alakultak ki, amelyek epoxi gyanta injektálással lettek rögzítve. Az ezt követően feldarabolt próbatesteken megfigyelhetővé vált a repedések geometriája a betonfedésen belül.

### 4. KÉPDIGITALIZÁLÁS



3. ábra Digitalizálás lépései

A kísérleti eredmények feldolgozásakor először a repedéstágasságok leolvasása történt meg adott távolságonként kézi mikroszkóppal. Felmerült az igény azonban arra, hogy a kapott adatok mennyiségét növeljük, valamint a méréseket megismételhetővé és a leolvasó

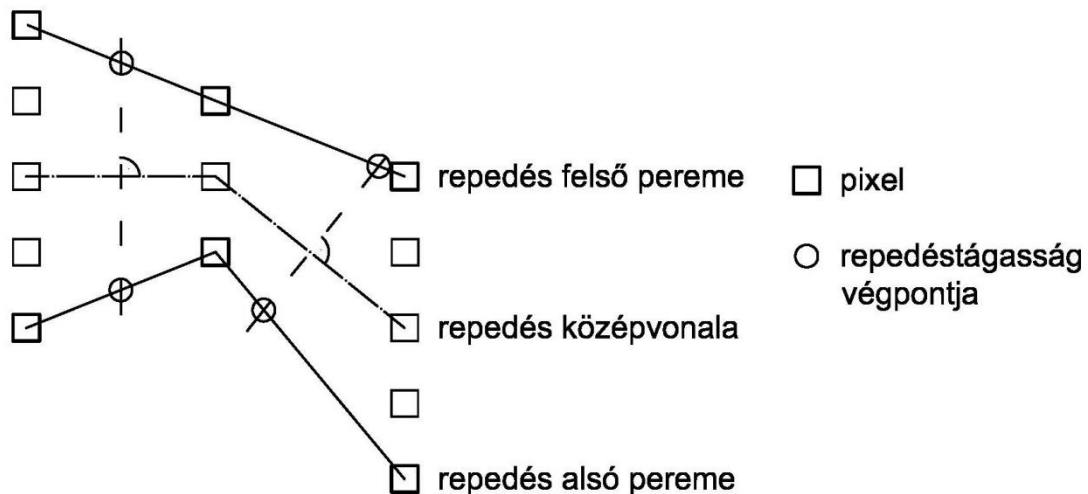
személytől függetlenné tegyük. Ennek eszköze a repedésekről digitális mikroszkóppal készült felvétel, amely a digitalizálási eljárás alapját adja.

A képdigitalizálás során első lépésként a felvételekből össze kell állítani a repedés teljes betonfedésen belüli képét. Ezt követően az eredeti képen a kontrasztokat kell állítani, hogy a repedés kiemelkedjen a környezetéből és elkülöníthető legyen. Az elkülönített kép pixelenként beolvasható és a repedés valamennyi pontjának koordinátája meghatározható. A 3. ábrán a koordinátákból rekonstruált repedés látható, mely jól visszaadja a repedés képét, tehát a módszer alkalmazható. A digitalizálás során nyert adathalmazok numerikus számítás alapját képezhetik.

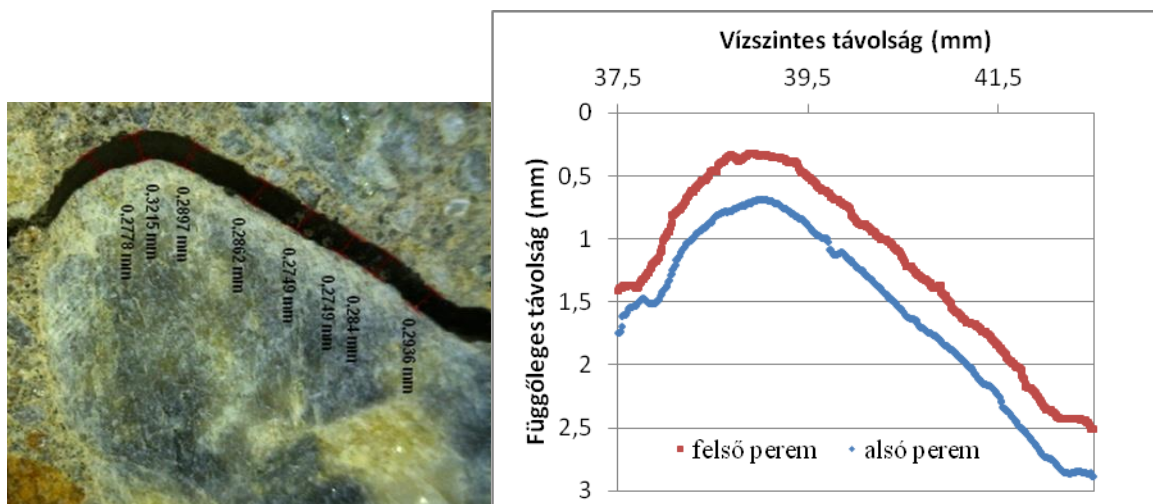
## 5. EREDMÉNYEK

### 5.1. Repedéstágasság

A repedéstágasság a repedés középvonalára állított merőlegesnek a repedés szélő peremei közé eső szakaszaként lett definiálva (4. ábra). Ehhez szükséges a repedés peremeinek koordinátáit elkülöníteni (5. ábra). A repedéstágasság így akár pixelenként vagy tetszőleges távolságoként leolvasható. A numerikusan meghatározott repedéstágassági értékek összhangban vannak a kézi leolvasás során tapasztaltakkal.



4. ábra Repedéstágasság értelmezése

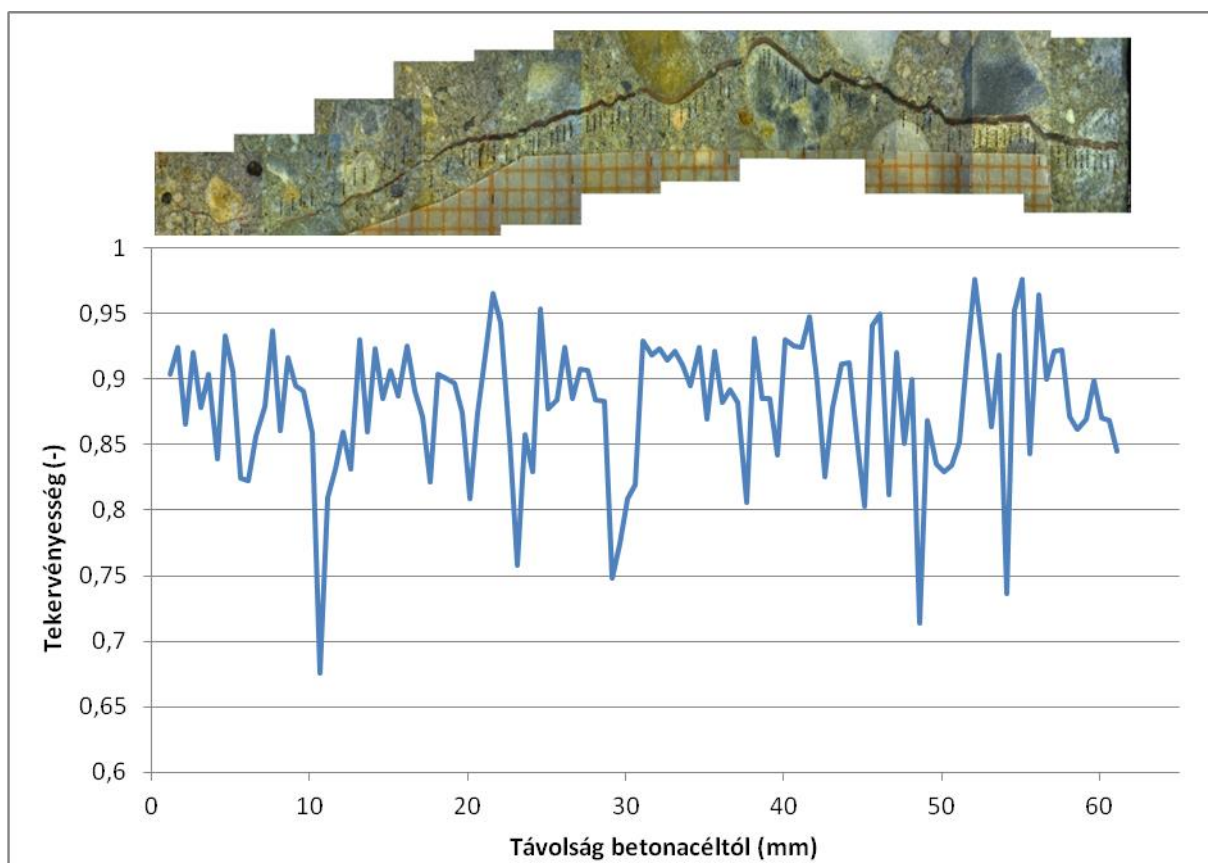


5. ábra Repedésrészlet a peremek koordinátaival

## 5.2. Tekervényesség

A tekervényesség értelmezhető globálisan és lokálisan is. Globális esetben egy repedést egy értékkel jellemzünk, mely a repedés effektív hosszának és a repedés kezdő és végpontját összekötő egyenesnek az aránya. Az effektív hossz meghatározásakor a görbét egyenes szakaszokkal helyettesítjük, a közelítő egyenes szakaszok hossza, más néven mintavételi hossz befolyásolja a kapott értéket.

Lokális esetben a görbe egy-egy szakaszán vizsgáljuk az egyenestől való eltérést. A 6. ábrán látható, hogy kiugró értékek a lokális görbületváltásoknál észlelhetők, míg a nagyobb léptékű iránybeli eltérések kevésbé befolyásolják a mérőszámot. Feltételezhető, hogy ezek a lokális iránytörések, szűkületek nagyobb hatással vannak az áteresztőképességre is.



6. ábra Tekervényesség lokális értékei

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalásként megállapítható, hogy

- a repedés geometriájának leírásához több paraméter szükséges;
- a képdigitalizálási eljárás lehetőséget nyújt a repedésgeometria numerikus vizsgálatára;
- további kutatás szükséges egy számszerűsíthető paraméter kidolgozására, melyet modellezésbe be lehet építeni.

## IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **BEEBY, A.:** *Cracking, cover and corrosion of reinforcement*, Concrete International, Vol. 5, No. 2, 1983, pp. 35–40.
- [2] **BROMS, B.:** *Crack width and crack spacing in reinforced concrete members*, ACI Journal, Vol. 62, No. 10, 1965, pp. 1237-1256.
- [3] **HUSAIN, S. I. AND FERGUSON, P. M.:** *Flexural Crack Widths at the Bars in Reinforced Concrete Beams*. Center for Highway Research, The University of Texas at Austin, Research Report No. 102,1F, 1968.
- [4] **TAMMO, K., THELANDERSSON, S.:** *Crack opening near reinforcement bars in concrete structures*. Structural Concrete, Vol.7, No. 4, 2006, pp. 137–143.
- [5] **YANNOPOULOS, P. J.:** *Variation of concrete crack widths through the concrete cover to reinforcement*. Magazine of Concrete Research, Vol. 41, No. 147, 1989, pp. 63–68.
- [6] **BOROSNYÓI A., SNÓBLI I.:** *Crack width variation within the concrete cover of reinforced concrete members*, Építőanyag-JSBCM, Vol. 62, No. 3., 2010, pp. 70-74.
- [7] **NAGY, R.:** (2013) *Structural cracking of reinforced concrete members*, Second Conference of Junior Researchers in Civil Engineering, 17-18 June 2013, Budapest, Hungary, pp. 136-141.
- [8] **JANG, S. Y., KIM, B. S., OH, B. H.:** *Effect of crack width on chloride diffusion coefficients of concrete by steady-state migration tests*, Cement and Concrete Research, 41 (2011) pp. 9-19.
- [9] **DJERBI, A., BONNET, S., KHELIDJ, A., BAROGHEL-BOUNY, B.:** *Influence of traversing crack on chloride diffusion into concrete*, Cement and Concrete Research 38 (2008) 877–883
- [10] **CARINO, N. J., CLIFTON J. R.:** *Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures*, NISTIR 5634, NIST BFRL, Gaithersburg, April 1995, 50 p.
- [11] **AKHAVAN, A., SHAFATIAN, S., RAJABIPOUR, F.:** *Quantifying the effects of crack width, tortuosity, and roughness on water permeability of cracked mortars*, Cement and Concrete Research 42 (2012) pp. 313-320.

## ÉPÍTŐANYAGOK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA DINAMIKUS HŐ- ÉS PÁRATECHNIKAI MODELLEZÉSHEZ

### LABORATORY MEASUREMENTS OF CONSTRUCTION MATERIALS FOR DYNAMIC HEAT AND MOISTURE TRANSPORT MODELLING

**Nagy Balázs**

Doktorandusz

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék  
nagy.balazs@epito.bme.hu

**Kivonat:** Az épületek vagy épületszerkezetek dinamikus hő- és nedvességtranszportjának modellezéséhez az egyes építőanyagok hő- és páratechnikai viselkedésének, anyagtulajdonságainak ismerete elengedhetetlen. Ezen paramétereket épületfizikai és anyagtani laboratóriumi mérésekkel, valamint a mért adatok ismeretében számításokkal határozhatjuk meg. Jelen cikkben e mérésekről (hővezetési tényező, páradiffúziós képesség, szorpciós és deszorpciós képesség, vízfelvétel, nedvességtranszport tényező és entalpia) és a mért eredmények feldolgozásáról lesz szó, melyek segítségével a valós állapotokat modellező dinamikus szimulációk készíthetők.

**Kulcsszavak:** Épületfizika, építőanyagok, laborvizsgálatok, hő- és páratechnika

**Abstract:** For dynamic modeling of heat and moisture transport in buildings or components, the knowledge of heat and moisture dependent behavior of construction materials are essential. These parameters of construction materials can provided by physical and laboratory measurements, or calculated from measured data. In this paper, these measurements (thermal conductivity, vapor diffusion, sorption and desorption, water absorption, moisture transport and enthalpy), and the processing of the measurement results will be discussed to help creating the actual state for dynamic simulations.

**Keywords:** Building physics, construction materials, laboratory measurements, heat and moisture transport

## 1. BEVEZETÉS

Az épületek energetikai számításakor jelenleg döntő többségében csak az épületszerkezetek hőtechnikai ellenőrzése készül el, az állagvédelmi vizsgálatokat a vonatkozó jogszabályok nem írják elő. Amennyiben páratechnikai vizsgálatokra kerülne sor, leggyakrabban csupán állandósult állapotbeli egydimenziós vizsgálatot folytatnak le a tervezők, mivel a többdimenziós illetve tranzien állapot, továbbá a kapcsolt hő- és páratechnikai modellezéséhez nem áll rendelkezésre elegendő adat sem a hazánkban előforduló építőanyagokról, sem pedig feldolgozott adatsorok az épületek környezetében található éghajlatról.

## 2. HŐ- ÉS NEDVESSÉGTRANSPORT ALAPJAI

Az épületek vagy épületszerkezetek dinamikus hő- és nedvességtranszport modellezéséhez a vizsgált tartomány hőmérséklet és nedvességeloszlásának ismeretére is szükségünk van, melyek egymástól is függenek, mivel az anyagok épületfizikai tulajdonságai többek között mind a hőmérsékletüktől, mind pedig a nedvességtartalmuktól is függnék, melyeket a szimulációk során figyelembe kell vennünk. Az egyenleteket tehát egymáshoz kapcsoltan kell megoldanunk.

A kapcsolt hő- és nedvességtranszport numerikus modellezéséhez szükséges parciális differenciálegyenleteket az alábbiakban találhatjuk, melyek közül az (1)-es a hőtranszport folyamatokat, míg a (2)-es a nedvesség és páratranszportot írja le:

$$\frac{\partial H}{\partial T} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + h_v \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right), \quad (1)$$

$$\rho_v \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \rho_v D_v \frac{\partial \psi}{\partial \varphi} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\delta}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right), \quad (2)$$

ahol:

- $H$  – nedves építőanyagok entalpiája [J/m<sup>3</sup>];
- $T$  – termodinamikai hőmérséklet [K];
- $t$  – idő [s];
- $x$  – egydimenziós tartomány [m];
- $\lambda$  – a hővezetési tényező [W/mK];
- $h_v$  – a víz párolgáshője [J/kg];
- $\delta$  – az építőanyagok páradiffúziós tényezője [kg/msPa];
- $\mu$  – az építőanyagok páradiffúziós ellenállási száma [-];
- $p$  – a parciális párányomás [Pa];
- $\rho_v$  – a víz sűrűsége [kg/m<sup>3</sup>];
- $\psi$  – a nedves anyagok víztartalma [m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>];
- $\varphi$  – relatív légnedvesség [-];
- $D_v$  – nedvességtranszport tényező [m<sup>2</sup>/s].

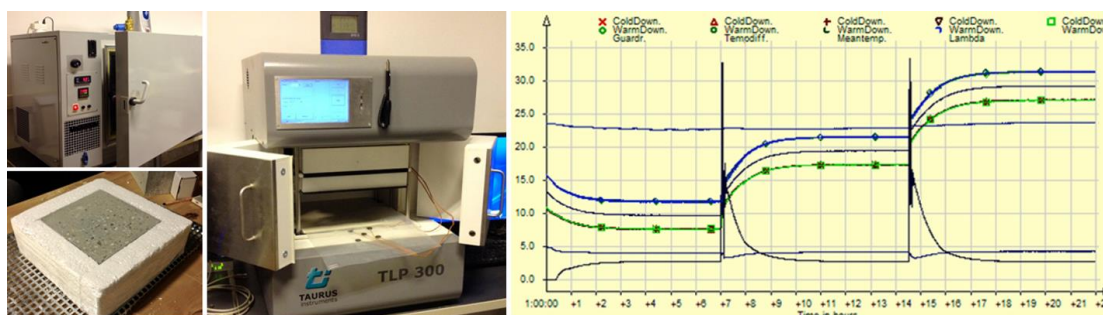
Az (1) egyenlet baloldalán a nedves építőanyagok hőtartalma található a hőmérséklet és az idő függvényében, a jobboldal pedig a hő- és nedvességfüggő hővezetést és a páraáramlás okozta hőtartalom-változást írja le, melyet látens hő effektusnak is nevezünk. A (2) egyenlettel pedig a nedvességtranszport írható fel egydimenziós tartományban, mely során a szerkezetek egyes pontjaiban történő nedvesség és páraáramlást az anyagok nedvességtartalmának a relatív légnedvességtől és az idő függvényében határozhatjuk meg, a jobboldalon szétválasztva a nedvességtranszportot és a páraáramlást.

### 3. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK

Az előbbieken bemutatott kapcsolt differenciálegyenlet rendszer numerikus megoldásához szükségünk van az egyenletekben szereplő anyagtulajdonságok laboratóriumi vizsgálatára.

#### 3.1. Hővezetési tényező mérése

A hővezetési tényező megadja, hogy egy méter anyagon egy kelvin hőmérsékletkülönbség hatására egy másodperc időtartam alatt mennyi energia tud áthaladni, mértékegysége W/mK.



1. ábra Hővezetési tényező mérése

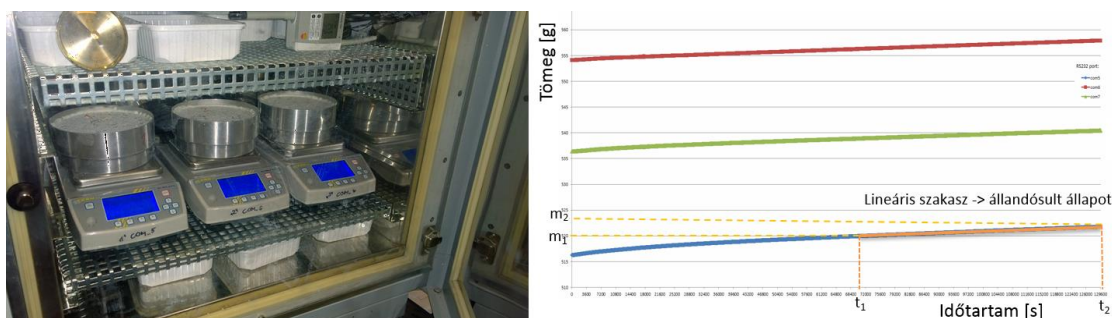


A hővezetési képesség erősen függ az anyag hőmérsékletétől és nedvességtartalmától, melyek hatásait korrekciós tényezőkkel vehetünk figyelembe az MSZ EN ISO 10456 szabvány szerint. A laboratóriumban történő mérésére számos mérési eljárást fejlesztettek ki az elmúlt 100 évben, mely módszerek pontossága és alkalmazhatósági tartománya az anyagok hőmérsékletétől és nedvességtartalmától, valamint hővezetési ellenállásuktól is függ. Hazai mérések során a hőárammérésen alapuló eljárásokat [4] valamint az 1. ábrán bemutatott peremvédett segédfűtőlapos készülékkel történő mérési eljárást részesítjük előnyben.

A készülék mérési képessége kiszélesíthető magasabb hővezetési tényezőjű vagy nedves anyagok vizsgálatára, ha azokat hő- és nedvességáramlást megakadályozó speciális kalodával látjuk el, melyet alumíniumfóliából és EPS habból készíthetünk el [6].

### 3.2. Páradiffúziós képesség vizsgálata

Az építőanyagok páradiffúziós tényezőit hőmérséklet- és páraszabályozott kamrában, speciális alumínium mérőedényekkel (melyekben a relatív légnedvességet a próbatest alsó oldalánál  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ -vel 53%-ra állítjuk be) és a kamrába helyezett különböző sóoldatokkal beállított relatív légnedvesség hatására kialakuló nyomáskülönbség segítségével vizsgálhatjuk, mely létrehozza a páradiffúziót az építőanyagon keresztül. Az alkalmazott műszereket és mérési összeállítást a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra Páradiffúziós képesség mérése

Amennyiben a próbatest két oldalán található relatív légnedvesség különbség 70%-nál nagyobb, az MSZ EN ISO 12572 szabvány értelmében wetcup vizsgálatról, míg 70%-nál kisebb esetben drycup vizsgálatról beszélhetünk. Előbbi esetben a páravándorlás a mérőedény felé, míg utóbbi esetben a kamra felé történik. A mérőedények tömegváltozását precíziós mérlegek segítségével másodpercenként rögzítjük, majd a mérési eredményeket felhasználva az alábbi összefüggéseket alkalmazhatjuk a páradiffúziós tényező meghatározásához:

$$\delta = \frac{d \cdot \left| \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \right|}{A \cdot |p_k - p_e|}, \quad (4)$$

ahol:

- $d$  – a vizsgált építőanyag vastagsága [m];
- $m_2 - m_1$  – a vizsgálat során bekövetkező tömegváltozás [kg];
- $t_2 - t_1$  – a vizsgálat időtartama [s];
- $A$  – a próbatest szabadfelülete, melyen keresztül a páravándorlás zajlik [m<sup>2</sup>];

- $p_k$  – a vizsgálókamrában található párányomás [Pa];  
 $p_e$  – a mérőedényben található párányomás [Pa].

A páradiffúziós egyenértékű szám a levegő páradiffúziós tényezőjének és a vizsgált építőanyag páradiffúziós tényezőjének hányadosaként határozható meg:

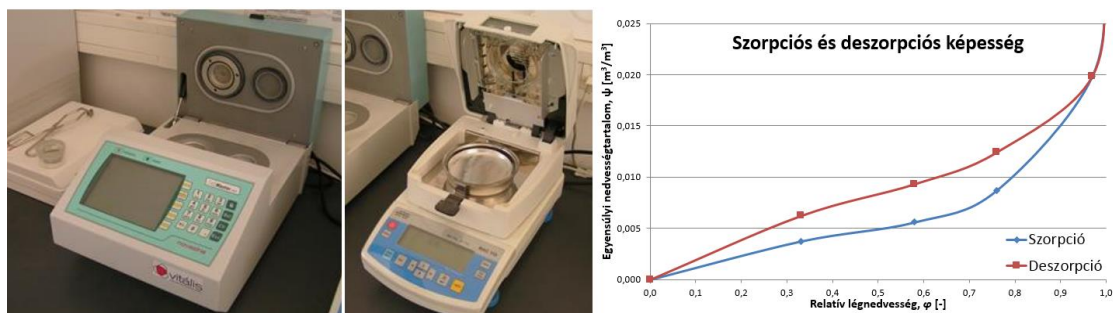
$$\mu = \frac{84,0998 \left( \frac{T}{273,15} \right)^{1,81}}{462 \cdot p_b \cdot T} \quad , \quad (5)$$

ahol:

- $p_b$  – a vizsgálókamrában található barometrikus nyomás hektopascalban [hPa].

### 3.3. Szorpciós és deszorpciós képesség meghatározása

Az építőanyagok adszorpciós és deszorpciós képességének meghatározását az MSZ EN ISO 12571 szabvány szerint sóoldatok vagy klímakamra alkalmazásával vizsgálhatjuk. Előbbi módszer speciális változata laboratóriumunkban a vízáktiváción alapuló mérés, mely során etalon sóoldatokkal kisméretű mintákon mérünk. A módszer alkalmas a természetes és mesterséges építőanyagok, hőszigetelő anyagok vizsgálatára is [2].



3. ábra Szorpciós és deszorpciós képesség meghatározása

A 3. ábrán látható vízáktivációs mérő és gyors nedvesség meghatározó precíziós mérleg alkalmazásával az egyes anyagok változó relatív légnedvesség melletti egyensúlyi nedvességtartalmát vizsgálhatjuk változó hőmérsékleti tartományokban is. Megfigyelhető, hogy míg a szorpciós izoterma csekély módon, addig a deszorpciós izoterma jelentősen függhet a vizsgálati hőmérséklettől [5].

### 3.4. Vízfelvételi együttható meghatározása részleges bemelegítéssel

A nedvességtranszport tényező közelítő képlettel történő meghatározásához szükség van a vízfelvételi tényező ismeretére. Az együttható meghatározásához építési anyagok esetén részleges bemelegítési eljárást alkalmazhatunk az MSZ EN ISO 15148 szabvány szerint (lásd például a 4. ábra), vagy hőszigetelő termékek esetén rövid ideig tartó bemelegítéshez az MSZ EN 1609 szabvány alkalmazandó [1].

A vízfelvételi tényező a körbeszigetelt próbatest bemelegített felületén keresztül, a vizsgálat első és utolsó mérési pontja között felvett nedvesség tömegének és a vizsgálat időtartamának négyzetgyökének hányadosaként határozható meg az alábbi képlet felhasználásával:

$$A_v = \frac{\Delta m'_{tf} - \Delta m'_0}{\sqrt{t_f}}, \quad (6)$$

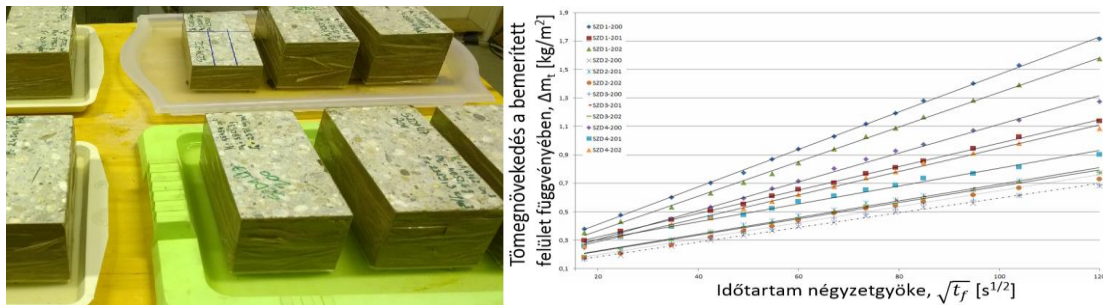
ahol:

$A_v$  – a vízfelvételi tényező [ $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$ ];

$\Delta m'_{tf}$  – a felvett nedvesség egy adott időpillanatban és a bemejtett felület hányadosa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ];

$\Delta m'_0$  – az első figyelembevett mérés kori felvett nedvesség és a bemejtett felület hányadosa [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ];

$\sqrt{t_f}$  – a vizsgálat időtartamának négyzetgyöke [ $\text{s}^{1/2}$ ];



4. ábra Vízfelvétel meghatározása mérési eredményekből

### 3.5. Nedvességtranszport tényező számítása

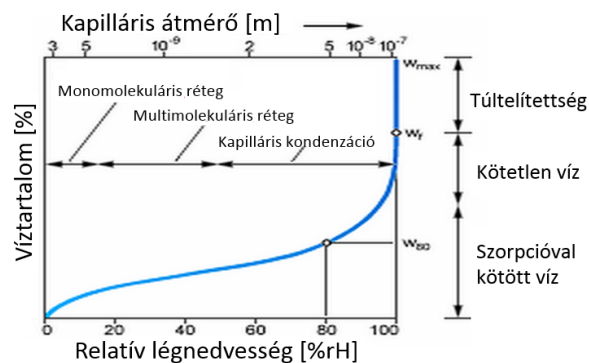
A nedvességtranszport tényező meghatározását a laborvizsgálatokkal meghatározott szorpciós és deszorpciós izoterma átlagaként értelmezett víztartalmi függvény (5. ábra) egyes pontjainak ismeretében és a vízfelvételi tényező segítségével határozhatjuk meg, mely a függvény minden pontjában eltérő lehet és az alábbi közelítő egyenlettel határozható meg:

$$D_v(w) = 3,8 \cdot \left( \frac{A_v}{w_f} \right)^2 \cdot 1000 \left( \frac{w}{w_f} - 1 \right), \quad (7)$$

ahol:

$w_f$  – az építőanyag szabadvíz tartalma [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

$w$  – az építőanyag nedvességtartalma [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ];

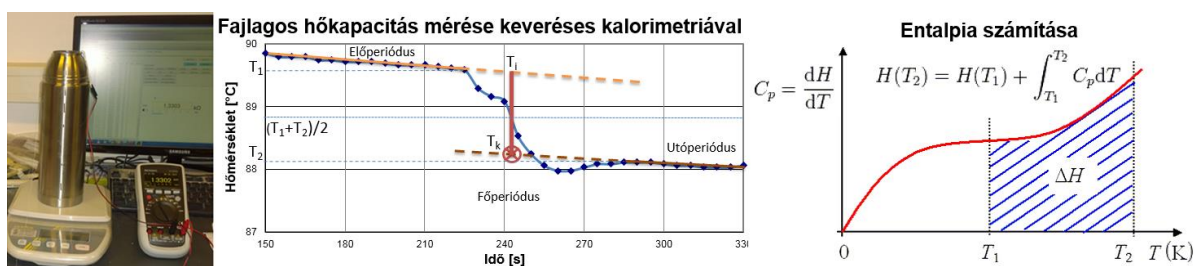


5. ábra Relatív légnedvesség, víztartalom és kapilláris átmérő összefüggése

A modellezés során megkülönböztethetünk vízfelvételekre és vízeloszlásra vonatkozó nedvességtranszport tényezőket, előbbi a vízzel közvetlenül érintkező esetben (pl. a felületet érő csapóeső esetén), utóbbi a felvett víz anyagban történő eloszlásakor értelmezhető [3].

### 3.6. Fajlagos hőkapacitás és entalpia meghatározása

Az állandó nyomáson vett fajlagos hőkapacitás (fajhő,  $c_p$ ) megadja, hogy mekkora energiát (J) kell közölni egy kg építőanyaggal, hogy hőmérsékletét 1 Kelvinnel emeljük. E tulajdonság hőmérsékletfüggő. Az épületfizikában gyakran térfogati hőkapacitással számolunk, mely a fajhő és a testsűrűség szorzata. Az anyagok fajhője az alkotóik fajhőjének ismeretében számítható. A fajhő nem egyenlő az entalpiával ( $H$ ), mely egy zárt rendszer összes hőtartalmát leíró mennyiség, azonban annak meghatározásához ismernünk kell a fajhőt is.



6. ábra Építőanyagok fajlagos hőkapacitásának meghatározása és az entalpia számítása

A fajhőt a 6. ábrán látható eljárással mérhetjük meg a legegyszerűbben, mely során kaloriméterben lévő forró vízbe helyezünk laborlevegőn kondicionált próbatestet, vagy hideg vízbe felmelegítettet. A víz hőmérsékletváltozásának ismeretében, a kezdeti és a közös hőmérséklet grafikus korrekciója után meghatározhatjuk az építőanyag fajlagos hőkapacitását:

$$c_p = \frac{c_v \cdot m_v \cdot (T_k - T_i)}{m \cdot (T - T_k)}, \quad (8)$$

ahol:

- $c_p$  – állandó nyomáson vett fajlagos hőkapacitás [J/kgK];
- $m$  – a próbatest tömege [kg].

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben az építőanyagok hő- és páratechnikai tulajdonságainak laboratóriumi vizsgálatát mutattam be, mely során a dinamikus hő- és nedvességtranszport szimulációkhoz szükséges összes anyagtulajdonságra meghatározásának módszerére és számítására kitértem.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BOZSAKY, D.**, *Természetes és mesterséges hőszigetelő anyagok összehasonlító vizsgálata és elemzése*, doktori értekezés, Széchenyi István Egyetem MTK ÉÉT, 2011., pp. 165.
- [2] **CSANAKY, J. E.**, *Természetes anyagok laboratóriumi vizsgálata és minősítése*, Magyar Építőipar LI (5), 2014., pp. 187-190.
- [3] **KRUS, M.**, *Moisture Transport and Storage Coefficients of Porous Mineral Building Materials*, doktori értekezés, Fraunhofer-Institut für Bauphysik, 1996., pp. 88.

- [4] **LAKATOS, Á., CSÁKY, I., KALMÁR, F.**, *Thermal conductivity measurements with different methods*, Materials and Structures 48, 2015., pp. 1343-1353.
- [5] **OROSZ, M.**, *Polisztirolbeton falpanel hő- és nedvességfüggő hővezetése*, Műszaki Tudomány az Észak - Kelet Magyarországi Régióban 2015 Konferencia, 2015., pp. 6.
- [6] **SZAGRI, D.**, *Szálerősített betonok hővezetési tényezőinek vizsgálata*, TDK dolgozat, BME Magasépítési Tanszék, 2014., pp. 73.

## ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK VIZSGÁLATA ULTRAHANGGAL

### APPLICATION ULTRASONIC PULSE VELOCITY ON SELF COMPACTING CONCRETE

**Abdelkader El Mir<sup>1</sup>, Nehme Salem Georges<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, abdelkader.elmir@gmail.com

<sup>2</sup>egyetemi docens, laborvezető, BME Építőanyagok és Mg. Tanszék, sgnehme@yahoo.com

**Kivonat:** Az öntömörödő beton több mint 20 éve jelent meg az építőiparban, mely fokozatosan fejlődött az építési igényektől függően. Öntömörödő betonok tulajdonságai roncsolásos módszerekkel kutattak, azonban roncsolásmentes vizsgálatokkal még kevésbé vizsgálták. Így, a kérdés felmerül: Alkalmazhatók-e a szokványos betonoknál (NC) használatos szilárdságot becslő eljárások az öntömörödő betonok (SCC) esetében? A kérdés megválaszolásához laboratóriumi kísérleteket végeztünk a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumában. Kutatás célja a szokványos és öntömörödő betonok közötti korreláció meghatározása ultrahangos mérőműszer alkalmazása esetén. A betonreceptúrához állandó és változó paramétereket határoztunk meg. A kísérlet állandó paraméterei voltak: a cement típusa CEM III A 32.5 N-MS illetve az adalékanyag szemeloszlási görbéje, míg változó paraméterek voltak: a víz-cement tényező, a cement és a mészköliszt tartalom. A kutatás célja vizsgálni a nem puccolános kiegészítőanyagok (mészköliszt) hatását az öntömörödő beton szerkezetére. Összehasonlítottuk a szokványos és öntömörödő betonok porozitási értékeit, mely alapján a tartóssági jellemzőkre is következtetéseket lehet levonni.

**Kulcsszavak:** tartósság, porozitás, szilárdság, ultrahangos vizsgálat

**Abstract:** The application of Self-compacting concrete (SCC) has been performed for more than 20 years in the construction industry. SCC is developing gradually to meet several aspect of construction demands. Therefore attention has been devoted now on the performance and durability of SCC. Research project often include data on compressive strength, tensile strength, and Young's modulus. Hence there is a lack of research on non-destructive testing of SCC. Question come to attention: Are the records on the strength of conventionally Normal concrete (NC) are extendible on SCC? Laboratory experiments were performed at the BME, Department of Construction Materials and Technologies. Aim of the research is to determine a reliable correlation using ultrasonic pulse machine of SCC with respect to NC. Constant and variable parameters were determined to the concrete mixes. Constant parameters were: Type of cement CEM III A 32.5 N-MS and grading curve of the aggregate. Variable parameters were: Water-cement ratio, content of cement, content of the limestone. The purpose of this study is to analyse the implementation of economical non pozzolanic filler additive (limestone) into the concrete matrix of SCC. Normal and self-compacting concrete mixes were prepared to reach a correlation between porosity indicators.

**Keywords:** durability; porosity; strength; ultrasonic pulse

## 1. BEVEZETÉS

Az öntömörödő beton (SCC) jelentése: nagy teljesítőképességű és alacsony viszkozitású beton, ami a gravitáció hatására saját súlyától tölti ki a rendelkezésre álló teret tömörítés és szétosztályozódás nélkül [1]. Az öntömörödő beton a betonacél armatúrát teljesen befedi és vibráció okozta problémákat is kiküszöböli, mivel elhagyjuk a külsőleges tömörítési eljárásokat. Betonozás során csökken a munkahelyi zaj, szebb beton felszín lehet készíteni, csökken a betonozó munkások száma és nő a biztonság az emberi tényezőre tekintettel, összehasonlítva szokványos betonok betonozásával. Manapság az SCC világszinten népszerű és keresett betonfajtává vált a könnyebb bedolgozhatósága és hatékonysága miatt. Az öntömörödő betonok összetevőiben hasonlóak a szokványos betonokhoz, azonban magasabb a finomrész tartalom pl.: pernye, mészköliszt stb. A két betonfajtát egymástól a pórusszerkezete a kiegészítő finomrész tartalom és az emberi tényezőt (vibrálás) részben

kiküszöbölő technológiák különböztetik meg egymástól. Az SCC esetében a tartósság és a pórusszerkezet jelentős mértékben összefügg egymással és eltér a szokványos betonoktól.

A betonoknak tartósnak kell lenniük az adott környezeti hatásokkal szemben. A beton ellenálló képességét és tartósságát leginkább a kapilláris rendszerrel lehet jellemezni, azaz laboratóriumi körülmények között pl. abszorpció, áteresztési vizsgálatokkal mérhető [2].

Épületeink állagának megóvása érdekében rendszeresen végezni kell állapotfelméréseket. Ehhez választhatunk roncsolásos és roncsolásmentes vizsgálatokat is, azonban sokak által az utóbbi javasolt, hiszen ekkor nem okozunk kárt a szerkezetekben. Kísérleteinkben öntömörödő betonok ultrahangos szilárdsági vizsgálatait végeztünk el, figyelembe véve a beton tartósságát és szerkezeti tulajdonságait, továbbá a vízfelvétel hatását is vizsgáltuk a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén.

## 2. KÍSÉRLETI TERV

### 2.1. Összetevők

Laboratóriumi kísérletekben a szokványos és öntömörödő betonokhoz dunai adalékanyagot, kohósalak cementet, mészkölisztet és keverővizet alkalmaztunk valamint polycarboxid tartalmú folyósító adalékszeret, hogy csökkentsük az adagolandó vízmennyiséget.

Finomrész tartalomhoz 0-4 frakciójú helyi homokot 45 %-ban használtunk fel a keverékben, a teljes adalékanyag mennyiséghez viszonyítva. Folyóból nyert durva adalékanyagot alkalmaztunk a következő arányokban: 4-8 frakció 20 %, 8-16 frakció 35%. Legnagyobb szemnagyság  $D_{max}=16$  mm volt, valamint mészköliszt kiegészítő anyagot (98 % tiszta mészkő, sűrűsége  $2.7 \text{ g/cm}^3$ ) is adagoltunk.

Duna-Dráva által gyártott cementet használtunk kötőanyagként, mely típusa CEM III/A 32.5 N-MS, fontos jellemzője a szulfátállósága. Folyósító adalékszerként új generációs Sika Viscocrete Neu-5-t adagoltunk, míg stabilizátorként Sika Stabilizer 4R-t.

15 db keveréket készítettünk szokványos és öntömörödő betonokat együttvéve, melyek receptjeit az 1. és 2. Táblázat tartalmazza. Kísérleteinkben változó paraméterek voltak: a cementmennyiség és a mészköliszt tartalom (víz-finomrész tartalom – v/f), valamint három különböző víz-cement tényezőt (v/c) alkalmaztunk. A szemeloszlási görbe és a cement típusa állandó paraméterek voltak.

	<i>SCC-1</i>	<i>SCC-2</i>	<i>SCC-3</i>	<i>SCC-4</i>	<i>SCC-5</i>	<i>SCC-6</i>	<i>SCC-7</i>
<i>CEM III 32.5 N-MS</i>	320	360	400	320	360	400	320
<i>Víz</i>	180	180	180	180	180	180	180
<i>Mészköliszt</i>	300	260	220	260	220	180	200
<i>Adalék.(0-4 mm)</i>	700	701	703	717	719	721	744
<i>Adalék.4-8 mm)</i>	311	311	312	319	319	320	330
<i>Adalék.(8-16 mm)</i>	544	545	547	558	559	560	578
<i>Sika 5 Neu</i>	1.28	1.84	2	1.28	1.8	2.2	1.744
<i>Sika 4-R</i>	-	-	0.6	-	-	0.66	0.216
<i>v/f</i>	0.29	0.29	0.29	0.31	0.31	0.31	0.34

1. Táblázat Receptúrák ( $\text{kg/m}^3$ )

	SCC-8	SCC-9	SCC-10	SCC-11	SCC-12	NC-1	NC-2	NC-3
CEM III 32.5 N-MS	360	400	320	360	400	320	360	400
Víz	180	180	180	180	180	180	180	180
Mészkelet	160	120	160	120	80	-	-	-
Adalék.(0-4 mm)	746	747	762	763	766	833	817	802
Adalék.4-8 mm)	332	332	338	339	341	370	363	356
Adalék.(8-16 mm)	580	581	592	593	596	648	635	623
Sika 5 Neu	1.548	1.76	1.408	1.44	1.4	0.672	0.594	0.76
Sika 4-R	0.216	-	0.216	-	-	0.033	-	-
v/f	0.34	0.34	0.375	0.375	0.375	0.563	0.5	0.45

2. Táblázat Receptúrák (kg/m<sup>3</sup>)

## 2.2. Próbatetek

Beton receptúráként 14 db 150 mm élhosszúságú kockákat készítettünk a nyomószilárdsági vizsgálatokhoz. Roncsolásos szilárdsági vizsgálatokat Form-Test Alpha 3000 típusú készülékkel végeztük. A roncsolásos vizsgálatokat megelőzően Tico-Proceq típusú ultrahangos készülékkel mértük az ultrahang terjedési sebességét. Kísérleteinkben vizsgáltuk a betonok porozitási és vízfelvételi jellemzőit is.

## 2.3. Ultrahangos szilárdságbecslő vizsgálatok

Manapság a roncsolásmentes vizsgálatok már nélkülözhetetlen eszközei a szerkezeti diagnosztikának. A leginkább alkalmazott roncsolásmentes vizsgálatok egyike az ultrahangos vizsgálat. A vizsgálat azon az elven alapszik, hogy az anyagban terjedő ultrahang sebessége függ az anyag testsűrűségétől és a benne lévő hibáktól [3]. Ha a vizsgált anyag belső szerkezete homogénebb és tömörebb, akkor nagyobb ultrahang sebességeket figyelhetünk meg. Összehasonlítva a beton vizsgálatokhoz fejlesztett ultrahangos eszközöket az acéllal, a betont mérő eszközök az anyag heterogenitása miatt érzékenyebbek és bonyolultabbak. A megbízható eredmények érdekében két különböző műszert is alkalmaztunk annak érdekében, hogy a megengedhető hiba szinteket ne lépjük túl. Ez gyakran alkalmazott eljárás roncsolásmentes vizsgálatok esetében. Az alkalmazott műszerek megfeleltek az ASTM C-597-02 szabványnak [4].

## 2.4. Vízfelvétel

A víz a kapillárisokon és repedéseken keresztül bejuthat a betonba. A látszólagos porozitás vizsgálat közvetetten mutatja meg a beton tartósságát. Tartós betonok tervezésénél törekedni kell, hogy minél kisebb legyen a beton vízfelvétele.

Minden keverékből 3 db 150 mm élhosszúságú próbakockát vizsgáltunk bemelegítéssel vizsgálatot az ASTM szabványok alapján [5] a következő képlet segítségével:

$$P_a = \frac{n \times \rho_b}{100 \times \rho_w} \quad , \quad (1)$$

ahol,

$\rho_b$  - Testsűrűség;  $\rho_w$  - Víz sűrűsége;  $n$  - Nedvesség tartalom



Korábbi kutatások [2,3] alapján ismert, hogy azonos víz-cement tényezővel, de nagyobb finomrész tartalommal rendelkező keverékeknek tömörebb a mikrostruktúrájuk.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. Mechanikai tulajdonságok

A 3. és 4. táblázatokban foglaltuk össze a frissbetonok mért jellemzőit szokványos és öntömörödő betonok esetében az adott receptúrákhoz [6,7].

	SCC-1	SCC-2	SCC-3	SCC-4	SCC-5	SCC-6	SCC-7
Roskadási terület (mm)	750	645	625	800	785	810	810
Terület mérés (mm)	-	-	-	-	-	-	-
Kifolyási idő (s)	7.6	11.19	11.9	5.6	4.8	4.7	4.2
Konzisztencia	SF2	SF1	SF1	SF3	SF3	SF3	SF3
$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	47	57	65	46	50	56	46
Átlag ultrahang sebesség (m/s)	4417	4527	4563	4410	4507	4537	4413
Látszólagos porozitás %	6.18	4.68	3.05	4.43	4.51	3.18	5.37

3. Táblázat Friss beton keverékek és a megszilárdult betonok jellemzői (kg/m<sup>3</sup>)

Igazoltuk, hogy a nagyobb víz-cement tényező (v/c), kisebb szilárdsági eredményekhez vezetett. Az azonos v/c tényezővel (0.561), de alacsonyabb v/f (víz-finomrész, 620 kg finomrész tartalom) tényezővel rendelkező keverékeknek (SCC-1, 4, 7, 10) 56 %-kal magasabb nyomószilárdság értékei voltak, mint a magasabb víz-finomrész tényezővel rendelkező keverékeknek (480 kg finomrész tartalommal), valamint az NC-1 jelű keverék esetében. Azonos v/c tényező (0.5) esetén (SCC-2, 5, 8, 9) a nyomószilárdság 39 %-kal nőtt a különböző víz és kötőanyag tartalmú keverékek és az NC-2 között. A v/c tényező csökkentése esetén (SCC-3, 6, 9, 12), de változó v/f tényező és mészköliszt adagolás esetén az SCC-12 keverék 30 %-os szilárdság csökkenést mutatott. Optimális beton váz érhető el, ha mészkölisztet alkalmazunk a cementtel együtt, ami nagyobb szilárdságot tud eredményezni a víztartalom figyelembevételével. Mindazonáltal a nagyobb finomrész (mészköliszt) tartalmú öntömörödő betonokat nagyobb nyomó szilárdság jellemezte, összehasonlítva a szokványos betonokkal.

	SCC-8	SCC-9	SCC-10	SCC-11	SCC-12	NC-1	NC-2	NC-3
Roskadási terület (mm)	795	750	750	790	720	-	-	-
Terület mérés (mm)	-	-	-	-	-	525	555	505
Kifolyási idő (s)	5.5	6.1	4.3	4.8	5.1	-	-	-
Konzisztencia	SF3	SF2	SF2	SF3	SF2	F4	F4	F4
$f_{cm}$ (N/mm <sup>2</sup> )	49	57	30	41	50	27	32	40
Átlag ultrahang sebesség (m/s)	4500	4533	4387	4437	4553	4330	4400	4430
Látszólagos porozitás %	4.75	2.75	4.57	4.52	3.61	2.74	2.52	2.14

4. Táblázat Friss beton keverékek mechanikai tulajdonsága (kg/m<sup>3</sup>)

### 3.2. Ultrahangos terjedési sebesség és nyomószilárdság összefüggése

Az 1. ábra bemutatja az ultrahang terjedési sebessége és a nyomószilárdság közötti összefüggést, három különböző víz-cement tényező esetén. Látható, hogy a nagyobb cementtartalom és állandó víztartalom (kisebb v/c tényező) esetén nagyobb ultrahangos terjedési sebesség és nagyobb nyomószilárdsági értékeket kaptunk. Az adatsorokra illesztett közelítő függvények 0.562 víz-cement tényezőjű beton keverékek eredményeinek tendenciáját mutatják:

$$f_c = 0.0782v - 305.09 \longrightarrow R^2 = 0.739, \quad (2)$$

$$f_c = 0.0765v - 295.71 \longrightarrow R^2 = 0.865, \quad (3)$$

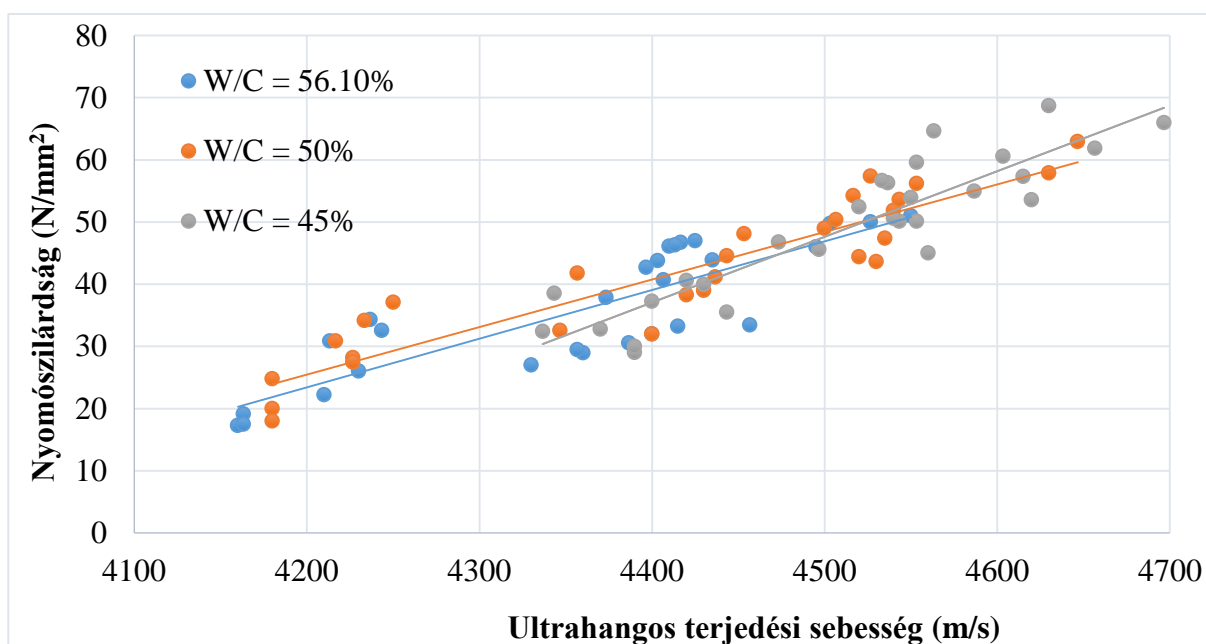
$$f_c = 0.1054v - 426.81 \longrightarrow R^2 = 0.823, \quad (4)$$

$$f_c = 0.0834v - 327.01 \longrightarrow R^2 = 0.835, \quad (5)$$

ahol,

$f_c$  - Nyomószilárdság (N/mm<sup>2</sup>)

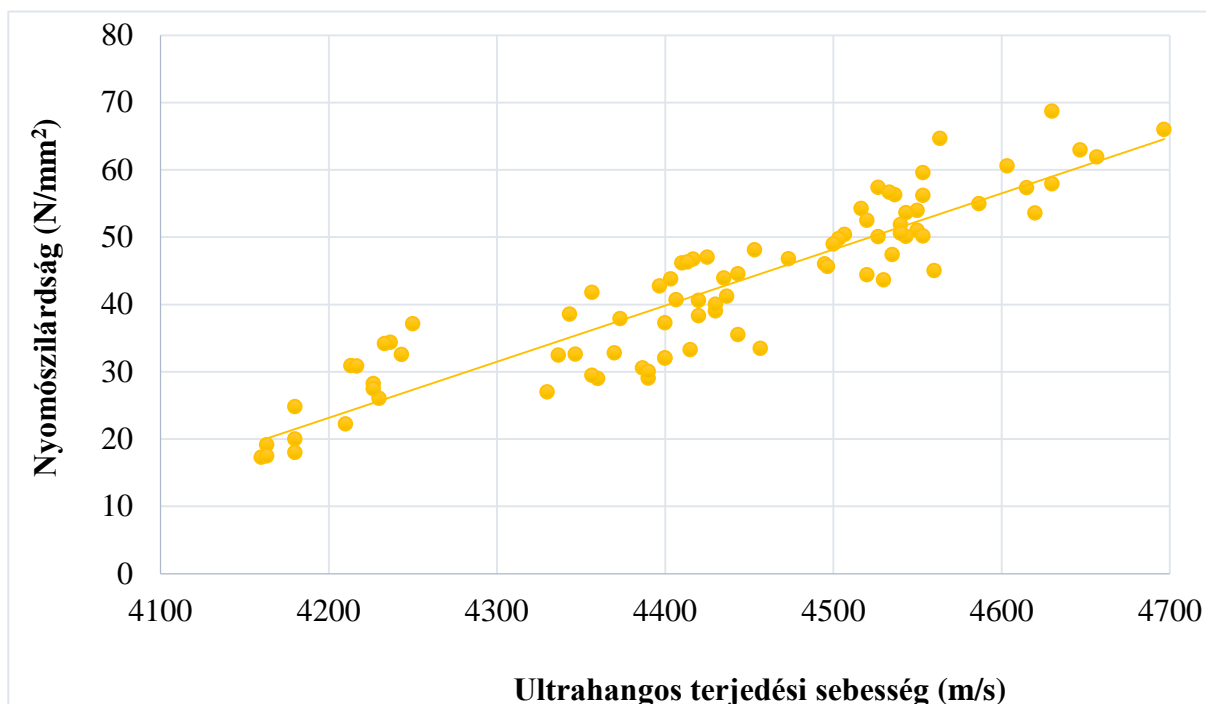
$v$  - Ultrahang terjedési sebessége



1. ábra Ultrahang és nyomószilárdság összefüggése három különböző v/c tényezőjű beton keverék esetén

A beton pórus szerkezete az ultrahangos terjedési sebességre közvetlenül hatással van kiváltképp szokványos betonok esetén. A 2. Ábra szemlélteti a nyomószilárdság és az ultrahang terjedési sebessége közötti összefüggést az összes próbatest figyelembevételével. A 3. és 4. táblázatban szereplő szokványos betonoknál nagyobb vízbehatolási ellenállás figyelhető meg, ez magyarázható az anyagban lévő kapillárisok átmérőjével és hosszával. Azonban a szokványos betonoknak nagyobb az adalékanyag tartalma, ezért több a diszkontinuitás a kapillárisok között. Az SCC esetén a kapillárisok kapcsolódhatnak és összefüggő kapilláris rendszert hozhatnak létre a nagy finomrész tartalom miatt, míg

szokványos betonok esetén a nagyobb adalékanyagok megszakítják a kapillárisokat. Ezért, az öntömörödő betonok az utókezelésre érzékenyebbek a szokványos betonokhoz képest.



2. ábra Ultrahang terjedési sebessége és nyomószilárdság összefüggése

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Laboratóriumi kísérleti eredményeink alapján a következő tanulságok vonhatók le:

- A kísérleti tervben szereplő paraméterek közül a legkisebb v/c és a legnagyobb péptartalommal lehetett elérni a legnagyobb nyomószilárdságot.
- A kapilláris vízfelvétel 65%-kal nagyobb volt öntömörödő betonok esetén a szokványos betonokhoz képest.
- Azonos péptartalom mellett a legkisebb kapilláris vízfelvétel, ahol a legkisebb a víz-cement tényező.
- Ultrahang mérési módszer megbízható roncsolásmentes módszer a nyomószilárdság meghatározására a kísérleti eredmények alapján.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők köszönik a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, a Sika Hungary Kft. valamint a Duna-Dráva Kft. eszközbeli, tudományos és anyagi támogatását.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KHAYAT, K.H., PAULTRE, P. AND TREMBLAY, S. (2001)**, *Structural performance and in-place properties of self-consolidating concrete used for casting highly reinforced columns*, ACI Mater J, vol. 98, n. 5, pp. 371-378.
- [2] *Cement Concrete and Aggregate Australian, Chloride Resistance of Concrete*, www.ccaa.com.au, June, 2009, p. 37.

- [3] **POPOVICS S.**, *Analysis of the Concrete Strength versus Ultrasonic Pulse Velocity Relationship*;2001  
<http://www.asnt.org/publications/materialseval/basics/feb01basics/feb01basics.htm>.
- [4] ASTM C 597. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. *Annual Book of ASTM Standards. In-place methods to estimate concrete strengths*. ACI 228.1R-03 report; 2003.
- [5] ASTM C 642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. *Annual Book of ASTM Standards: American Society for Testing and Materials*.
- [6] EFNARC (2002), European Federation of Producers and Applicators of Specialist Products for Structures, (Specification and Guidelines for Self-Compacting concrete).
- [7] MSZ EN 206-1:2014, Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés

# A GAZDASÁGOSSÁG, A KÖRNYEZETVÉDELEM ÉS A MEGÚJULÓ ENERGIAFORRÁSOK ALKALMAZÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI A REPÜLÉSBEN

## ACTUAL QUESTIONS OF ENERGY EFFICIENCY, ENVIRONMENTAL PROTECTION AND THE USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN AVIATION

Kavas László<sup>1</sup>, Óvári Gyula<sup>2</sup>, Rozovicsné Fehér Krisztina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
[kavas.laszlo@uni-nke.hu](mailto:kavas.laszlo@uni-nke.hu)

<sup>2</sup>egyetemi tanár  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
[ovari.gyula@uni-nke.hu](mailto:ovari.gyula@uni-nke.hu)

<sup>3</sup>mérnökstanár  
Nemzeti Közszolgálati Egyetem  
[rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu](mailto:rozovicsne.feher.krisztina@uni-nke.hu)

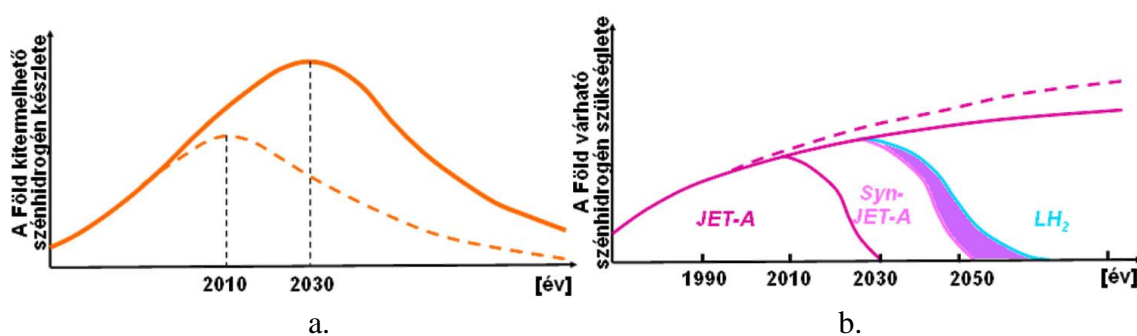
**Kivonat:** A hagyományos, fosszilis eredetű üzemanyagok kitermelhető mennyisége és ennek hátralévő időtartama korlátozott, az általuk okozott környezetszennyezés mértéke viszont számottevő. Ezért meghatározó fontosságú törekvés a jelenleg alkalmazott és a perspektivikusan felhasználni kívánt alternatív üzemanyagok, energiahordozók környezetkárosító hatásának lehetőség szerinti megszüntetése, de legalább is nagyságrenddel csökkentése. E kutatások főbb irányába, egyes eredményeibe, lehetőségeibe és korlátaiba nyújt betekintést a repülés területén az alábbi cikk.

**Kulcsszavak:** alternatív tüzelőanyag, napenergia, elektromos helikopter, repülés

**Abstract:** The exploitation of traditional fossil fuels is limited both in its quantity and duration while the caused environmental impact of the fossil fuels as energy source is significant. For that very reason it is really important ambition the elimination or at least considerable decrease of the environmental impact of the presently and the prospectively used alternative fuels, energy sources. The objective of this paper to provide some general view about the main directions of the researches, the achieved results, possibilities and limitations in the field of aviation.

**Keywords:** alternative fuel, solar energy, electrical helicopter, aviation

A XX. században az emberiség nagyon pazarlóan bánt a fosszilis eredetű energiaforrásokkal, így, már múlt század '70-es éveiben bekövetkezett első energiaárrobbanása világossá tette, hogy a Föld kitermelhető folyékony szénhidrogén készletei végesek, csak korlátozott ideig lehetnek elegendők (1.a. ábra), miközben a műszaki fejlődés és növekvő népesség miatt folyamatosan emelkedik az energiaigény (1.b. ábra). A kitermelhetőség és a szükségletek alakulásának változására ugyan léteznek pesszimista (1.a. ábra szaggatott vonal) és optimista előrejelzések (folyamatos vonal), de a trendek mindkét esetben azonosak és egyértelműek.



1. ábra

A fenti hatásokon kívül a spekuláció is jelentősen befolyásolja a nyersolaj (hordónkénti) árát (2. ábra). Ennek, valamint az újonnan fejlődésnek indult ázsiai hatalmak (Kína, India) rohamosan növekvő energia igénye eredményeként, 5 év alatt (2003÷2008) ötszörösére emelkedet az ár, ami 2014 elején elérte a 94,3 USD/hordó értéket. 2015 első félévben az USA intenzív palagáz kitermelésének beindulása - némi politikai megfontolással fűszerezve (Orosz-ország "megfegyelmezési" szándéka!) - ugyan időlegesen érdemben mérsékelte az árakat, de egyes középtávú prognózisok 200 USD/hordó árat valószínűsítnek.



2. ábra

Mivel a légi közlekedés energiafelhasználása is folyamatosan növekszik, az általa okozott környezetszennyezés is egyre nagyobb (jelenleg részesedése 2 %), így a légijárművek gyártóinak, üzemeltetőinek is tenniük kell ez ellen, fokozottan környezetbarát konstrukciók létrehozásával és a környezetkímélőbb légi és földi üzemeltetési feltételeinek megteremtésével. Az alábbiakban e törekvés néhány fontosabb irányát mutatjuk be.

## 1. BLUECOPTER TECHNOLÓGIA

A világ egyik legnagyobb helikoptergyártó vállalatának, az Eurocopter cégnek (jelenleg már AIRBUS), nagyon fontos a környezetvédelem. Ezt tükrözi az általuk létrehozott komplex fejlesztések összessége a Bluecopter technológia. Nem csak a helikopterek környezetbarátabbá tétele tartozik ebbe a technológiába, hanem a különböző gyárainak az energiafelhasználásának illetve károsanyag kibocsátásának mérséklése is.

A két egymással összefüggő kutatási terület neve Blue Pulse és a Blue Edge, amely a helikopterek hajtóműveinek zajszint csökkentésével, illetve a forgószárny lapátok legkedvezőbb alakjának kialakításával kívánja elsődlegesen a zajszintet csökkenteni. Ennek érdekében a lapát között a leváló örvények interferenciáján kívánják javítani, amelyre a Blue

Edge fejlesztés ad megoldást. Ennek során, döntően a lapátvégek és kilépőélek speciális kialakításával lehetővé vált az általuk gerjesztett zajszint csökkentése ~3 dB-lel úgy, hogy közben repüléskor a hajtóművek hangereje is kisebb lett. Ezzel együtt sikerült alacsonyabb vibrációs szintet is elérni, így javult az utasok komfort érzete és növekszik az alkatrészek, műszerek élettartama is.

E cél gyakorlati megvalósítását szolgálja a program, amelyben az ún. aktív forgószárny lapátjainak kilépőélein 3-3 kitérhető szekciót helyeztek, melyek mozgását - beépített piezoelektromos érzékelők jelei alapján - a központi vezérlőrendszer végzi. Az Eurocopter/Airbus permanens fejlesztés e területen több évtizede töretlen. Ennek első modellje az EC120-as volt, amit a '70-'80-as években a gázturbinás EC130 és EC135-ös követett, míg a Blue Pulse jelenlegi technológiai demonstrátora az EC-145-ös helikopter.



3. ábra Rotor lapát és aktív rotor kontroll (forrás: [3])

A károsanyag kibocsátást nem csak az előzőekben bemutatott megoldások eredményeként csökkent, hanem a helikoptere utazó sebességének növekedése miatt is, mivel így azonos hajtómű teljesítménnyel gyorsabban, rövidebb idő alatt vált képessé azonos utat megtenni, egyebek mellett kedvezőbb aerodinamikai kialakítású sárkánya következményeként is. Az ehhez szükséges különféle modellezések, szimulációk és mérések elvégzésére külön szakértőcsoportot hoztak létre a tervezés időszakában.

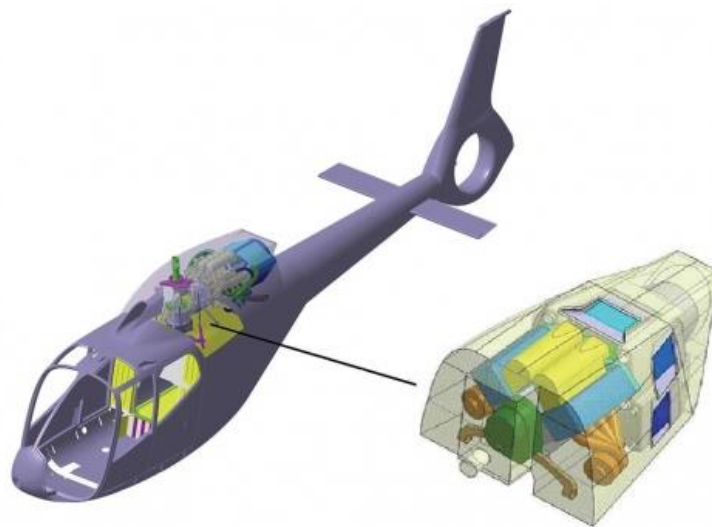


4. ábra Turbomeca Arrius 2F motor (forrás: [5])

A fedélzeti rendszerek, berendezések energia igényét is sikerült csökkenteni, melynek meghatározó eleme volt az új, szabadturbinás Turbomeca Arrius 2F típusú hajtómű (4. ábra) beépítése a helikopterekbe. Ennek eredményeként érdemben csökkent a CO<sub>2</sub> és NO<sub>x</sub> gázok kibocsátása.

## 2. DELILAH PROJEKT

Környezetkímélőbb hajtóművek fejlesztése terén nemcsak az Airbus cég, hanem más fejlesztők is jelentkeztek Európában. Az egyik kiemelkedő projekt, az Európai Unió által is finanszírozott, új Diesel-hajtómű (Diesel Engine Matching the Ideal Light Platform of the Helicopter - DELILAH) kifejlesztése volt [6]. Célul olyan turbódízel motort létrehozását és beépítését (5. ábra) tűzték ki, amely a hagyományos szabadturbinás (turboshaft) hajtóműnél alacsonyabb zajszinten működik, illetve a károsanyag kibocsátása és üzemanyag felhasználása is alacsonyabb annál.



5. ábra

A fejlesztés sikerességét jól jelzi, hogy ez az új hajtómű 50%-kal kevesebb üzemanyagot fogyaszt, az azonos teljesítményű gázturbinás hajtóművekhez képest. Továbbá egyes alternatív (bio-, illetve biomasszából /BTL/ készített és/vagy adalékolt) üzemanyaggal is működik, így csökkentve a függést a fosszilis eredetű tüzelőanyagoktól. Utóbbiak használatával az NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub> kibocsátása csökkent, viszont a korom mennyisége nőtt.

A felsorolt eredmények eléréséhez széles spektrumú kutatási és fejlesztési munkára volt szükség, melyen belül nagy kihívásnak számított a legfontosabb, helikopterekkel szemben támasztott követelmények teljesítése (például a megfelelő teljesítmény-súly arány, és megbízhatósági szint, nagyjavítások közötti hosszabb üzemidő biztosítása, teljesítmény, súly, méret, üzemanyag felhasználás, károsanyag és zaj kibocsátás, üzemeltetési technológia, bekerülési költségek, integráció, hűtés stb.). Ennek során többféle motor kialakítást (soros, fekvő, boxer, csillag és V-henger elrendezést, két- és négyütemű változatot, Wankel-motort, stb.) is vizsgáltak. Végül a V8 elrendezésű turbódízel motor mutatkozott legkedvezőbbnek.

A Delilah projekt keretein belül kifejlesztettek egy teljes körű digitális motorvezérlőt, a FADEC-et (full authority digital engine (or electronics) control). Ez folyamatosan ellenőrzi a hajtómű megfelelő működéséhez szükséges műszaki jellemzőket (pl. károsanyag kibocsátását, égőtérben uralkodó nyomást, forgatónyomatékot, kiáramló gáz hőmérsékletét, stb.) és ezek függvényében vezérli a motort.

Az Európai Bizottság elfogadta az Európa 2020 nevű stratégiát, amiben az is szerepel, hogy az Unióon belül 2020-ra 20%-kal kevesebb lesz az üvegházhatású gázok kibocsátása



illetve 20%-ra nő a megújuló energiák felhasználásának az aránya. Az első felét tudja teljesíteni a Delilah projekt, hiszen a kifejlesztett turbódízel hajtómű kevesebbet fogyaszt, olcsóbban üzemeltethető. Egyetlen hátránya, hogy csak könnyű egymotoros helikoptereknél használható.

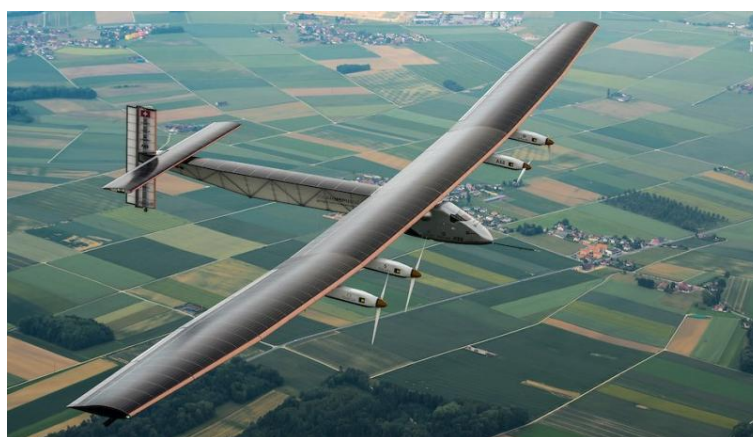
### 3. SOLAR IMPULSE REPÜLŐGÉPEK

A Solar Impulse repülőgép a működéséhez kizárólag a napelemeivel felfogott és elektromos energiává átalakított napfényt használja fel közvetlenül, illetve közvetve. Ez három módon történhet, döntően a napszaktól és időjárási viszonyoktól függően: a napelemekből, az általuk feltöltött akkumulátorokból (jellemzően éjszakai repüléseknél), illetve az előző kettő kombinációjaként.

Napjainkig két repülőgép készült el Svájcban: 2009-ben a Solar Impulse prototípusa (lajstromjele: HB-SIA) (6. ábra), illetve 2013-ban a Solar Impulse 2 (lajstromjele: HB-SIB) (7. ábra).



6. ábra Solar Impulse prototípus (forrás: [9])



7. ábra Solar Impulse 2 (forrás: [10])

Mindkét légi jármű sárkányának legfontosabb belső teherviselő elemei, szárnya és irányfelületei külső borítása kompozitból készült. A szárny szendvics szerkezetű, méhsejt töltőanyaggal. Alsó felületüket rugalmas fóliával vonták be, míg a felső részükön, továbbá a törzseken, vezérsíkokon napelemek találhatóak. Mindkét repülőgépnek négy-négy kompozit

hajtómű-gondolójának belső terei hőszigeteltek, a benne elhelyezett berendezések nagy hőingadozásokból származó károsodásának, üzemzavarainak kiküszöbölésére. E gondolóknak kaptak helyet a légcsavarokat meghajtó villamos motorok, a 70 darab lítium-polimer akkumulátor illetve a 2 db MPPT szabályozó egység, amely optimalizálja a villamos energia felvételt a napelemekből, és szabályozza az akkumulátorok töltését.

Mindkét repülőgépre szilícium alapú monokristályos napelemből álló cellákat (300 darab cella összekötéséből adódik egy panel) szereltek. Előállításukkor üvegfóliát helyeznek rájuk, az alsó részükre műgyanta kerül (8. ábra), majd 7 órán keresztül a 95 °C-on hevítik. A paneleket beépítése előtt - előírás szerint - háromszor ellenőrzik.



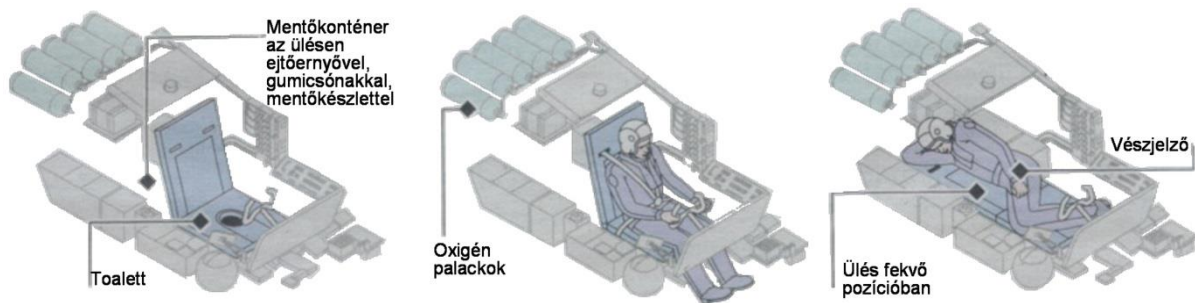
8. ábra Napelem panelek összeállítása (forrás: [11])

A különbség a két repülőgép között főként abból adódik, hogy velük más-mást kívántak elérni, demonstrálni. Míg a prototípust arra tervezték, hogy megmutassák, napenergia segítségével levegőbe lehet emelkedni és utazni, addig a Solar Impulse 2-vel már a Földet akarták körbepülni. Emiatt más lett a kialakításuk és a teljesítményük is, a HB-SIB jelzésű konstrukció már e célnak megfelelő egy továbbfejlesztett változat.

A Solar Impulse szárnyfesztávolsága körülbelül 8 m-rel kisebb, mint a Solar Impulse 2-é, (de így is vetekszik egy Airbus A340-esével). Az repülőgép hordfelületeit és törzsét 17.248 db napelem fedi be, amelyek 10 mikrométerrel vékonyabbak, mint az elődjén lévők. Sikerült a prototípus motorjainak teljesítményét megkétszerezni, így 13 kW-osokat kapott a Solar Impulse 2, amely az alábbi repülési jellemzőket biztosítja:

- felszállási sebesség: 35 km/h;
- nekifutási úthossz kevesebb, mint 150 m;
- maximális utazó magasság (napközben): 8500 m;
- minimális sebesség a tengerszinten: 35 km/h;
- maximális sebesség a tengerszinten: 90 km/h;
- minimális sebesség 8500 m-en: 57 km/h;
- maximális sebesség 8500 m-en: 140 km/h.

A legszembeütőbb különbség azonban a pilótafülke nagyságában illetve a kialakításában mutatkozik (prototípus 1,3 m<sup>3</sup>, míg a másik 3,8 m<sup>3</sup>). Ennek oka, hogy a Solar Impulse 2 repülésekor jóval több időt fognak benne eltölteni a pilótáknak a Föld körüli úton. A 9. ábrán jól látható az átalakított pilótafülke felszerelése és belső kialakítása (9. ábra).



9. ábra Pilótaülés átalakíthatósága (forrás: [12])

A Föld körüli út megtételéhez a hagyományos repüléstől eltérően más dolgok kellenek:

- relaxációs és meditációs technikák elsajátítása a pilótáknak a koncentráció fokozására illetve a monotonitás tűrés növelésére;
- külön repülési szimulátor kifejlesztése, amelyen gyakorolhatták a pilóták a hosszú időtartamú repülést illetve a szükséges vészhelyzeti eljárásokat;
- Nestlé Health Science étrend ajánlása a pilóták részére (napi 2,5 kg élelmiszer, 2,5 kg víz, 1 l sportital elfogyasztása);
- Mission Control Center létrehozása azért, hogy egy komplett felkészítési és üzemeltetési rendszer szolgálja a pilótákat (például: időjárás figyelés és elemzés, különböző belépési és leszállási engedélyek beszerzése az ellenőrzött légterekbe, stb.).

Több repülési, egyre növekvő repülési idejű programot is végrehajtott a repülőgépekkel az azokat vezető két pilóta: Bertrand Piccard és André Borschberg.

A Solar Impulse prototípussal 2012. májusában szálltak fel Svájcból. Egészen Marokkóig repültek több szakaszban, majd onnan vissza a kiindulási állomásra. Ezt követően, 2013. májusában nyugat-keleti irányban átrepülték az Amerikai Egyesült Államokat.

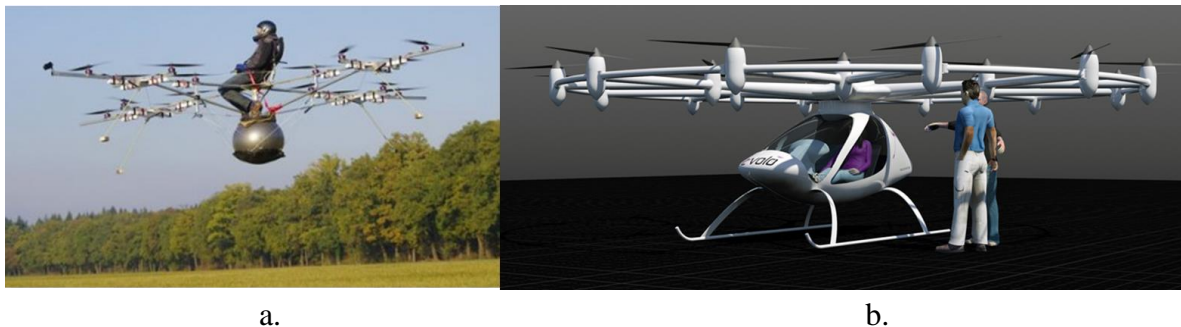
A Solar Impulse 2, 2015. március 9-én emelkedett a levegőbe, hogy nekiinduljon Föld körüli útjának. Abu-Dhabiba történő visszaérkezését ez év július-augusztusára tervezik. A ~35000 km-es utat több szakaszra bontva teszik meg, amelynek tényleges repülési ideje várhatóan ~500 órát vesz igénybe.

**Megállapítható**, hogy a napelem segítségével történő repülésre biztató kísérletek folynak, de a szériagyártásra és a rendszeresítést követő üzemszerű alkalmazásra még - huzamos fejlesztéseket követő - tetemes időt kell várni. Jelenleg még nem olyan megbízható a konstrukció, hogy a mindennapi repülésben használható legyen. Jól példázza ezt, hogy a Solar Impulse 2 körülbelül egy hónapot várt az egyik kínai állomásán, hogy napelemei segítségével akkumulátorait újratöltve a levegőbe emelkedhessen folytatni Föld körüli útját folytatni.

#### 4. VILLAMOS MEGHAJTÁSÚ HELIKOPTER

A jó hatásfokú, környezetkímélő villamos meghajtás lehetőségeit a forgószárnyas repülőeszközök esetében is több országban kutatják. Komoly hátránya a helikoptereknek a merevszárnyú repülőgépekkel (pl. Solar Impulse!) szemben, hogy nem áll rendelkezésre érdemi felület a napelemek elhelyezésére. Így csak a fedélzetén akkumulátorokban tárolt, esetleg ott más módszerrel előállított elektromos energiát használhatja.

A német **E-VOLO team** által fejlesztett, pilótát is szállító technológiai demonstrátor 16 légszárnyával 10÷30 (!) percet tölthet a levegőben, az akkumulátorok feltöltöttségétől és a környezeti viszonyoktól függően (10. a. ábra).



10. ábra (forrás: [13])

A továbbfejlesztett VC200-as 18 légszavarja "több mint 54 csomó repülési sebesség és a 6500 méteres repülési magasság elérését biztosítja (10. b. ábra), már amennyiben a mai akkumulátor technológia által biztosított maximálisan 20 percnyi repülés erre elégséges. A maximális felszálló tömege ~426 kg. A VC200-as tervezett széria változata hibrid meghajtású lesz. A dugattyús motor állandó fordulatszámra egy generátort hajt meg, amely feltölti az akkumulátorokat. A vízszintes repülési sebességet toló légszavar alkalmazásával kívánják növelni, és mentő-ernyői is beépítenek.



11. ábra (forrás: [13])

Az amerikai Sikorsky „Firefly” elektromos helikopter kísérleti projektje keretében, a létező S-300C helikopter 190 LE-s (142 kW) dugattyús motorját váltották ki korszerű, magas hatásfokú villanymotorral, melyet 150 db. 45A/h-ás, lítium-ion akkumulátor működtet. (11. ábra). Egy feltöltéssel 20÷30 perc időtartamú repülést biztosít (11. ábra).

## 5. MI8-MTG HELIKOPTER

A hagyományos, szénhidrogén alapú üzemanyagok kiváltására - legkevésbé környezetkárosító hatása miatt a legkedvezőbbnek tűnő hidrogént (H<sub>2</sub>) gyakorlati alkalmazását (v.ö. 1. ábra) még cseppfolyósított változatban (LH<sub>2</sub>) is több tényező is nehezíti:

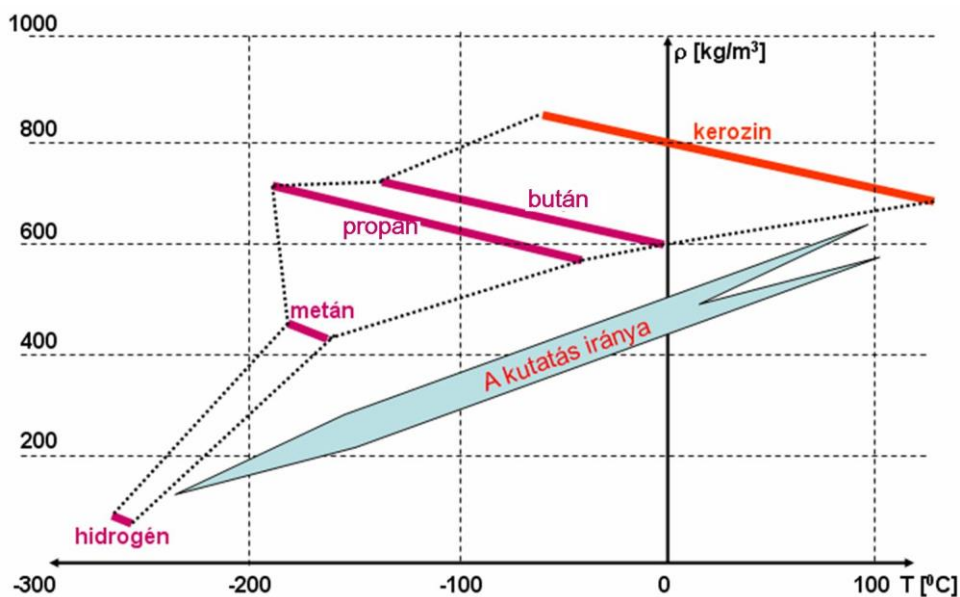
- az egységnyi tömegéből lévő kinyerhető energia mennyisége ugyan több mint 2,7-szerese pl. a kerozinnak, viszont még cseppfolyósított állapotban (LH<sub>2</sub>) is rendkívül kis sűrűsége (~70 kg/m<sup>3</sup>) miatt az egységnyi energiamennyiség tárolása a hagyományos tüzelő-anyagnál közel négyszer nagyobb térfogatot igényel;
- a hidrogén cseppfolyósított állapotban (-253 °C)÷(-262 °C) hőmérséklettartományban tárolható, aminek fenntartása folyamatos, külön külső energiabetáplálást igényel;
- jelenleg ismert két ipari előállítási módszere (vízbontás elektrolízissel, vagy vízgázból, földgázból, bázisok, sók oldatának elektrolízisével) olyan, nagy mennyiségű hagyományos energiát felhasználó folyamat eredménye (pl.

széneróműben termelt villamosságét!), mely a környezetet súlyosan terheli. Emiatt, a cseppfolyósított hidrogén jelenleg nem tekinthető kémiaiilag tiszta energiának;

- a jelenlegi technológiákkal, az LH2 egységnyi energia mennyiségre eső előállítás költsége 10÷15-szörösre a kerozinénak, ami előrejelzések szerint leghamarabb 2010 után csökkenhet kismértékben, de ~2030-nál előbb nem közelítheti azt. Valószínű, ekkor sem a hidrogén előállítás költségeinek csökkenése, hanem a kerozin árának számottevő növekedése miatt. E tendenciák mellett 2050-et követően lehet az LH2 ára, kevesebb a jelenleg használatos üzemanyagokénál;
- a hidrogén (metán) tartós tárolására, továbbítására szolgáló tartályok, csővezetékek anyagának megtalálása, létrehozása, a fémek ezen a tartós hőmérsékleten bekövetkező ridegedése, a mozgó alkatrésze – mindenekelőtt a nagy nyomáson működő szivattyúk, munkahengerek – kenése, tömítése még számos megoldandó feladatot állít a konstruktőrök elé.

Hasonló okok miatt egyelőre tiszta formában a metán CH4 alkalmazása sem rentábilis.

A felsoroltak következtében (is), belátható időn belül felhasználhatóság szempontjából, - főként számításba vehető gázok fizikai jellemzőiből adódó, tárolhatósági és felhasználhatósági hőmérsékleti tartományuk miatt (12. ábra) - a kőolaj- és földgáz-kitermelő helyeken sokszor nem hasznosított, elégetett melléktermékként megjelenő - gázok üzemanyagként történő alkalmazásával próbálkoznak.



12. ábra Repülőgép-üzemanyagként alkalmazott gázok hőmérsékleti határai (forrás: [14])

Közülük a propánnal, de főként a butánnal (C4H10) történő működtetés feltételei - ahol ennek az olcsó beszerezhetősége biztosított - már jelenleg is rentábilisan megoldható (1. táblázat). E gáz üzemanyagként történő előállítása iparilag megoldott, cseppfolyósítani sem szükséges, sőt más, magasabb fűtőértékű gázokkal (pl. CH4) is keverhető.

A fejlesztés időszakai	4.	3.	2.	1.
Üzemanyag	Cseppfolyósított			Normál
	LH <sub>2</sub>	LCH <sub>4</sub>	LC <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Viszonylagos költségek (kerozint egységnyinek tekintve)				
Egységnyi hő előállítása	10÷15	1,2÷1,6	0,6÷0,8	0,5÷0,6
Repülőtéri infrastruktúra	>100	~6	2	1,3

Az eredeti sárkányból és rendszereiből az átalakítás után megmaradhat [%]				
- teherviselő elemek	10	50	50	100
- tömítő elemek	0	20	21	100
- hőszigetelés	10	50	50	50
A hajtómű átalakítás szükséges mértéke				
- hajtómű	Új létrehozása szükséges		nagymérvű átalakítás	kisebb módosítás
- üzemanyag tartály	létezik már prototípusa			készen van
- üzemanyag rendszer	létezik prototípusa		átalakítás	kisebb módosítás
<b>Légkondicionáló rendszer</b>	Kutatások szükségesek		Bizonyított magas hatékonyság	
<b>Földi infrastruktúra</b>	Kutatások szükségesek			Rendelkezésre áll szériában
<b>Ipari előállítás</b>	Új üzem építése szükséges		Létező üzem átalakításával	Megoldott
<b>Gyakorlatban létező üzemanyag (orosz)</b>	?	ACKT-M	ACKT-K	ACKT, ACKT-B
<b>A fejlesztés feladatai</b>	Szűk, alacsony hőmérséklet-tartományban a cseppfolyós halmazállapot stabil fenntartása		További kísérletek	
			cseppfolyós halmazállapotban	gáz halmazállapotban

1. táblázat A jelenlegi repülőgépek átalakíthatóságának lehetősége gázüzeműre (forrás: [14])

A lényegesen kevesebb technikai kihívást tartalmazó propán és bután üzemanyagként történő tényleges felhasználhatóságának, működési hatékonyságának, valamint légi és földi üzemeltetési sajátosságainak megismerésére, illetve gyakorlati ellenőrzésére építették Oroszországban a MI-8MTG helikoptert (13. ábra). (A helikopter hajtóművek általános működési paramétereiről, a hajtóművek külső körülményekre való érzékenységéről a [15] irodalom tartalmaz kimerítő, részletes ismereteket.)



13. ábra A MI-8 MTG helikopter (forrás: [14])

A tesztek együttes tapasztalatai egyértelműen igazolták, hogy ebben a kategóriában a propán, bután, stb. gázok üzemanyag-keverékire történő áttérés nem rontja a légijárművek gazdaságossági-hatékonysági jellemzőit. (Részletes összevetése [13]!)

Oroszországon és a repülőipari nagyhatalmon kívül, intenzív kutatás, fejlesztés folyik a hagyományos üzemanyagok kiváltására a közel-keleti olajkitermelő országokban is. Ezek többségénél természetesen nem a kerozin teljes kiválthatósága, hanem pontosan az ezzel - lehetőleg minél magas arányban - keverhető, adalékolható szintetikus összetevők és/vagy gázok létrehozása és gyártása kapott magas prioritást. E kutatások eredményeként 2009-ben

repült először menetrendszerű repülőgép a földgázból előállított üzemanyag keverékkel transzkontinentális járaton (Qatar Airways). A Shell fejlesztette ki és gyártotta az 50%-ban szintetikus **Gas to Liquids** (GTL) cseppfolyósított gázt, valamint 50%-ban hagyományos kerozint tartalmazó üzemanyagot. Mérések szerint égésekor kevesebb káros anyag kerül a levegőbe, mint a tiszta kerozin esetében. A hagyományos üzemanyag és GTL elegyének új neve **GTL Jet Fuel**, melyet 2012-től kezdtek el iparilag előállítani.

**Végső konklúzióként** megállapítható, hogy az alternatív üzemanyagok kutatásakor és felhasználásakor, azok mennyiségén, energiataralmán, árán kívül meghatározó fontosságú szempont kell legyen környezetkímélő sajátosságuk is.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **COLOGNE M.**, Almost a reality, url: <http://www.airbushelicopters.com/w1/jrotor/82/FA2.html>
- [2] **BLUECOPTER HONLAP**, url: [http://www.bluecopter.com/site/en/ref/Areas-of-Investigation\\_46.html](http://www.bluecopter.com/site/en/ref/Areas-of-Investigation_46.html)
- [3] kép forrása: <http://www.airbushelicopters.com/w1/jrotor/82/FA2.html>
- [4] **AIRBUS HELICOPTERS HONLAP**, url: <http://events.airbushelicopters.com/en/article/blue-pulsetm-creates-buzz-heli-expo>
- [5] kép forrása: [http://www.eurocopter.ir/site/en/ref/Technology\\_58-271.html?noeu\\_id=58&page\\_id=271&lang=EN](http://www.eurocopter.ir/site/en/ref/Technology_58-271.html?noeu_id=58&page_id=271&lang=EN)
- [6] **CORDIS HONLAPJA**, An eco-friendly helicopter engine, (online) url: [http://cordis.europa.eu/result/rcn/92977\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/92977_en.html)
- [7] **CORDIS HONLAPJA**, Delilah Report Summary, (online) url: [http://cordis.europa.eu/result/rcn/59206\\_en.html](http://cordis.europa.eu/result/rcn/59206_en.html)
- [8] **SOLAR IMPULSE HONLAPJA**, url: <http://solarimpulse.com>
- [9] kép forrása: <http://www.solarimpulse.com>
- [10] kép forrása: <http://www.slashgear.com/solar-impulse-2-launches-its-first-solar-powered-flight-around-the-world-08372604/>
- [11] kép forrása: <http://www.solarimpulse.com/timeline/view/6544#.VNHqDtJMwns>
- [12] kép forrása: [http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/human-challenges/?utm\\_source=site&utm\\_medium=thumbnail&utm\\_content=rtw&utm\\_campaign=human-challenges#.VNNIhNJMwns](http://www.solarimpulse.com/en/our-adventure/human-challenges/?utm_source=site&utm_medium=thumbnail&utm_content=rtw&utm_campaign=human-challenges#.VNNIhNJMwns)
- [13] **KAVAS L., ÓVÁRI GY.** A XXI. század helikopterfejlesztésének néhány fontosabb irányzata Repüléstudományi Közlemények, 2013/1. p. 210-222., [http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2013\\_1/2013-1-18-Kavas\\_L-Ovari\\_Gy.pdf](http://www.repulestudomany.hu/folyoirat/2013_1/2013-1-18-Kavas_L-Ovari_Gy.pdf)
- [14] **ÓVÁRI GY.** Öreg helikopter nem vén helikopter, a MI-8-as helikopter - Magyarország számára is számításba vehető - modernizációs lehetősége MTA DAB Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyar-országi Régióban 2014 Konferencia kiadványa p. 1-15. url: [http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/mtekmr\\_2014.pdf](http://store1.digitalcity.eu.com/store/clients/release/mtekmr_2014.pdf)
- [15] **VARGA B.** Helikopter gázturbinás hajtóművek határfok növelésének problémái Repüléstudományi Közlemények 2011/2: pp. 15-24. (2011) url: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011\\_cikkek/Varga\\_Bela.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2011_cikkek/Varga_Bela.pdf)

# BIOMASSZA GÁZOSÍTÁSÁNAK TERMOKINETIKAI MODELLEZÉSE GÁZÖSSZETÉTEL ÉS ENERGETIKAI HATÉKONYSÁG SZEMPONTJÁBÓL

## THERMOKINETIC MODELING OF BIOMASS GASIFICATION FROM THE ASPECT OF THE GAS CONTENT AND ENERGY EFFICIENCY

Plásztán Bence<sup>1</sup>, Bodnár István<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MSc-s gépészmérnök hallgató, <sup>2</sup>PhD hallgató

<sup>1,2</sup>Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet,  
Vegyipari Gépészeti Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros

<sup>1</sup>[bence.plasztan@gmail.com](mailto:bence.plasztan@gmail.com), <sup>2</sup>[vegybod@uni-miskolc.hu](mailto:vegybod@uni-miskolc.hu)

**Kivonat:** Az elgázosítási technológia optimális üzemi paramétereit keressük. A folyamatok termokinetikai modellezése során eltérő kémiai összetételű biomasszák elgázosítását vizsgáltuk. A modellezést különböző hőmérsékleteken, a nedvességtartalom mértékének figyelembevételével és a levegőmennyiség változtatásával végeztük. Egységnyi tüzelőanyag elgázosítása során keletkezett gázok fűtőértékének összegzésével meghatároztuk a termék energiatartalmát és összevetettük a reakcióhoz szükséges energiaigénnyel.

**Kulcsszavak:** biomassza; termikus kezelés; modellezés; termokinetika

**Abstract:** The optimal parameters of the Gasification Technology have been searched. During the thermokinetic modeling of the procedure gasification of different chemical combination biomasses have been analyzed. The modeling has been executed at different temperatures, in different percentages of moisture and with variable quantities of air. From an unit of biomass by gasification generated gas's caloric values have been summated and the energy content have been determined. The result have been compared to the required energy of the reaction.

**Keywords:** biomass, thermic treatment process, modeling, thermokinetic

### 1. BEVEZETÉS

A biomassza biológiai eredetű szerves anyag, amely a szárazföldön és vízben található élő és elhalt szervezetek (növények, állatok, mikroorganizmusok) tömege, iparágak termékei, hulladékai, melléktermékei. Természetes, megújuló, biológiai eredetű energiahordozó, amely a Nap energiáját másodlagosan, szerves organizmusokban való megkötéssel tárolja. Egyszerre hulladék és nyersanyag, ami nagy mennyiségben áll a rendelkezésünkre. Környezeti és energetikai szempontból kiemelt szerepe abból adódik, hogy szén-dioxid semlegesnek tekinthető, ezáltal felhasználása nem növeli az üvegházhatású gázok kibocsátását [1].

A biomassza termikus kezelésének három fajtát különböztethetjük meg az oxidáció függvényében:

- Égetés: olyan exoterm folyamat, amelynél a tökéletes oxidáció megfelelően nagy,  $\lambda \geq 1$  légfesleggel biztosítható.
- Pirozlízis: olyan módszer, ahol a komponensekre való szétbomlasztást levegő bevezetése nélkül,  $\lambda = 0$  légfesleggel hajtjuk végre.
- Elgázosítás: olyan eljárás, amely során a szerves anyagok kémiai lebontása szabályozott körülmények között megy végbe, megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény közegben ( $0 < \lambda < 1$ ), vagy inert gáz (nitrogén) bevezetése közben.

A folyamat során keletkező termékek halmazállapot szerint lehetnek:

- szintézis gáz: szén-monoxid (CO), metán (CH<sub>4</sub>), hidrogén (H<sub>2</sub>), acetilén (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>), etilén (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>), szén-dioxid (CO<sub>2</sub>), nitrogén-oxidok (NO<sub>x</sub>)
- folyékony termék (olaj, kátrány, nedvességtartalom)
- szilárd végtermék (pirolízis koks) [2].

Elgázosításnál a szerves anyagok pirolízise minimum 850÷950 °C hőmérsékleten (maximum 1 600÷1 700 °C hőmérsékletetárig), segédanyagok – levegő, oxigén, vízgőz –



segítségével megy végbe, a lehető legnagyobb gázkihozatal érdekében. A biomassza hasznosítás esetén elgázosítással nyerhető a legjobb hatásfokkal termikus úton pirolízis gáz. Az elgázosítási technológia a tüzelőanyag nagy részét éghető gázokká alakítja, aminek energiataralma a gyakorlatban körülbelül 60÷90%-át magában foglalja a biomassza energiataralmának. A folyamat során tisztítandó nyers gáz és megolvadt szervesetlen maradék keletkezik [3].

A folyamat endoterm, tehát hőt kell bevinni a rendszerbe. A lehetséges hőbeviteli módok alapján kétféle eljárás létezik. Az indirekt úton történő elgázosításnál a hőt a fal adja át az elgázosítandó közegnek. A szükséges energiaközlés történhet direkt úton belső hőforrással is, ahol az elgázosítandó közeg egy részének oxidációja szolgáltatja a hőt a folyamathoz. Az oxidálószer lehet levegő vagy oxigén, amit az elgázosítandó közeghez kell keverni. Amennyiben a gázosító berendezés nyomás alatt üzemel és segédanyagként oxigént használunk, úgy sokrétűen hasznosítható szintézisgázt kapunk, ami főleg jól éghető szén-monoxidból és hidrogénből áll. Megemlítendő továbbá a kémiai szintézisekben való szerepe is, például a metanol ipari előállításánál is ezt használják fel. Ha pedig az oxidálószer levegő, akkor a magas nitrogéntartalmú, úgynevezett producer gáz lesz a végtermék. Az elgázosításhoz szükséges még gázosító reagens adagolása, ami vízgőz vagy szén-dioxid lehet [4].

A pirolízis során meghatározó szerepet játszik a hőmérséklet, a felfűtési idő, a reakcióidő, továbbá a szemcsenagyság, az átkeveredés mértéke és hatékonysága. A végtermék összetételének alapvető meghatározója a hőmérséklet, de befolyásolja még többek között a kiindulási anyag összetétele, az üzemi viszonyok és a berendezés szerkezeti kialakítása is. A hőátadástól függ a felfűtési sebesség, ami szintén hatással van a termékek összetételére. A végtermék elsősorban energiahordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koks), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl.: metanol előállítás) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal) hasznosítható. A szilárd maradékok különbözőképpen dolgozhatók fel, például a szervesetlen maradékok elkülönítése után aktív szén állítható elő [1].

## 2. MODELLEZÉS

Kutatásunk célja a biomassza optimális elgázosítási paramétereinek megkeresése. Az elemi összetétel ismeretében modell segítségével kiszámítható, hogy a biomassza elgázosítás hőmérsékletének és légfelesleg tényező értékének függvényében a kijövő gáz milyen összetevőket és azokat milyen mennyiségben tartalmaz.

A számítások elvégzésekor a NASA-módszert alkalmazó szoftvert használtam. Adott hőmérsékletű előre definiált elemi összetételű alapanyag állandó térfogatú elgázosítását modelleztem. A megadott hőmérsékletre tartozó egyensúlyi átalakuláshoz tartozó számítás a Gibbs-féle szabad energia minimalizálásnak módszere alapján történt. A rendszernyomás a szabad energia függvényében a következő egyenlet alapján számítható:

$$\frac{G}{RT} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i G_i^0}{RT} + x_i \ln \frac{x_i}{\sum x_i} + x_i \ln p \right), \quad (1)$$

ahol  $p$  a rendszer nyomása,  $G$  a Gibbs-féle szabad energia,  $G_i^0$  az  $i$ -dik alapanyag 1 mol anyagmennyiségre vonatkoztatott fajlagos szabad energiája 1 atm nyomás esetén,  $x_i$  az  $i$ -dik alapanyag anyagmennyisége a keverékben,  $R$  az egyetememes gázállandó és  $T$  pedig a rendszer hőmérséklete. A  $G/RT$  hányados egyensúlyi minimumát az elemi összetétel határozza meg. Minden  $j$ -dik elemre igaz kell legyen, hogy:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij}x_i - b_j = 0, \quad (2)$$

ahol  $b_j$  a  $j$ -dik elem teljes moláris koncentrációja és  $a_{ij}$  pedig  $i$ -dik alapanyag  $j$ -dik elemének atomszáma. Így a 2. egyenlet korlátozása alapján kell minimalizálni a  $G/RT$  hányadost [5].

Fafajta	Kémiai összetétel [m/m% / száraz bázis]					
	C	H	N	S	O	Hamu
Erdeifenyő	50,1	6,1	0,2	0	43,4	0,2
Bükkfa	51,6	6,3	0	0	41,5	0,6
Nyárfa	51,6	6,3	0	0	41,5	0,6
Tölgyfa	53,7	5,4	0	0	40,3	0,6
Akác	49,5	5,9	0,4	0	43,3	0,9
Energiafűz	50,9	5,6	0,2	0	41,8	1,5

1. Táblázat Fafajták elemi összetétele

A modellezést a 1. táblázatban látható összetételű falapanyagokra végeztem el. Ahhoz hogy a modellünk helyes legyen, meg kell adni az összetételnél az alapanyagot felépítő molekulát. Mivel a molekula nem tartalmaz elegendő oxigén- és hidrogénmennyiséget, ezért szükséges volt korrekciót alkalmazni, hogy megfelelő legyen a kémiai összetétel. Ezen kívül a valóságos tüzelőanyagok van nedvességtartalma, így annak a hozzászámítása is elengedhetetlen volt. A hidrogénmennyiséget kisebb, az oxigénét viszont nagyobb mértékben kell módosítani. Az kapott mennyiségek kerültek be input oldalra a szoftverbe.

### 3. KAPOTT EREDMÉNYEK

A fent említett hat fafajta elgázosításának modellezését 600 és 850 °C közötti hőmérsékleteken végeztem el. A légfeszesség tényező értékét 0,5 és 0,8 között változtattam. A modellezést megismételtem a következő nedvességtartalmak figyelembe vételével: 10%, 15%, 20%, 25%, 30%. Minden esetben 1 kg tömegre számoltam ki az összetételt. Az alábbiakban a keletkezett gázkeverék összetételének változásait mutatom be a hőmérséklet, a légfeszesség tényező és a nedvességtartalom függvényében. Ezt követően pedig elemzem mikor milyen energiaigénnyel járt a folyamat és milyen energiatartalmú szintézis gáz keletkezett.

Az általam vizsgált fafajták kémiai összetételüket tekintve nagyjából megegyeznek. Ezáltal a különböző alapanyagokra számított eredmények jellegüket tekintve megegyeznek, ezért a továbbiakban csak egy bizonyos fafajtának az eredményeit ismertetem. Mivel számottevő különbséget nem tapasztaltam vizsgálatuk során, a cikk keretein belül csak az akácfa elgázosításának eredményeit ismertetem.

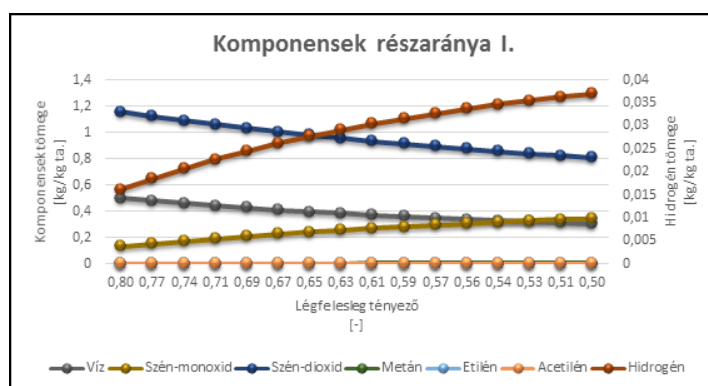
#### 3.1. Szintézis gázok mennyisége

A tapasztalatok azt mutatják, hogyha széntartalmú tüzelőanyagot termikusan kezelünk, akkor a légfeszesség függvényében változik a szintézis gázok mennyisége. A  $\lambda = 0$  közeli hagyományos pirolízis során inkább az acetilén ( $C_2H_2$ ) és az etilén ( $C_2H_4$ ) mennyisége domináns. Elgázosítási tartományban viszont az a karbonmennyiség, ami nem oxidálódott, az metán ( $CH_4$ ) formájában lesz jelen. A keletkezett gázkeverék főleg hidrogénből, szén-monoxidból, szén-dioxidból, vízgőzből és persze metánból áll. Vizsgáljuk meg ezek mennyiségét.

A 1. ábra megmutatja, hogy ugyanazon a hőmérsékleten az oxidációhoz szükséges levegő mennyiségének csökkentésével a szén-dioxid és víz mennyisége lecsökken. Ez megfelel az elvártnak, hiszen ha csökken a rendszer oxigéntartalma, akkor a karbon és hidrogén nem képes oxidálódni. Ennek következménye, hogy a gázkeverékben megnövekszik az energetikailag még hasznosítható komponensek mennyisége ( $CO$ ,  $H_2$ ). Belátható továbbá,

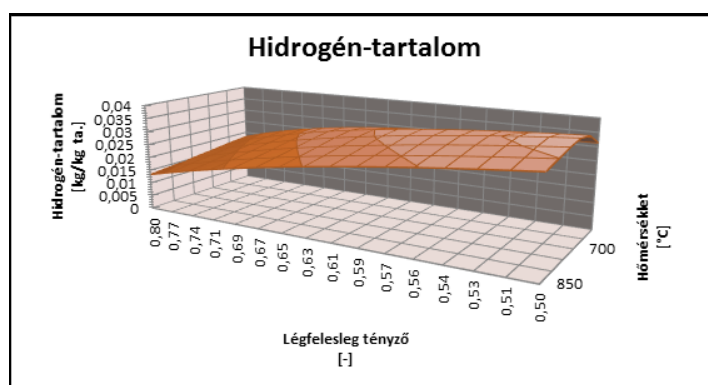
hogy a vizsgált légfesleg tényezők mellett elhanyagolhatóan kicsi a szintézis gázban található acetilén és etilén mennyisége.

*A hidrogéngáz mennyiségét másodlagos tengelyen szemléltetem, mivel sokkal alacsonyabb a moláris molekulatömege, mint a többi gáznak.*



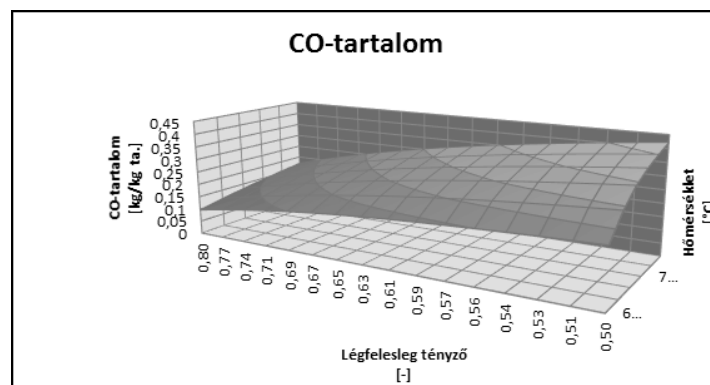
1. ábra A 25% nedvességtartalmú 700 °C-os elgázosítás folyamata során keletkező gázkeverék komponenseinek tömege

Ha a gázkomponensek koncentrációját a légfeszleg tényező és a hőmérséklet függvényében is vizsgáljuk, akkor az alább megtekinthető felületek ábrázolhatóak.



2. ábra A keletkezett hidrogénmennyiség tömege a légfeszleg tényező és a hőmérséklet függvényében

A hidrogén mennyiségét vizsgálva egyértelmű, hogy minél alacsonyabb az oxidáló közeg mennyisége, annál több hidrogéngáz fejleszthető. Ha a hőmérsékletet is figyelembe vesszük, akkor 700 °C-on van a maximum. Ez azonban energetikai szempontból nem biztos, hogy a legoptimálisabb, hiszen a hidrogén égése közben keletkező víz kondenzációjával is számolnunk kell, ami rontja a gázunk fűtőértékét.



3. ábra A keletkezett szén-monoxid tömege a légfelesleg tényező és a hőmérséklet függvényében (25% nedvességtartalom)

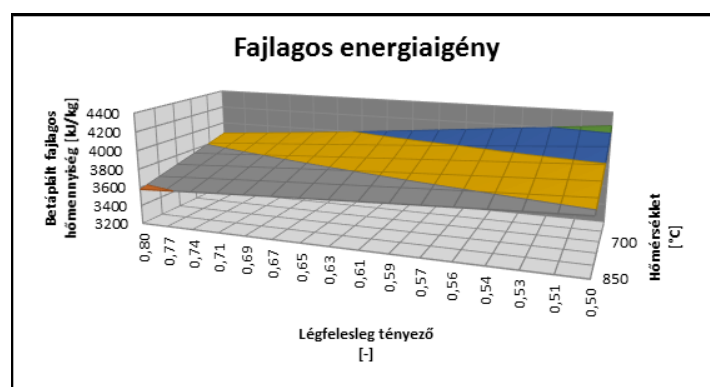
A 3. ábra alapján a gázosítás során nyert keverék akkor a legdúsabb szén-monoxidban, ha 850 °C hőmérsékleten megy végbe a folyamat. Minél tökéletlenebb az égés, annál nagyobb a CO-tartalom.

### 3.2. A folyamatok energiaértéke

Az elgázosítás során a szerves anyagok kémiai lebontása energiaigényes folyamat, ezért hőbetáplálásra van szükség. A termodinamika I. főtétele értelmében zárt rendszer belső energiájának változása egyenlő a rendszerrel közölt hő és a rendszeren végzett (térfogati) munka összegével. Mivel állandó térfogatú állapotváltozást feltételezünk a termikus kezelés során, ezért a térfogatváltozási munka értéke zérus. Így az I. főtétel izochor folyamat esetén:

$$q_{12} = u_2 - u_1 \quad (3)$$

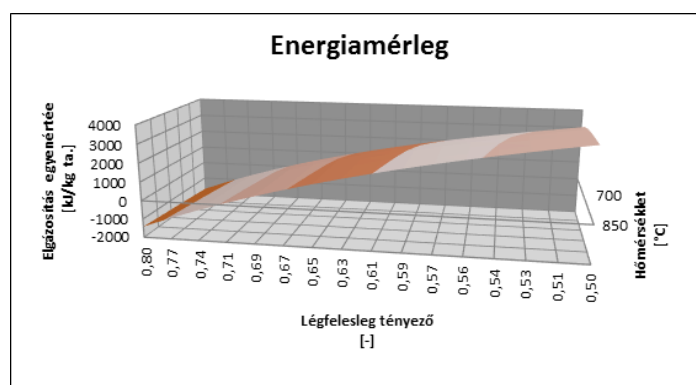
ahol  $q_{12}$  a fajlagosan közölt, vagy elvont hő  $u$  pedig a rendszer fajlagos belső energia. Ezt az összefüggést alkalmazva láthatjuk a 4. ábrán, hogy a különböző folyamatok fajlagosan mekkora belső energiaváltozással jártak, azaz mekkora volt a fajlagos hőközlés.



4. ábra A fajlagosan betáplált hőmennyiség a légfelesleg tényező és a hőmérséklet függvényében (25% nedvességtartalom)

Belátható, hogy minél több a rendszerben lévő levegő, annál több komponens tud oxidálódni, ezáltal annyival több energia szabadul is fel, ami csökkenti a betáplálendő hőmennyiséget. Megfigyelhető továbbá, hogy a magasabb hőmérsékleten történő elgázosításnak alacsonyabb az energiaigénye.

Ahhoz hogy valamilyen jóság mutatót tudjunk számolni szükséges megállapítani a keletkezett szintézis gáz energiahozatalával.



5. ábra Az energiamérleg a légfelesleg tényező és a hőmérséklet függvényében (25% nedvességtartalom)

Az 5. ábra megmutatja, hogy ha összevetem az energiaigényt a fűtőértékkel, akkor azt kapom, hogy nagyobb légfelesleg tényező mellett az elgázosítás során már nem kapok elég értékes gázt ahhoz, hogy annak elégetésével visszanyerjem a képződéséhez szükséges energiamennyiséget. Ezt figyelembe véve, a termikus kezelést célszerű minél kevesebb levegő hozzáadásával elvégezni. Hőmérsékletet figyelembe véve pedig a magasabb tartományban keletkeznek az értékesebb gázok, ezért ott célszerű az elgázosítást végezni.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az általam elvégzett számítások egy elméleti folyamatra érvényesek és csak jellegüket nézve tekinthetők helyesnek. Valóságos esetben módosítanunk kellene a veszteségek hatásával. A gyakorlatban ugyanis kivitelezhetetlen, hogy a folyamat állandó hőmérsékleten és térfogaton játszódjon le, valamint elkerülhetetlenek az áramlási és szigetelési veszteségek. Az állandó légfelesleg tényező biztosítása is problémás lehet.

A kapott eredményeket a későbbiek során lehetőség lesz méréssel is összehasonlítani. Készlőben van egy gázosító reaktor, amelyben a számított értékek is meghatározhatóak lesznek. Ebben mérni lehet majd a hőmérsékletet, és lesz benne fűtőbetét, ezért a folyamat fenntartása miatt fellépő veszteség is számítható lesz.

A szimulációval a későbbiekben lehetne vizsgálni a levegőtől eltérő közegben végbe menő elgázosítást (pl.: víz + CO<sub>2</sub>), valamint megfigyelni a keletkezett gázkeverék összetételét a nyomásnövelés függvényében. Ezek elvégzésére időbeli korlátok miatt még nem volt lehetőségem.

Néhány kedvezőtlen tulajdonság mellett számos előnnyel rendelkezik a biomassza elgázosítás. Jelenlegi elterjedésének leginkább a technológia ismertségének hiánya szabhat határt. Belátható, hogy az elgázosítás során kapott gázt egyszerűbb eltüzelni, mint a szilárd biomasszát, valamint a termikus kezelés során keletkezett gáz egyszerűbben használható fel villamos energia termelésére, és jobban illeszkedik az elterjedt fűtőberendezésekhez. Kutatómunkánk során ennek az alternatív módszernek a fejlődéséhez próbáltunk hozzájárulni.

#### IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **BARÓTFI I.:** *Energiafelhasználói kézikönyv.* Környezettechnikai Szolgáltató Kft., 1993
- [2] **ÖRVÖS M.:** *Termikus hulladékkezelés.* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületgépészeti és Gépészeti Eljárástechnika Tanszék, 2007.
- [3] **THOMAS B. REED, AGUA DAS:** *Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems.* The Biomass Energy Foundation Press, 1988.
- [4] **KOTSIS L., MAROSVÖLGYI B.:** *Kémiai és energetikai célú gáz előállítása biomasszából. I.* Ökoenergetikai és IX. Biomassza Konferencia, Sopron, 2006. március 01-03.
- [5] *Calculation methods used;* <http://www.gaseq.co.uk/> letöltési idő: 2015.03.13.

## AZ INTERMODÁLIS KÖZÖSSÉGI KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK HELYZETE MA MAGYARORSZÁGON ÉS DEBRECENBEN

### THE STATUS OF THE INTERMODAL PUBLIC TRANSPORT CENTRES IN HUNGARY AND DEBRECEN

**Bodnár Balázs**

programkoordinátor  
Debrecen Megyei Jogú Város Polgármesteri Hivatal  
bodnar.balazs@gmail.com

**Kivonat:** *A munkakultúránk változása, az egyéni mobilitás mértékének növekedése, a tömegközlekedés kiszámíthatósága iránti igény, vagy például a holtidő takarékos életszervezés is indokolja napjainkban a közösségi közlekedés fejlesztését és a különböző közlekedési ágak közötti akadálymentes, gyors és komfortos átszállást biztosító közlekedési központok kialakítását. Mivel vizsgálataim arra engednek következtetni, hogy ma Magyarország nagyvárosai közül Debrecennek van a legnagyobb esélye arra, hogy leghamarabb megépítse az ország legújabb és legmodernebb intermodális központját, a tanulmányom gerincét mindvégig a debreceni példa alkotja majd. Ismerve az ilyen típusú beruházások közlekedés- és városfejlesztő hatásait és ismerve az Európai Unió ez irányú fejlesztési akaratát meggyőződésem, hogy Debrecennek a nagy léptékű közlekedési beruházások tekintetében egy intermodális közlekedési központ létesítésére van legnagyobb szüksége.*

*Fő célom az, hogy értelmezhető képet adjak magáról az intermodális közösségi központról, annak indokrendszeréről, szabályozási háttéréről, megvalósíthatóságának realitásáról, és mindazokról, melyekről véleményem szerint hasznos olvasnia akár ebben a témában munkálkodó városfejlesztési szakembernek, akár a városokat vezető döntéshozóknak.*

**Kulcsszavak:** *közösségi közlekedés, intermodális központ, intermodalitás, közlekedésfejlesztés, támogatás*

**Abstract:** *The reasons these days why we should improve the public transport and establish those transport centres which provide fast, comfortable and barrier-free interchange between the different means of transport are first of all that our working culture has changed, secondly, the level of individuals' mobility has increased, thirdly, there is a demand for the predictability of the public transport or, for example, the time saving life management, I mean, not wasting the idle time is also an important factor. From my research I could draw the conclusion that, among the biggest cities of Hungary, Debrecen has the biggest chance to construct soon the latest and most modern intermodal centre of the country this is why the example of Debrecen gives the main part of my study. Getting to know the effects of these kinds of investments on the development of traffic and the cities themselves and since I am aware of the intention of the European Union to develop this field I am convinced that, if we consider the possibilities of the large scale transport investments, Debrecen needs the establishment of an intermodal transport centre exactly. My main goal is to give an interpretable image of the intermodal public transport centre itself, about its justification, ruling background, the reality of its practicability and about all those factors that is useful to be read by any experts of urban development working on the given field or by the decision-making leaders who manage a city.*

**Keywords:** *public transport, intermodal centre, intermodality, development of public transport, support*

## 1. AZ INTERMODÁLIS KÖZLEKEDÉSI KÖZPONTOK LÉTJOGOSULTSÁGA

A világ minden területén, így a közlekedésben is dinamikusan változó kihívásokkal, feladatokkal kell szembe néznünk nap mint nap. Új munkakultúrák, környezettudatos, innovatív magatartás és új eszközök, mint például a vezeték nélküli internetes hálózat, laptop, okostelefon, valamint az általuk alakított életvitel a mai kor legfontosabb trendjei, eszközei és szolgáltatásai közzé tartoznak, melyek értékválasztásunktól függetlenül alakítják a térszervezéssel, közlekedés- és településtervezéssel összefüggő szemléletünket. Az egyéni mobilitás megugrása – mely a közlekedésre fordított idő kényszerű növekedését eredményezi

–, az utazásokra szerveződő tevékenységsűrűsödés infrastrukturális háttérének fejlődése, a tömegközlekedés kiszámíthatósága iránti igény, vagy például a holtidő takarékos életszervezés. Csupán pár dolog, ami napjainkban a személyes szinten megjelenő paradigmaváltások okozója. Ezek mind kihatással vannak a település- és közlekedésfejlesztéseinkre. Ide illik talán legjobban a Bécsi Műszaki Egyetem Útépítési és Közlekedéstudományi Intézetének igazgatójának, Hermann Knoflachner professzornak a szavai, amiket az autómentes városokért témában megrendezett nemzetközileg konferencián hallhattunk, miszerint: „A közlekedési rendszer megértése az ember közlekedéssel kapcsolatos viselkedésének megértését jelenti.” (Madarassy 2006).

Az utazási idő más célokra is történő hasznosításának erőteljes igénye jelen van ma Magyarországon és jelen van Debrecenben is. Ennek az igénynek a kielégítése az utazás eszközein és az átszállás tereiben is sokrétű infrastruktúrát és szolgáltatást igényel, amelyek biztosíthatják a tevékenységek valódi integrációját. Az utazási eszközök ezirányú fejlesztése természetesen a szolgáltató cégek kompetenciája és érdeke. Ennek érzékeltetésére elég csupán a debreceni helyi tömegközlekedés fejlődéstörténetét átfutnunk. Itt ugyanis az omnibusznak, vagy más néven társaskocsinak az 1863-as beindításától, és annak a gőzvasútnak az 1884. október 2-ai ünnepélyes átadásától, melyen Ferenc József magyar király és osztrák császár saját nyilatkozata szerint életében először tapasztalhatta meg a közúti vasúti kocsin történő utazást, az első villamos motorkocsinak az 1911-es, majd ezt követően a „bengáli” becenevre hallgató „FVV” csuklós villamosoknak az 1962-es beindításán keresztül eljuthatunk a ma is közlekedő KCSV6-1 típusú, és az új CAF villamosokig (Beretvás, Gara 2014). Hosszú utat kellett megtenni annak érdekében, hogy a társaskocsiktól eljuthassunk azokhoz a spanyolországi gyártású „villamos csodákhoz” melyek ma akár 2 percenként suhannak végig a városon, hol gumipaplanos villamospálya felépítményen – a minél csendesebb futást biztosítva –, hol az 1939 vágányméter füves vágányszakaszt igénybe véve azért, hogy az egyterű, alacsony padlómagasságú és légkondicionált utasterével a lehető legmagasabb színvonalon szolgálhassa ki az utazóközönséget.

Mindezeket túl szót kell viszont ejtenünk az Önkormányzatok feladatáról is. A közlekedéssel kapcsolatos problémák megoldására két lehetőség van. A közúti kapacitások növelésével kiszolgálja a város a lakosság igényeit, és a mindenkori kereslethez igazítja a kínálatot, vagy a közlekedési rendszer átalakításával és annak tudatos menedzselésével igyekszik befolyásolni a keresletet. Elgondolásom szerint ezen feladatok megoldásának a leghatékonyabb eszköze a nagyobb regionális központokban, valamint a kis és középvárosokban egyaránt az Intermodális Közösségi Közlekedési Központok létrehozása.

## 2. KUTATÁSOK, EREDMÉNYEK

### 2.1. Közlekedésfejlesztési beruházások vizsgálata

A tanulmány elkészítéséhez megvizsgáltam az előző Európai Unió költségvetési ciklus támogatásaiból megvalósult debreceni közlekedésfejlesztési beruházásokat. A pénzek felhasználásának az arányát elemezve körvonalazódott számomra, hogy a ciklusban csak egy, igazán nagy beruházásra tudott pályázati pénzt szerezni a város, és abból egy komplex projektet kivitelezni. Ez a 2-es villamos vonal kiépítésére és a vonalon azóta már közlekedő 18 db új villamos jármű beszerzésére irányuló projekt volt. Ez arra enged következtetni, hogy a következő ciklusban is várhatóan egy, a 2-es villamos volumenéhez hasonló beruházás megnyerése a reális. Meggyőződésem, hogy Debrecennek a nagyléptékű közlekedési beruházások tekintetében a Vasútállomás átépítésére, és egy intermodális közlekedési központ létesítésére van a legnagyobb szüksége.

Tanulmányom alátámasztásaként elvégeztem egy átfogó kutatást a 2007-től 2013-ig terjedő EU-s költségvetési ciklusban véghezvitt közlekedésfejlesztési beruházásokról Debrecenben, melyben megpróbáltam rámutatni arra is, hogy a megvalósult projektek vonatkozásában hogyan oszlottak meg a támogatási arányok, és a szükségszerű sajátforrás biztosítása. A kutatásom eredményei megmutatták, hogy a 2007-2013. közötti tervezési időszakban Debrecennek megítélt több mint 200 milliárd Ft (bruttó) összegnyi támogatás hogyan aránylik a közlekedésfejlesztésre fordított forrásokhoz. Eredményeim szerint az elmúlt 7 éves ciklusban Debrecennek megítélt támogatás összegének hozzávetőlegesen a 6,6 %-át tudta a város a közlekedésfejlesztésre fordítani. Ez nem egészen 13,4 milliárd Ft-ot jelent. Ehhez az összeghez, ha hozzávesszük az Önkormányzat részéről biztosított, a projektek végrehajtásához szükséges önerő megfizetését, valamint a teljesen saját forrásból finanszírozott közlekedésfejlesztések beruházásainak az értékét, akkor is körülbelül egy 8,6 %-os arányról beszélhetünk csupán. E tekintetben összesen 17 milliárdot is meghaladó az a forráshalmaz, mely teljes egészében a debreceni közlekedés jobbá tétele érdekében került felhasználásra.

Érdekes talán még a megvalósult projektek és beruházások támogatási arányát röviden megvizsgálni. A felhasznált pénzek 77,5 %-a támogatási forrásokból kerültek felhasználásra. Mindemellett az Önkormányzat 22,5 %-os vállalása erre az időszakra majdnem 4 milliárd Ft elköltését jelentette.

## **2.2. Kitekintések**

Néhány külföldi és hazai példák ismertetésével alátámasztható és érzékeltethető az, hogy Európában, és ezáltal hazánkban is mennyire foglalkoztatja a közlekedési szakma résztvevőit és a városi tisztviselőket, és döntéshozókat az intermodális közösségi közlekedési központok létrehozása. A külföldi példák igaz léptéküket nézve jóval magasabb szinten vannak, mint a magyarországi adottságok és igények, de ezeknek a példáknak a bemutatásával egyfajta rálátást tudok adni arra, hogy a nyugati országok hogyan is értelmezték és értelmezik ma is a hazánkban is aktuális kérdéssé vált közlekedési intermodalitás témakörét.

Egy madridi kitekintéssel láthatjuk, hogy a város nagy vasútállomásai közül mára három maradt üzemben, az Atocha, a Chamartín és az Estación del Norte. Közülük a harmadikat napjainkban már nem ezen a néven érdemes keresni, hanem Principe Pio-ként. A mai Principe Pio egyszerre modern elővárosi állomás, bevásárlóközpont és építészeti látványosság. A régi csarnokvágányok helyén ma a földszinten üzletek, a galérián pedig éttermek vannak. Intermodális központként kapcsolódik itt össze a nagysebességű vasúti vonalak, az elővárosi vasúti hálózatok, a metróhálózatok (három vonal) az autóbusz és a gépjármű közlekedés. Jellegzetességéről, az állomás légtérében a metrók felett lévő hídon áthaladó vasúti átvezetésekről mindenki könnyen felismerheti ezt a példaértékűen működő központot. Tovább kalandozva találkozhatunk a berlini Főpályaudvarral, ahol a távolsági és a helyi közlekedés fontos elmei – U-Bahn, S-Bahn, RE (Regional Express) (nemzetközi, távolsági, regionális), gyorsforgalmi utak, stb. – az intermodalitás kiváló példajaként találkoznak egy helyen. Napi 1100 vonat, 300 000 utas, összesen 70000 m<sup>2</sup> felületet használhat egy repülőtéri terminálhoz hasonló komplexumban.

Hazánkban maradvá számomra az egyik kedves példa a Budapest II. kerületében lévő Hűvösvölgyi végállomás, a főváros egyik legkorszerűbb közlekedési, és egyben első intermodális csomópontja, mely 1999-ben került átadásra. Az új végállomásnak a természet- és műemlékvédelmi követelmények betartása mellett, a hely régi hangulatát megőrizve, kellett megfelelnie a legkorszerűbb forgalomirányítási és tömegközlekedési feltételeknek. A fővárosban kicsit dél-keletre haladva találhatjuk meg a Kőbánya - Kispest csomópont (KÖKI Terminál) egy országos, illetve nemzetközi jelentőségű vasútvonal fővárosi állomásaként,



mely kiemelkedő jelentőségű elővárosi szerepkörrel rendelkezik és egyben a Liszt Ferenc nemzetközi repülőtér vasúti és közúti kapcsolatának súlypontja, és Budapest dél-keleti agglomerációja közúti forgalmának eszközváltó pontja. A terminált 2011-ben adták át. Az épületet egy sok ezer négyzetméteres kereskedelmi, bevásárló központ uralja. A monumentális építmény közlekedési elemekkel való kapcsolatai nem az intermodalitás elveit követik. Hiába van ott egy közlekedési csomópont, a tömeg valójában nem halad át a bevásárlóközponton, csak érinti azt. Ezzel véleményem szerint épp a „terminál” jelleget veszíti el. A bevásárló központ csillogó világától a jellegtelen, üres gyalogos csápokat, majd a lepusztult vasúti kapcsolatot egy sivár üvegajtó választja el, jelképezve, hogy a gazdag magán szférából az utazó a köz, magára hagyott, gazdátlan világába érkezik. Taglalhatnánk továbbá az M4-es metró projekthez kapcsolódó egyik legfontosabb felszíni beruházást is, az örmezői intermodális központ megépítését és elemezhetnénk e kapcsán a 2013. április 8-án kihirdetett intermodális csomópont nyertes pályaműveit, melyet a Kelenföldi pályaudvar nyugati oldalára terveztek, vagy hosszasan elmélkedhetnénk akár a Székesfehérvárra, Pécsre, Kaposvárra, Egerbe, vagy éppen Kecskemétre megálmodott új központok tervei felett, de erre talán egy másik tanulmány is kevés lenne.

A hazai példákat megvizsgálva belátható, hogy Magyarországon kevés a jól megtervezett és kivitelezett intermodális közlekedési központ. Számos, véleményem szerint elhibázott fejlesztésen kívül az intermodális központ fejlesztésének a témaköre csupán a „tervezőasztalon” van jelen részletes megvalósíthatósági tanulmányi szinten.

### 3. SZAKIRODALMI KITEKINTÉS (Az intermodalitás és az intermodális központ)

Az Intermodális közösségi közlekedési központ meghatározását megvizsgálhatjuk elméleti síkon és funkcionális összefüggéseiben is. A Nemzeti Fejlesztési Ügynökség megrendelésére a Magyar Útügyi Társaság (MAÚT) 2012 májusában elkészítette az „Intermodális Közöségi Közlekedési Csomópontok (tervezési és bírálati útmutató)” című dokumentumot, mely egy egységes szemléletkialakítást tartalmaz. A csomópontok tervezését és bírálatát segítő útmutatóban az alábbi értelmezés olvasható: „Az intermodális csomópont térszervezési elmélet síkján értelmezve elsődlegesen nem hálózati egység, jóval több, mint egy hálózati csomópont. Lényegét tekintve különféle hálózatok áthatása során a hálózatok közötti átjárás speciális tereként értelmezhető.” (MAÚT 2012). Szintén a MAÚT útmutatóját követve a funkcionális szempontrendszer-vizsgálatnál találjuk azt, hogy „az intermodális csomópont egy, a településhálózat és a többsíkú közlekedéshálózat különféle egymásra épülő kapcsolódási tereiben spontán létrejövő és/vagy tudatosan kialakítandó többfunkciós, kapcsolódásokat - utazási láncokat - átszállásokat magas szintű szolgáltatásokkal biztosító csomópont.” (MAÚT 2012).

Mindezekon túlmenően sokat foglalkoztatott az is, hogy vajon hogy vélekedik a témáról a szakmához ugyan közel álló – legalább is érdeklődő –, de mégis a hétköznapi embereknek tekinthető oldal. Egy építészeti hírportál találó megfogalmazása szerint az intermodális központ a közlekedési modalitások csomópontját jelenti, a különböző közlekedési módok és eszközök kombinációját, mely az elővárosi tömegközlekedési szolgáltatás színvonalát növeli. Létesítésének átfogó célja egy hosszútávon fenntartható, versenyképes, környezetbarát, gyors és biztonságos közösségi közlekedés megteremtése és vonzóvá tétele (epulettar.hu 2009). Egy urbanisztikai internetes szaklap értelmezésében az intermodális csomópont funkciója az, hogy különböző közlekedési módok között kényelmes átszállási kapcsolatot teremtsen, mindezt komfortos térben, közös, fedett váróteremmel, esetleg kereskedelmi egységekkel (mutmutato.blog.hu 2013).

#### 4. AZ IKKK PROJEKT

Pár külföldi jó példát és számos hazai elképzelést ismertetve a következőkben felsorakoztatott tények igazolják, hogy ma Magyarországon Debrecen rendelkezik a realitásoknak megfelelő, legmodernebb megoldásokat felsorakoztató, és nem utolsó sorban, időben legelőrehaladottabb tervezési programmal. A projekt mérföldköveinek feltárásával nem titkolt célom, hogy érzékeltessem azt, hogy a „helyzet adta esély” megragadásához, azaz a megvalósításra irányuló projekt elindításához milyen projekt- előkészítési fázisok végigjárására van szükség.

A debreceni helyzetet kronológiai sorrendben kutatva az intermodális központtal először egy 2011-es dokumentumban találkozhatunk átfogóan. Ez a dokumentum a város által elkészített Részletes Megvalósíthatósági Tanulmány, melynek alapján 2012. április 20-án Debrecen bruttó 767 080 000 Ft vissza nem térítendő 100%-ban Európai Unió támogatást kapott. Az Önkormányzat által közzétett dokumentumokból kiderül, hogy ebből az összegből kell az Önkormányzatnak az engedélyes terveket elkészíttetni, gondoskodni kell annak engedélyeztetéséről, össze kell állítani a kivitelezéshez szükséges pályázati forrás elnyeréséhez a támogatási pályázatot és kérelmet, valamint nem utolsó sorban a tenderterveket. Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzata 2013 áprilisának végén megjelentette az intermodális központ tervpályázatát, amit a téma iránt egy kicsit is érdeklődő bizonyára soron is követtek, akár személyesen – hisz kiállítás is készült a pályaművekből – akár a projekt internetes honlapján is. A pályázatban megfogalmazott feladattal és tervezési programmal kívánták megkeresni, illetve kiválasztani a legjobb tervjavaslatot és az alkalmas tervezőt. Ez a tervpályázat kimagasló és példaértékű volt országos és nemzetközi viszonylatban is, hiszen 37 pályázó nyújtotta be pályázatát, és a pályázatokat egy olyan – törvényi szabályozásnak megfelelően felállított – bírálóbizottság bírálta el, melyben számos neves közlekedési és építész szakember mellett olyan személyek is részt vállaltak a feladatból, mint például Nagy Ervin országos főépítész. A tervpályázat kiírója szerint az elsődleges cél a tervezési feladat megvalósítására legjobban alkalmas, közlekedéstechnikai szempontokat, funkciókat megvalósító, leggazdaságosabban üzemeltethető tervjavaslat kiválasztása volt. Véleményem szerint a nyertes tervvel – amit 2013. augusztus 26-án hirdettek ki – a Város funkcionálisan jól működő, magas építészeti minőségű és értelmes takarékossgal, elérhető műszaki eszközökkel megvalósítható megoldást kapott kézhez, mely alapján az intermodális csomópont és környezete a XXI. századi kor elvárásainak megfelelően, kiemelkedő színvonalon kerülhet kialakításra.

Ennek a tanulmánynak a keretei nem adnak lehetőséget arra – nem is ez a célja –, hogy részletes ismertetésbe kezdjek a tervvel kapcsolatban. Elméleti síkon értékelve láthatóvá válik, hogy a terv három vezérfonal mentén alakult ki. A belvárosi térszövet rehabilitálása, a gyalogoszóna térszíni átvezetése (4-es számú főút térszín alá helyezése) és az értékek megtartása, azoknak helyzetbe hozása. A vasúti állomás előtti tér a második világháború bombázásai után alakult ki. Az egyébként a város térszerkezetében idegen, véleményem szerint túl nagy teresedés később az 1960-as évek elején egy, az akkori kor túlméretezett térkonceptiói szerint épült ki. Szerintem a Tervező helyesen ismerte fel, hogy ezt a működésképtelen teret szűkíteni szükséges, és a gyalogos sűrűsödéseket nem a városközpontból elvinni, hanem ahhoz minél közelebb elhelyezni célszerű. Ezzel a megoldással a nyertes pályamű a három fő vezérfonal közül az elsőt, ami a belvárosi térszövet rehabilitálása volt, a lehető legjobban valósította meg. A gyalogos zóna térszíni átvezetésének – második vezérfonal – és a 4-es számú főút térszín alá helyezésének alapos vizsgálata jó kiindulási pontja a helyes következtetésekre épülő építészeti, városépítési megoldásoknak. A koncepció eleme a 4-es számú főút állomás előtti szakaszának térszín alá vezetése. Ez azt a lehetőséget is kínálja, hogy a helyi és a távolsági buszjáratok közvetlenül az

állomás aluljáró szintjéhez szervezhető. A meglévő építészeti értékek megtartása, helyzetbehozása a harmadik legfontosabb vezérfonal, és egyben a pályázat egyik nagy erénye. A jelenlegi állomásépület nem csak építészeti, várostörténeti, hanem komoly anyagi értéket is képvisel. Egyet tudok érteni a Tervező meggyőződésével, hogy az épület gazdaságosan felújítható, eredeti építészeti értékére felújítható és a régi állomásépület az új építészeti elemekhez szervesen kapcsolható.

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

Véleményem szerint az intermodalitás a közlekedés feltételeinek kialakítása a közlekedési munkamegosztás optimalizálhatósága alapján. Intermodális közlekedési csomópont kialakítása egy olyan városépítészeti, építészeti és közlekedéstervezési eszközökkel történő városfejlesztési beavatkozás, amivel egy modern, mindenki által használható, a különböző közlekedési módok közötti intermodalitást megteremtő Központ jön létre. Meggyőződésem szerint az, hogy a járműközlekedés elborítja városainkat, az ma a fő probléma. Ennek a járműfolyamnak egy hatékony fékje van: a közösségi közlekedés helyzetbe hozása, versenyképessé tétele, a városon belül és az agglomerációs forgalomban. A közösségi közlekedés legkritikusabb pontja pedig az átszállás. Ennek ismeretében érdemes az intermodális csomópontok jelentőségét értékelni.

Az Intermodális Közöségi Közlekedési Központ létrehozása Debrecenben projekt megvalósítása – példaértékűen más városok számára – megújíthatja és átrendezheti Debrecen tömegközlekedési rendszerét, és egy olyan közlekedésfejlesztési hullámot indíthat el, amellyel a város felzárkózhat azon nyugat-európai nagyvárosok sorába, ahol az egyéni közlekedéssel szemben előtérbe hozták a tömegközlekedést, és egy környezettudatosabb közlekedési kultúrát sikerült megteremteniük. Szem előtt kell tartani azonban azt, hogy nagyvárosaink jelenleg egymás vetélytársai a támogatásokért folytatott harcban. Eközben nem lenne szabad elfelejtenünk, hogy céljaink és problémáink közösek. Ez azt jelenti, hogy minden városnak vizsgálnia és mérlegelnie kellene a fejlesztési elképzeléseinek mértékét és megvalósíthatóságát, a sikeresen lezajlott tervpályázatok szempontrendszerének determinációját, a pályázati lehetőségek által meghatározott kereteket és a pályázati forrást biztosító fél szabályozási elveit azért, hogy ennek figyelembevételével nagy eséllyel pályázhassanak az Európai Unió által biztosított forrásokra, hogy újabb és újabb sikeres projektekkal és új intermodális csomópontokkal megváltoztathassák a városuk regionális kapcsolatrendszerét és a városi teret magát.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BERETVÁS K., GARA K.**, *A múltra épülő jövő*, DKV Debreceni Közlekedési Zrt. Nagy Attila vezérigazgató, Debrecen, 2014.
- [2] **GAZDASÁGI ÉS KÖZLEKEDÉSI MINISZTERIUM**, *Egységes Közlekedésfejlesztési Stratégia (2007-2020 Fehér Könyv)*. Budapest, 2007.
- [3] **EURÓPAI BIZOTTSÁG**, *A Bizottság közleménye EURÓPA 2020 (Az intelligens, fenntartható és inkluzív növekedés stratégiája)*, 2010., pp. 18.
- [4] **EURO-RÉGIÓ HÁZ KÖZHASZNÚ NONPROFIT KFT.**, INNOVA Észak-Alföld Regionális Innovációs Ügynökség, *Debrecen Megyei Jogú Város Településfejlesztési Konceptiója és Integrált Településfejlesztési Stratégiája 2014-2020*, DMJV Önkormányzata, Debrecen, 2013.
- [5] **MAGYAR ÚTÜGYI TÁRSASÁG**, *Intermodális Közöségi Közlekedési Csomópontok (tervezési és bírálati útmutató)*, Nemzeti Fejlesztési Ügynökség, Budapest, 2012., p. 3-4., pp. 7.
- [6] **H. KNOFLACHER**, *Az autómentes városfejlesztés lehetőségei Európában*. 2006.

- [7] **MADARASSY J. (szerk.),** *A sikeres város titka (Válogatás az V. Nemzetközi Konferencia az Autómentes Városokért előadásaiból)*, Levegő Munkacsoport – Magyar Közlekedési Klub, Budapest
- [8] **<http://epulettar.hu/projekt/budai-intermodalis-kozpont-bik-torokbalint>** (az intermodális központ értelmezése) Letöltés: 2014. márc. 12.
- [9] **[http://mut-mutato.blog.hu/2013/03/11/varost\\_fejlesztunk\\_vagy\\_kozlekedest](http://mut-mutato.blog.hu/2013/03/11/varost_fejlesztunk_vagy_kozlekedest)** (az intermodális központ értelmezése) Letöltés: 2014. márc. 12.

# CSAVARKÖTÉSEK OLDÁSI NYOMATÉKÁNAK VIZSGÁLATA

## BREAKAWAY TORQUE INVESTIGATION OF BOLT COUPLING

Konyári Mariann<sup>1</sup>, Juhász György<sup>2</sup>

<sup>1</sup>3. éves gépészmérnök BSc. hallgató  
Debreceni Egyetem – Műszaki Kar – Gépészmérnöki Tanszék  
[mariann.konyari@gmail.com](mailto:mariann.konyari@gmail.com)

<sup>2</sup>egyetemi docens  
Debreceni Egyetem – Műszaki Kar – Gépészmérnöki Tanszék  
[juhasz@eng.unideb.hu](mailto:juhasz@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A kutatás során megvizsgáltuk, hogy hatással van-e a csavarkötés oldási nyomatékára az, ha a folyékony csavarrögzítőket különböző anyagpárosításokkal alkalmazzuk. Összehasonlítottuk a sav- és lúgálló acél menetes szár + saválló anya párosítását, illetve a saválló acél + horganyzott acél, kezeletlen acél + réz, kezeletlen acél + horganyzott acél, továbbá horganyzott acél + horganyzott acél anyagpárosításokat. Folyékony csavarrögzítőként a Loctite termékeit alkalmazzuk. A kutatás elsődleges célja az volt, hogy a korábbi vizsgálatok során kapott eredményeket bővítsük, így egyre átfogóbb képet kaphassunk a ragasztók tulajdonságairól.

**Kulcsszavak:** Loctite csavarrögzítők, anyagpárosítás, oldónyomaték, vizsgálat, sav- és lúgálló acél

**Abstract:** During the research we examined, that it is in effect the breakaway torque of screw connections, if we use the Loctite threadlockers with different types of material pairs. In this context, we tested stainless steel threaded rod (marked A4) + stainless nut (marked A4), stainless steel + galvanized steel, untreated steel + copper, untreated steel + galvanized steel, and galvanized steel + galvanized steel material pairs. For threadlocking fluid we used the products of Loctite. This part of the research was intended that we expand the results and knowledge of previous tests, thus we gain a more comprehensive picture of the properties of adhesives.

**Keywords:** Loctite threadlockers, material pairs, breakaway torque, investigation, stainless steel


### 1. A KUTATÁS TÉMÁJA

Napjainkban az egyik legelterjedtebb kötési mód a ragasztás, az egyik leggyakrabban használt kötőanyag a ragasztó. Szinte mindenütt találkozunk ragasztott tárgyakkal, anélkül, hogy a ragasztás tényét érzékelnénk. Egyre gyakrabban alkalmazzák az iparban és a mindennapi életben is, legyen az akár gyártási, karbantartási, vagy javítási tevékenység. Mindinkább tért hódít a hagyományos rögzítési módokkal szemben, mert korszerűbb, nagyobb szilárdságú rögzítéseket tesz lehetővé, és többnyire egyszerűsíti a munkafolyamatokat, valamint a ragasztók kiváló védelmet nyújtanak a korrózió ellen is.

A kutatás során megvizsgáljuk, hogy hatással van-e a csavarkötés oldási nyomatékára az, ha a folyékony csavarrögzítőket különböző anyagpárosításokkal alkalmazzuk.

## 2. ANYAG ÉS ESZKÖZRENDSZER

### 2.1. A méréshez használt anyagok

Horganyzott metrikus finom hatlapú anya (M8)	
A4 jelzésű sav- és lúgálló acél metrikus finom hatlapú anya (M8)	
Réz metrikus finom hatlapú anya (M8)	
Horganyzott menetes szár (M8)	
Kezeletlen acél menetes szár (M8)	
A4 jelzésű sav- és lúgálló acél menetes szár (M8)	

1. táblázat. A méréshez felhasznált anyagok

### 2.2. Loctite csavarrögzítők



1. ábra  
Loctite 243  
Közepes szilárdságú  
csavarrögzítő [1]



2. ábra  
Loctite 270  
Nagy szilárdságú  
csavarrögzítő [1]



3. ábra  
Loctite 2400  
Health&Safety termék  
[1]

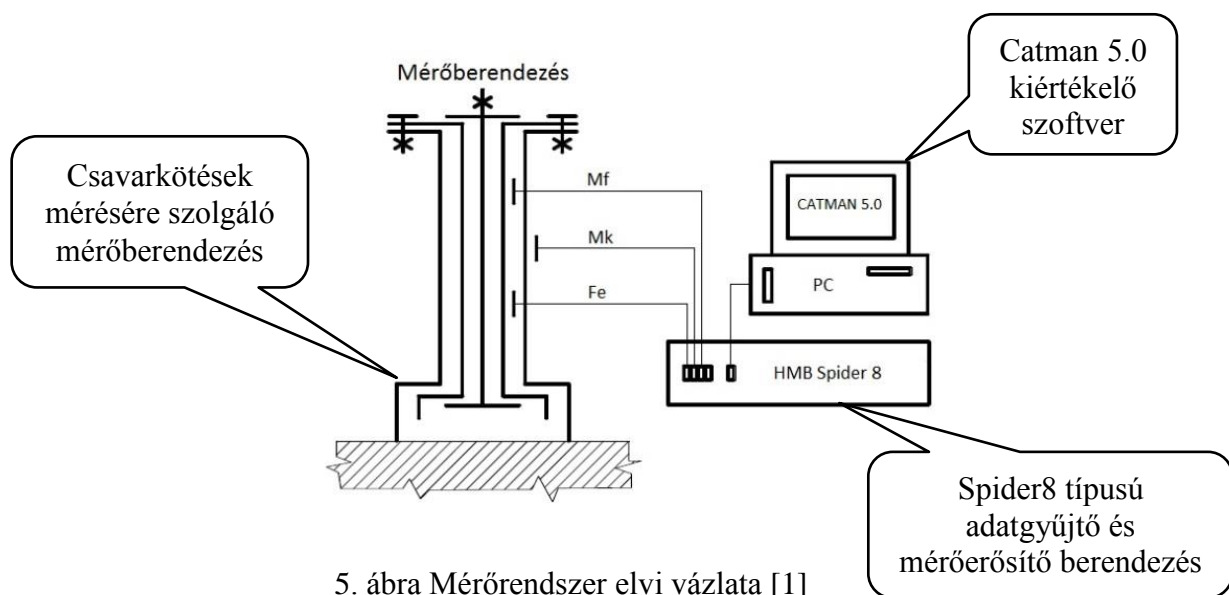


4. ábra  
Loctite 2700  
Health&Safety termék  
[1]

Megjegyzés: A Health&Safety kifejezés azt jelenti, hogy egyik csavarrögzítő sem hordoz semmilyen veszély szimbólumot vagy kockázatot. Emellett nem tartalmaznak feltüntetendő rákkeltő, mutagén és reprodukciós mérgezőanyagokat sem. [1]

### 2.3. Mérőrendszer

A 5. ábrán láthatjuk a csavarkötések mérésére szolgáló berendezést, melybe a csavarokat fogattuk. A mérőberendezés nyúlásmérő bélyegei mechanikai deformációk hatására változtatják az elektromos ellenállásukat. Így a nyúlásmérő bélyegek elektromos jeleket produkálnak és ezen értékek adatbegyűjtése számítógéppel vezérelt mérőrendszerrel történik. Az elektromos jellel átalakított nyomtatók értékeit egy Spider8 mérőerősítő fogadja. Ezeket a jeleket átalakítva a CatmanEasy szoftver segítségével tudjuk grafikus úton ábrázolni és kiértékelni. A mérőrendszer alkalmas kulcsnyomaték, felhajtási nyomaték és előfeszítő erő mérésére. Mivel a csavaranyák a ragasztás során nem voltak befeszítve a méréshez a kulcsnyomaték adatait használtuk fel.



5. ábra Mérőrendszer elvi vázlata [1]

### 3. MÉRÉSI MÓDSZER

A vizsgálatok a következő lépésekből álltak:

- 1) Ragasztandó felületek előkezelése: Loctite 7063-as tisztítóval zsírtalanítottuk a ragasztandó felületeket. Ez rendkívül fontos, ugyanis a ragasztott kötés szilárdságát az illesztési felületek és a ragasztóanyag közötti adhézió határozza meg. A kötés annál szilárdabb, minél alaposabban megtisztítjuk a felületeket.
- 2) Ragasztóanyag felhordása az előkezelt felületekre: A Loctite-csavarrögzítők olyan adagoló csőrrel rendelkeznek, melynek segítségével a ragasztóanyag közvetlenül a tubusból felhordható. Kézi pontszerű felhordást alkalmaztunk, hiszen a rögzítő hatáshoz elég, ha csak egy oldalra hordjuk fel a ragasztóanyagot, mert az a csavar becsavarásakor több csavarmeneten egyenletesen eloszlik. A felhordásnál ügyelni kell, hogy a kötésben a hézag teljesen ki legyen töltve.
- 3) Kikeményedési idő: A ragasztási folyamat után 24 óráig szobahőmérsékleten hagytuk kikeményedni a csavarrögzítőket.
- 4) Oldási nyomaték mérése: A kikeményedési idő után elkezdtek a méréseket. A mérőberendezés „Mk” kimenetét csatlakoztattuk a Spider8 mérőerősítő középső bemenetéhez. A mérőerősítőt egy USB kábel segítségével kötöttük össze a PC-vel. A távtartót – a beleerősített csavarral együtt - a csavarkötések mérésére szolgáló mérőberendezésbe helyeztük, majd rögzítettük. Elindítottuk a CatmanEasy szoftvert, a

„valós idő” opcióval nulláztuk a nyomaték értéket, majd elkezdtük a mérést. Meghúztuk az anyát, az oldónyomaték értéke az idő függvényében azonnal megjelent a képernyőn diagram formájában. A mért értékek kiértékelését Excel táblázatkezelő szoftver segítségével végeztük, az átlagokat és szórásokat a beépített függvényekkel számoltuk.

#### 4. MÉRT ADATOK

A 2. táblázatban láthatjuk a ragasztókhöz tartozó oldónyomatékok átlagértékeit az anyagpárosítások függvényében.

Anyagpárosítások	Loctite 243 [Nm]	Loctite 270 [Nm]	Loctite 2400 [Nm]	Loctite 2700 [Nm]
horganyzott acél + horganyzott acél	4,754	8,566	5,079	3,504
kezeletlen acél + horganyzott acél	3,671	6,534	5,530	10,95
saválló acél + horganyzott acél	6,139	10,92	5,935	11,57
kezeletlen acél + réz	4,408	13,72	3,812	11,18
saválló acél + saválló acél	-	35,03	-	-

2. táblázat Összefoglaló táblázat a mért adatokról [Forrás: saját készítésű]

- A Loctite 243-as esetében az A4-es jelzésű sav- és lúgálló acél menetes szár + horganyzott anya párosításnál mértük a legmagasabb oldónyomatékokot, míg a kezeletlen acél menetes szár + horganyzott anya párosításnál a legalacsonyabbat.
- A táblázatból jól látszik, hogy a Loctite 270-es használatával minden anyagpárosításnál magasabb oldónyomatékokot mértünk, mint a másik 3 vizsgált csavarrögzítő esetében.
- A Loctite 2400-assal 3 esetben közel azonos oldónyomatékokot mértünk, míg acél + réz párosításnál 31%-kal kisebbet.
- Mivel a Loctite 2700-assal a horganyzott menetes szár + horganyzott anya párosításnál közel 70%-kal kisebb oldónyomatékokot mértünk, mint az egyéb párosítások esetében, ezért arra következtettünk, hogy az első mérésünknel technológiai pontatlanság lépett fel. Valószínűleg kevesebb csavarrögzítőt jutattunk fel a ragasztandó felületre, így a résekben oxigén maradt, aminek következtében nem keményedett ki a ragasztó teljes egészében.
- Ha az anyagpárosítások szempontjából értékeljük a mért oldónyomatékokokat, azt látjuk, hogy a sav- és lúgálló acél + horganyzott acél párosításnál a 243-as, 2400-as, és 2700-as csavarrögzítők erősebb kötést biztosítottak, mint a többi párosítás esetében.
- Az A4-es jelzésű menetes szár és szintén A4-es jelzésű anya párosítását egyelőre csak Loctite 270-essel vizsgáltuk, de ebben az esetben az egyéb vizsgált párosításokhoz tartozó oldónyomatékok többszörösét mértük. Így a későbbi méréseinknél arra számítottunk, hogy a 243-as, 2400-as és 2700-as esetében is arányaiban ugyanilyen kiugró értékeket fogunk kapni.



## 5. KÖVETKEZTETÉSEK

A folyékony csavarrögzítők vizsgálata során sok következtetés vonható le, mind a csavarrögzítők tulajdonságairól, mind a technológiáról. Az egyik legfőbb következtetés az, hogy a 4 vizsgált csavarrögzítő közül a Loctite 270-es a legerősebb, így erősebb vibrációnak kitett gépekhez a 4 közül ezt ajánljuk. Az anyagpárosításokat tekintve szinte mind a sav- és lúgálló acél + horganyzott acél párosításnál biztosította a legerősebb kötést az eddig vizsgált párosítások közül. A kutatás arra is rávilágított, hogy mennyire fontos pontosan betartani a technológiai utasításokat. A jövőbeli terveink között szerepel további anyagpárosítások vizsgálata.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **KONYÁRI M.:** *Csavarkötések oldási nyomatékának vizsgálata* (TDK dolgozat 2014)
- [2] <http://rolling.hu/kereses/M10+ANYA.php> (Letöltés dátuma: 2015.05.28. 16 óra 32 perc)
- [3] <http://www.trendix.hu/csavararuk+es+rogzitestechika/anyag/din++934+htl+anya+sargar ez+1/> (Letöltés dátuma: 2015.05.28. 16 óra 45 perc)
- [4] <http://www.pauer-land.hu/index.php?oldal=2&kat=1575&termek=45104> (Letöltés dátuma: 2015.05.28. 16 óra 57 perc)
- [5] [http://www.fischerwebshop.hu/g\\_82\\_m\\_8\\_metrikus\\_menetes\\_szar\\_2m\\_4055](http://www.fischerwebshop.hu/g_82_m_8_metrikus_menetes_szar_2m_4055) (Letöltés dátuma: 2015.05.28. 17 óra 05 perc)
- [6] [http://baksacsavar.hu/menetes\\_szar\\_48\\_din975.html](http://baksacsavar.hu/menetes_szar_48_din975.html) (Letöltés dátuma: 2015.05.28. 17 óra 10 perc)

# PONTMEGFOGÁSÚ ÜVEGEK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

## LABORATORY EXPERIMENTS OF POINT FIXED GLASSES

Rénes Máté<sup>1</sup>, Jakab András<sup>2</sup>, Nehme Kinga<sup>3</sup>, Nehme Salem Georges<sup>4</sup>

<sup>1</sup>BSc hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, renesmate@gmail.com

<sup>2</sup>Ph.D hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, jakab.andras@epito.bme.hu

<sup>3</sup>egyetemi docens, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék, kpankhardt@yahoo.com

<sup>4</sup>egyetemi docens, laborvezető, BME Építőanyagok és Mg. Tanszék, sgnehme@yahoo.com

**Kivonat:** A modern pontmegfogású üveghomlokzati rendszerek megjelenése nagy újítás volt a korábbi strukturális homlokzatképzésekhez képest. A homlokzati szerkezetekhez felhasznált acél felületek mennyisége jelentősen lecsökkent az elmúlt évtizedekben. A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumában kísérleteket végeztünk, ahol pontmegfogású üveghomlokzatok pontmegfogó szerelvény kiszakítását vizsgáltuk a felületre merőlegesen, reprezentálva egy pontmegfogó környezetében az üveg viselkedését. Kísérleteinkben mértük az üveglapok elmozdulását, alakváltozását és a felvett erőt. A kísérleti eredményeket monolitikus és többrétegű üvegek esetében is kiértékeljük. Az eredmények alapján megállapításokat tettünk, milyen típusú üvegek alkalmazása a legmegfelelőbb a homlokzatot érő igénybevételek elviselésére.

**Kulcsszavak:** üveg, pontmegfogás, kiszakítás, üveg homlokzat

**Abstract:** The appearing of the modern point fixed glass façade system was a high step development in the earlier structural façade planning. However the used steel surfaces is constantly reducing in the last decades. Nowadays the facades consist fast glass material and only a little part is the steel. The safety is important in every building materials especially glass materials. Laboratory experiments were carried out in the BME, Department of Construction Materials and Technologies to analyse the behaviour of point fixed glasses with pull-out test under quasi-static load. The strain, the load force and the vertical displacement of the specimen were recorded. Single and laminated glasses were analysed with two different length. Based on the laboratory results, the authors recommend the most appropriate glass type for the point fixed glass façades.

**Keywords:** glass, point fixing, pull-out test, glass facade

## 1. BEVEZETÉS

Tartószerkezeti szempontból az üvegek felhasználása már nem „újkeletű”, alkalmazzuk homlokzatoknál, oszlopoknál, lizénák/ bordák, födémelek anyagaként, vagy akár építhetünk hidat is üvegből. Azonban jelenleg magyar méretezési szabvány nincs hatályban csak tanácsok és ökölszabályok állnak rendelkezésre. Üvegszerkezetek tervezése során az építési üvegek sajátosságos tulajdonságaira külön figyelmet kell fordítani. [1,2]

Jelen cikkben az üveg héjazatú homlokzatokat vizsgáljuk, pontosabban az üveg és pontmegfogó között létrejött mechanikus kapcsolatot. Célunk az üveg, mint tartószerkezeti elem, újabb tulajdonságainak és viselkedésének pontosabb megismerése, a tervezésének segítése és irányelvek megfogalmazása.

## 2. LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK ÉS KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁS

### 2.1. Kísérleti terv

A BME Építőanyagok és Magasépítéstan Tanszék laboratóriumában kiszakításos kísérleteket végeztünk különböző nagyságú és vastagságú, furatlyukas üveglapokon. (I. táblázat) Ezekben a kísérletekben az üvegek teherbírását, elmozdulását, illetve a hosszirányú és keresztirányú megnyúlást is vizsgáltuk a lyuk környezetében, a szél szívást, illetve nyomást

modellezve. A kapott eredmények alapján megállapításokat tettünk a pontmegfogású üvegek teherbírás-elmozdulás tulajdonságaira a különböző típusokat és méreteket figyelembe véve.

		Float	TVG	ESG
<b>360x460</b>	<b>6</b>	2	3	2
	<b>12</b>	2	-	5
	<b>6.6</b>	1	2	2
<b>360x860</b>	<b>6</b>	-	2	2
	<b>12</b>	1	-	5
	<b>6.6</b>	2	4	2

1. táblázat Vizsgálatoknál alkalmazott üvegek darabszáma típusonként

Az eredmények összehasonlítása a megfogalmazott kísérleti állandók és változókon alapulnak.

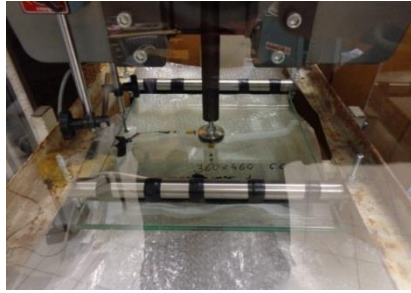
- Állandó paraméterek voltak:
  - terhelési sebesség: 0.5mm/perc
  - üveglapok szélessége 360 mm
  - pontmegfogó szerelvény típusa (szilikonnal együtt): R50SSS
  - a kísérleti berendezés minden paramétere, anyaga: gumik, menetes szár, esztergált acélhengerek, acéllemez, szögacél
  - lamináló fólia: EVA, 0.38 mm.
- Változó paraméterek voltak:
  - üvegek típusai: Float, TVG, ESG
  - névleges vastagság: egyrétegű 6 mm, 12 mm, kétrétegű: 2×6 mm
  - üvegek hossza: 460 mm, 860 mm.

## 2.2. Kísérleti elrendezés

A próbatesteket Instron 5989 típusú szakító/nyomó géppel terheltük az üvegek tönkremenetelig, ez az egyrétegű üvegeknél a törés pillanatát jelentette. Kétrétegű üvegeknél a második üvegréteg eltöréséig terheltük a próbatestet. Mértük a pontmegfogásnál létrejött függőleges elmozdulást és húzó erőt, (1. ábrán látható), valamint az üveg szélétől 10 mm-re mértük szintén az elmozdulást, ami a pontmegfogó és az üveg széle közötti elmozdulás különbséget eredményezett. Nyúlásmérő bélyegekkel mértük az alakváltozást két irányban a pontmegfogó környezetében.

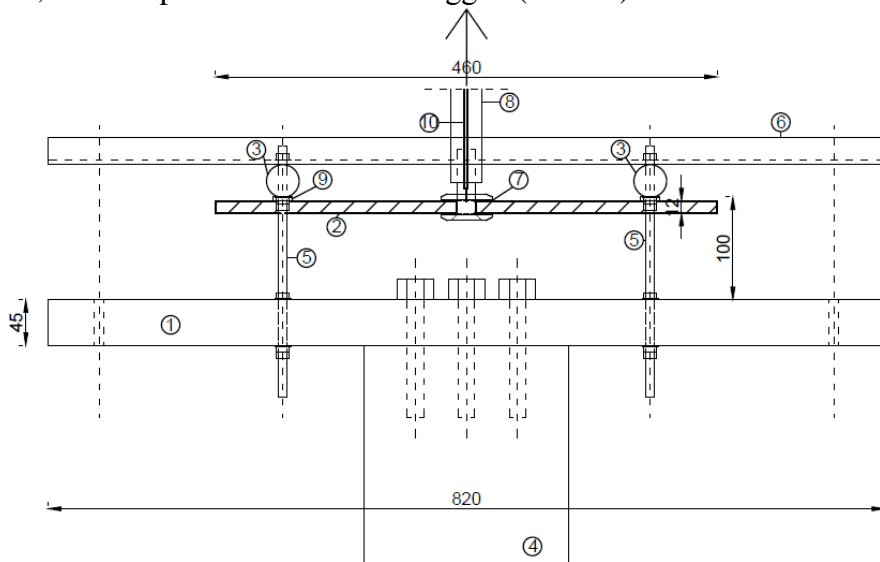
Az 1 és 2. ábrák szemléltetik, hogy az üvegeket kéttámaszú tartóként vizsgáltuk. Az elrendezésnek alapját képezi egy 5 cm vastag tömör acéllemez, melynek megfelelő hajlítási ellenállása van. Menetes szárok segítségével szimmetrikusan 360 és 720 mm-es távolságokkal köracélt szereltünk fel, ami a terhelés során megtámasztotta az üveget. Az üveg és acél nem érintkezhet, ezért Shore A 80-as gumit alkalmaztunk távtartóként. Az üveget pontmegfogó fej alkalmazásával központosan húztuk függőlegesen felfelé.

Ebben az elrendezésben az egyrétegű üvegek felső felülete lett húzott és alsó felületük nyomott, ezért a legnagyobb húzófeszültség a felső oldalon keletkezett.



1. ábra 2×6 mm vastag 360x460-as Float üveg terhelés közben

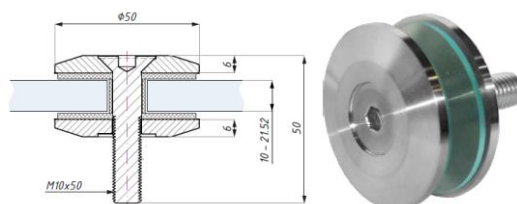
A pontmegfogó függőlegesen felfelé mozgatása közben a rendszer annyira rugalmas, hogy vízszintes irányban el tud mozdulni a támasz, ezért azt két szögacél merevítette egymáshoz. Ezzel az elrendezéssel egy olyan megtámasztást alakítottunk ki, ami két végén konzolos, megtámasztásoknál csuklós kialakítású. A felfelé mozgatással kvázi statikus terhelést alkalmaztunk, 0,5 mm/perc-es húzási sebességgel. (2. ábra)



2. ábra Kísérleti berendezés rajza, felső kép: felülnézet, alsó kép: oldalnézet (saját tervezés)

Jelmagyarázat: 1- Acéllemez; 2- Üveglap; 3- Acélhenger; 4- Instron keresztfej, 5- Menetes szár; 6- Szögacél; 7. Szilikongyűrű; 8- Menetes acélhenger, 9- Gumi, 10- Relatív elmozdulást mérő útdadó

A pontmegfogó acél szerelvényeket az üveglaptól szilikon réteg választotta el, illetve a furatlyukban az átmenő csavart az üvegtől egy műanyag gyűrű (6 mm-es üveg vastagság esetén szigetelőszalag). A pontmegfogó szerelvényre egy esztergált menetes acél hengert helyeztünk fel, amit közvetlen megfogattuk Instron felső keresztfejével. A pontmegfogó így merev csomóponti kialakítású volt. (3. ábra)



3. ábra Pontmegfogó szerelvény - R50SSS, CDA [3]

### 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

#### 3.1. Általános megállapítások

Az üvegnél is, mint minden más anyagnál, a hibák környezetében indulhatnak meg a repedések, a tönkremenetel. Megvizsgáltuk a 12 mm vastag és a 6.6-os laminált üvegeket digitális mikroszkóppal. 50-szeres nagyítás mellett szemrevételeztük az üvegek élmegmunkálását, illetve a furatlyuk kagylósodásait és az egyéb esetleges hibákat. A képeket digitális mikroszkóp DinoCapture nevű szoftverével rögzítettük.

Általánosan megállapítható, hogy a repedések furatlyuk tartományoknál indultak ki, és ha az él mentén volt valamilyen hiba, akkor oda futottak ki. Egy pontból akár több repedés is kiindult (4. ábra). Kísérletekben az azonos paraméterekkel rendelkező üvegeknél, az anyagi inhomogenitás miatt, az eredmények akár több száz Newtonnal is eltértek egymástól.



4. ábra a) furatlyuk kagylósodása, b) csiszolási hibák és a két üvegréteget nem pontosan laminálták egymásra - elcsúsznak a rétegek; c) perem kagylósodása

#### 3.2. Törésképek

A vizsgálatok során az eltört üveglapokat szemrevételeztük és elemeztük a törésképeket a különböző típusú üvegeknél.

Az 5. ábrán látható, a repedések minden üvegtípus esetében középen, a furatlyukak hibáiból (kagylósodás) indultak ki.

A normál float üveglapok két darab részre - a pontmegfogó furatlyuk körül - kisebb, illetve onnan a közelebbi élek felé kifutó repedések mentén, nagyobb szilánkokra tört.

Az előfeszített (TVG) üvegek esetén érdekes megfigyelni, a furatlyuk körüli „pillangó” törési alakzatot. Ennek a törésképek magyarázata, amikor felerősítettük a pontmegfogó szerelvényeket az üveglapokra, akkor lokálisan nyomást vittünk bele az üvegbe, ott ahol nem tört össze a pontmegfogó környezetében az üveglap, továbbá a hajlításból származó furatlyuk körüli feszültségek síkbeli eloszlását tükrözi. A repedések vonalai előfeszített üveg esetében jól követik a feszültségi trajektória vonalakat.

Edzett (ESG) üvegek a furatlyuk felől kiinduló repedések mentén törtek kis szilánkokra, csak úgy, mint a nagyméretű üvegeknél.

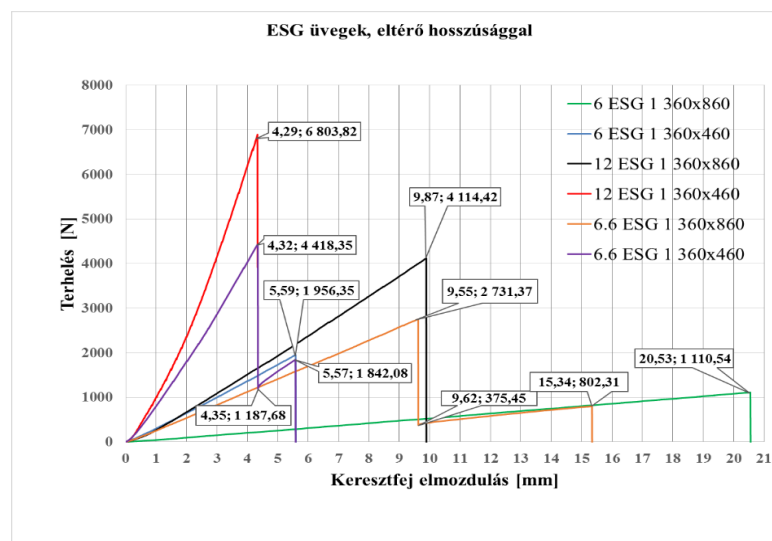


5. ábra 360×460-as üvegtáblák törésképei. Balról jobbra: ESG, TVG, normál float

### 3.3. Erő – elmozdulás eredmények értékelése

Az 6. ábrán megfigyelhető, hogy az edzett 6 mm-es üveglapok alakváltozása a legnagyobb mértékű. 6 mm-es float üvegeknél ez az érték csak 1.64 mm volt, TVG üvegeknél már 4.58 mm, edzett üvegeknél pedig már 5.59 mm. Látható, az üveg hőkezeléssel való erősítése esetén, jelentősen javul az alakváltozási képessége, és a teherbírása. Az elmozdulásnál százalékosan kifejezve 71 % eltérés az ESG üvegekhez képest, míg a TVG és ESG üvegek között az eltérés csak 19 %. Ez viselkedés figyelhető meg a nagyobb, 860 mm-es üveglapok esetében is, viszont itt az előfeszített és az edzett üveglapok között is jelentős az eltérés alakváltozások tekintetében, mely 31 %-ra adódott.

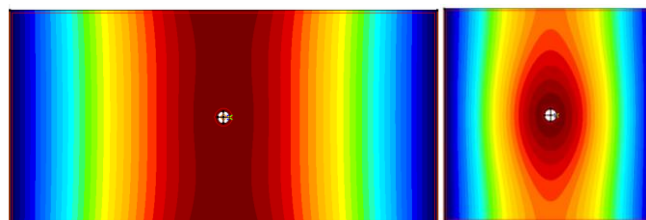
Megállapítható, ha nagyobb felületen terheljük az üveglapokat, akkor a hőerősítés mértékétől függően közel kétszer nagyobb alakváltozást és fele akkora teherbírást viselnek el az üveglapok, mint fele akkora terhelési felület esetén.



6. ábra Eltérő élhosszúságú edzett üveglapok összehasonlítása

### 3.4. Végeelemes modell

Közelítő számítógépes modellt építettünk a kísérleteink reprezentálására, illetve későbbi, összetettebb modell megalkotásának a céljából. Az üvegeknél megfigyelhető, hogy a kisebb méretű üvegtáblák esetében a furatlyuk környezetében mért elmozdulás eltér az üveglap szélein. Ez az elmozdulás különbség nagyobb üvegtáblák esetén lecsökken, az oka a nagyobb méret, és az ebből adódó nagyobb alakváltozás, vagyis a kisebb hajlítási merevség. (7. ábra)



7. ábra Bal kép: 6 mm-es nagyméretű tábla elmozdulása, Jobb kép: 6 mm-es kisméretű tábla elmozdulása

Megállapítható, hogy a legnagyobb biztonsággal előfeszített illetve edzett üvegekből felépülő laminált (TVG/VSG, ESG/VSG) üvegeket alkalmazhatunk tartószerkezeti célokra. Ezt indokolja a nagyobb teherbírásuk valamint az egységesnek mondható viselkedésük. Megjegyezzük, hogy csupán edzett üvegek réteg alkalmazásával a maradó teherbírás nem biztosítható, továbbá a hőerősítésnek nincsen hatása az üvegek merevségére.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérleti tervben meghatározott pontmegfogású üvegeken végeztünk kihúzó vizsgálatokat. Célunk a pontmegfogásos homlokzati üvegek viselkedésének megismerése és modellezése, tervezést segítő eljárások és összefüggések megalkotása. Kísérleteink során megállapítottuk, hogy a repedések a furatlyukak környezetéből, jellemzően a lokális hiba helyeknél indultak ki. Előfeszített üvegek esetén kialakuló „pillangó” töréskép a terhelési elrendezés és a furatlyuk környezetében kialakuló síkbeli feszültségek következménye. Az üveglapok erő – elmozdulás összefüggése alapján megállapítottuk, hogy a laminált hőkezelt üveglapoknál a felső réteg törése és az üveglap mérete befolyásolta az él menti elmozdulás és a középső elmozdulás különbségét. Megfigyeltük továbbá, hogy a nagyobb felületen terhelt üveglapok a hőkezelés mértékétől függően- akár közel kétszer nagyobb alakváltozást és fele akkora elmozdulást viselnek el, mint a fele akkora terhelési felületű üveglapok.

A közelítő számítógépes modellel is kimutattuk, hogy a nagyobb méretű üveglapok középső és szélső elmozdulásainak a különbsége lényegesen kisebb, mint kisméretű 360×460 mm-es üveglapok esetén volt.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők megköszönik a Rákosy Glass Kft.-nek, hogy rendelkezésre bocsajtották a kísérletekben alkalmazott üvegeket, valamint a Struktúra Kft. munkatársának Eipl Andrásnak a terhelési berendezés elkészítésében való közreműködését. A szerzők köszönik a BME Építőanyagok és Magasépítéstan Tanszéknek a laboratóriumi berendezések használatának lehetőségét.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PANKHARDT K** 2012 *Teherhordó üvegek. Testing of Construction Glasses* (Saarbrücken: Lap Lambert, ISBN: 978 3 8473 2191 0
- [2] **JAKAB A, NEHME K, NEHME S G,** *Üvegoszlopok viselkedése központos teherre*, 2014 ÉPKO, 118-121.
- [3] CDA katalógus (<http://www.cdakcesoria.pl/filestorage/do-pobrania-katalog-tech/cda-katalog-techniczny-2015.pdf>, Letöltés ideje: 2015.06.19.)

# RONCSOLÁSMENTES BETONVIZSGÁLÓ MÓDSZEREK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA C30/37 NYOMÓSZILÁRDSÁGOT MEGHALADÓ BETONOK ESETÉBEN

## EXAMINATION OF APPLICABILITY OF NON-DESTRUCTIVE TESTING METHODS OF CONCRETE WITH EXCEEDING COMPRESSIVE STRENGTH CLASS OF C30/37

**Frankó Mihály<sup>1</sup>, Nehme Kinga<sup>2</sup>, Kovács József<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Építőmérnök, <sup>2</sup> Egyetemi docens, <sup>3</sup> Tanszéki mérnök

<sup>1</sup> Beton Technológia Centrum, Debreceni Laboratórium, <sup>2,3</sup> Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék

<sup>1</sup> frankomihaly@hotmail.hu, <sup>2</sup> kpankhardt@yahoo.com, <sup>3</sup> j.kovacss@gmail.com

**Kivonat:** Vizsgálatunk során az volt a célunk, hogy a roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek alkalmazhatóságát kiterjesszük a Borján-féle összefüggésen túl, azaz a C30/37 nyomószilárdságot meghaladó betonok vizsgálatához használható összefüggést írjunk fel. A méréseket 150×150×150 mm-es próbakockákon végeztük 2,7,14 és 28 napos korban ultrahangos betonszilárdság becselő készülékkel, Schmidt-kalapáccsal, majd végül törőgéppel. Az alkalmazott roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek a Borján módszer szerint rendre alábecsülték a tényleges nyomószilárdsági értéket: a Schmidt-kalapács nagymértékű, 40,81%-os átlagos alábecslést adott, míg az ultrahanggal való szilárdságbecslés 16,60%-kal becsülte alá a betonok nyomószilárdságát. A Schmidt-kalapáccsal mért átlagos visszapattanási értékhez tartozó és a törés által meghatározott nyomószilárdságok között lineárisan növekvő összefüggést, míg az ultrahang terjedési sebessége és a beton nyomószilárdsága között exponenciálisan emelkedő összefüggést tapasztaltunk.

**Kulcsszavak:** betonvizsgálat, roncsolásmentes módszer, Schmidt-kalapács, ultrahang, nyomószilárdság

**Abstract:** Our goal was in the present study to extend the applicability of non-destructive testing methods of concrete strength classes exceeding of C30/37 and the Borján's method to estimate the compressive strength. Laboratory experiments were carried out on cube specimens with edge length of 150 mm at ages of 2,7,14 and 28 days as well. Ultra pulse velocity and Schmidt hammer non-destructive testing methods and compressive strength tests were performed too. The non-destructive concrete testing methods, according to Borján's method underestimated the actual compressive strength value: Schmidt hammer test resulted an average of 40.81% underestimation, while in case of ultrasonic strength tests resulted 16.60% underestimation in the concrete compressive strength. Linearly increasing correlation was found between the average rebound value measured by the Schmidt hammer and the compressive strength, while exponentially increasing correlation was found between the ultrasonic pulse velocity and compressive strength.

**Keywords:** concrete testing, non-destructive method, Schmidt-hammer, ultrasonic pulse, compressive strength

## 1. BEVEZETÉS

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Anyag- és Szerkezetvizsgáló Laboratóriumában végeztük, ahol az volt a célunk, hogy a roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek alkalmazhatóságát kiterjesszük a Borján-féle összefüggésen túl, azaz a C30/37 nyomószilárdságot meghaladó betonok vizsgálatához használható összefüggéseket írjunk fel.

### 1.1. Betonvizsgáló módszerek

Ismeretes, hogy az elkészült műtárgyak mechanikai hatásokkal szembeni ellenálló képességéről meggyőződünk, különböző vizsgálatoknak kell alávetnünk a megszilárdult betonokat. Ezt az ellenálló képességet hagyományosan törővizsgálatokkal szokás meghatározni, azonban ehhez vagy próbatestre, vagy a kész betonból magminta vételére van



szükség. A roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek ettől eltérően, a különféle fizikai tulajdonságok mérése által adnak információt a beton szilárdságáról, megkímélve ezzel a szerkezetet. [1]

## 1.2. Vizsgálat Schmidt-kalapáccsal

A legelterjedtebb roncsolásmentes betonvizsgáló eszköz a betonok felületi keménységének mérésére a Schmidt-kalapács. A Schmidt-kalapács a rugalmas visszapattanás elvén működik; egy megfeszített rugó mozgásba lendít egy ütőtömeget, melynek segítségével energiát közvetít a vizsgált felületre, az ütés után a készülék rögzíti az ütőtömeg visszapattanásának mértékét.

Szerkezeti betonok Schmidt-kalapáccsal történő nyomószilárdság meghatározásához tapasztalati összefüggések használatára van szükségünk. A szilárdságbecslő összefüggés alkalmazhatóságát minden esetben bizonyítanunk kell az adott szerkezeti elemre vonatkozóan. Legtöbbször laboratóriumban elvégzett vizsgálatok eredményeinek regressziós becslése adja ezeket a gyakorlatban is használható összefüggéseket. [2, 3, 4]

$$f_{c,cube200} = 10^{[0,345(lg_r)^2 + 1,805lg_r - 2,159 + \Sigma\Delta]} \quad (1)$$

ahol:

- $f_{c,cube200}$  – 200 mm élhosszúságú kockán mért nyomószilárdság;
- $r$  – visszapattanás mértéke;
- $\Sigma\Delta$  – additív segédváltozó.

A Borján-féle Schmidt-kalapácsra vonatkozó becslő függvény általános alakját 200 mm-es kockán mérve az (1) egyenlet mutatja. Ezt használtuk a nyomószilárdságok számításához. Ez a függvény azonban Schmidt-kalapácson 41 alatt leolvasott visszapattanási értékekre vonatkozik, a mi méréseinkben pedig előltti visszapattanási értékek is szerepeltek, az általunk mért legnagyobb átlagos visszapattanási érték 45,23 volt. Ezért ennek a függvénynek az ellenőrzése, ill. a Schmidt-kalapács nagyobb nyomószilárdságú betonok vizsgálatára való kiterjesztése céljából megpróbáltunk függvénykapcsolatot felírni a visszapattanási értékek és a valós nyomószilárdságok között, ahogy azt majd a későbbiekben ismertetjük.

## 1.3. Ultrahangos betonszilárdság becslés

Az ultrahangos vizsgálat a hang terjedési sebességének és akusztikai veszteségeinek mérésein alapuló eljárás [1, 3]. A hullám terjedési sebességét az adó és vevő közötti távolság, valamint a hullám – készülék által mért – terjedési idejének hányadosa adja. A (2) egyenletben látható Borján-féle ultrahangos szilárdságbecslő függvény alapján számoltuk a nyomószilárdsági értékeket.

$$f_{c,cube200} = 10^{[(v-5760) \times (6,8 - \Sigma\Delta) 10^{-4} + 2,407]} \quad (2)$$

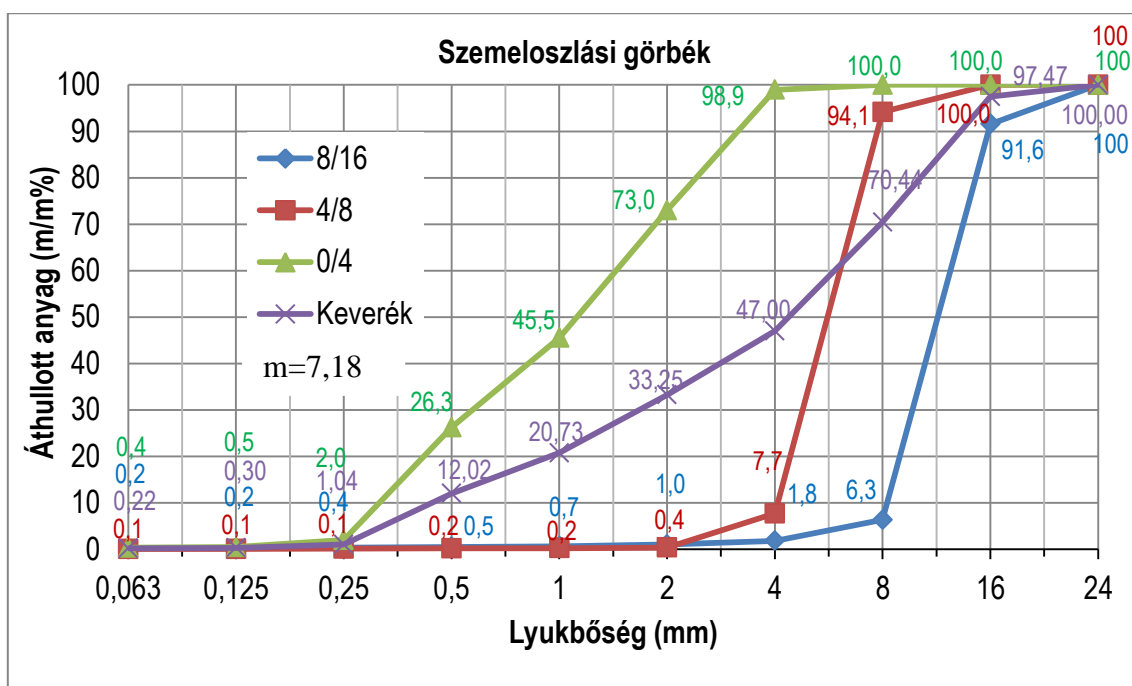
ahol:

- $v$  – az ultrahang terjedési sebessége.

## 2. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### 2.1. Betonreceptúrák ismertetése

A keverékeket nyolc betonreceptúra alapján készítettük el, melyeket különböző víz-cement tényezővel állítottunk össze. Kötőanyagként CEM II/B-S 42,5 N típusú kohósalak portlandcementet használtunk, melynek szabványos összetétel szerinti kiegészítő anyag tartalma 21-35% közötti, valamint kis részben kötésszabályzó anyagot is tartalmaz (gipszkő). Az adalékanyag természetes aprózódású, osztályozott, nyékládházi homokos kavics volt. A keveréket 0/4-es, 4/8-as és 8/16-os frakciókból állítottuk össze úgy, hogy a homok 45%-ot, az aprókavics 25%-ot a durvakavics pedig 30%-ot tett ki. Az így elkészített keverék a szemeloszlási határgörbék alapján I. osztályba sorolható (1. ábra). A homok (0/4-es frakció) finomrész tartalma 1,04 m/m%-nak adódódott.



1. ábra Az alkalmazott adalékanyag különböző frakcióinak és a keveréknek a szemeloszlási görbéi

A kívánt konzisztencia elérése érdekében Sika® ViscoCrete®-4025 Ultra típusú, polikarboxilát alapú, határ-felület aktív, nagy teljesítményű folyósítószer alkalmaztunk. A folyósítószernek köszönhetően 5-20%-kal csökkenthető a keverővíz mennyisége, továbbá javítja a megszilárdult beton tulajdonságait is.

A nyomószilárdság növelése érdekében a receptek közül kettő esetében (IV. és VI.) metakaolint is alkalmaztunk. A metakaolin természetes kaolinból égetéssel készülő és legnagyobb részben alumínium-szilikátot tartalmazó, fehér színű, porrá őrölt anyag. Szemcsemérete a cementénél jóval kisebb, a cement és a mikroszilika szemcsemérete közé esik. Fajlagos felülete 15000 m<sup>2</sup>/kg. A megfelelő égetési hőmérsékletnek köszönhetően nagy puccolános aktivitással rendelkeznek, ami által a betonban hidrát fázisok alakulnak ki. A kis szemcseméret, illetve a puccolános aktivitás hatására a beton szerkezete tömörebbé, valamint a környezeti és kémiai hatásokkal szemben ellenállóbbá válik, ezáltal növekszik a beton nyomószilárdsága.

## 2.2. A kísérlet menete

A méréseket 150×150×150 mm-es próbakockákon végeztük 2,7,14 és 28 napos korban. A 2 napos próbakockáknál csak vizes tárolásmódot alkalmaztunk, de a 7,14 és 28 naposoknál voltak vegyesen tárolt kockáink is. Így, egy receptúrához 21 próbatestre volt szükség, a nyolc recepthez összesen 168 darabra. Minden kockát megvizsgáltunk ultrahangos betonszilárdság becselő készülékkel, Schmidt-kalapáccsal, majd törőgéppel eltörtük őket.

## 3. EREDMÉNYEK

### 3.1. Konzisztencia

Meghatároztuk a keverékek területi mértékét, melyeket az 1. táblázatban tüntettünk fel az MSZ 4798-1:2004 szabvány [5] alapján hozzájuk tartozó konzisztencia osztályokkal. A konzisztencia vizsgálatok alapján F3-F4, azaz képlékeny osztályba sorolható frissbeton keverékeket állítottunk elő.

Jel	1. keverés-45 l		2. keverés-30,6 l	
	Terület (mm)	Konzisztencia osztály	Terület (mm)	Konzisztencia osztály
<b>I.</b>	430	F3	490	F4
<b>II.</b>	450	F3	465	F3
<b>III.</b>	445	F3	485	F4
<b>IV.</b>	470	F3	475	F3
<b>V.</b>	460	F3	485	F4
<b>VI.</b>	455	F3	455	F3
<b>VII.</b>	470	F3	480	F3
<b>VIII.</b>	475	F3	450	F3

1. táblázat A receptúrákhoz tartozó területek mértéke

### 3.2. Testsűrűség

A megszilárdult betonok sűrűségük szerint légszáraz állapotban és 28 napos korban mért testsűrűségek átlagai alapján szokványos betonoknak tekinthetők. (2. táblázat)

Jel	Tényleges testsűrűség (kg/m <sup>3</sup> )
I.	2267
II.	2363
III.	2348
IV.	2360
V.	2307
VI.	2336
VII.	2337
VIII.	2324

2. táblázat A különböző receptek keverékeinek testsűrűsége

### 3.3. Nyomószilárdsági osztályba sorolás

A nyomószilárdság alapján az MSZ 4798-1:2004 szabvány 7. táblázatának megfelelően a betonokat osztályba soroltuk, melyet a 3. táblázatban foglaltunk össze. [5]

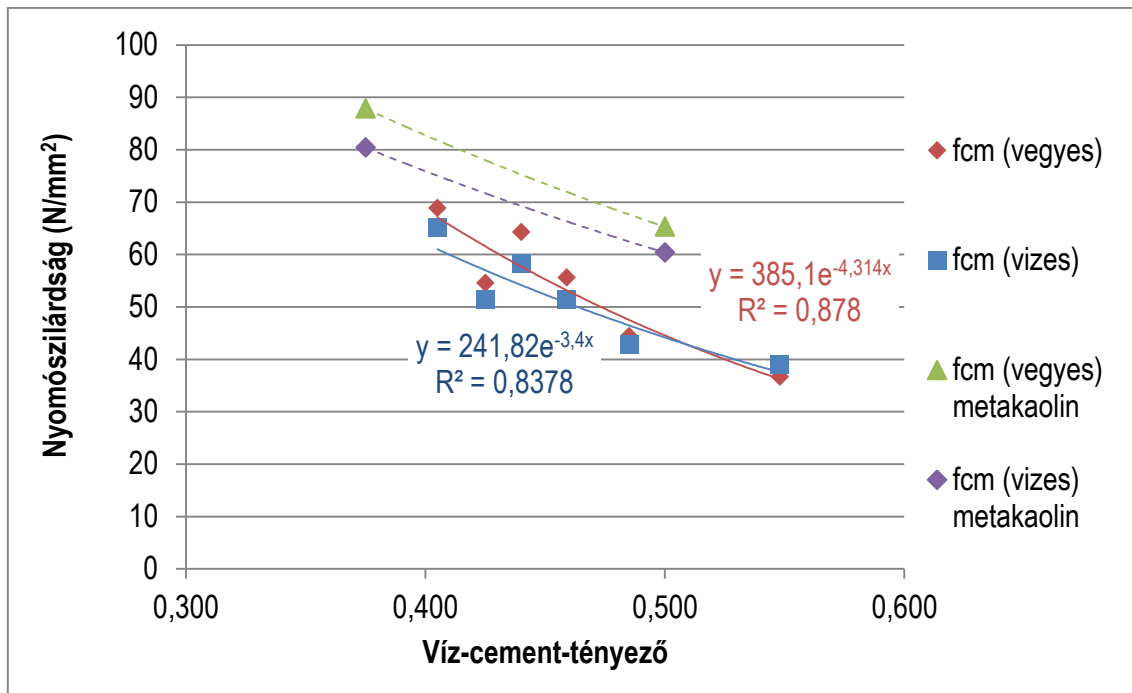
Jel	f <sub>cm</sub>	Betonminőség
I.	42,74	C30/37
II.	58,34	C40/50
III.	65,05	C50/60
IV.	80,38	C60/75
V.	39,03	C25/30
VI.	60,38	C45/55
VII.	51,29	C35/45
VIII.	51,37	C35/45

3. táblázat A receptek nyomószilárdsági osztályba sorolása

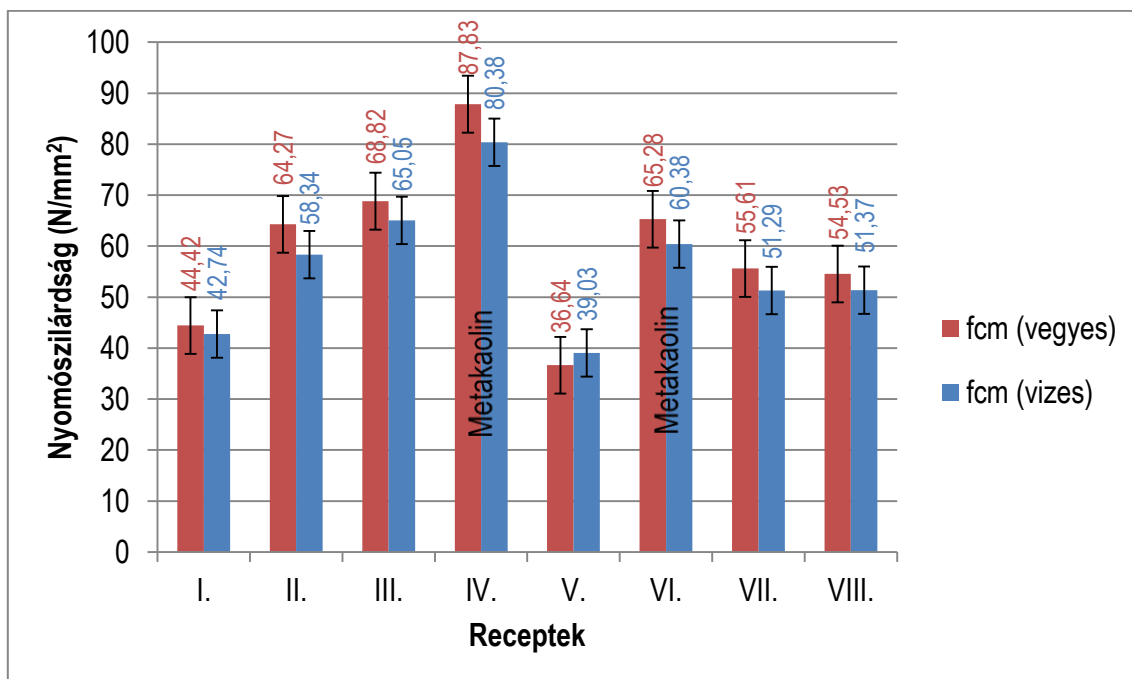
## 4. MEGÁLLAPÍTÁSOK

### 4.1. Nyomószilárdság

A nyomószilárdságok és a víz-cement tényező összefüggését a 2. ábra szemlélteti. Látható, hogy a víz-cement tényező növelésével csökken a beton nyomószilárdsága, valamint a metakaolin tartalmú keverékek kiugró értékeket adtak. Elmondható, hogy 50 kg/m<sup>3</sup> metakaolin hatására, azonos víz-cement tényező mellett, közelítőleg 30%-os nyomószilárdság növekedés érhető el függetlenül a tárolási módtól.



1. ábra A nyomószilárdságok ábrázolása a víz-cement tényező függvényében



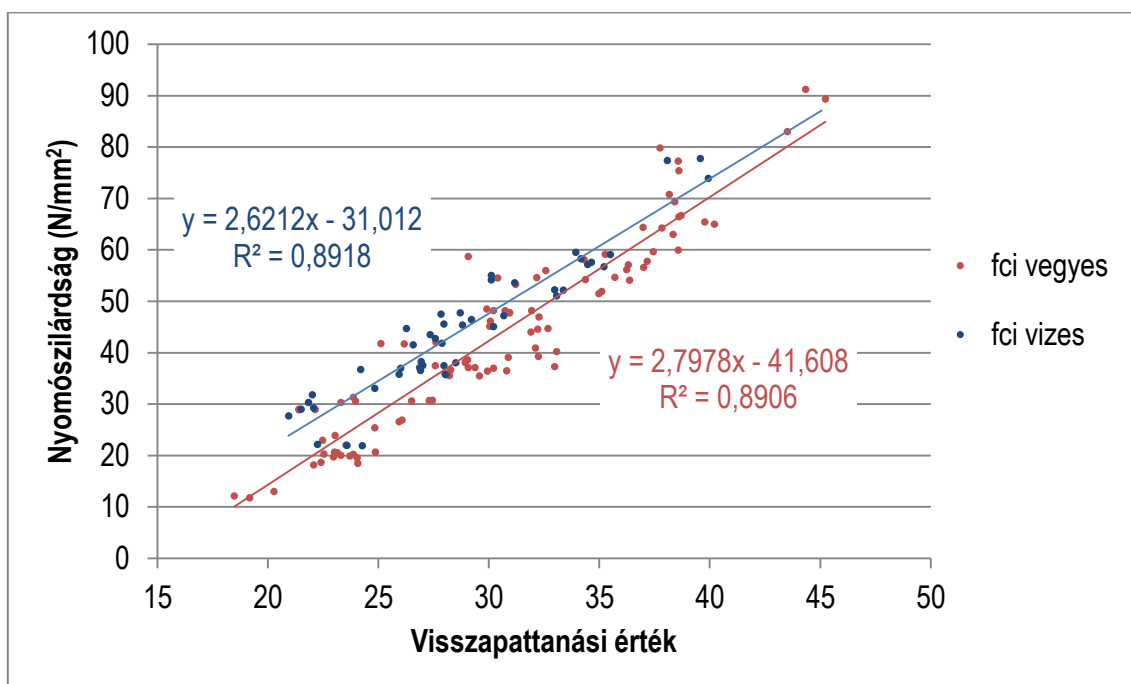
3. ábra A 28 napos korban mért átlagos nyomószilárdsági értékek összehasonlítása

Legkisebb nyomószilárdságot az V-ös, míg legnagyobbat a IV-es keverék esetében mértünk. I-től III-ig a víz-cement tényező csökkenésével a betonok nyomószilárdsága nőtt, ahogy az a 2. és 3. ábrán is látszik. Az V-ös keverék nyomószilárdsága a legalacsonyabb, ennek volt a legmagasabb víz-cement tényezője. Az I. és VI. betonok víz-cement tényezője közel azonos (I.: 0,485; VI.: 0,500), ennek ellenére a VI-os keverék nyomószilárdsága jelentősen nagyobb, mely a hozzáadott metakaolinnak köszönhető. A IV-es keveréknek a víz-cement tényezője a legalacsonyabb az összes közül, de kiemelkedően magas szilárdsági

értékéhez a hozzáadott metakaolin is hozzájárul. Vegyes tárolási mód esetén nagyobbak a nyomószilárdsági értékek, mint a vizes tárolású próbatestek esetén, ez a különbség azonban nem szignifikáns, sőt az V-ös jelű keverék esetében valamivel nagyobb a vizes tárolású beton nyomószilárdsága.

#### 4.2. Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási értékek és a tényleges nyomószilárdság összefüggése

A kísérleti eredmények alapján célunk volt függvénykapcsolatot felírni a mért visszapattanási értékek és a valós nyomószilárdságok között. A 4. ábrán ábrázolt pontokra illesztett görbe alapján megállapítható, hogy a visszapattanási értékek és a nyomószilárdság között, mind a vizes mind a vegyes tárolás esetén, lineárisan növekvő összefüggés áll fenn.



4. ábra Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási értékek és a tényleges nyomószilárdság kapcsolata

A kapott regressziós egyenesek egyenleteit az  $R^2$  korrelációs tényezővel a (3) és (4) egyenletek mutatják.

Vizes tárolás esetén:

$$y = 2,6212x - 31,012 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,8918$$

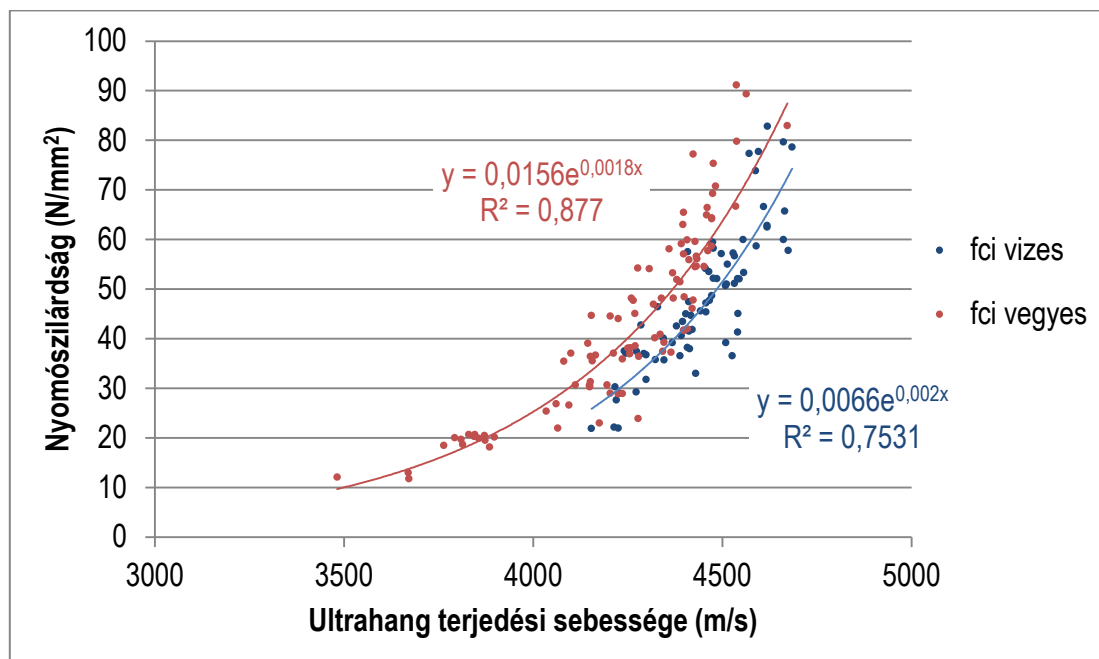
Vegyes tárolás esetén:

$$y = 2,7978x - 41,608 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,8906$$

### 4.3. Az ultrahangos terjedési sebességek és a tényleges nyomószilárdság összefüggése

Az ultrahangos vizsgálatnál megfigyelhető, hogy a vizesen tárolt próbatestek esetében nagyobb terjedési sebességeket lehetett mérni, mint a vegyes tárolási mód esetén. Ez a megfigyelés egyrészt az ultrahangos beton szilárdságbecslő készülék működési elvével magyarázható, mert a vízzel telített betonban az akusztikai hullámok sokkal gyorsabban terjednek a pórusok telítettsége miatt. Másrészt a vizesen tárolt kockákon mért magasabb terjedési sebesség magyarázható azzal, hogy a vízben tárolt próbatesteknek valóban nagyobb a nyomószilárdsága az utókezelésből adódó jobb hidratációs fok miatt. Ezt a tényt azonban a törővizsgálatból származó eredmények nem támasztják alá, mivel a törés pillanatában a próbakockák vízzel telítettek voltak. A víz az összenyomhatatlansága miatt hamarabb repedéseket okozott a beton szerkezetében.



5. ábra Ultrahangos vizsgálatok során mért terjedési sebességek és a tényleges nyomószilárdság kapcsolata

Az ultrahang terjedési sebessége és a beton nyomószilárdsága közötti összefüggéseket az 5. ábrán tüntettük fel. Jól láthatóan exponenciálisan emelkedő összefüggés tapasztalható a terjedési sebességek és a nyomószilárdságok között, a tárolási módoktól függetlenül. A regressziós görbék egyenleteit és a hozzájuk tartozó  $R^2$  korrelációs tényezők értékeit az (5) és (6) egyenletek mutatják.

Vegyes tárolás esetén:

$$y = 0,0156e^{0,0018x} \quad (5)$$

$$R^2 = 0,877$$

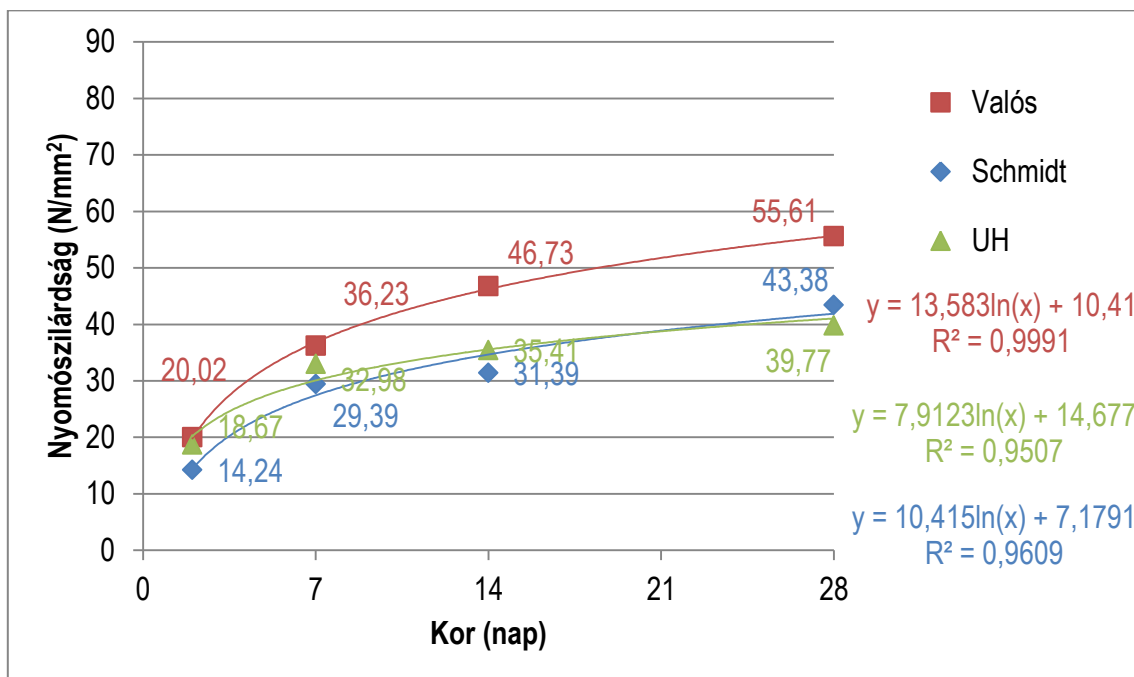
Vizes tárolás esetén:

$$y = 0,0066e^{0,002x} \quad (6)$$

$$R^2 = 0,7531$$

#### 4.4. Az alkalmazott roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek megbízhatósága

Megállapítható, hogy a Borján módszer képleteit alkalmazva ((1) és (2) egyenletek) a roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek rendre alábecsülték a tényleges nyomószilárdsági értéket függetlenül a beton nyomószilárdságától és a tárolás módjától. A 6. ábrán a VII. recept vegyesen tárolt próbakockáinak mérési eredményeit ábrázoltuk, de hasonló eredményt mutatott az összes többi vizsgálat is.



6. ábra A VII. recept különböző korú próbakockáinak tényleges és becsült nyomószilárdsági értékei vegyes tárolási mód esetén

A Schmidt-kalapács nagymértékű, 40,81%-os átlagos alábecslést adott, míg az ultrahanggal való szilárdságbecslés valamivel kisebb alábecslést eredményezett, átlagosan 16,60%-kal becsülte alá a betonok nyomószilárdságát. A roncsolásmentes szilárdságbecslések és a tényleges, valós nyomószilárdságok közötti legnagyobb különbség az V-ös jelű betonreceptúra vizes tárolásánál figyelhető meg, ahol a Schmidt-kalapács a szilárdságot rendkívüli mértékben, 57,67%-al becsülte alá.

#### 5. ÖSSZEGZÉS

Összegzésképpen elmondható, hogy a Schmidt-kalapáccsal mért átlagos visszapattanási értékek és a törés által meghatározott nyomószilárdságok között lineárisan növekvő összefüggés, míg az ultrahang terjedési sebessége és a beton nyomószilárdsága között exponenciálisan növekvő összefüggés írható fel. Vizsgálataink során tapasztalt összefüggések és megállapítások alapján az alkalmazott roncsolásmentes betonvizsgáló módszerek közül egyik sem alkalmazható feltétel nélkül. Ezek a módszerek nem tudják helyettesíteni biztonságosan a törő vizsgálatokat, de együtt alkalmazva csökkenthető a roncsolásos vizsgálatok pl. fűrt magminták darabszáma az összefüggések ismeretében.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **BORJÁN J.**, *Roncsolásmentes betonvizsgálatok*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1981. ISBN 963 10 3514 X.
- [2] **SZILÁGYI K., BOROSNYÓI A.**, *A Schmidt-Kalapács 50 Éve: Múlt, Jelen, Jövő. 1-2. Rész.* Vasbetonépítés. 2008/1 és 2.
- [3] **PANKHARDT K., KOVÁCS J.**, *Építmények diagnosztikája*. Budapest: TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., 2013. 232 p. ISBN:978-963-9968-62-2
- [4] **EL MIR A., NEHME S. G.**, *Öntömörödő betonok roncsolásmentes vizsgálata*. Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2015, Debrecen, Magyarország, 2015.06.11. Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2015.
- [5] *MSZ 4798-1:2004. Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés.*

# TERMoeLEKTROMOS GENERÁTOR SZIMULÁCIÓS ÉS KALIBRÁCIÓS MÉRÉSEI

## SIMULATION AND CALIBRATION TEST OF THERMOELECTRIC GENERATORS

Sarvajcz Kornél<sup>1</sup>, Váradiné Szarka Angéla<sup>2</sup>

tanársegéd<sup>1</sup>, egyetemi docens<sup>2</sup>

Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Villamosmérnöki Tanszék<sup>1,2</sup>  
sarvajcz@science.unideb.hu<sup>1</sup>, angela.varadi@science.unideb.hu<sup>2</sup>

**Kivonat:** Napjainkban a fogyasztói társadalom gigantikus mennyiségű energiát fogyaszt el a mindennapi teendői elvégzéséhez. Különösen igaz ez a közlekedési szokásainkra. A kutatási területünk az Energy Harvesting rendszerek fejlesztése, azon belül az elektromos járművek energiavisszanyerő rendszerei. A cikk bemutatja, hogy a termoelektromos generátor (TEG) hogyan növelheti az elektromos járművek menettávját, szimulációs eredményeket mutat be Comsol Multiphysics® szimulációs program segítségével. Ismerteti továbbá a saját fejlesztésű TEG kalibráló berendezést is.

**Kulcsszavak:** Energy Harvesting, elektromos járművek energiavisszanyerő rendszerei, Comsol Multiphysics, termoelektromos generátor

**Abstract:** Nowadays the consumer society uses giant amount of energy in its everyday life. A huge part of this energy is used for transportation. Field of the research project presented in this paper is the energy harvesting with special focus to the energy recovery systems of electrical vehicles. Effects of thermoelectric generators (TEG) to the driving range of electrical vehicles is analysed, as well as simulation results using Comsol Multiphysics® and a new calibration system for TEGs are introduced in the paper.

**Keywords:** Thermoelectric generator, energy recovery system, Energy Harvesting, Comsol Multiphysics®

### 1. BEVEZETÉS

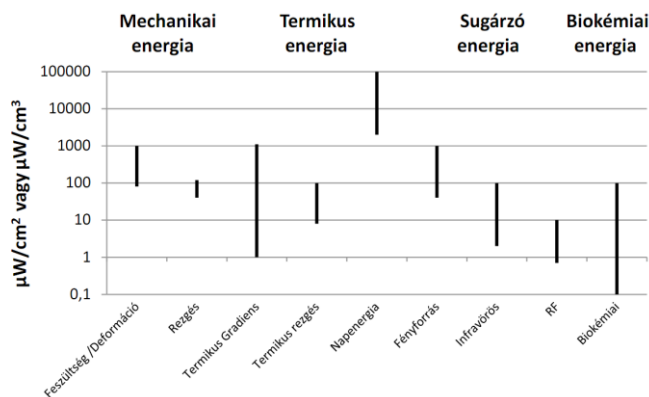
A kutatásban az Energy Harvesting módszereit vizsgáljuk, amely nagymértékben hozzájárul az energia felhasználás veszteségeinek csökkentéséhez. A kutatómunka irányvonala az elektromos autókba szerelhető energia visszanyerő rendszerek vizsgálata és fejlesztése. Ez a cikk azokról a Harvesting rendszerekről ad első körben összefoglalást, amelyek kellő hatásfokkal járulhatnak hozzá az elektromos közlekedés takarékos és megbízható kialakításához. Továbbá részletesen foglalkozik a termoelektromos eszközök működésével. Szimulációkat mutat be a termoelektromos generátor működéséről, amely végeelem program használatával készült. Részletesen bemutatja a kifejlesztésre került TEG kalibráló és mérő berendezést, amely képes különféle típusú félvezető elemek esetén az elem hideg és meleg oldala között 10°C hőmérséklet különbségtől 400°C különbségig vizsgálni termoelektromos folyamatokat.

### 2. ENERGY HARVESTING BEMUTATÁSA

Az Energy Harvesting egy olyan energia újrahasznosító folyamat, amely külső energiaforrások veszteségi energiáit képes befogni egy eszközzel, ezt tárolni és felhasználni bizonyos későbbi feladatok ellátására.

Mi szolgálhat az energia-átvitel közegéül? Minden olyan energiahordozó, amelynek érzékelésére aktív szenzor létezik, azaz olyan érzékelő, amely az energiát tápforrás nélkül

hasznosítja, villamos energiává alakítja azt, Az így összegyűjtött energia természetesen nem erőátviteli nagyságrendű. A mechanikai energia talán a legkézenfekvőbb, hiszen a mágneses indukciós elven működő rezgőmozgás, forgómozgás, áramlás-, nyomásváltozás stb. energiaátalakítók már használatosak. Talán legelterjedtebb a sugárzó energia szüretelése. Fénysugár (infravörös, ultrabolya, látható), rádióhullám, sőt, a termikus sugárzás mind alkalmasak e célra, a fény-elemek, antennák, termoelemek és piezoelektromos berendezések az energiaszüretelés alapvető eszközei.



1. táblázat Energy harvesting technikákkal kinyerhető energia [1]

Az elektromos gépjárműveknél általános közlekedési felhasználás mellett, leginkább az útegyenetlenségekből származó rezgések energiatartalmát, a különféle elektronikai berendezések hőveszteségeit illetve a közlekedés dinamikájából származó fékezési energiát érdemes energiavisszanyerő rendszerek segítségével visszatáplálni.

## 2.1. Elektromos járművek energiavisszanyerő rendszerei

Az elektromos gépjárművek elterjedésének az egyik hátráltató tényezője a villamos energia tárolásának véges lehetősége. Az akkumulátorok energiatárolási tulajdonsága folyamatosan javul, mégis átlagosan egy elektromos személygépjárművel egy akkumulátor feltöltéssel közel 100-150 km menettávra képes. A menettáv növelése érdekében a menet dinamikából következő veszteségi energiákra úgynevezett energiavisszanyerő rendszereket fejlesztettek ki. Ilyen rendszer például a Formula-1 versenysorozatban 2009-ban bevezetett KERS (Kinetic Energy Recovery Systems).

A KERS egy olyan energiavisszanyerő berendezés, amely a versenyautó fékezésénél a kinematikai energiát képes visszanyerni. A termelt energiát villamos energia formájában tárolja és a versenyautó gyorsításakor lehet hasznosítani egy villanymotor segítségével, amely a belső égésű motor mellett részt vesz a hajtásláncban. [2]

A járművekben használható, már kifejlesztett energiavisszanyerő rendszer az energiatermelő lengéscsillapító. Minden járművezető találkozott már az útegyenetlenségek okozta buszúsággal vezetés közben. Számtalan problémát tud okozni egy kátyú, ennek ellenére az energiatermelő lengéscsillapító következtében pozitív hatása is van a gödröknek. Minden egyes útegyenetlenségből energia termelhető, amely eddig a hagyományos lengéscsillapítóknál hőenergia formájában veszteségként távozott a levegőbe. A legjobb hatásfokú rendszert mágnesesség elvén érték el, amely nem rontja a gépjármű stabilitását és közben energiát is termel. [3]

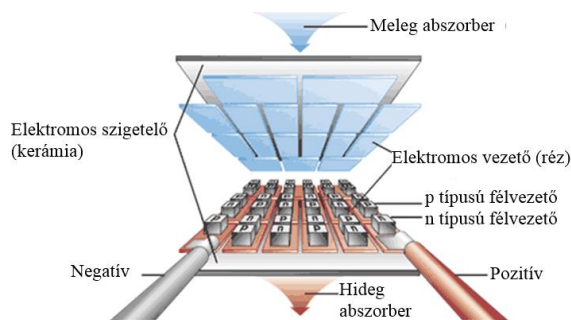
A harmadik energiacsald, amely talán legjelentősebb formában fordul elő egy elektromos gépjárműnél a hőenergia. A jármű hajtásláncban számos olyan elektromos berendezés található, amely fokozott hűtést igényel a megfelelő működés érdekében. A villamos motorok

vesztesége szinte csak és kizárólag hőenergia formájában távozik a rendszerből és szintén intenzív hűtést igényelnek az optimális hatásfok elérése érdekében. A járművekben a hűtést leggyakrabban vízhűtéses rendszerrel valósítják meg, melynek a hőleadó felületét a menetszéllal és ventilátorral hűtik. Külön energia befektetés szükséges ahhoz, hogy optimális hőmérsékleten működjenek a hajtáslánc elemei. A termoelektromos generátorok a két oldala közötti hőmérséklet különbség hatására a hőenergiát villamos energiává alakítják át. A TEG meleg oldalának a villanymotor és a teljesítményelektronika szolgáltatja a magas hőmérsékletet, a hideg oldalt pedig a menetszél biztosítja. A hajtáslánc elemei körülbelül 80°C-ig melegedhetnek fel, drasztikus hatásfokromlás nélkül. A menetszél pedig körülbelül 20°C-on képes tartani a TEG hideg oldalát. A TEG típusától függően számolható a megtermelt villamos energia.

## 2.2. Termoelektromos generátor szimulációja

A villamos berendezések működtetése közben a veszteségek szinte kizárólag hőenergia formájában távoznak a berendezésből. Az elektronikai gyártó cégek gigantikus összegeket költenek a berendezések ideális hűtésének kifejlesztésére. A termoelektromos generátor hőmérséklet különbség hatására villamos energiát állít elő, ezzel nagymértékben hozzájárul az elektronikai berendezések hűtéséhez és még energiát is termel. A kutatócsoport kifejlesztett egy olyan berendezést, amely a különböző típusú TEG-ok működése vizsgálható. A berendezés részletes bemutatását a 2.3 *termoelektromos generátor kalibráló berendezés* fejezetben tárgyalom.

A TEG-ok kialakításában három fő alkotóelem vesz részt: egy n-típusú félvezető, egy p-típusú félvezető és egy réz vezető, amely kontaktus felületet biztosít az egymást követő félvezetőknek. A leggyakrabban alkalmazott félvezető a Bizmut Tellurid ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ). Az elemet 2 szigetelő felület fogja közre, amely leggyakrabban kerámia ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) anyagú. [4]



1. ábra Termoelektromos generátor elvi felépítése [5]

A TEG-ok működés közben termoelektromos jelenségek zajlanak le, amelyet három összefüggő jelenség ír le: a Seebeck, a Peltier és a Thomson effektus. A Seebeck hatás kimondja, hogy elektromos feszültség keletkezik, ha két különböző fém különböző hőmérsékleten tartott illesztései találkoznak. A Peltier hatás a Seebeck hatás ellentettje, ha kétféle anyagból álló hőelektromos elemen át áramot vezetünk, az érintkezési helyek felmelegsznek, vagy lehűlnek, aszerint, hogy az áram milyen irányban halad keresztül. A Thomson hatás pedig leírja, hogy a változó hőmérsékletű vezetőben a rajta átfolyó áram hatására az anyagtól és az áramiránytól függően hőelvonás vagy hőfejlődés jelentkezik. Ahhoz hogy következtetni tudjunk a TEG működési mechanizmusára, pontosan meg kell oldani a termoelektromos téregyenleteket. A jelenségek szimulálása COMSOL Multiphysics® végeleszftverrel történt.

A COMSOL Multiphysics® végeelem alapú program, mellyel számtalan egyszerű és

összetett, csatolt fizikai alkalmazás szimulálható. Egyszerűen használható alkalmazási felületeket, hatékony megoldó algoritmusokat tartalmaz és lehetőséget biztosít a hálógenerálás teljes vezérlésére. Parciális differenciálegyenletekkel leírt, csatolt fizikai folyamatok modellezéséhez biztosít egy teljes fejlesztési és számítási környezetet. A COMSOL Multiphysics mérnöki szimulációs szoftver környezet megkönnyíti a modellezési folyamat minden lépését: geometriák definiálását, hálógenerálást, fizikai feltételek megadását, a probléma megoldását és végül az eredmények megjelenítését.

A szimulációs program összeállításához meg kellett állapítani a megfelelő termo elektromos egyenleteket. Az egyenletek átalakítása a [6] irodalomban foglaltak alapján levezethető, melynek végeredményét a 1. egyenlet szemlélteti.[6]

$$0 = \int_{\Omega} \left[ -\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} T_{test} + (-k \nabla T) \cdot \nabla T_{test} + (PJ) \cdot \nabla T_{test} + Q T_{test} \right] d\Omega - \int_{\partial\Omega} (q \cdot n) T_{test} \partial\Omega \quad (1)$$

A validálás elvégzéséhez a TEC1-24118T125 TEG-t választottam alapul. 241 db Bizmut Tellurid félvezető és alumínium oxid szigetelő alkotja. Az alkotó elemek pontos méretének meghatározása után a végeelem programban megrajzoltam az elem geometriáját. Meghatároztam a különböző típusú elemek anyagjellemzőit. A szimulálás során két típusú félvezetőre is elvégeztem a szimulálást, mert a Bizmut Tellurid és az Ólom Tellurid anyagokból készült TEG-nak a legjobb a hatásfoka abban a hőmérsékleti tartományban, amely előfordulhat egy elektronikai berendezés melegezése során.

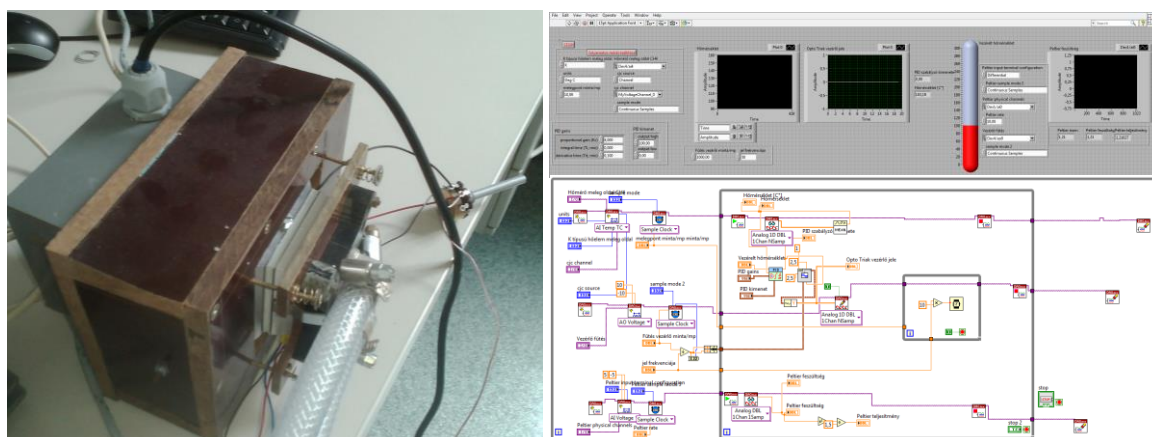
A szimulálás során különböző hőmérséklet különbségeket vizsgáltam. A kiindulási hőmérséklet különbségem 60°C volt, mert átlagosan a környezeti hőmérséklet 20°C valamint, egy villanymotor üzemi hőmérséklete maximum 80 °C. A validálás elvégzéséhez ezen felül 5 másik hőmérséklet különbséget definiáltam. A hidegpontot 5°C-ra méreteztem, mert a kalibráló berendezést átfolyású hálózati hideg vizes hűtéssel láttam el. Januári hónapban történt méréseim alapján átlagosan 5°C a hálózati hidegvíz Magyarországon. A meleg oldalt 50°C-ként léptetve 300°C-ig vizsgáltam. A TEG gyári adatai alapján maximum 300°C hőmérséklet különbséget képes elviselni. A szimulálás során a kerámia szigetelő külső felületére definiáltam az adott hőmérsékleteket. A vizsgálat célja, hogy adott hőmérséklet különbség hatására mennyi villamos energiát képes termelni a TEG. Az elem egyik kontaktus felületét állandó 0V potenciálra állítottam és ehhez képest vizsgáltam a másik kontaktus felület értékét. A szimulálás az 1. egyenlet megoldásaival történt minden egyes rácspan definiált pontban. [7], [8]

### 2.3. Termoelektromos generátor kalibráló berendezés

A validálás elvégzéséhez egy kalibráló mérőberendezést terveztünk, amely képes a különböző méretű és típusú TEG modulok vizsgálatára. A fűtött oldal egy duplán szigetelt 12 mm vastagságú bakelitből készített dobozban elhelyezett 450W Infrared Top Ceramic Heater fűtőegységgel van felszerelve. Minden méretű TEG-hez modulárisan cserélhető alumínium közdarabot terveztem, amely magába foglal egy M4-s furatot. A furatban foglal helyet a K típusú hőelem, amely méri a meleg oldal hőmérsékletét. Az alumínium közdarab biztosítja a TEG modul teljes felületén az egyenletes hőmérséklet eloszlást.

A hideg oldalt egy átfolyós hűtőbetéttel hűtöm, amely hálózati hidegvíz csatlakozással rendelkezik. A hűtő és a TEG modul között szintén található egy alumínium közdarab M4 furattal. A hideg oldal hőmérsékletét szintén K típusú hőelemmel mérem. Minden szabványos méretű TEG modulhoz terveztem 1-1 alumínium közdarabot, amely biztosítja a teljes felületen az egyenletes hőmérséklet eloszlást.

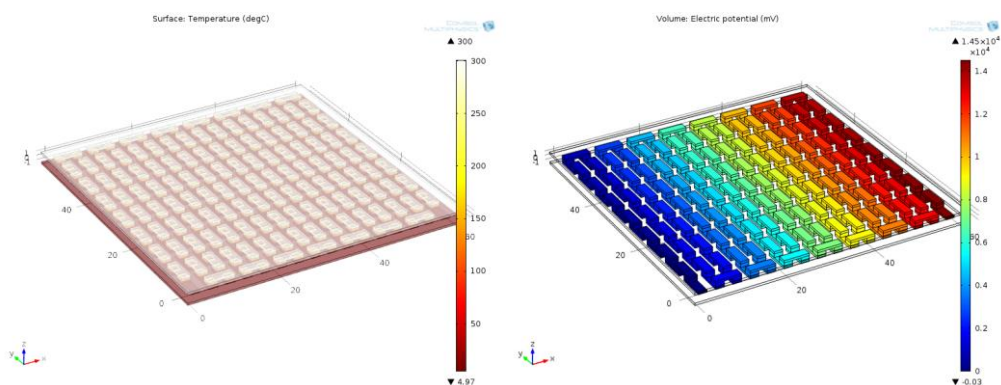
A hőmérsékletmérést és a fűtőbetét vezérlését National Instruments berendezéssel valósítottam meg. A hőelemeknek Analóg hőelem modult választottam, amely magában foglalja a hidegpont kompenzálást. A fűtőbetét vezérlését egy analóg kimeneti modul segítségével végzem. Szoftveresen valósítottam meg egy PWM szabályzót, amely egy triakos fokozatmentes szabályzást vezérel. A vezérlőegység védelme érdekében optikai leválasztást alkalmaztam. A megtermelt feszültség és áram értékeket pedig egy erre alkalmas analóg bemeneti modul mintavételezi. LabView fejlesztő környezetben fejlesztettem egy mérő és vezérlő szoftvert. A szabályozás segítségével képes a rendszer állandó hőmérsékletkülönbség tartására. A modul kimenetére egy precíziós potenciómétert terveztem, amellyel a modul munkapontja meghatározható.



2. ábra Kalibráló berendezés, mérő és vezérlő szoftver

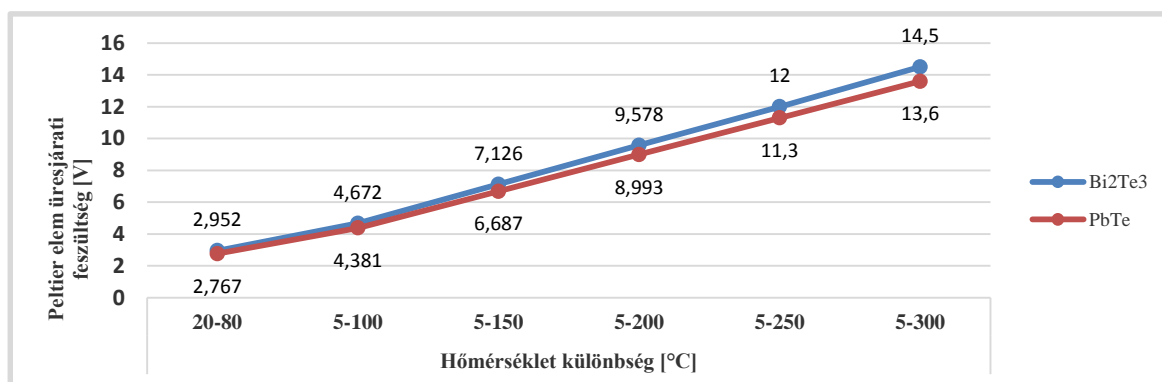
### 3. EREDÉNYEK

A TEG szimulációja során különböző hőmérsékletkülönbségeket állítottam be a modul hideg és meleg oldalára. A COMSOL Multiphysics® végelem programban megrajzolt geometriát, a szimulált hőmérsékletkülönbséget és a kimeneti üresjáratú feszültség eredményét mutatja a 3. ábra.



3. ábra Termoelektromos generátor hőmérsékletkülönbség és üresjáratú feszültség szimulálása

A különböző hőmérsékletkülönbségek hatására létrejövő feszültségváltozást foglalja össze az 1. grafikon. A szimulálásokat 2 különböző anyagra futtattuk le, hogy szemléltessük, a megtermelt energia nagymértékben függ, a félvezetők típusától.



1. grafikon Szimulált üresjáratú feszültségek hőmérséklet különbség függvényében

A kutatás alap témájához legközelebb a 20-80°C tartomány tartozik. Egy TEG modullal körülbelül 3V<sub>dc</sub> feszültség termelhető, amely ugyan nem nagyságrendi eredmény, de több modul soros és párhuzamos kapcsolása esetén számottevően hozzájárulhat az elektromos járművek menettávjához.

A kalibráló berendezés jelenleg tesztelés alatt áll, ezért jelen cikkben csak szimulációs eredményeket mutatunk be.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott TEG szimuláció és kalibráló berendezés nagymértékben hozzájárul a kutatási projekt eredményeihez. Egy elektromos járműben a körülbelül 80°C hőmérséklet az üzemi, átlagos használat során keletkezik, nincs szükség egyéb plusz energia táplálására, hogy ezt a hőmérsékletet elérjük. A közlekedésből adódóan menetszél, mint hűtőközeg is rendelkezésre áll. Az autók jelenlegi koncepcióiban plusz energia betáplálásával oldják meg az elektronika és a villanymotor hűtését. A TEG-ok alkalmazásával nem csak energiát lehet termelni a veszteségi hőmérsékletből, hanem a hagyományos hűtőrendszer energiaszükségletét is meg lehet spórolni. A kutatás eredménye alátámasztotta, hogy az elektromos járművek energiavisszanyerő rendszerének az egyik oszlopos eleme lesz a termoelektromos generátor alkalmazása.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **S. BOISSEAU, G. DESPESE AND B. AHMED SEDDIK**, *Electrostatic Conversion for Vibration Energy Harvesting*, Small-Scale Energy Harvesting, ISBN 978-953-51-0826-9, Chapter 5, October 31, 2012.
- [2] **P. NAVEEN, M. R. RAO, N. KRISHNA, A. AMBEKAR, M. N. S. LATCHIREDDY**, “*Kinetic Energy Recovery System*”, International Journal of Scientific & Engineering Research, pp. 1860-1863, Volume 5, Issue 1, January 2014
- [3] **Z. LI, L. ZUO, J. KUANG AND G. LUHRS**, “*Energy-harvesting shock absorber with a mechanical motion rectifier*”, Smart Materials and Structures, Volume 22, Number 2, 2. February 2013
- [4] **L. CHENA, J. GONGA, F. SUNA, C. WUB**, “*Effect of heat transfer on the performance of thermoelectric generators*”, International Journal of Thermal Sciences Volume 41, Issue 1, January 2002, Pages 95–99
- [5] <http://peltiermodules.com/>
- [6] **S.P. YUSHANOV, L.T. GRITTER, J.S. CROMPTON, AND K.C KOPPENHOEFER** *Multiphysics Analysis of Thermoelectric Phenomena*, COMSOL conference, Boston, 2011.
- [8] **M. JAEGLE** *Multiphysics Simulation of Thermoelectric Systems - Modelling of Peltier Cooling and Thermoelectric Generation*, COMSOL conference, Hannover, 2008.

# HAGYOMÁNYOS MŰSZAKI ÖTVÖZETEK ÉS INNOVATÍV ALAKEMLÉKEZŐ FÉMEK AKUSZTIKUS EMISSZIÓS VIZSGÁLATA

## ACOUSTIC EMISSION INVESTIGATION OF TRADITIONAL ALLOYS AND MODERN SHAPE MEMORY METALS

Szabó Sándor<sup>1,2</sup>, Tóth László<sup>2</sup>, Daróczi Lajos<sup>2</sup>, Beke Dezső<sup>2</sup>  
Gyöngyösi Szilvia<sup>2</sup>, Bolgár Melinda<sup>2</sup>, Piros Eszter<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet  
Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Intézeti Tanszék

<sup>2</sup>Modern Funkcionális Anyagok Kutatócsoport  
Debreceni Egyetem, TTK, Szilárdtest Fizika Tanszék,

E-mail cím, kapcsolat: Dr. Szabó Sándor, főiskolai docens, sg\_szabo@nyf.hu

**Kivonat:** Általános felhasználású szerkezeti acél, alumínium, továbbá ferromágneses alakemlékező-ötvözet mintákon végeztünk akusztikus emissziós vizsgálatokat. Tanulmányoztuk a jelek alakját, frekvencia spektrumát, amplitúdóit, energiáját, szélességét és aktivitását. Összevetettük a kapott jelsokaság statisztikáját a lavina és a memória elmélettel. Kiderült, hogy számos esetben, a jelek legfontosabb jellemzői az elmélettel összhangban exponenciális letörésű hatványfüggvénnyel jellemezhetők. A fentiek mellett az egyes mérések jellemző karakterisztikus tulajdonságokat is feltártak. A frekvenciák eloszlása és Fourier spektruma, továbbá a jelek amplitúdóinak és energiáinak eloszlása egyes esetekben stabil mintázatot mutatott. Vizsgálataink hozzájárulnak a műszaki anyagok akusztikus emissziós jeleinek pontosabb értelmezéséhez, és elősegíthetik a mérés technika alkalmazásának szélesebb körű kiterjesztését. Eredményeinket több nemzetközi fórumon is bemutattuk. [1], [2].

**Kulcsszavak:** akusztikus emisszió, statisztikus analízis, hatványfüggvény

**Abstract:** Common used constructive steels, aluminum and modern shape memory alloys were investigated by acoustic emission method. Shape of signals, distribution of frequency, amplitude, energy, duration time and activity were evaluated. Avalanche theory and memory effect were considered. We found, that probability density of several properties can be described by power function with exponential cut of or tail. Stable shapes of frequency, amplitude and energy probabilities and Fourier spectra of emission signals denote characteristic properties and processes of materials. Results contribute to development of industrial acoustic emission methods and to sophisticated explanation of origin of the acoustic signals. We published several details in other international forums, as well [1], [2].

**Keywords:** acoustic-emission, statistical analysis, power function

### 1. BEVEZETÉS

A műszaki gyakorlatban használt akusztikus emissziós vizsgálati technika ma már klasszikusnak mondható. Mégis, a mérés technika érzékenységének a fejlődése, a számítógépekkel feldolgozható adatok mennyiségének, a jelek gyűjtési és feldolgozási sebességének a növekedése, az innovatív alap kutatási eredmények, a modern statisztikus fizikai és matematikai modellek kidolgozása lehetőséget adnak arra, hogy a terület tovább fejlődjön.

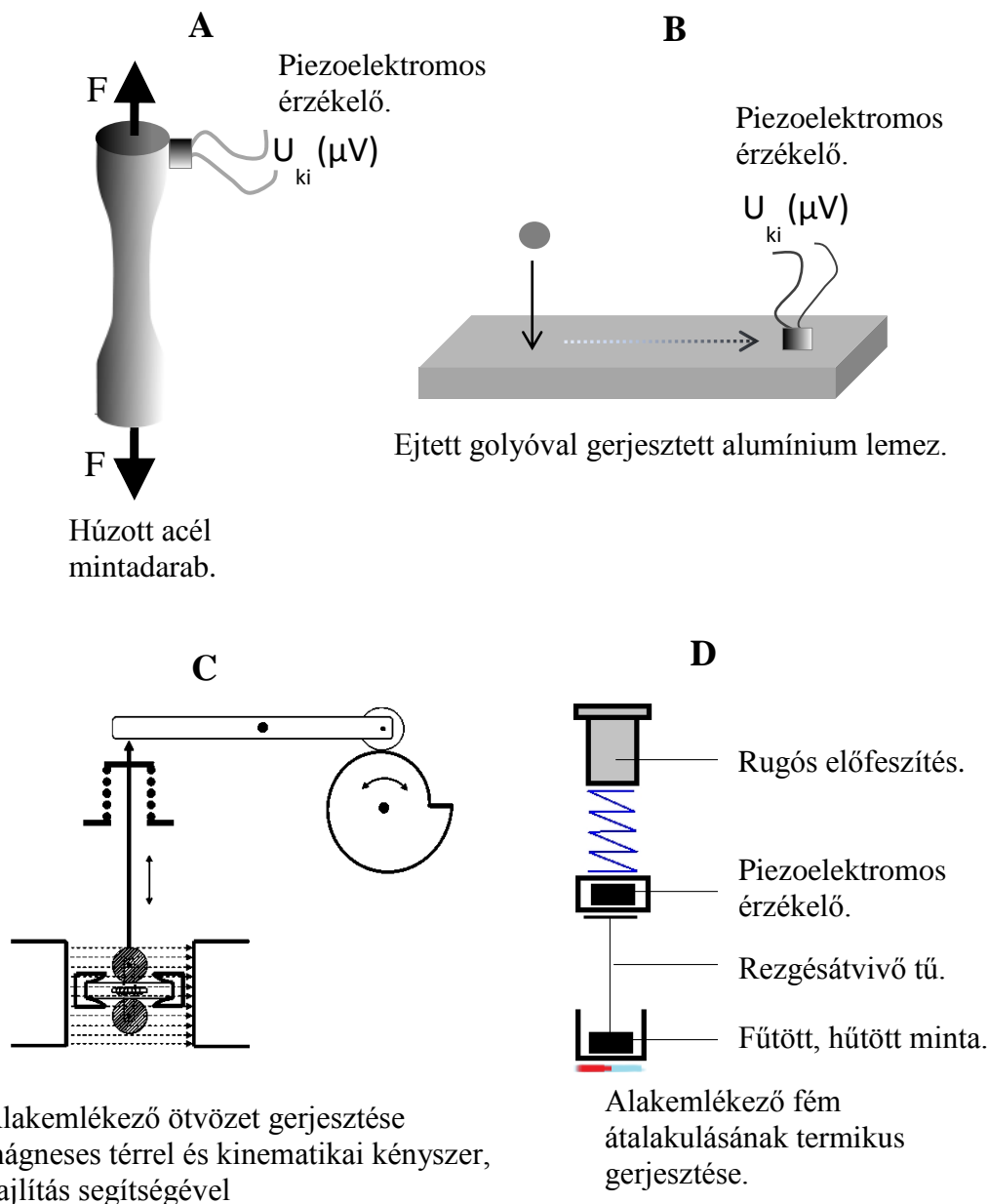
A Debreceni Egyetemen működő, modern funkcionális anyagokkal foglalkozó kutatócsoport, továbbá a Nyíregyházi Főiskolán ezzel a területtel foglalkozó szakemberek számos oldalról vizsgálják a témakört. Alap és alkalmazott kutatások folynak klasszikus ipari anyagokon és modern alakemlékező fémeken. Jelen munkában kiemeljük a kutatások néhány



fontos szeletét abból a célból, hogy illusztráljuk, a terület fontosságát és műszaki életben betöltött innovatív szerepét.

## 2. KÍSÉRLETI TECHNIKA LEÍRÁSA

Az alábbi 1/A, B, C, D ábrákon vázoljuk a legjellemzőbb kísérleti összeállításokat.



1. ábra Az akusztikus jelek gerjesztéséhez használt legjellemzőbb összeállításaink vázlatai.

A: Akusztikus emisszió érzékelése állandó sebességű húzás során.

B: Adott energiájú ütközés hatására létrejövő jelek átvitelének és emissziójának mérése.

C: Emisszió létrehozása mágneses tér jelenlétében, hajlítás során. Mágneses és akusztikus jelek is elemezhetőek.

D: Szerkezeti átalakulás és akusztikus emisszió létrehozása fűtéssel és hűtéssel.

Az anyag belsejében létrejövő átalakulásokat és az ennek kapcsán létrejövő akusztikus jeleket négy, lényegesen különböző módon hozzuk létre. Az A és B esetben szerkezeti acél és alumínium mintákat gerjesztünk szabványos szakító kísérlet és adott energiájú ütközés segítségével. Húzás esetén a jeleket a kristályszerkezet hibáinak, hibakötegeinek szakaszos mozgása, továbbá a mikro-repedések kialakulása okozza. Az ejtési kísérlet során az ütközés során létrejövő rugalmas hullámokat és a felületi roncsoláshoz kapcsolódó rácshibák miatt kialakuló jeleket érzékeljük. A C és D esetben ferromágneses alakemlékező fémek vizsgálatának vázlatát látjuk. Az 1/C ábra, külső mágneses tér jelenlétében végzett hajlító kísérletek összeállítását mutatja be. A kísérletek során mágneses és akusztikus jelek jönnek létre. A D esetben a belső átalakulásokat az anyag hűtésével és fűtésével hozzuk létre. Mindkét esetben elsősorban az anyag szimmetrikus - aszimmetrikus, ausztenites - martenzites átalakulása járul hozzá az akusztikus jelek kialakulásához. Emellett az eddigi kísérletek alapján felmerült annak a lehetősége, hogy elsősorban a martenzites állapotban, további atommozgási, diffúziós folyamatok, vagy egyéb, az ún. martenzit variánsok átrendeződésével kapcsolatos folyamatok is szerepet játszhatnak a jelek kialakulásában.

Az akusztikus jeleket piezoelektromos detektorral, Sensophone AED-401 rendszer segítségével gyűjtjük [1, 2]. 16MHz-es mintavételi frekvenciát, maximum 130dB erősítést továbbá 40kHz és 1MHz között állítható sávszűrőket alkalmazunk. A mintavételi rendszer megfelel a szokásos ipari akusztikus emissziós mérés technika követelményeinek.

A minták fűtéséhez és hűtéséhez Perkin-Elmer DSC7 termikus fejelet használunk. A fűtési és hűtési sebesség jellemzően 0,01°C/perc és 200°C/perc között változtatható. A hőkezelések során a látens hő és a fajhő hőmérséklet függése is nyomon követhető.

### 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

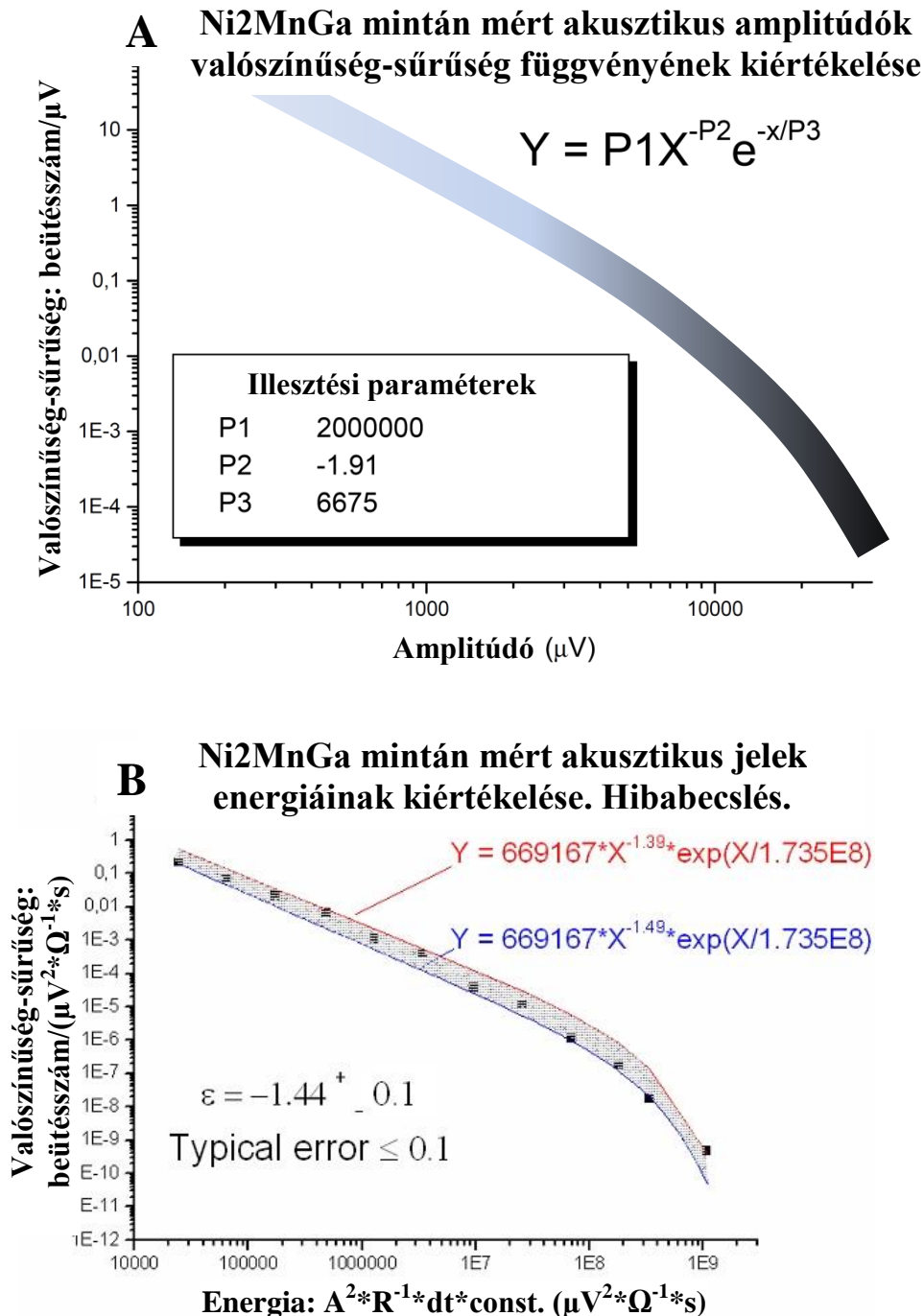
A méréseket célirányosan olyan módon tervezzük, hogy válaszokat kaphassunk a jelenleg is aktuális műszaki alkalmazásokat és alapkutatókat, anyagmérnökséget érintő kérdésekre.

Számos, aktuális publikáció foglalkozik azzal, hogy bizonyos véletlenszerű, vagy véletlenszerűnek tűnő folyamatok milyen statisztikai szabályszerűségeknek eleget tevő mennyiségekkel, valószínűségekkel, és valószínűség-sűrűség függvényekkel írhatók le. Több esetben utal arra, hogy az akusztikus emissziós jeleket keltő folyamatok egy része jól leírható az ún. lavina elmélettel [3, 4], továbbá hogy a folyamatok háttérében ún. memória effektusok húzódnak meg [5]. Eddigi méréseink során az egyik fő cél az volt, hogy a ferromágneses alakemlékező fémek átalakulása során keletkező jelek statisztikai elemzésével ellenőrizzük, hogy az általunk vizsgált anyagok folyamatai beilleszthetők-e a fenti elméletekbe.

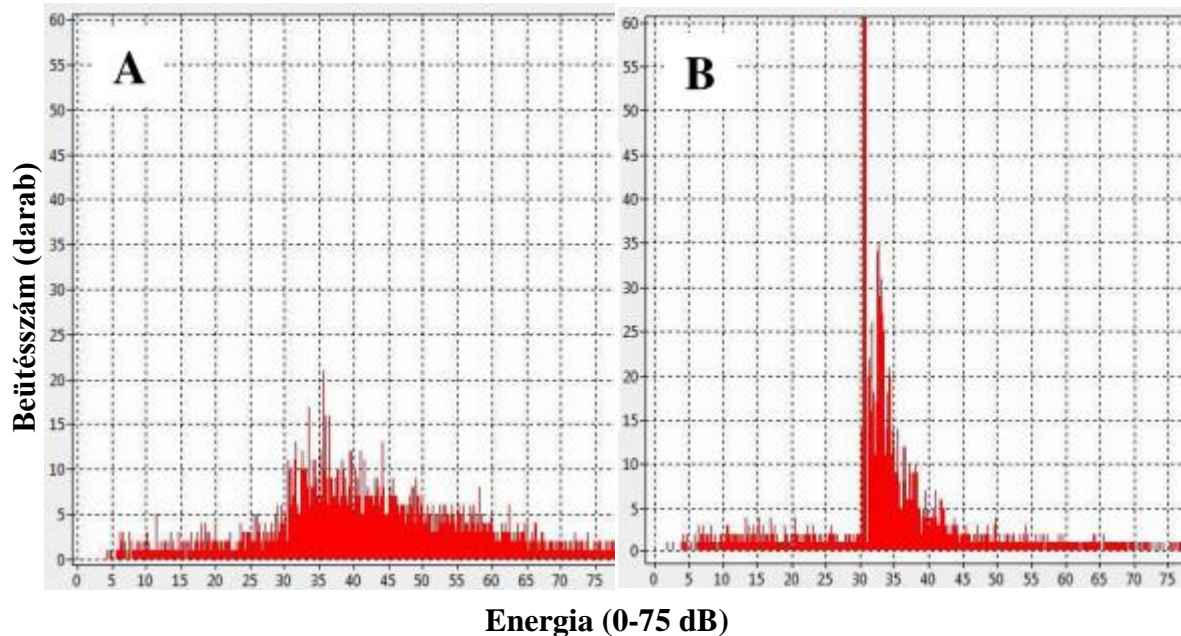
Megmértük számos alakemlékező minta akusztikus jeleinek amplitúdó és energia eloszlását. A kapott jelek sokaságait több, egymást kiegészítő módszerrel is kiértékeljük. Maximum Likelihood módszer és további regressziós illesztések alkalmazásával felrajzoltuk és megillesztettük az akusztikus jelek amplitúdóinak és energiáinak valószínűségét továbbá valószínűség-sűrűségét. Az illesztések során az ingadozási jelenségek zavaró hatásainak eliminálása érdekében többnyire, ún. logaritmikusan dobozást alkalmaztunk. Ennek során az amplitúdó, vagy energia tengely adatait egy-egy logaritmikusan mértékben változó tartományon belül összevontuk. A kapott adatok alátámasztották, hogy az általunk vizsgált folyamatok során a jelek összhangban vannak a feltételezésekkel. A folyamatokat exponenciális letörésű hatványfüggvényekkel tudtuk közelíteni (2/A és B ábra). A közelítés egy kritikus jelszint felett volt alkalmazható.

A logaritmikusan dobozást elhagyva és kiterjesztve a vizsgálatot a kritikus jel alatti jelszintekre kiderült, hogy az amplitúdó-beütésszám, illetve energia-beütésszám kapcsolatot ábrázoló grafikonok finom részleteket is tartalmazó alakja karakterisztikus jelleget mutat. Az

amplitúdó, illetve energia spektrum attól függően más-és más karakterű, hogy az átalakulásnak mely fő szakaszában van az anyag. A jellemzően ausztenit-martenzit átalakulás tartományában szélesebb, laposabb, a martenzites tartományban pedig egy-két kiemelkedő éles csúcsot tartalmazó spektrumot kapunk (3/A, B ábra). A spektrumban tapasztalt különbségek feltehetően a mérőrendszer jellegzetes rezonanciáinak, a minták karakterisztikus folyamatainak és jellemző geometriájának köszönhetőek.

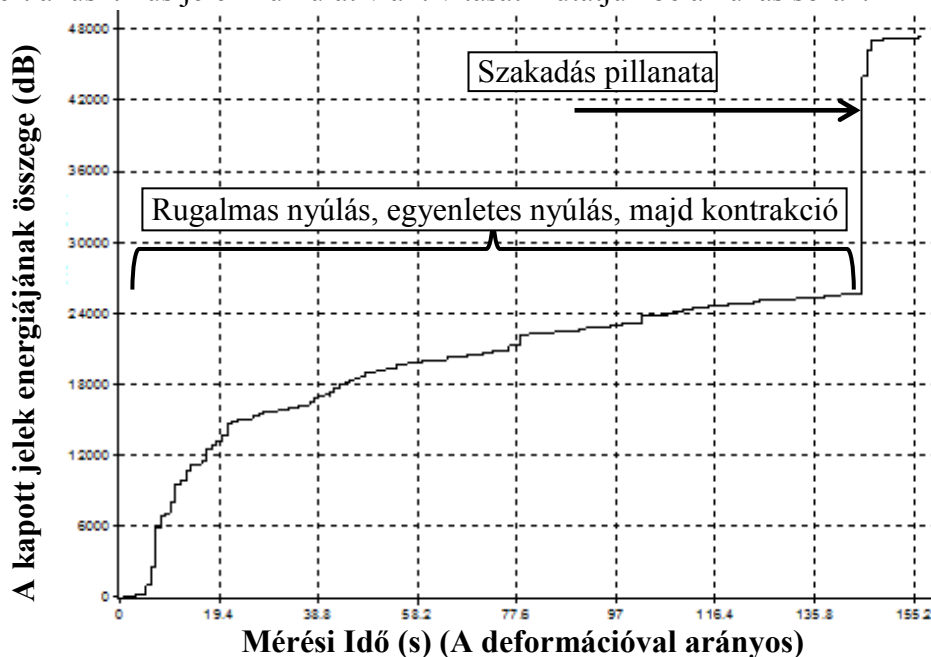


2. ábra Ni<sub>2</sub>MnGa mintán mért akusztikus jelek amplitúdóinak és energiáinak kiértékelése logaritmikus dobozolás alkalmazásával. Illesztés exponenciális letörésű hatványfüggvénnyel. A: Amplitúdó elemzése. B: Energia elemzése



3. ábra  $\text{Ni}_2\text{MnGa}$  mintán mért akusztikus jelek energiáinak gyakorisági ábrája (spektruma). A: Ausztenit-martenzit átalakulás során. B: Martenzites állapotban.

Az alapkutatási vizsgálatok egyik célja többek között az, hogy olyan ismeretekhez és módszerekhez jussunk, amelyek az alkalmazott műszaki, gyakorlati mérés technikában is felhasználhatóak. A vizsgálatainkat ezért kiterjesztettük a hagyományos, klasszikus műszaki vas és alumínium alapú anyagokra is. Az emlékező fémek esetén alkalmazott technikákkal és kiértékelési módszerekkel igyekszünk kiegészíteni hagyományos módszereket. Ennek fényében végeztük a húzó kísérleteinket. A 4. ábrán általános felhasználású szerkezeti acél mintán mért akusztikus jelek kumulatív aktivitását mutatjuk be a húzás során.



4. ábra Szerkezeti acél minta húzása során kapott akusztikus jelek energiájából számolt kumulatív aktivitás. A vízszintes tengelyen ábrázolt mérési idő, az állandó sebességű húzás miatt a megnyúlással egyenesen arányos.

Az eredményekkel kapcsolatos további részleteket találunk a [6] hivatkozásban. Szembetűnő a kumulatív aktivitás és a szokásos szakítódiagram közötti hasonlóság. Méréseink alapján van rá remény, hogy az aktivitás részletes vizsgálatának, az egyes akusztikus paraméterek, amplitúdó, energia, késleltetési idő stb. megfelelően kidolgozott statisztikai elemzésének segítségével számos roncsolásos anyagvizsgálati módszer érdemben kiegészíthető lesz további, modern akusztikus roncsolás-mentes módszerekkel.

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KONKLÚZIÓ

Akusztikus emissziós vizsgálatokat végeztünk szerkezeti acél, alumínium, továbbá ferromágneses alakemlékező-ötvözet mintákon. Kiderült, hogy az alakemlékező fémek esetén kapott jelek amplitúdóinak és energiáinak statisztikai összhangban vannak a nemzetközi irodalomban olvasható, lavina elmélettel és memória effektussal kapcsolatos állításokkal. A vizsgált valószínűség-sűrűség függvények exponenciális letörésű hatványfüggvénnyel voltak közelíthetőek. A logaritmikus dobozolás és a kritikus, levágási amplitúdó elhagyásával olyan gyakorisági görbékhez jutottunk, amelyek karakterisztikus jelleget mutattak. A gyakorisági összefüggés, a látens hővel járó ausztenit-martenzit átalakulás során, majd az ezt követő martenzites állapotban különböző volt. A klasszikus acél húzása közben kapott akusztikus jelek vizsgálata alapján van rá remény, hogy az egyes akusztikus paraméterek, amplitúdó, energia, késleltetési idő stb. megfelelően kidolgozott statisztikai elemzésének segítségével számos roncsolásos anyagvizsgálati módszer érdemben kiegészíthető lesz további, modern akusztikus roncsolás-mentes módszerekkel.

#### 5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0036 pályázat támogatásával készült. Köszönetünket fejezzük ki Szoboszlai Attilának, a gyakoriságot kiértékelő program fejlesztésében nyújtott hasznos közreműködéséért.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TÓTH. L. Z., SZABÓ S., DARÓCZI L., BEKE D.L.,** *Calorimetric and acoustic emission study of martensitic transformation in single crystalline Ni<sub>2</sub>MnGa alloys*, 2014, Phys. Rev. B 90, 224103
- [2] **DARÓCZI L., GYÖNGYÖSI SZ., TÓTH L. Z., SZABÓ S., BEKE D. L.,** *Jerky magnetic noises generated by cyclic deformation of martensite in Ni<sub>2</sub>MnGa single crystalline shape memory alloys*, 2015, Appl. Phys. Lett. 106, 041908
- [3] **SALJE, E.K.H.,** *Interfacial Properties and Critical Avalanche Exponents of Shape Memory Alloys and Related Materials*, 2011 Solid State Phenomena, **172-174**, 3
- [4] **NIEMANN, R., BARO, J., HECZKO, O., SCHULTZ, L., FAHLER, S., VIVES, E., MANOSA, L., PLANES, A.,** *Tuning avalanche criticality: Acoustic emission during martensitic transformation of compressed Ni-Mn-Ga single crystal*, 2012, Phys. Rev. **B86**, 214101
- [5] **KARSAI M, KASKI K, BARABÁSI A. L., KERTÉSZ J,** *Universal features of correlated bursty behaviour*, 4 may 2012, Scientific Reports, 2:397, DOI: 10.1038/srep00397
- [6] **SZABÓ S, SASOVITS S, SIPOS A, SZÁZVAI A,** *Acél szakítása közben fellépő akusztikus jelek vizsgálata*, Műszaki Tudomány az Észak – Kelet Magyarországi Régióban, 2014, konferencia Kötet. DAB ISBN: 978-963-508-752-5 (2014)

# SZERSZÁMGÉPORSÓK REZGÉSDIAGNOSZTIKÁN ALAPULÓ HIBADIAGNOSZTIKÁJA GÉPI TANULÁS ALKALMAZÁSÁVAL

## SPINDLE DIAGNOSIS WITH VIBRATION ANALYSIS AND MACHINE LEARNING

Deák Krisztián<sup>1</sup>, Kocsis Imre<sup>2</sup>

<sup>1</sup>tanársegéd  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
deak.krisztian@eng.unideb.hu

<sup>2</sup>főiskolai tanár  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
kocsisi@eng.unideb.hu

**Kivonat:** A szerszámgép megmunkáló orsók fontos szerepet töltenek be a gépgyártástechnológiában. Jelen cikk csapágygyártás során alkalmazott nagyfordulatszámú integrált köszörűgéporsókat vizsgál. A hagyományos idő- és frekvenciatartománybeli vizsgálatokon túlmenően az ipari gyakorlatban gyakran felmerülő igény, hogy zajjal terhelt valós környezetben is hatékony jelfeldolgozást és rezgésdiagnosztikát lehessen végezni, a mérések gyakran kiegészülnek hőmérsékletméréssel egzaktabb hibafelismerés céljából. A wavelet transzformáció alkalmas arra, hogy a zajos környezetben is hatékonyan támogassa a jelfeldolgozást. Jelen cikk áttekinti a wavelet transzformáció alkalmazási lehetőségét az szerszámgéporsó csapágydiagnosztikában, valamint a gépi tanulás lehetőségeit automatizált online hibafelismerés céljából. A Levenberg-Marquart backpropagation algoritmus alkalmazó mesterséges neurális háló hatékonyan alkalmazható, amely Matlab környezetben kerül kialakításra, alkalmas csapágy gyűrűhiba és gördülőelem hiba detektálására, idő- és frekvenciatartománybeli mérési eredmények alapján.

**Kulcsszavak:** rezgésdiagnosztika, szerszámgéporsó, csapágy, wavelet, gépi tanulás

**Abstract:** Spindles have important role in manufacturing. This article focuses on investigating high speed grinding machine spindles. Beyond conventional time and frequency domain measurement it is demanded to measure parameters in noise conditions. Signal processing and vibration monitoring are widely used procedures in addition temperature checking is used to apply complex monitoring. Wavelet transform is useful to analyse low level signals more efficiently than Fourier transform. After overlooking the Wavelet possibilities, machine learning methods are presented focusing on Levenberg-Marquart backpropagation algorithm in Matlab environment. This method is capable of detecting and prognosing inner and outer ring defects efficiently which happen during normal operation of machine spindles.

**Keywords:** vibration diagnosis, spindle, bearing, wavelet, machine learning

### 1. BEVEZETÉS

A forgácsoló megmunkálások fejlődése megköveteli a nagy pontosságú, nagy fordulatszámú orsók alkalmazását, amely az ipar minden területén, jelen esetben a csapágygyártást vizsgálva nagy jelentőséggel bír.

A gördülőcsapágyak több szempontból is hátrányosak a folyadékkenésű siklócsapágyakhoz képest: rezgést gerjesztenek, csillapító hatásuk gyakorlatilag nincs, ezért zajszintjük magas, megengedett legnagyobb fordulatszámuk korlátozott. Az utóbbi hátrány kiküszöbölése különösen fontos a szerszámgéporsók gördülőcsapágyazásánál, mert korlátozza alkalmazásukat a nagy sebességű megmunkálás területén. A fordulatszám-növelés hatására ugyanis a gördülőcsapágyban nagyobbak lesznek a tömegezők, a gördülőtestek megcsúsznak, a kosárszerkezet szétszakadhat, jelentős a súrlódási veszteség és magas a hőmérséklet.

Mindezek korlátozzák a gördülőcsapágyak megengedett legnagyobb fordulatszámát. A szerszámgépporsók csapágyazására, a megfelelő futáspontosság érdekében, nagy pontosságú gördülőcsapágyakat készítenek, amelyek futópályájának és gördülőelemeinek alakhibája sokkal kisebb, mint a normál kivitelű csapágyaké, ezért rezgéskeltő hatásuk kicsi, futásuk csendes, kisebb a kialakuló súrlódási veszteség, ami magasabb üzemi fordulatszámot enged meg. A futáspontosság növelése mellett egyéb intézkedésekkel is igyekeznek a szerszámgépporsók gördülőcsapágyainak megengedett fordulatszámát növelni. Pl. pontosan gyártott, vezetett kosárszerkezetet készítenek, nagy szilárdságú könnyű anyagból – pl. üvegszállal erősített poliéter-éterketonból – állítják elő a kosarat, a kis súrlódási veszteség érdekében különleges futópályákat alakítanak ki, a tömegezők csökkentésére kis átmérőjű gördülőelemeket használnak, és a gördülőtestek csúszásának megakadályozása érdekében a csapágyakat kismértékben előfeszítik. A szerszámgépporsók gördülőcsapágyait a játékmentes, pontos futás érdekében egyébként is elő kell feszíteni, nemcsak a nagy fordulatszámú üzemeltetés miatt.[8]

A csapágy a gépek meghatározó eleme, amely meghibásodása a gép üzemzavarához, hirtelen termelékieséshez vezethet. Meghatározó jelentőségű, hogy az esetleges üzem közbeni meghibásodások időben diagnosztizálásra kerüljenek. A vizsgálat hasonló kiemelkedő jelentőséggel bír a fogaskerekek meghibásodása terén, amelyek a csapágyakkal együtt a hajtóművek fő komponensei. Az összetett hajtóművek részei a gépjárműveknek, légi járműveknek, vasúti járműveknek, szerszámgépeknek és számos összetett gépnek. Jelen cikk a csapágyhibák diagnosztizálására helyezi a hangsúlyt olyan hatékony szűrési és jelfeldolgozási eljárással, amely során zajjal terhelt környezetben is hatékonyan megvalósulhat a csapágy állapotának diagnosztikája.[8]

## 2. WAVELET TRANSZFORMÁCIÓ AZ ORSÓ CSAPÁGYHIBÁK ELEMZÉSÉRE

Egyes tanulmányok [1] javasolták az ún. Matching Pursuit technikák alkalmazását, alacsony energiaszintű csapágyrezgések detektálására, amely a burkológörbe módszernélhatékonyabbnak bizonyult. A szinkronizált időszori átlagolás (Time Synchronous Averaging) kisebb hatékonysággal rendelkezik, mint a wavelet analízis vagy a burkológörbe módszer [5], a CWT eljárásokhoz Morlet- waveletet, a wavelet packet eljáráshoz „Daubechies 9” waveletet használtak.

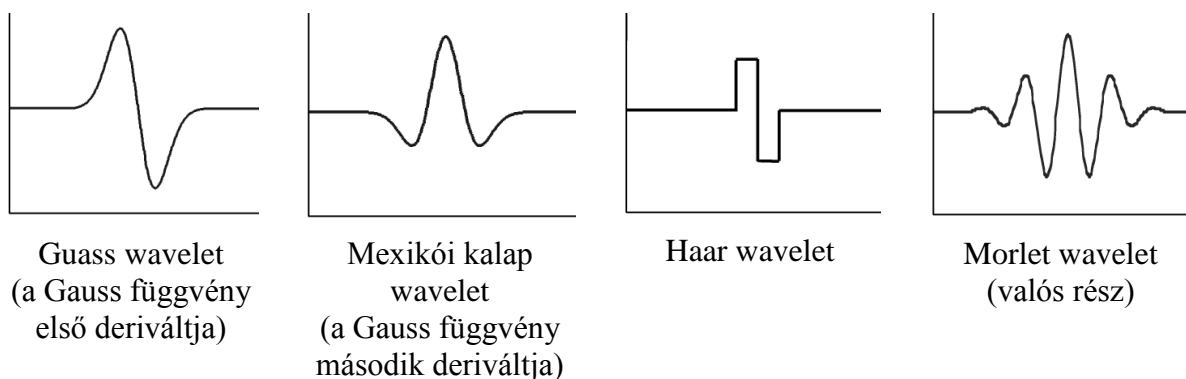
$$CWT_f(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) f(t) dt \quad (1)$$

Kutatók [10] a csapágyrezgés impulzus válasz függvényének jellemzőin alapuló wavelet függvényt alkalmaztak, melyet alkalmasnak lehet belső gyűrű meghibásodásának kimutatására. Hibátlan és a meghibásodott csapágy megkülönböztetésére, elő állítják a rezgés jelek adott skálaparaméter melletti energia spektrumát az impulzus válasz wavelet és a Morlet-wavelet alkalmazásával. Az idő -frekvencia felbontások (Time-frequency Distribution - TFD) lineáris vagy kvadratikus eloszlások csoportjába sorolhatók. A lineáris idő -frekvencia eloszlások osztályába tartozik az ablakozott Fourier-transzformáció (STFT) és a wavelet-transzformáció (WT). Mind a két eljárás időben és frekvenciában jól koncentrált elemi függvényekre bontja fel a vizsgálandó jelet. A kvadratikus TFD a jel energiáját két változó az idő és a frekvencia függvényében vizsgálja. A spektrogram (SP) azaz a STFT abszolút értékének négyzete, a scalogram (SC) azaz a WT abszolút értékének négyzete és a Wigner-Ville eloszlás mind ilyen tulajdonsággal rendelkezik. [3]

A wavelet a frekvencia-idő síkot (a jel "fázisterét") cellákra bontja. Ebben a térben a szokásos idő- és frekvenciatartománybeli ábrázolás egy olyan speciális felbontásként fogható fel, amikor az adott cella egyik irányban végtelen kiterjedésű lesz (pontosabban lefedi a teljes megfigyelt spektrumot ill. az egész megfigyelési időt).

A jelek időtartománybeli és frekvenciatartománybeli leírása más információt szolgáltat a jelről, egyikből csak az idővel, a másikkól csak a frekvenciával kapcsolatos jellemzők látszanak. A wavelet transzformáció a kettő közt van abban az értelemben, hogy frekvenciát azonosít úgy, hogy az időbeliség is látszik. Az időtartománybeli és frekvenciatartománybeli leírás a wavelet transzformáció két szélsőséges esetének tekinthető.

A wavelet transzformáció hasznos az aperiodikus, tranziens, illetve zajos jelek vizsgálatában. Mivel a jel egyszerre vizsgálható idő- és frekvenciatartományban, hatékonyabb a rövid idejű Fourier transzformációtól. E tulajdonsága alapján számos vizsgálati módszer épült rá. A műszaki diagnosztikában a wavelet transzformáció célja az, hogy a jelben lokalizált hullámszerű formákat, ún. waveleteket azonosítsunk (1. ábra), melyek összefüggésbe hozhatók a kiváltó hatásokkal.

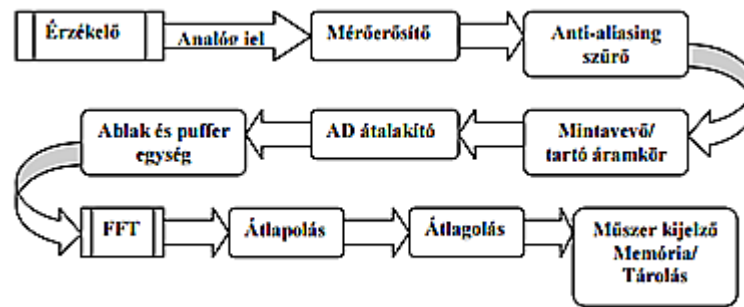


1. ábra Wavelet típusok

### 3. DIAGNOSZTIKAI ÉS SZERSZÁMGÉPORSÓ KARBANTARTÁSI MÓDSZEREK

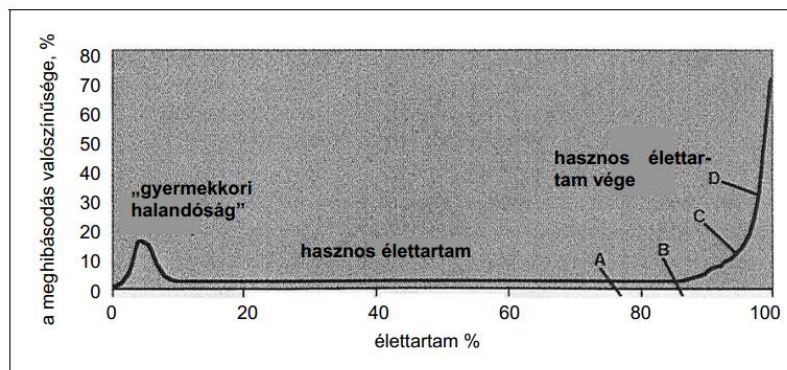
A szerszámgéporsók állapotfelügyeletéhez alkalmasnak bizonyulnak a rezgésdiagnosztikai módszerek, ezen belül a rezgésgyorsulásmérésen alapuló diagnosztika. A mintavételezett analóg jelet egy digitális műszerbe vezetik, ami számos felhasználói funkciót dolgoz fel. A felhasználói igényektől és a mért analóg jelek természetes egységeitől függően közvetlenül is feldolgozhatók, vagy matematikai integrátorokba irányíthatók a rezgésmérés más egységeibe történő átalakítás céljából. A digitális mérőlánc elemei között találjuk az analóg mérés technikából ismert DC/AC csatolást, az előerősítőt/mérőerősítőt és a mérési tartományokat meghatározó osztókat. A legtöbb hordozható műszer FFT (Gyors Fourier Transzformáció) feldolgozást végez, amely az időben változó bemenő minták átlagolásának felvételét és saját frekvenciakomponensekre osztását végzi. A szóban forgó frekvenciától függően a vizsgálni kívánt jeleket felül-, illetve alul áteresztő szűrők sorozatával lehet meghatározni. (2. ábra)





2. ábra A mérés folyamatábrája [7]

A prognózishoz kapcsolódó karbantartási stratégiák a megelőző karbantartástól erednek, amelyek az állapotalapú felügyeleti rendszerekké alakultak (CBM). A CBM egyik fő eleme az adatok gyűjtése és tárolása, amelyek alapján a gép mindenkori állapota azonosítható és előrejelezhető. A prognózis csökkenti a géphibákból eredő váratlan leállások idejét, a karbantartási költségeket. A klasszikus modell a mérési adatok matematikai eloszlását veszi alapul. Általában Poisson, Weibull eloszlás használatos, ez utóbbi alkalmas a gyakorlatban is előforduló „kádgörbe” (2. ábra) modellezésére. A matematikai modellek alkalmasak továbbá repedésterjedés vagy hámlási folyamatok leírására, amelyek a gépek és gépelemek károsodása folyamán rendszeresen előfordulnak.



3. ábra A meghibásodási valószínűség alakulása az élettartam függvényében

A szerszámgéporsók karbantartása és javítása az alábbi lépésekben történik:

Az orsó általános állapotának felülvizsgálata, elektromos motor, kenés, hűtőrendszer, csatlakozások, gépelemek épsége, szemrevételezéssel és próbapados üzemmel.

Szétszerelés és állapotfelmérés során az egyes elemek geometriai és villamos mérése alapján el kell dönteni a felújítás vagy csere szükségességét.

Tisztítás első lépése a kritikus elemeknek, ahol gépjavítás szükséges. A gyártói előírásokat szem előtt tartva kell végezni a javítást, felújítást, karbantartást.

Összeszerelés és tesztelés során először próbapados üzemben mérni kell az üzemi paramétereket, mint a rezgésszint, zajszint, hőmérséklet. Felfutási és lefutási próbák. A rezgésspektrum (5. ábra) kiértékelése a jellemző hibafrekvenciák figyelembevételével.

Eredményes tesztet követően a szerszámgéporsó beépítésre kerülhet a forgácsológépbe.

Próbapados teszteléshez használt eszközök:

GMN nagyfordulatszámú köszörű orsó

Hűtő és kenőrendszer

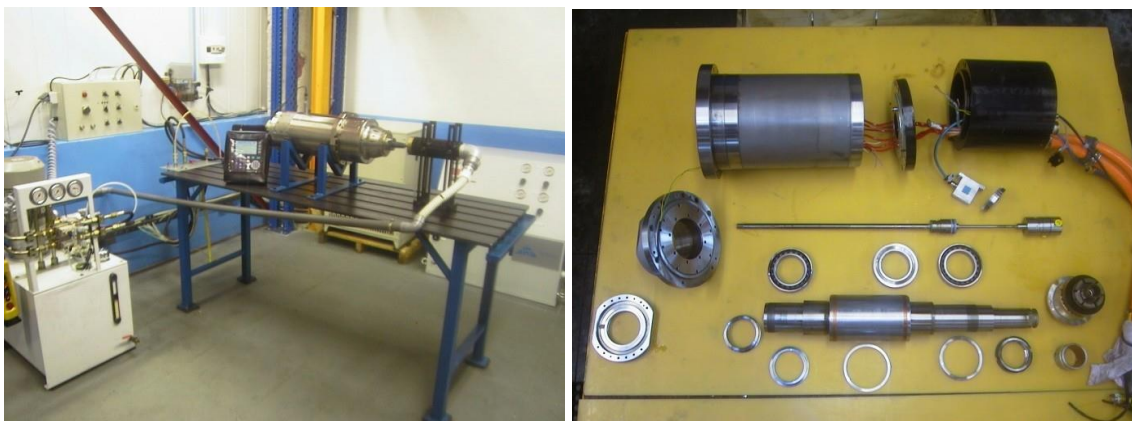
Frekvenciaváltó a fordulatszám szabályozáshoz

PCB gyártmányú rezgésyorsulás érzékelő

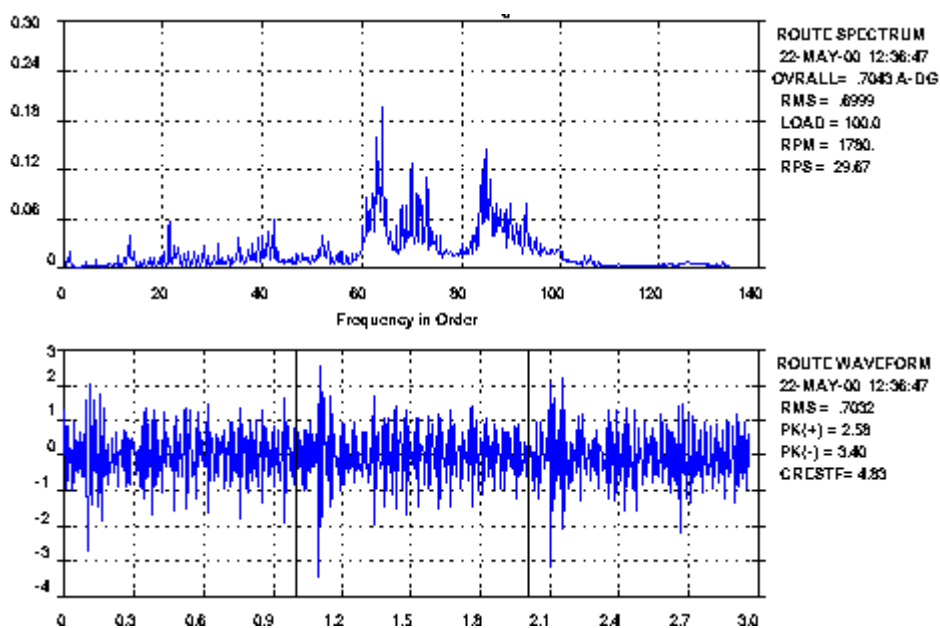
T100 típusú termoelem hőmérsékletszenzor

NI PXI adatgyűjtő és feldolgozó egység, NI 9234 DAQ, NI 9211 CompactRIO részegységek

Labview 2013 szoftver a rezgésértékek méréséhez és elemzéséhez



4. ábra Próbapados tesztelés (balra) és szétszerelés utáni állapotvizsgálat (jobbra)

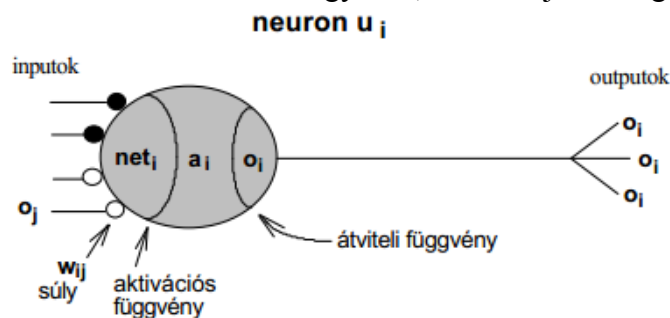


5. ábra Rezgésvizsgálati frekvenciaspektrum (balra) és amplitúdóspektrum (jobbra)

#### 4. MESTERSÉGES NEURÁLIS HÁLÓK ALKALMAZÁSA

A neuronokból álló hálózatokat nevezzük neurális hálózatoknak. Megvalósításuk szerint lehetnek hardver, szoftver, vagy a kettő kombinációja.

Bemeneti réteg: azok a neuronok (6. ábra) található itt, amelyek a bemeneti jel továbbítását végzik a hálózat felé. Rejtett réteg: a feldolgozást végző neuronok tartoznak ide. Egy hálózaton belül több rejtett réteg is lehet. Kimeneti réteg: az itt található neuronok a külvilág felé továbbítják az információt. A feladatuk ugyanaz, mint a rejtett rétegbeli neuronoké. [2]



6 . ábra Az elemi neuron súlyokkal, aktivációs- és átviteli függvénnyel [4]

A mesterséges neurális hálózatok az alábbi tulajdonságokkal rendelkeznek.

- Tanulási képesség jellemzi
- Általánosítóképesség és önszervezés jellemzi működésüket
- Zajos és hiányos adatok elfogadására is alkalmas
- Gyors működést tesznek lehetővé
- Komplikált viszonylatok kezelése
- Nagy mennyiségű adatok elemzésére is képesek
- Nagyfokú rugalmasságot valósítanak meg

A neurális hálók (ANN) lehetnek ellenőrzött tanítású hálózatok, mint az RBF (Radial Basis Function) hálózatok, PNN (Probabilistic Neural Network) hálózatok, GRNN (Generalized Regression Neural Network) hálózatok, Előrecsatolt hálózati struktúrák FIR szűrőkkel, vagy késleltetett bemenetekkel. Nem ellenőrzött tanítású hálózatok például a Kohonen hálózat (SOM), Adaptív rezonancia elmélet (ART, Adaptive Resonancia Theory).[2]

A Levenberg-Marquardt eljárás egy hibrid eljárás. A módszer átmenetet biztosít a legmeredekebb lejtő és a Newton/LMS algoritmus között, így próbálva egy optimális eljárást biztosítani. Ugyanis mind a két eredeti eljárásnak megvan az optimális felhasználási feladata, és a kettő keverésével új feladatokat is le tudunk fedni. A kettő keverését egy lépésfüggő Lambda együttható határozza meg. Ez a súlytényező, hogy melyik eljárás eredményét vegyük inkább figyelembe. Ha 1-hez közeli az értéke akkor a legmeredekebb lejtő módszerét, ha 0-hoz akkor pedig a Newton módszert. Továbbá megvan szorozva még egy "I"-vel jelzett taggal, amely az invertálhatóságot biztosítja.

A mérések során a Levenberg-Marquardt eljárás hozzávetőlegesen 86-92 % előrejelzési szintet biztosít a diagnosztikai eljárásokban.

## 5. ÖSSZEGZÉS

A szerszámgépsők a gépgyártástechnológiában széles körben használt egységek. A wavelet transzformáció kifejezetten alkalmas arra, hogy zajjal terhelt környezetben is hatékonyan diagnosztizálja a csapágyak esetleges meghibásodásait. Az állapotvizsgálat lépései gépjavítási szempontok figyelembevételével meghatározható, a külső szemrevételezést az egység megbontása, szétszerelése követi.

A szétszerelés előtt és a javítási műveletek után a mérésekhez tesztpad használható, amely alkalmas a csapágyak belső gyűrű, külső gyűrű és gördülőelem hibáinak vizsgálatára rezgésdiagnosztika segítségével, valamint hőmérséklet ellenőrzésére.

A gépi tanulás lehetővé teszi az online monitoring alkalmazását, az adott orsóhibák detektálását és a gyors beavatkozást. A Levenberg-Marquardt eljárás megfelelő előrejelzési szintet biztosít a diagnosztikai eljárásokban, tehát ipari alkalmazásokban használható eljárás.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **B. LIU, S.F. LING, R. GRIBONVAL**, *Bearing failure detecti on using matching pursuit*, NDT&E International, Vol. 35 (2002), pp. 255-262.
- [2] **CIHAN H. DAGLI**: *Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing* Chapman & Hall, New York, 1994. p470
- [3] **CLARENCE W. DE SILVA**: *Vibration and Shock Handbook*, 2005.
- [4] **DUDÁS L.**, *Mest intelligencia*, Miskolci Egyetem, 2002.
- [5] **S. ERICSSON, N. GRIP, E. JOHANSSON, L.-E. PERSSON, R. SJÖBERG , J.-O. STRÖMBERG**, *Towards automatic detection of local bearing defects in rotating machines*, Mechanical Systems and Signal Processing 19 (2005), pp. 509-535.
- [6] **SCHAEFFLER (UK) LTD.**, *How to detect bearing failures using vibration*, 18. May. 2007. <http://www.machinebuilding.net/ta/t0057.htm>
- [7] **SZABÓ JÓZSEF ZOLTÁN**: *Rezgésdiagnosztikai vizsgálatok és haditechnikai alkalmazhatóságuk kutatása*, PhD értekezés, 2011.
- [8] [http://www.muszaki-magazin.hu/hirek/Nagy\\_fordulatszamu\\_szerszamgeporsok](http://www.muszaki-magazin.hu/hirek/Nagy_fordulatszamu_szerszamgeporsok)

## MŰANYAG SZÁLERŐSÍTÉSŰ VASBETON GERENDÁK REPEDEZETTSÉGI ÁLLAPOTA

### CRACKING BEHAVIOR OF PLASTIC FIBRE REINFORCED CONCRETE BEAMS

Taierling János<sup>1</sup>, Mező Norbert János<sup>2</sup>, Kovács Imre<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> IV. évf. építőmérnök hallgató

Debreceni Egyetem Műszaki Kar

<sup>1</sup>[mezonorbert328@gmail.com](mailto:mezonorbert328@gmail.com), <sup>2</sup>[taierlingjanos@yahoo.com](mailto:taierlingjanos@yahoo.com)

<sup>3</sup> tanszékezető, főiskolai tanár

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék

[dr.kovacs.imre@gmail.com](mailto:dr.kovacs.imre@gmail.com)

**Kivonat:** A különböző anyagú szálak alkalmazása betonban egyes mechanikai jellemzőinek javítása érdekében napjainkban egyre elterjedtebb technológiává vált az építőiparban. A betonban alkalmazott szálak közül legelterjedtebbek a különböző anyag összetételű és alakú acél- és műanyag szálak. Az építőanyagok fejlődésének köszönhetően a mai műanyag szálak szilárdsági jellemzőikkel vetekednek az acélszálak hasonló tulajdonságaival. A Debreceni Egyetem Építőmérnök Tanszékén kutatási programot dolgoztunk ki a műanyag szálak vasbeton gerendák alakváltozásaira gyakorolt hatásának megismerése céljából. Kísérleteinkben olyan műanyag szálerősítésű vasbeton gerenda próbatesteket vizsgáltunk, melyekben az alkalmazott műanyag szálak szilárdsági jellemzői a legmagasabbak a piacon kapható szálak csoportjában. Vizsgálataink célja a különböző száladagolások hatásának vizsgálata volt szerkezeti elemeink repedezettségi állapotára.

**Kulcsszavak:** használati határállapot, alakváltozás, repedésmentes és berepedt állapot, szálerősítés, műanyag szál, a nyomaték és a görbület összefüggése

**Abstract:** Application of different fibre reinforcement in concrete is a spreading technology in the building industry nowadays. However, current applied fibre material is generally steel and/or plastic. Development of building materials results better and better plastic fibre types, by the increase of yield strength. At the Department of civil Engineering University of Debrecen an intensive experimental program was developed in order to investigate the effect of plastic fibres on the structural performances of concrete members. The specimens of our experiment were plastic fibre reinforced RC beams made with different fibre quantity. The purpose of this experiment was to investigate the effect of fibre reinforcement on the cracking behaviour in the serviceability limit state.

**Keywords:** serviceability limit state, cracking behaviour, cracked and uncracked section, fibre reinforcement, plastic fibre reinforcement, moment curvature relationship

## 1. BEVEZETÉS

A szerkezeti betonban fellépő különböző hatások miatt kialakuló repedések jelentősen befolyásolják a szerkezet használhatóságát, tartósságát, megjelenését, általánosan fogalmazva a szerkezet teljesítőképességét. A repedések kialakulását okozza minden olyan hatás – az erőtani számításban szereplő igénybevételek mellett, – melyek a betonban, annak húzószilárdságát meghaladó húzófeszültséget ébresztenek. A repedések kialakulhatnak a cementpép megszilárdulása előtti frissbeton „korszakban” és a beton szilárdulását követően, a terhelések okozta igénybevételek következtében is. A beton kötése, szilárdulása alatt pl-plasztikus repedések tűnhetnek fel a bedolgozást követően, ezeknek alapvetően két fő típusa van: a plasztikus zsugorodási repedések (jellemzően lemezek esetén) és a plasztikus ülepedési repedések (jellemzően magas elemek esetén). A már megszilárdult betonban a repedések a

terhelésből származó igénybevételek (csavarás, nyírás, húzás, hajlítás stb.), illetve a lassú alakváltozások (száradási zsugorodás, hőhatás) hatásai miatt alakulhatnak ki. A repedéseket meghatározó főbb tényezők közé tartozik a beton és a betonacél közötti tapadási jellemzők összessége, a beton és a betonacél szilárdsági és rugalmassági jellemzői, a betonacél átmérője, a betonacélok távolsága, a betonfedés nagysága valamint a vasaláserősség.

Egy szerkezeti elem repedezettségi állapotát ezen főbb paraméterek által meghatározott további két további származtatott mennyiség, a repedéstávolság és a repedéstágasság értékei alapján jellemezzük.

## 2. REPEDÉSTÁGASSÁG AZ MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC2) ALAPJÁN

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC2) szabvány alapján a repedéstágasságot a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}),$$

ahol:

$s_{r,max}$  – maximális repedéstávolság:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing}{\rho_{p,eff}}$$

$$s_{r,max} = 1,3 \cdot (h - x_{II}) \text{ ha a betonacélok távolság } s_{\varnothing} > 5 \cdot \left( c + \frac{\varnothing}{2} \right)$$

$k_1$  – a betétek tapadását figyelembe vevő tényező

$k_1 = 0,8$  bordás betétek esetén,  $k_1 = 1,6$  sima betétek esetén

$k_2$  – a feszültségeloszlást figyelembe vevő tényező

$k_2 = 0,5$  tiszta hajlítás esetén,  $k_2 = 1,0$  tiszta húzás esetén,  $k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2\varepsilon_1$  külpontos húzás esetén

$k_3$  – 3,40

$k_4$  – 0,425

$c$  – a húzott acélbetéteken lévő betonfedés

$\varepsilon_{sm}$  – a húzott acélbetétek átlagos megnyúlása a húzott betonzóna merevítő hatásának figyelembe vételével

$\varepsilon_{cm}$  – a húzott beton öv átlagos megnyúlása a repedések között

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$  az alábbi formában számítható:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

ahol vasbeton szerkezet esetén:

$\sigma_s$  – acélbetétben lévő feszültség a használhatósági határállapot alapján meghatározott igénybevételből a vizsgált keresztmetszetben számítva:

$$\sigma_s = \alpha_{eff} \cdot \frac{M_{p(qp)}}{I_{II}} \cdot (d - x_{II}) \text{ pontos értéke berepedt állapotban,}$$

$$\sigma_s \approx f_{yd} \cdot \frac{p_{d,quasi}}{p_{Ed}} \cdot \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \quad \text{becsült értéke berepedt állapotban}$$

$k_t$  – a terhelés módját figyelembe vevő tényező:

$$k_t = 0,6 \text{ rövid idejű terhelés esetén, } k_t = 0,4 \text{ tartós terhelés esetén}$$

$f_{ct,eff}$  – a beton húzószilárdságának átlagos értéke a beton berepedésének idején  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$

$$\rho_{p,eff} = A_{s,prov} / A_{c,eff}$$

$$\alpha_e = E_s / E_{cm}$$

$A_{c,eff}$  – a húzott betonacélokat körülvevő hatékony húzott betonkeresztmetszet berepedt állapotban:

$$A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,eff} = b_w \cdot \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \cdot (h - d) \\ (h - x_{II}) / 3 \\ h / 2 \end{array} \right\} \quad (\text{MSZ EN 1992-1-1:2010, EC2})$$

### 3. PROBLÉMA DEFINIÁLÁSA

Mivel az ismertett szabvány nem tesz javaslatot a szálerősítés hatásának figyelembe vételére, célunk a meglévő számítási eljárás kiterjesztése volt. Ennek megfelelően a modell alapját az MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC 2) repedezettségi állapot meghatározására szolgáló összefüggései képezik.

A Debreceni Egyetem Műszaki Karának volt építőmérnök hallgatói, Kiss Lilla és Varga Ákos, már foglalkoztak a szálerősítés problematikájával. TDK dolgozataikban az acélszálerősítés hatásait vizsgálták a nyírási teherbírásra és a repedezettségi állapotra. Azt a következtetést vonták le, hogy az acélszálak kedvezően befolyásolják a repedezettségi állapotot, csökkentik a repedéstávolságot és a repedéstágasságot is. Kísérleteinkben – az elődök nyomdokain haladva – ezért a még ismeretlennek tekinthető műanyag szálak hatásmechanizmusát kívántuk feltárni.

A műanyag szálak kémiai összetételének köszönhetően nem korrodálnak, savállóak, alkáli állóak, nem vezetnek az elektromos áramot valamint mágneses teret sem indukálnak. Egy másik hasznos sajátosságuk, hogy alkalmazásuk során javul a beton tűzállósága, magas hőmérsékleten a betonból kiolvadnak, teret engedve a betonban lévő nagynyomású vízgőznek. A beton a bedolgozást követően egy rövid ideig duzzad, azután pedig erősen zsugorodik. A megfelelő betontechnológia és pl. műanyag szálak alkalmazása megakadályozza a frissbeton plasztikus zsugorodása miatt kialakuló repedéseket. A bedolgozást követő első 10-12 órában a zsugorodási feszültségek gyorsabban nőhetnek, mint a beton saját húzószilárdsága. Amikor a zsugorodásból származó feszültségek nagyobbak a frissbeton húzószilárdságánál, repedések keletkeznek. Az alacsony rugalmassági modulusú műanyag szálak használata ezeket a húzófeszültségeket csökkenti.

### 4. FELÁLLÍTOTT MODELLJAVASLAT

Mint említettük, modellünk alapját az MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány repedezettségi állapotra tett javaslata képezi. Ezen összefüggések lettek kibővítve egy a szálak hatását figyelembe vevő tényezővel, melyet kísérlez eredményeink alapján határoztunk meg.

A műanyag szálak hatását is figyelembe vevő, az MSZ EN összefüggést kiterjesztő modellünkben a repedéstávolságra az alábbi javaslatot tesszük:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c_{nom} + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \varnothing_s}{\rho_{p,eff}} + \alpha_f \cdot \frac{\varnothing_f}{\rho_{f,eff}} \cdot k_{f1},$$

ahol:

$\alpha_f$  – homogenizációs tényező,  $\alpha_f = \frac{E_f}{E_s}$

$E_f$  – műanyagszál rugalmassági modulus

$\varnothing_f$  – műanyagszál átmérő

$\rho_{f,eff}$  – szálhányad,  $\rho_{f,eff} = \frac{A_{f,prov}}{A_{c,eff}}$

$A_{f,prov}$  – műanyagszálak keresztmetszeti területe

$k_{f1}$  – repedéstávolsághoz tartozó kísérleti paraméter

A repedéstágasság meghatározására javasolt új összefüggésben továbbra is a repedéstávolság, valamint egy fajlagos alakváltozás jellegű mennyiség szorzata szerepel. A fajlagos alakváltozás jellegű mennyiség meghatározásakor lehetőség nyílik a szálak szerepének figyelembe vételére, mely alapján:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff}) - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{f,eff}} \cdot (1 + \alpha_f \cdot \rho_{f,eff}) \cdot k_{f2}}{E_s},$$

ahol:

$k_{f2}$  – a fajlagos alakváltozást a szálak hatásával módosító kísérleti paraméter

## 5. KÍSÉRLETI PROGRAM

A szálak hatásának vizsgálatára, valamint a javasolt új modellben szereplő kísérleti paraméterek meghatározására kísérleti programot dolgoztunk ki.

### 4.1. Alkalmazott szálak

A vizsgálat során ( $l = 48$  mm) Barchip 48-as műanyag szálak kerültek alkalmazásra. Ennek a száltípusnak a főbb jellemzői a következők: anyaga módosított olefinszál, húzószilárdsága  $640$  N/mm<sup>2</sup>, rugalmassági modulusa  $10000$  N/mm<sup>2</sup>. A gerendák négy különböző száltartalommal készültek:  $0$  kg/m<sup>3</sup>,  $2$  kg/m<sup>3</sup>,  $4$  kg/m<sup>3</sup>,  $6$  kg/m<sup>3</sup>.

### 4.2. Betonösszetétel

A próbatestek az MSZ EN 1992-1-1:2010 (EC2) szerint C40/50 szilárdsági osztályba tartozó betonból készültek. A kísérlet során nyomószilárdság és hasító-húzószilárdság vizsgálat is történt  $150$ mm élhosszúságú kocka elemeken, a vizsgáldás és az előszámítások pontosságának érdekében.



### 4.3. Hajlított-nyírt gerendák, terhelési és mérési módszerek

A kísérleti programban 16 db eltérő paraméterekkel rendelkező gerenda szerepelt. A próbatestek  $L = 3960$  mm hosszú,  $125$  mm x  $500$  mm keresztmetszetű vasbeton gerendák, amelyek azonos hosszvasalással lettek kialakítva. A hosszvasalás 6 db, végein megfelelően lehorgonyzott, két sorban elhelyezett  $2 \times 3 \times \emptyset 12$ -es acélbetétekkel került kialakításra. A kengyelek  $5,5$  mm átmérőjű acélbetétek felhasználásával készültek. A kengyeltávolságot a dolgozó magasság ( $d = 450$  mm) figyelembe vételével, annak függvényében határoztuk meg,  $450$  mm,  $300$  mm,  $150$  mm kengyeltávolságú, tovább kengyelezés nélküli gerendák készültek. A műanyag szálak hatásának vizsgálata céljából a gerendákban eltérő száltartalom került alkalmazásra,  $0$  kg/m<sup>3</sup>,  $2$  kg/m<sup>3</sup>,  $4$  kg/m<sup>3</sup> és  $6$  kg/m<sup>3</sup> száltartalommal. A kísérleti mátrixot ennek megfelelően 4 eltérő nyírási vasalású és 4 különböző szaladagolású gerenda alkotta.

A terhelés módja a harmadpontos terhelésnek megfelelő volt, a teherátadás a támaszoktól  $900$  mm távolságra ( $2 \times 450$  mm) történt, így a tartó középső  $1800$  mm hosszú ( $4 \times 450$  mm) szakaszán a terhelési módnak megfelelően tiszta hajlítás alakult ki.

A kísérletek során rögzítésre kerültek az alakváltozások, mely alakváltozásokat a terhelési pontok, valamint a tartó középső keresztmetszetében vettünk fel digitális adatrögzítéssel teherlépcsőnként ( $10$  kN), továbbá a repedéstágasságok, repedéstávolságok és a repedéshosszak melyeket analitikus eszközökkel rögzítettünk.

## 5. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK, MEGÁLLAPÍTÁSAINK

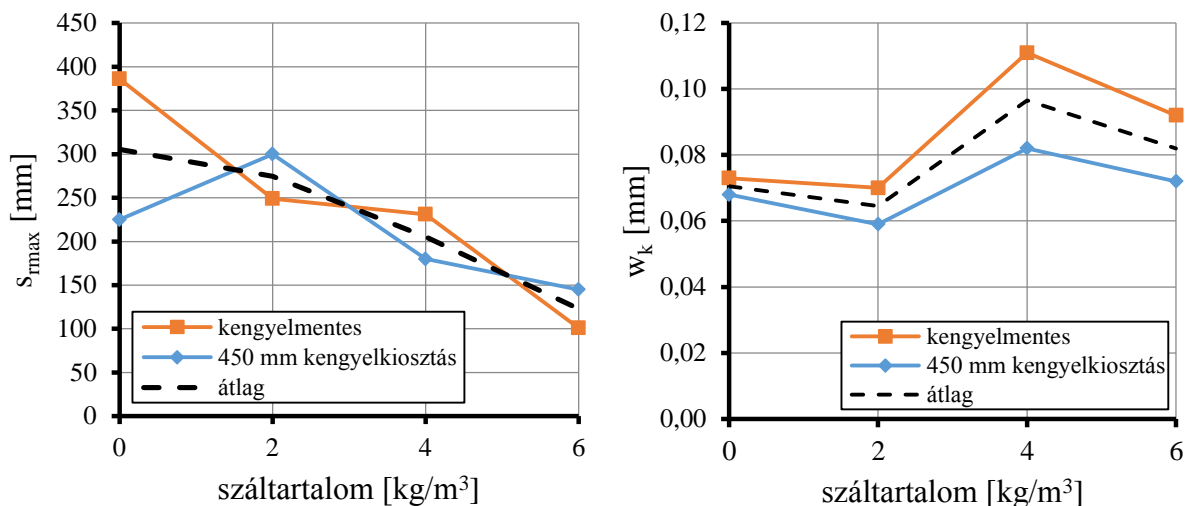
Kísérleteink folyamatban vannak, a kísérleti mátrixból 8 darab gerenda terhelésére került eddig sor, ezek eredményei kerültek feldolgozásra. A rendelkezésre álló repedéstágassági és repedéstávolsági eredményekből meghatározott  $k_{f1}$  és  $k_{f2}$  kísérleti tényezőket az 1. táblázat és a 2. táblázat foglalja össze. A repedések távolságára és tágasságára vonatkozó eredményeket, egységesen, minden gerenda esetén egy adott teherszinten –  $275$  N/mm<sup>2</sup> acélfeszítéshez tartozó teherszint – vizsgáltuk, mely a használati határállapotot megfelelően jellemzi. A vizsgált teherszinthez tartozó értékek a repedések állandósulásának szakaszából származnak. A repedéstágassági és repedéstávolsági eredményeket az 1. ábra ismerteti.

$k_{f1}$	$0$ kg/m <sup>3</sup>	$2$ kg/m <sup>3</sup>	$4$ kg/m <sup>3</sup>	$6$ kg/m <sup>3</sup>
0 kengyel	0	18,06	31,32	-5,01
450 kengyel	0	24,86	17,73	12,59

1. táblázat:  $k_{f1}$  repedéstávolsági kísérleti tényezők

$k_{f2}$	$0$ kg/m <sup>3</sup>	$2$ kg/m <sup>3</sup>	$4$ kg/m <sup>3</sup>	$6$ kg/m <sup>3</sup>
0 kengyel	0	0,52	0,89	0,63
450 kengyel	0	0,57	0,93	1,42

2. táblázat:  $k_{f2}$  repedéstágassági kísérleti tényezők



1. ábra: Szálak hatása a repedéstávolságokra ( $s_{r,max}$ ) és repedéstágasságokra ( $w_k$ )

A kísérleti eredmények vizsgálata arra a megállapításra enged következeni, hogy a száltartalom növelésével csökkennek a repedéstávolságok, ezzel együttesen több repedés alakul ki a vizsgált gerendán. Az 1. ábrán szaggatott vonallal jelölt kengyelmentes és 450 mm kengyeltávolságú gerendák repedéstávolságainak átlagértéke látható. Ezen átlag alapján megállapítható, hogy a száltartalom növelésével a repedéstávolság csökken. A diagramon feltüntetett eredmények minden gerenda esetén egységes feszültséghez ( $275 \text{ N/mm}^2$ ) tartozó repedéstávolsági eredmények, amelyek a repedések állandósulásának szakaszából származnak.

A repedéstágasságokat illetően a szálak hatása – a repedéstávolságnál tapasztaltnál képest – nem mutat lineáris tendenciát. Az 1. ábrán látható, hogy a  $2 \text{ kg/m}^3$  száltartalom esetén csökken a repedéstágasság, ami pozitív hatásnak tekinthető. A nagyobb száladagolás melletti eredmények a repedések tágasságának növekedését mutatják, ami a nagyobb száltartalmak esetén tapasztalt alacsonyabb szilárdsági és rugalmassági jellemzőknek tulajdonítható.

Az eddigi kísérleti eredmények alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a műanyag szálak alkalmazásának nincs műszakilag értékelhető kedvező hatása a szerkezeti jellegű repedések kialakulására és azok tágasságára.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MSZ EN 1992-1-1:2010 EUROCODE 2: Betonszerkezetek tervezése. 7.3.4
- [2] BOROSNYÓI A., BALÁZS L. GY., *Models for flexural cracking in concrete: The state of art*
- [3] KISS L., VARGA Á., *Acélszál erősítésű vasbeton gerendák repedezettségi állapota*, TDK dolgozat, 2010
- [4] KOVÁCS I., *Effect of steel fibres on the structural behaviour of concrete members*, Doktori PhD. Értekezés, 2004 udapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
- [5] MEZŐ N. J., TAIERLING J., *Műanyag szálerősítésű vasbeton gerendák repedezettségi állapotának vizsgálata és modellezése*, TDK dolgozat, 2014

## TERMIKUSAN SZÓRT NICRBSI BEVONATOK MINŐSÉGÉNEK JAVÍTÁSA

### IMPROVING THE QUALITY OF THERMAL SPRAYED NICRBSI COATINGS

Molnár András<sup>1</sup>, Csabai Zsolt<sup>2</sup>, Ráthy Istvánné<sup>3</sup>, Fazekas Lajos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>doktorandusz, Miskolci Egyetem, Anyagszerkezet-tani és Anyagtechnológiai Intézet(a.molnar2007@gmail.com)

<sup>2</sup>igazgató, Csabai Pharma AG Svitzerland, Zug, (dr.csabai@csabai.de)

<sup>3</sup>tanszékvezető, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Kar (fazekas@eng.unideb.hu)

<sup>4</sup>főiskolai tanár, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Kar (rathyne@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A kor követelménye olyan alkatrészek gyártása, amelyek kifáradási tulajdonságai és a felületük tribológiai tulajdonságai jobbak az eredeti alapanyagból készültkénél és a bevonat teljes keresztmetszetében érvényesülnek a megolvasztott bevonat anyagának kedvezőbb tulajdonságai. A porozitás csökkentése a termikus sugárba kerülő részecskék entalpiájának növelésével érhető el. A réteg és alapanyag kapcsolatának javítása a felület előkészítése mellett az részecskék hőmérsékletével és az ütközési energia megnövelésével érhető el. A felszört réteg újraolvasztásával a porozitás jelentős mértékben (0 - 0,5 %) csökkenthető ugyanakkor - réteg és az alapanyag között hegesztett kötés alakul ki. A réteg megolvasztásakor optimális hő-bevitel mellett a felhígulás mértéke 0 – 5 % értékhatárokon belül tartható.

**Kulcsszavak:** termikus szórás, bevonatok, felületi réteg, újraolvasztás, NiCrBSi ötvözet.

**Abstract:** The requirement of our age is to manufacture of parts, the fatigue properties and surface tribological properties of which are better than those manufactured of original basic material and the most favourable characteristics of the molten coating material prevail through the entire cross-section. The reduction of porosity can be reached through the increase of enthalpy of particles the thermal beam. Beside the preparation of the surface, the improvement of relationship between the layer and the basic material can be reached through the increase of the temperature of the particles and through that of the impact energy. Through remelting of the sprayed layer the porosity can be reduced significantly (0-0,5 %) and at the same time a layer is formed between the welding layer and the bonding material. During the melting of the layer beside an optimum heat intake the rate of dilution can be kept within the range of 0-5 per cent.

**Keywords:** thermal spraying, coatings, surface layer, remelting, NiCrBSi alloy.

## BEVEZETÉS

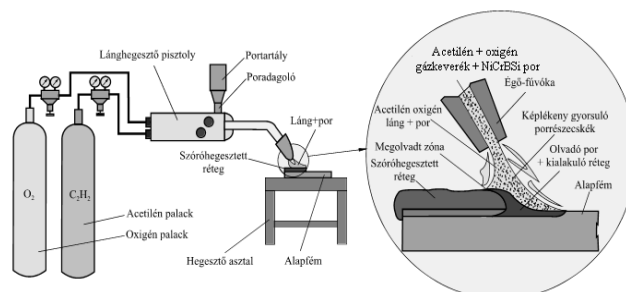
A Ni-alapú bevonatokat főleg növelt hőmérsékleten ható korrózióknak és koptató hatásnak kitett felületi rétegek kialakításánál használják [1].

A Ni-alapú ötvözetek B és Si tartalma megkönnyíti a szórási és olvasztási folyamatot. A Si és B jelenléte növeli a Ni-alapú ötvözet hígfolyósságát és olvadási, illetve, kristályosodási hőközt. A B jelenléte (kb. 3,6 t. %) elősegíti a kemény fázis kialakulását [2].

A Si tartalom növelése a szórt réteg hígfolyósságának javítása érdekében nem vezetett eredményre. A Cr-nak fontos szerepe van a NiCrBSi ötvözetek alkalmazásánál, mivel növeli a felvitt szórt és megolvasztott réteg keménységét és javítja annak mechanikai tulajdonságait – továbbá növeli a kopásállóságot [3].

Különböző NiCrBSi ötvözeteket fejlesztettek ki bevonatok készítéséhez, azért hogy a mechanikai tulajdonságokat javítsák, és annak érdekében, hogy a bevonat koptató hatással szembeni viselkedését kellő pontossággal előre meg tudják határozni [4-5]. A bevonatban lévő folytonossági hiányok (porozitás, nem megolvadt részecskék, oxidzárványok) miatt a szórt réteg nem tökéletes. [6-8]. A hibátlan, tömör réteg kialakítása érdekében alkalmazott lézersugaras megolvasztás elősegíti a porozitás teljes elkerülését, így a bevonat teljesen tömör

lesz [9-10]. A réteg szerkezetének finomodása miatt a bevonat mechanikai tulajdonságai jobbak lesznek és a kopásállósága is jelentős mértékben javul [11-12]. A lézersugaras utókezelés – mely koncentrált hő-bevitellel jár együtt – a megszilárduló fémes bevonatban repedéseket okozhat, mely a próbatest, vagy a munkadarab előmelegítésével és szabályozott visszahűtésével elkerülhető [13-14].



1. ábra Szőrő-hegesztés elvi vázolata

A termikus szórással felvitt réteg minősége egyértelműen javítható a lézersugaras újraolvasztással [15]. Ugyanakkor számos lehetőséget látunk arra, hogy a szórt réteg kötésének metallurgiai jellegűvé alakítása mellett a további minőség javulás érhető el az újraolvasztás és a lehűlés közbeni befolyásolásával.

## 2. SAJÁT KÍSÉRLETEK

### 2. 1. Felhasznált kiinduló anyagok

Az alapfém Ck 45 minőségű, 80 X 50 X 10 mm méretű acél próbatestek voltak.

A kísérleti darabok elkészítéséhez két NiCrBSi porötvözet került felhasználásra (1. táblázat).

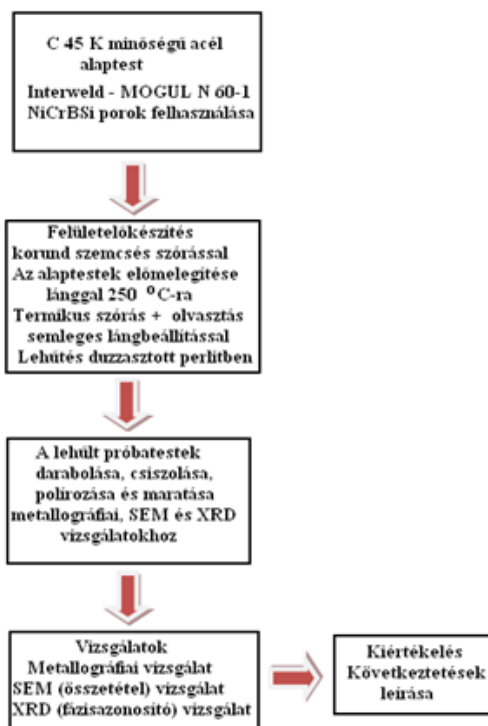
N 60-1 *	Összetétel [%]					
	Ni	Cr	Si	B	C	Fe
Alap	15,0	4,30	3,10	0,75	3,50	
Részecske méret:	-106 +20 [µm]					
Olvadási hőköz	970 – 1000 [°C]					
Rétegekeménység	62 [HRC]					

\*Powders of MOGUL METALLIZING GmbH., Sollingen, Deutschland, Trader: Interweld GmbH., Austria

1. táblázat A felhasznált NiCrBSi por összetétele és jellemzői

A 2. ábra szerint a hengerelt téglalap szelvényű melegen hengerelt próbatesteket korund szemcsés szórással előkészítettük, majd 250 °C-ra előmelegítettük és kétféle NiCrBSi ötvözet alkalmazásával egy lépcsős eljárást alkalmaztunk – amikor a réteget termikus szórással (FS) hoztuk létre és lánggal megolvasztottuk. A felület előkészítéshez célszerű 0,8-1 mm szemcseméretű elektrokorundot választani (fehér színű) – így biztosítható az optimális felületi érdesség ( $R_a = 2-8 \mu\text{m}$ ) – amely a felszórt por tapadását elősegíti – majd megolvasztását is megkönnyíti.

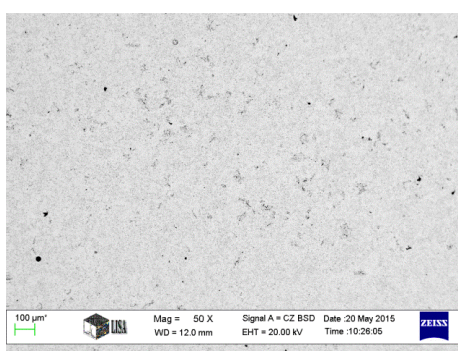
Az elkészült próbatesteket duzzasztott perlit porba helyezve 24 óra alatt hűltek le kb 30 [°C] hőmérsékletre.



2. ábra Vizsgálati terv

## 2. 2. SEM - EDXMA elemzés

A SEM - EDXMA elemzést ZEISS MA 10 típusú SEM elektronmikroszkóppal végeztük a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló (LISA) Laboratóriumában.

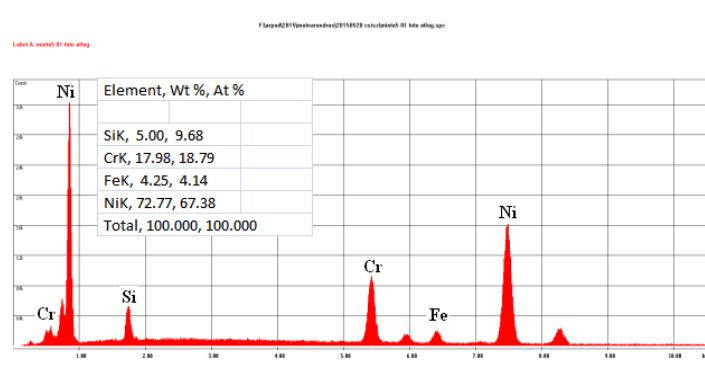


3. ábra LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 50x) (Por: MOGUL N 60-1, maratószer 4 %-os HNO<sub>3</sub>)

Az N 60-1 márkajelzésű NiCrBSi porokkal felszórt és lánggal olvasztott mintákat SEM elektronmikroszkóppal vizsgáltuk. Az EDXMA elemzés FS-szórt és lánggal olvasztott mintákban eltérő a vegyi összetétel. A 3. ábrán a lánggal újraolvasztott rétegek vegyi

összetételének alakulását mutatjuk be a réteg teljes metszetében. Az EDXMA elemzésnél szembejövő a rétegek magas Cr tartalma, amely a kemény fázisok jelenlétére utal.

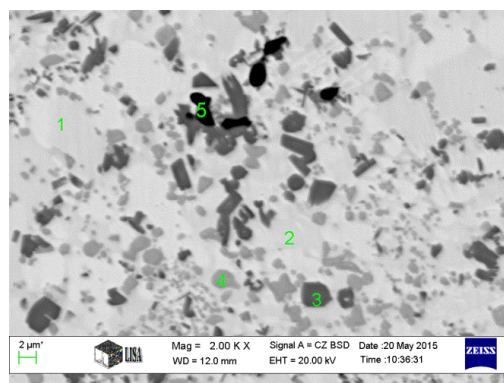
A 3. ábrán egy LV láng-szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (MOGUL N 60-1 por) mikro-szerkezete látható. A réteg vastagsága 1,5 mm. Megfigyelhető, hogy a réteg szinte teljesen porozitás-mentes.



4. ábra LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 50x) (Por: MOGUL N 60-1) átlagos összetétele

A 3. ábra lánggal szórt olvasztott NiCrBSi bevonat szerkezetét mutatja be. A világos rész egy dendrites szerkezetű Ni szilárd oldat; a sötétebb egyenletesen eloszló, nagy Cr-tartalmú eutektikus keményfázis. Az EDS elemzésnél szembejövő a rétegek magas Cr tartalma, amely a kemény fázisok - krómkarbidok és boridok (főleg Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> és CrB) - jelenlétére utal.

Ez a vizsgálat megerősíti a irodalmi hivatkozásokban közölt eredményeket – amelyek szerint a Ni- mátrixban elhelyezkedő keményfázis szigetek összetétele különféle komplex karbidok és boridok. Ezt az XRD (X-ray Diffraction) vizsgálatokkal szeretnénk igazolni.



5. ábra LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (N = 200x) (Por: MOGUL N 60-1, maratószer 4 %-os HNO<sub>3</sub>)

Vizsgált elem	Átlag		1-es pont		2-es pont		3-as pont		4-es pont		5-ös pont	
	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %	Wt %	At %
BK							0,53	0,15				
CK							1,23	3,92	5,68	20,94	4,65	14,31
AlK											112,34	116,89
SiK	5,00	9,68	6,43	12,44	13,21	24,03	0,19	0,26	0,36	0,57	19,41	25,52
PK											0,69	0,83
CaK											0,82	0,76
TiK											0,90	0,69

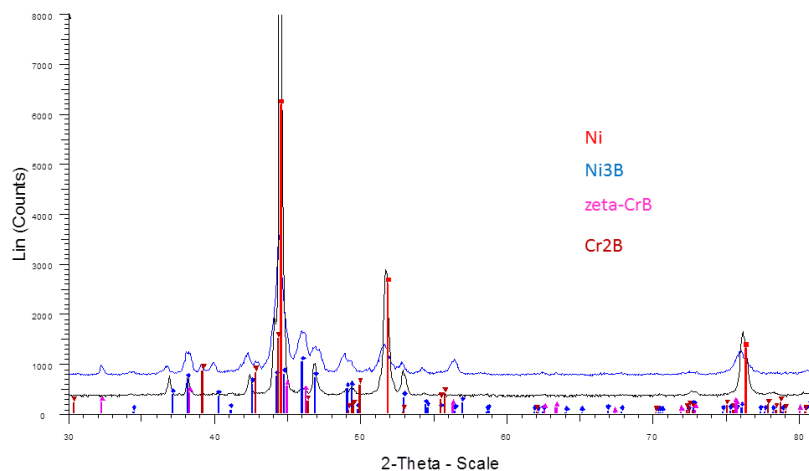
CrK	17,98	18,79	5,62	5,87	3,03	2,97	83,53	61,38	76,30	65,02	29,78	21,15
FeK	4,25	4,14	5,24	5,10	1,84	1,69	1,58	1,08	3,79	3,01	2,23	1,,48
NiK	72,77	67,38	82,71	76,58	81,93	71,31	4,92	3,20	13,87	10,47	29,19	18,37
Összes	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

4. táblázat LV lánggal szórt és megolvasztott NiCrBSi bevonat (Por: MOGUL N 40-1) összetétele a 8. ábra szerint megjelölt helyeken

A réteg újraolvasztásánál jelentős szerepe van a hőbevitelnek – amelyet az oxigén-acetilén égő helyes megválasztásával és a láng pontos beszabályozásával tudunk elérni. Amennyiben túl kicsi a hőbevitel akkor a réteg nem, vagy részlegesen olvad meg és nem alakul ki megfelelő kötés az alapfémrel. A túl nagy hő-bevitel a réteg alapfémrel való felhígulását eredményezi – amely az alkatrész használhatóságát korlátozza (pl. nem érjük el a kívánt kopásállóságot). A 8. ábrán 200x-os nagyításban látható ez a réteg, amelyben a különféle komplex karbidok és boridok sötét színűek.

### 2. 3. XRD vizsgálat

A fázisazonosítást detektor oldali monokromátorral ellátott Philips PW 1830 típusú röntgen-diffraktométerrel végeztük a Miskolci Egyetem Fémteni, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetének Komplex Képelemző és Szerkezetvizsgáló (LISA) Laboratóriumában. A vizsgálati paraméterek az alábbiak voltak: 40 kV csőfeszültség, 30 mA csőáram; CuK $\alpha$  röntgensugárzás; 0,05° lépésköz ( $\Delta 2\theta$ ); 10 s gyűjtési idő.



9. ábra XRD vizsgálat eredményei

A röntgendiffrakciós fázisazonosítás kimutatta, hogy a Ni fázis reflexiói el vannak tolódva, aminek oka a fázis oldott ötvöző tartalma. A 3. ábrán látható (N 60-1 jelű NiCrBSi por felhasználásával készült) bevonaton a Ni és Ni<sub>3</sub>B fázisok mellett megjelenik a króm-borid két módosulata, a zeta-CrB Cr<sub>2</sub>B (PDF azonosító: 00-038-1399) is.

Az XRD elemzés feltárja a jelentős mennyiségű lehetséges fázisok összetételét a megolvasztott NiCrBSi bevonatban. A bevonatban lévő: Ni, Cr, Fe elemek periódusos rendszerben is látható közelsége nehezíti a szövetszerkezet pontos összetételének meghatározását. Végül is az EDS és XRD vizsgálatok azt mutatják, hogy a megolvasztott Ni-alapú bevonatokban a Ni-mátrixban (Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, CrB, és Ni<sub>3</sub>B(Cr, Fe)<sub>7</sub>C<sub>3</sub>, CrB, és Ni<sub>3</sub>B összetételű keményfázisok figyelhetők meg.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a munkában lánggal végzett eljárással termikusan szórt újraolvasztott NiCrBSi (MOGUL N 60-1) LV lánggal szórt és megolvasztott bevonat került elemzésre.

- A lánggal megolvasztott bevonatban egy finom, egyenletes eloszlású kemény fázis jelenléte figyelhető meg.
- A vizsgálatok azt mutatják, hogy a lánggal történt megolvasztás elősegíti a dendrites mikroszerkezet kialakulását és jelentős mértékben csökken a bevonat porozitása.
- A bevonat lánggal történő megolvasztása lehetővé teszi a tömörebb, és finomabb szerkezetű és repedésmentes bevonatok kialakítását.
- A termikusan szórt és megolvasztott rétegek minőségének javítása érdekében az elvégzett vizsgálatok nem véglegesek.
- A réteg lánggal végzett megolvasztásának számos előnye mellett a hőbevitel minél alacsonyabb szinten tartása – továbbá a munkadarab lassú lehűtése nagyon fontos.
- A megolvasztott bevonatban a különféle keményfázisok figyelhetők meg, melyek Ni-mátrixban  $(Cr, Fe)_7C_3$ , CrB, és  $Ni_3B(Cr, Fe)_7C_3$ , CrB, és  $Ni_3B$  összetételűek.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők megköszönik az INTERN Kft. Miskolc és az Interweld Kft. Budapest anyagi és műszaki támogatását.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GÓMEZ-DEL RÍO T., GARRIDO M. A., FERNÁNDEZ J. E., CADENAS M., RODRÍGUEZ J.** 2008. *Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and microstructure of NiCrBSi coatings.* Journal of materials processing technology 204 304–312
- [2] **CORDIA, M., DELOGU, P., NENCI, F.,** 1987. *Microstructural aspects of wear-resistant stellite and colmonoy coatings by laser processing.* Wear 119 (2), 137–152.
- [3] **ZHANG, D.W., LEI, T.C., ZHANG, J.G., OUYANG, J.H.,** 1999. *The effects of heat treatment on microstructure and erosion properties of laser surface-clad Ni-base alloy.* Surf. Coat. Technol 115, 176–183.
- [4] **LI, Q., ZHANG, D., LEI, T., CHEN, C., CHEN, W.,** 2001. *Comparison of laser-clad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures.* Surf. Coat. Technol. 137, 122–135.
- [5] **KIM, H.J., HWANG, S.Y., LEE, C.H., JUVANON, P.,** 2003. *Assessment of wear performance of flame sprayed and fused Ni-based coatings.* Surf. Coat. Technol. 172, 262–269.
- [6] **XIN, H., HU, C., BAKER, T.N.,** 2000. *Microstructural assessment of laser nitrided Ti–6Al–4V alloy.* J. Mater. Sci. 35 (13), 3373–3382.
- [7] **QIAN MING, L.C. LIM, Z.D. CHEN,** *Laser cladding of nickel-based hardfacing alloys,* Surf. Coat. Technol. 106 (1998) 174–182.
- [8] **A. CONDE, F. ZUBIRI, J. DAMBORENEA,** *Cladding of Ni–Cr–B–Si coatings with a high power diode laser,* Mater. Sci. Eng. A 334 (1–2) (2002) 233–238.
- [9] **J. RODRIGUEZ, A. MARTIN, R. FERNANDEZ, J.E. FERNANDEZ,** *An experimental study of the wear performance of NiCrBSi thermal spray coatings,* Wear 255 (2003) 950–955.
- [10] **MIGUEL, J.M., GULEMANY, J.M., VIZCAINO, S.,** 2003. *Tribological study of NiCrBSi coating obtained by different processes.* Tribol. Int. 36, 181–187.
- [11] **P. WU, X.L. CHEN, E.Y. JIANG,** *Influence of WC particle behavior on the wear resistance properties of Ni-WC composite coatings,* Wear 257 (1–2) (2004) 142–147.
- [12] **Q. LI, D. ZHANG, T. LEI, C. CHEN, W. CHEN,** *Comparison of laserclad and furnace-melted Ni-based alloy microstructures,* Surf. Coat. Technol. 137 (2001) 122–135.



- [13] **SERRES N. HLAWKA F., S. COSTIL LANGLADE C. MACHI F.** *Microstructures and environmental assessment of metallic NiCrBSi coatings manufactured via hybrid plasma spray process.* Surface and Coatings Technology 205 (3010) 1039 – 1046.
- [14] **OTSUBO, F., ERA, H., KISHITAKE, K.,** 2000. *Structure and phases in nickel-base self-fluxing alloy coating containing high chromium and boron.* J. Therm. Spray Technol. 9, 107–113.
- [15] **NAVAS, C., COLAC, O, R., DE DAMBORENEA, J., VILAR, R.,** 2006. *Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings.* Surf. Coat. Technol. 200, 6854–6862.

## TELÍTETT ÉS TELÍTETLEN SZIVÁRGÁS VIZSGÁLATA RUDABÁNYAI MEDDŐHÁNYÓ MINTÁKBAN

### INVESTIGATION OF SATURATED AND UNSATURATED SEEPAGE IN WASTE DUMPS SAMPLES OF RUDABÁNYA

Tóth Márton<sup>1</sup>, Ling Erika<sup>2</sup>, Kovács Balázs<sup>3</sup>

<sup>1</sup>tudományos segédmunkatárs, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet

<sup>2</sup>hidrogeológus mérnök-ügyintéző, TERRAPEUTA Kft., 4028 Debrecen, Tácsics Mihály utca 17/1

<sup>3</sup>egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet

[hgoth@uni-miskolc.hu](mailto:hgoth@uni-miskolc.hu)

**Kivonat:** A rudabányai bányaterületen végzett kutatómunkánk során összeállítottunk egy kísérlet sorozatot, melyben azt vizsgáltuk, hogy hogyan változik a kioldott agyagok mennyisége abban az esetben, ha a szivárgás telített illetve telítetlen közegben zajlik. Egy előre kiválasztott meddőhányó felszínéről mintát vettünk, amit laborban előkészítettünk, hogy később oszlopokba töltve elvégezzük a vizsgálatokat. Telített és telítetlen szivárgás esetében is 3 ismétlésben 1 liter desztillált vizet szivárogtattunk keresztül az oszlopokon. Meghatároztuk a kifolyó oldat kémhatását, redoxpotenciálját, valamint a kalcium, magnézium, nátrium, kálium, bikarbonát, klorid és szulfát tartalom mellett a rudabányai ércesedésre jellemző cink, réz, vas és mangán tartalmát is. Az adatok értékelése után arra a következtetésre jutottunk, hogy telítetlen közegbeli szivárgás esetén jelentősen több az oldatba jutott ionok mennyisége. Ennek oka valószínűleg, hogy a szén-dioxid nagyobb mennyiségben oldódik be a szivárgó oldatba, mint telített szivárgás esetén.

**Kulcsszavak:** Rudabánya, meddőhányó, telített-telítetlen szivárgás, vízkémia

**Abstract:** Several investigations were performed on the abandoned mine site of Rudabánya to evaluate the environmental effect of waste dumps. During this work a labor test were executed to investigate the differences between saturated and unsaturated seepage. The collected waste dump samples from the surface were prepared in laboratory to perform the column tests in three replication both saturated and unsaturated seepage. Firstly, the reaction and redox-potential of effluent solution were determined. After, the calcium, magnesium, sodium, potassium, bicarbonate, chloride, sulphate, zinc, copper, iron and manganese were analyzed, respectively. Significant difference were experienced after evaluation of chemical data between concentration of chemicals in case of saturated and unsaturated seepage, respectively. The reason of this phenomenon could be the higher concentration of carbon dioxide in the seepage fluid during unsaturated flow.

**Keywords:** Rudabánya, waste dump, saturated-unsaturated seepage, water chemistry

## 1. BEVEZETÉS

A polimetallikus ércesedésre települt bányák meddőhányóiban a nehézfémek magas koncentrációban lehetnek jelen, így a kilúgzás útján [2] jelentős hatást gyakorolhatnak a felszíni és felszín alatti vizek minőségére.

Rudabánya Észak-Magyarország legöregebb polimetallikus ércesedésre települt bányája volt, melyet 1985-ben zártak be. Az érctelep a Jura korban képződött, amikor a mellétei-óceáni kéreg szubdukálódott a gömöri-szilicei kontinentális lemez alá. Az alábukást követő szigetívulkanizmus során feltörő hidrotermák átítatták a triász dolomitot (Gutensteini Formáció) és mészkövet (Jósvafői Formáció), melyekben metasomatózis útján létrejött az ércesedés [7]. A folyamat során a dolomitot (CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) alkotó magnézium és kalcium, vasra cserélődött ki. Elsősorban a sziderites és limonitos érctelep jött létre, melyet később egy másik hidrotermális oldat itatott át. Ennek következtében keletkeztek a rezet, ólomot, higanyt és a cinket tartalmazó ércek [1]. Mivel a bányászat csak a vasércek kitermelésre irányult, ezért az említett fémeket tartalmazó érceket a meddőhányókban halmozták fel, ennek

következtében igen magas koncentrációban vannak jelen.

Bánya területeken a felszíni és felszín alatti vizek oldott nehézfém terhelése általában a szulfidos ércek oxidációjából fakad. A meddőhányókba beszivárgó víz kémhatása enyhén savas, ennek hatására mobilizálódhatnak az elemek és mélyebb rétegekbe mosódhatnak [5, 6]. A diffúz nehézfém szennyezések kiterjedését a meddőhányók geokémiai tulajdonsága és ércesedésük foka befolyásolja [3]. Magyarországi viszonylatban Rudabánya geokémiája egyedülálló, mert az ércesedés karbonáthoz kötődve jött létre, ebből adódóan a felszíni és felszín alatti vizek kémhatása lúgos.



1. ábra A vizsgált meddőhányó, előtérben a Rudabányai-tó

Telített és telítetlen szivárgás közötti legfőbb különbség, hogy utóbbi esetben a levegő is jelen van a pórus térben. Ebben az esetben a szivárgás sebessége lassabb, mert a szivárgó víz a talaj pórusaiban uralkodó felületi feszültség miatt fellépő erők hatása alatt áll, negatív nyomómagasság uralkodik a rétegben [4].

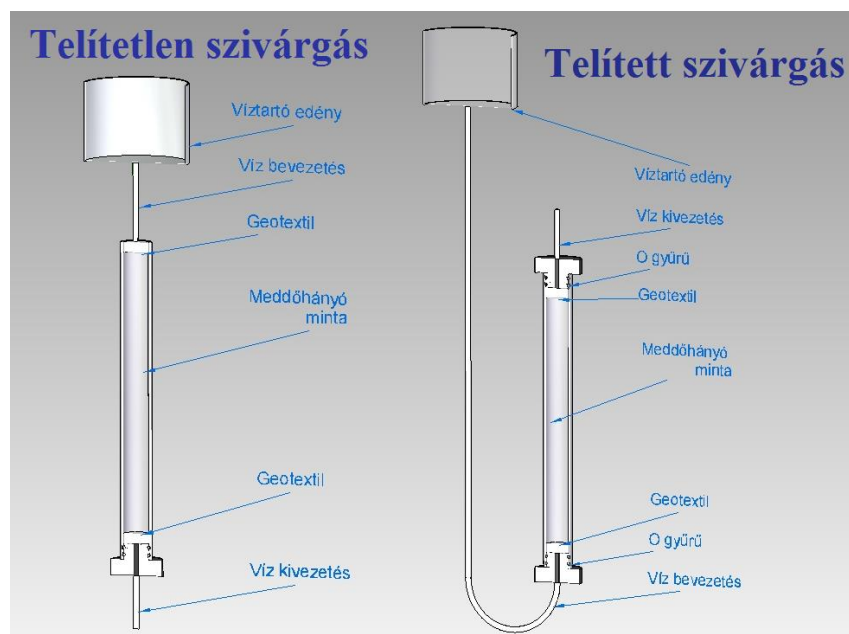
A telítetlen szivárgás esetén a levegő jelenléte a talajmátrixban mindenképp oxidatívabb rendszert eredményez, mint telített szivárgás esetén, ahol csak víz töltik ki a pórusokat. Ez az állapot jelentősen befolyásolhatja a kőzetből kioldott anyagok mennyiségét is.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Egy korábban szekvenciális kioldásokkal már vizsgált [8] meddőhányó (1. ábra) felszínéről vettük a mintát az oszlopkíséreltekhez. A közel 10 kg-nyi anyagot először szárító szekrényben 105 °C-on tömeg állandóságig szárítottuk, majd 8, 6, 4, 2, 1, 0,5 mm lyukméretű szitán át szitáltuk. A 8 mm feletti frakciót azért, hagytuk ki a vizsgálatból, mert nem befolyásolja az oldat átfolyási sebességét, továbbá a nagyobb mennyiségű kioldás a kisebb szemcseméretű frakcióból történik.

Szitálás után meg tudtuk határozni az egyes frakciók részarányát a teljes mintában. Az oszloptölteteket ezek alapján állítottuk össze, így minden oszlopunkban azonos volt az egyes frakció mennyisége. Ez által összehasonlíthatóvá váltak az eltérő „kezelések” eredményei.

Az előkészített oszlopokon ezután 1 liter desztillált vizet szivárogtattunk keresztül. A telített szivárgást úgy hoztuk létre, hogy az oszlop alján vezettük be a vizet, ami felfelé szivároghva maga előtt kihajtotta a mintából a talajlevegőt (2. ábra). Telítetlen szivárgást esetén az oszlop tetején vezettük be a vizet, ami a gravitáció hatására lefele szivárgott (2. ábra).



2. ábra A telítetlen és telített szivárgás megvalósításának vázlatai

Először az átfolyt oldat kémhatását és redoxpotenciál értékét határoztuk meg egy ADWA AD1040-es multiméterrel. A kationokat atomabszorpciós spektrofotométerrel (UniCam 929), az anionok közül a hidrogén-karbonátot és a kloridot titrálással, a szulfátot UV-VIS spektrométerrel határoztuk meg.

### 3. EREDMÉNYEK

Az 1. táblázat a mérési eredményeinket mutatja be. A két szivárgás közötti különbség már itt is látható, viszont a pontosabb értékelés érdekében varianciaanalízissel vizsgáltuk meg az eltéréseket az egyes ionok esetében.

A varianciaanalízis során kettő vagy több sokaság középértékeinek minta alapján történő összehasonlítása történik. Azoknál a problémáknál használhatók, ahol a valószínűségi változó értéke szisztematikus hatástól és a véletlentől függ. Esetünkben minden ionra 3-3 mért adattal rendelkezünk telített és telítetlen szivárgás esetén, melyek a két eltérő „sokaság”. A hipotézisünk, melyet egzakt módon szeretnénk bizonyítani, hogy a két sokaság középértéke nem véletlenül különbözik.

A 2. táblázat a szulfát esetében mutatja be a varianciaanalízis eredményét. Látható, hogy a kezelésre vonatkozó korrigált eltérés négyzetösszeg értéke 7350, míg a hibáé 108. A varianciaanalízis folyamatát követve képeztük e kettő hányadosát, ami 67,85 lett. Az állításunk, miszerint a két esetben kioldott szulfát mennyiség nem véletlenül különbözik, úgy igazolható, hogy az előbbi hányados értékét összevetjük az F-próba táblázati értékével, ami a kezelés és hiba szabadsági fokából és a kívánt hiba valószínűség százalékos értékének megadásával számítható.

Esetünkben adott szabadsági fokok mellett 5%-os hiba valószínűség esetén ennek értéke 7,71. Ez az érték kisebb, mint az általunk számított hányados, tehát 95%-os valószínűséggel a telített és telítetlen szivárgás során mért koncentrációk különböznek. A táblázatban látható, hogy 1%-os hiba feltételezése esetén is különbözik.

A legtöbb ion esetében ugyanezt az eredményt kaptuk. Egy-két esetben (pl. bikarbonát, réz, vas), feltételezhetően mérési hibából adódóan megnőtt a szórás, ezért ezekben nem mutatott ki szisztematikus eltérést az analízis.

	Telítetlen szivárgás			Telített szivárgás		
	27. mh			27. mh		
	1. ism.	2. ism.	3. ism.	1. ism.	2. ism.	3. ism.
pH	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,7
eH	149,4	151,4	158,2	158,4	135,8	130,0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [mg/l]	76,2	89,2	90,6	83,4	80,6	80,6
Cl <sup>-</sup> [mg/l]	10,7	1,9	9,2	6,3	0,7	0,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [mg/l]	225	230	215	155	140	165
Ca [mg/l]	79,5	87,9	83,3	63,0	61,5	63,8
Mg [mg/l]	20,9	23,7	23,0	15,2	14,4	14,5
Na [mg/l]	0,7	0,7	0,7	1,6	1,5	1,4
K [mg/l]	12,6	9,5	9,1	14,3	8,9	7,8
Fe [mg/l]	0,78	0,08	0,08	0,07	0,16	0,05
Mn [mg/l]	0,59	0,36	0,33	0,08	0,09	0,07
Cu [mg/l]	0,07	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02
Zn [mg/l]	0,77	1,08	0,98	0,32	0,38	0,31
TDS [mg/l]	427,8	444,4	432,3	339,4	308,2	334,1

1. táblázat Mérési eredmények telítetlen és telített szivárgás esetén, három-három ismétlésben

Mért adatok [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]					
	Ismétlés 1	Ismétlés 2	Ismétlés 3		
Telített	155	140	165		
Telítetlen	225	230	215		
Variancia táblázat					
Tényező	DF	SS	MS	F	
Kezelés	1	7350	7350	67,85	
Hiba	4	433	108		
Összes	5	7783			
<b>F próba</b>	<b>67,85</b>	<b>F<sub>krit</sub> 5%</b>	<b>7,71</b>	<b>F<sub>krit</sub> 1%</b>	<b>21,20</b>

2. táblázat A varianciaanalízis értékelő táblázata, a szulfát példáján

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

Ha a kiugró értékektől eltekintünk a redoxpotenciál értéke különbözik a két esetben. Ezt értelmezve, azt mondhatjuk, hogy telítetlen szivárgás esetén a rendszer oxidatívabb lett, ami pedig azzal lehet összefüggésben, hogy ebben az esetben a talajpórusait levegő is kitölti.

A bikarbonát, az előbbi szemléletet követve szintén különbözőnek tekinthető a két esetben, mely szerint telítetlen szivárgás esetén több a bikarbonát mennyisége. A 3. táblázatot alapul véve láthatjuk, hogy a szén-dioxid szabad és kötött formában lehet jelen a vízben. A szabad

formán belül az agresszív szén-dioxid az, ami oldani képes a karbonát ásványokat. Többek között ez okozza a mészkő oldódását is.

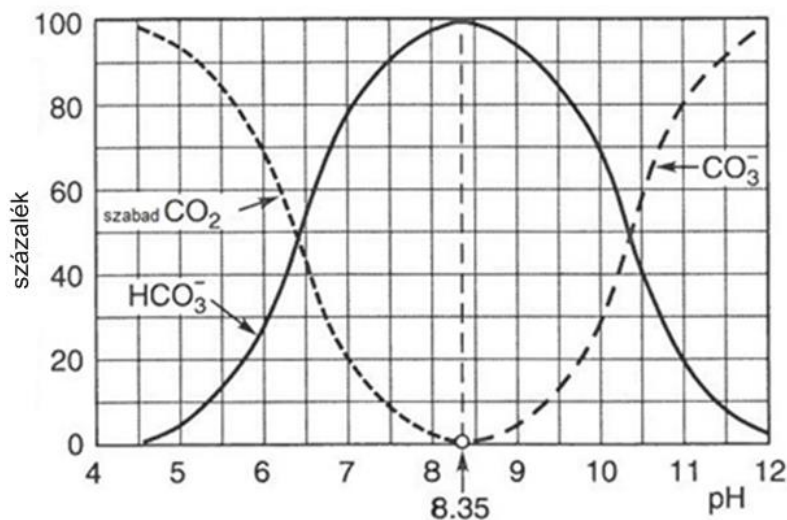
A 3. ábrán a szén-dioxid formák százalékos arányának változása látható a kémhatás függvényében.

Ezeket az ismereteket összegezve azt feltételezzük, hogy 7,6-os pH értéken telítetlen szivárgás esetén a nagyobb mennyiségű bikarbonáttal, nagyobb mennyiségű szabad szén-dioxid tart egyensúlyt, melynek az agresszív szén-dioxid tartalma is nagyobb, ezért a szivárgó víz korrozívabb és hatékonyabb lesz a karbonát ásványok oldódása. Feltételezésünk szerint ezzel magyarázható, hogy megnő a ionok, köztük a nehézfém ionok mennyisége is a szivárgó oldatban.

A szén-dioxid többlet pedig, ami beoldódik a szivárgó oldatba, a pórusokat részlegesen kitöltő levegőből származik.

Összes szén-dioxid			
szabad		kötött	
agresszív	egyensúlyi	bikarbonát	karbonát

3. táblázat A szén-dioxid vízben oldott formái



3.ábra A szén-dioxid formáinak százalékos megoszlási aránya a kémhatás függvényében

## 5. ÖSSZEGZÉS

Kutatómunkánkban megállapítottuk, hogy telítetlen szivárgás esetén hatékonyabb a rudabányai nehézfémeket tartalmazó ásványok oldódása. Esetenként kétszer, háromszor nagyobb mennyiségben vannak jelen a szivárgó oldatban, mint telített szivárgás esetén. Ez a kísérelt sorozat egyben annak a folyamatnak a modelljének is tekinthető, amikor csapadék hull a meddőhányók felszínére.

Vizsgálatunkkal egyúttal azt is igazoltuk, hogy a rudabányai területen a döntően karbonátos környezet nem gátolja meg teljesen a nehézfémek mozgását. Ebből következik, hogy az oldott nehézfémek a szivárgó vízzel együtt mozoghatnak és lehetőségünk adódik, hogy a felszíni, felszín alatti víztestekbe jussanak. Ezt részben már sikerült is igazolnunk egy másik kutatómunkában, melyben a Rudabányai-tó vízminőség vizsgálatát végeztük el.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány/kutató munka a TÁMOP-4.2.2.B-15/1/KONV-2015-0003 jelű projekt részeként, Széchenyi 2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **HARTAI, É.**, *Teleptani alapismeretek*, Egyetemi jegyzet. Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Miskolc, 2005, pp. 62.
- [2] **JOHNSON, M.S., COOKE, J.A., STEVENSON, J.K.W.**, *Revegetation of metalliferous wastes and land after metal mining*, In: Hester, R.E., Harrison, R.M. (Eds.), *Mining and Its Environmental Impact*. Royal Society of Chemistry. 1994, pp.164.
- [3] **JOHNSON, R.H., BLOWES, D.W., ROBERTSON, W.D., JAMBOR, J.L.**, *The hydrogeochemistry of the nickel rim mine tailings impoundment*, Sudbury, Ontario. *Journal of Contaminant Hydrology*, 2000, Vol. 41, pp. 49–80.
- [4] **KOVÁCS, B.**, *Hidrodinamikai és transzportmodellelés (Processing MODFLOW környezetben)* I., egyetemi tankönyv ME – SZTE – GÁMA-GEO, 2004., pp. 159
- [5] **PENTREATH, R.J.**, *The discharge of waters from active and abandoned mines*, In: Hester, R.E., Harrison, R.M. (Eds.), *Mining and Its Environmental Impact*. Royal Society of Chemistry. 1994, pp. 164.
- [6] **SALOMONS, W.**, *Environmental impact of metals derived from mining activities: processes, predictions, prevention*, *Journal of Geochemical Exploration*, 1995, Vol. 52, pp. 5–23.
- [7] **SZENTPÉTERY, I., LESS, GY.**, *Az Aggtelek-Rudabányai-hegység földtana*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 2006, pp. 92 .
- [8] **TÓTH, M., KOVÁCS, B., CZINKOTA, I.**, *Szekvenciális extrakciós vizsgálatok rudabányai meddőhányó mintákon*, *Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2013 Konferencia Előadásai*, Debrecen, 2013. június 4., pp. 74-80.

# ANTROPOGÉN SZENNYEZŐK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A HORTOBÁGY-BERETTYÓ FŐCSATORNA NÖVÉNYI TÁPANYAGTARTALMÁRA

## ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC IMPURITIES IMPACT ON THE PLANT NUTRIENTS CONTENT OF HORTOBÁGY-BERETTYÓ MAIN CANAL

Truzsi Alexandra<sup>1</sup>, Bodnár Ildikó<sup>2</sup>

<sup>1</sup>I. éves környezetmérnöki MSc szakos hallgató; <sup>2</sup>tanszékvezető, főiskolai tanár;  
<sup>1,2</sup>Ph.D., Debreceni Egyetem, Műszaki Kar Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék  
4028 Debrecen Ótemető u 2-4

<sup>1</sup>[truzsi-alexandra@gmail.hu](mailto:truzsi-alexandra@gmail.hu), <sup>2</sup>[bodnari@eng.unideb.hu](mailto:bodnari@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A Hortobágy folyó teljes vízgyűjtő területe (Hortobágy-Berettyó főcsatorna) körülbelül 5800 km<sup>2</sup>, amelyből 3000 km<sup>2</sup> közvetlenül kapcsolódik a Hortobágy folyóhoz (közvetlen vízgyűjtő a 60,6 km<sup>2</sup>). A Víz Keretirányelv (VKI) célkitűzéseinek figyelembevételével vizsgálatainkat a vízfolyás teljes hosszán végezzük, hogy a csatorna állapotértékelése kapcsán képet kapjunk a vízfolyást érő antropogén hatásokról. Jelen tanulmányban kiemelten vizsgáljuk a növényi tápanyagtartalom alakulását a vízfolyásban, elemezve így a potenciális szennyezőforrások hatásait. A tápanyagtartalom meghatározására modern analitikai módszerként az ionkromatográfiai vizsgálatokat használtuk és a vonatkozó jogszabály alapján értékeltük a tápanyagtartalom változásait.

**Kulcsszavak:** szennyvízbevezetés, nitrogén- és foszforformák, állapotértékelés, vízminőségvédelem

**Abstract:** The total catchment area of river Hortobágy (Hortobágy-Berettyó Main Canal) is about 5800 km<sup>2</sup> out of which 3000 km<sup>2</sup> related directly to river Hortobágy (direct catchment is 60,6 km<sup>2</sup>). Based on the tasks of Water Framework Directive our investigations were carried out on the entire length of watercourse. Our aim is to get an overall picture about the state of the Canal and the potential anthropogenic effect on the stream. In this study the evolution of plant nutrients in the watercourse was particularly examined and analysis of the potential pollution sources was carried out. Ion chromatography as a modern analytical method was used for the investigation of nutrient contents and results were evaluated based on the concerning law.

**Keywords:** waste water discharges, nitrogen and phosphorus form, condition assessment, water quality

### 1. BEVEZETÉS

A Hortobágy-Berettyó teljes hossza 167,3 km, melyhez 5843 km<sup>2</sup> országhatáron belüli vízgyűjtő terület tartozik. Központi földrajzi elhelyezkedéséből adódóan, mellékágaival fontos szerepet játszanak a magyar Alföld jelentős részének vízellátásában [1]. Mind vízmennyiségi, mind vízminőségi adottságok tekintetében a területen a belvízi illetve vízgazdálkodási célú vízkormányzások meghatározóak [2]. Az Alföldön nagyszámban található síkvidéki vízfolyások és csatornák a bevezetett szennyvizekkel, továbbá a csapadékkal bemosódó, diffúz szennyezésekkel szemben védtelenek. Ezáltal a Hortobágy-Berettyó főcsatorna vízgyűjtő területén kiemelkedő problémát jelent például a tisztított szennyvíz elhelyezés, környezetre gyakorolt hatásának minimalizálása, illetve a diffúz szennyezések hatásának mérséklése. A Víz Keretirányelv (VKI) – mely integrálva a meglévő egyedi irányelveket, a vizek „jó állapotának” biztosítása érdekében a vízminőségvédelem és a fenntartható vízhasználatok alapelveit, illetve a gyakorlati megvalósítás feladatait foglalja jogi keretekbe – egységes szemléletű, ökológiai alapokon nyugvó, a vízi ökoszisztémák védelmét



előtérbe helyező minősítési rendszert vezetett be [3]. Jelen tanulmány célja a mezőgazdasági eredetű, ipari és kommunális szennyvizekből származó nitrogén- és foszforformák terhelések feltárása, valamint a Hortobágy-Berettyó főcsatorna állapotváltozására gyakorolt hatásának vizsgálata.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Munkánk során 7 mintavételi helyet jelöltünk ki a Hortobágy-Berettyó főcsatornán. Nádudvarnál, Püspökladány-Karcagnál található 4. számú főút hídjánál, Ecsegfalván, Túrkeven és Mezőtúron volt három mintavételi pontunk. A mintavételi pontok kijelölésénél fontos szempont volt, hogy lehetőségünk legyen a korábbi évek monitoring eredményeinek felhasználására, valamint, hogy minden ökológiai szempontból fontos, - jelentősebb csatorna, betorkolás, műtárgy, vérszelzáró, duzzasztó, torkolat, szivattyútelep, szivornya, stb. – hatás kimutatható legyen. A főcsatornán végzett terepi mintavételezéseket 2013 októberében kezdtük el. Összesen 4 vizsgálatosorozatot bonyolítottunk le a vízfolyás mentén (2013. októberben, illetve 2014. februárban, áprilisban és júniusban), ezáltal az egész évet lefedő évszakonkénti vizsgálati adatsorozat állt a rendelkezésünkre. A vonatkozó ionos komponensek mennyiségét ionkromatográfiás módszerrel határoztuk meg, mely módszer a környezetvédelmi analitika modern és újszerű változata. Különböző évszakokban vett vízminták vizsgálata alapján, nyomon követtük a növényi tápanyagok mennyiségének változását a mintavételi pontok tükrében. Eredményeinket a 10/2010. (VIII.18.) VM rendelet (a felszíni víz vízszennyezettség határértékeiről és azok alkalmazásának szabályozásairól) alapján értékeltük.

## 3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 3.1. Növényi tápanyagok mennyiségének jellemzése

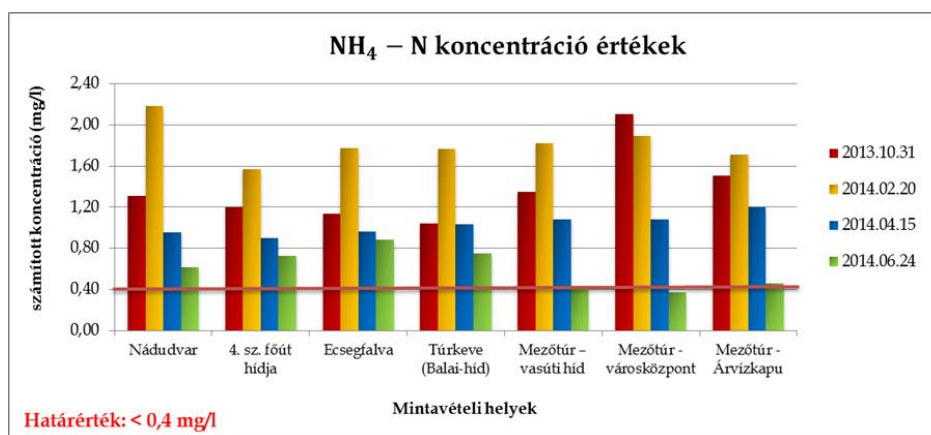
A 1-4. ábrákig a különböző növényi tápanyagok mennyiségének jellemzésére használt ionkoncentrációkat mutatjuk be, melyek több évszakban is jelentősen kiugró értékeket jellemeznek, ezen megemelkedett ionkoncentrációk elsősorban a diffúz szennyezések eredményeképpen jelennek meg a vizsgált vízfolyásban. A szervetlen anyagok közül fontosak a nitrogén- és foszforvegyületek, amelyek mint növényi tápanyagok a vízben lévő növények, algák szaporodását segítik elő. Az algák túlszaporodása eutrofizációhoz vezet, amely napjainkban számos tó, tározó esetén nagy gondot okoz [4].

### 3.2. Ammónium-ion ( $\text{NH}_4^+$ )

A vízben való megjelenési formája ( $\text{NH}_3$  ill.  $\text{NH}_4^+$ ) függ a víz pH-értékétől, hiszen ez az arány ökológiai szempontból is fontos tényező, mivel a szabad ammónia erős mérge. Tekintve, hogy a nitrogén tartalmú szerves vegyületek (pl.: a karbamid) anaerob körülmények között ammóniává átalakulva bomlanak le a vizekben, jelenlétük friss szennyezésre utal. A nitrifikáló baktériumok tevékenységének következtében az ammóniatartalom a vízfolyásokban nitráttá oxidálódik, ezáltal mennyisége fokozatosan csökken [5].

Az 1. ábrán látható oszlopdiagram segítségével az ammónium-ion koncentráció értékekből számított N-tartalom változását összesítettük. A terhelés Nádudvarnál jelentkezett először és itt volt a legjelentősebb a téli mintázás alkalmával. A februári mintavételezés során minden mintavételi ponton  $8\text{ }^\circ\text{C}$  alatti vízhőmérsékletet detektáltunk, ebből arra próbáltunk következtetni, hogy ilyen alacsony hőmérsékleten a nitrifikáció szinte „leállt”, ezáltal a fehérjék bomlásából keletkező ammónia koncentrációja megnőtt, komoly gondokat okozva a

téli időszakban, amit a szakirodalmak is alátámasztanak. A Hortobágy-Berettyó főcsatorna teljes szakaszán mért nagyobb ammónium-ion tartalom elsősorban a szerves anyagok biológiai lebomlására, vagyis a kommunális szennyvizek, illetve bizonyos ipari szennyvizek bejutására enged következtetni.

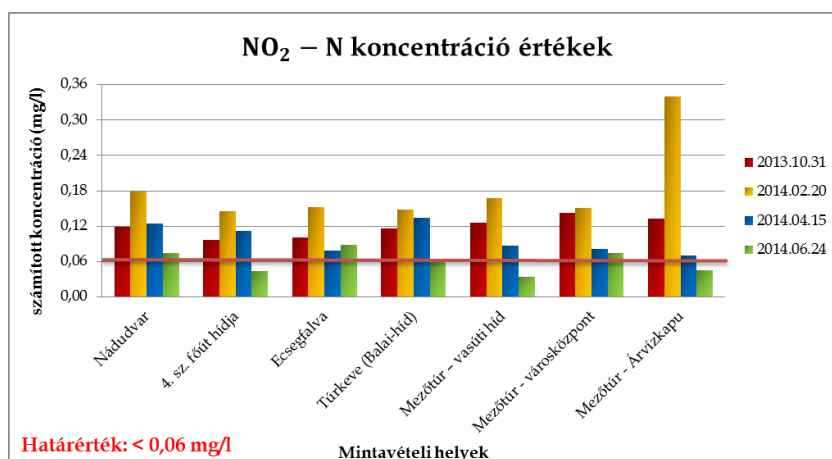


1. ábra. Ammónium-ion koncentráció értékekből számított N-tartalom változása a mintavételi pontok függvényében

Fontos még megemlíteni, hogy az alegység területére jellemző az intenzív állattartás, ami szintén nagymértékben megnövelheti a vizsgált vízfolyásban jelenlévő megnövekedett ammónium-ion mennyiségét, illetve a klóraminnal végzett fertőtlenítés során is kikerülhetett a környezetbe [5].

### 3.3. Nitrit-ion (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) és Nitrát-ion (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

A természetes vizekben az ammónia nem képez stabil vegyületet, de ha elegendő oxigén van jelen megfelelő mikroorganizmusok mellett, akkor első lépésben nitrifikálódik (nitrit, nitrát képződés). A nitritképződés 10 °C alatt lelassul, mivel pH függő folyamat így a leggyorsabban pH 8-8,5 között megy végbe. A nitrit nem szaporodik fel, mert tovább oxidálódik nitráttá, ezért is csak kis mennyiségben van jelen a vizekben.

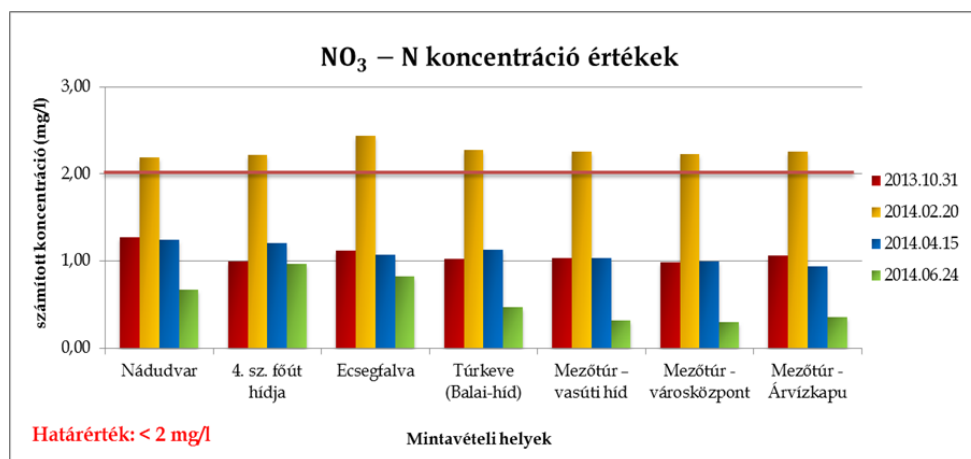


2. ábra Nitrit-ion koncentráció értékekből számított N-tartalom változása a mintavételi pontok függvényében

A 2. ábra a nitrit-ion koncentráció értékekből számított N-tartalom változását prezentálja a mintavételi pontok függvényében. A felszíni vizek nitrit szennyeződése csekély, legfeljebb

néhány tized mg/l, természetes vizekben pedig nem jellemző. A számított koncentráció értékek, a vízfolyás szerves anyagokkal való szennyeződésére utalnak. Az általunk mért mennyiségek meghaladták több mintavételi időpontban is a rendeletben megadott 0,06 mg/l határértéket. Kiugróan magas nitrit-nitrogén koncentráció figyelhető meg a februári vizsgálat során, a Mezőtúr – Árvízkapunál vételezett vízmintában, melynek jelenléte szennyvízzel való szennyezettségre és/vagy reduktív körülményekre utalhat.

A nitrát-ion koncentráció értékekből számított N-tartalom változását a 3. ábrán lévő oszlopdiagrammal szemléltettük a mintavételi pontok függvényében. A nitrát a növények részéről felvehető, hozzáférhető, felvétel után oxidálódik és szerves nitrogénné alakul át. A nitrát nitriten keresztül visszaalakulhat ammóniává (redukció) anaerob, reduktív körülmények között, miközben a mellékreakció terméke  $N_2$  [6].



**3. ábra** Nitrát-ion koncentráció értékekből számított N-tartalom változása a mintavételi pontok függvényében

A nitrát-ion egyike a leggyakoribb ionoknak a természetes vizekben. Felszíni és mélységi vizekben általában néhány mg/l-es koncentrációban fordul elő [7]. A Hortobágy-Berettyó főcsatorna számított nitrát-nitrogén koncentráció értékei a téli vizsgálati időszakban meghaladta a rendeletben foglalt határértéket (2 mg/l). A határértéknél magasabb koncentráció oka lehet többek között az intenzív állattenyésztés, a felszíni vagy a felszínhez közeli műtrágyával, vizelettel, széklettel vagy más szerves anyagokkal történő szennyeződés.

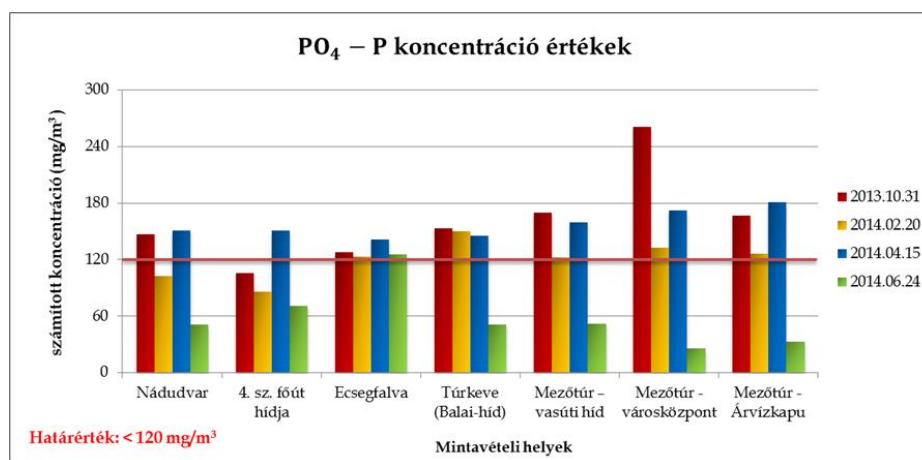
### 3.4. Foszfát-ion ( $PO_4^{3-}$ )

A foszforciklus kiinduló alapanyaga a vízben oldott ortofoszfát ion, mely természetes és mesterséges úton jut a felszíni vizekbe. Megjelenési formája a vízben  $PO_4^{3-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $HPO_4^{2-}$ , ez utóbbi kettő semleges pH körülmények között ortofoszfátok, melyet a növények fel tudnak venni. Az algák ideális tevékenységének tápelem-felvételei: C:N:P = 106:16:1. A szükséges tápanyagok közül elsősorban a foszfor mennyisége szabályozható (a vízből kicsapható), ezért ez limitáló tényezőként kezelhető. 10 mg/m<sup>3</sup> koncentrációig általában nincs jelentős biológiai produkció, az eutrofizáció kivédhető, míg 20 mg/m<sup>3</sup> felett a fotoszintézis felgyorsul az elegendő tápanyag jelenlétében [6].

A 4. ábrán a foszfát-ion koncentráció értékekből számított P-tartalom változását prezentáltuk a mintavételi pontok függvényében. Az oszlopdiagramon nagyon jól látszik, hogy a detektált  $PO_4 - P$  koncentráció értékek a főcsatornára vonatkozó 120 mg/m<sup>3</sup> határértéket több mintavételi ponton és időszakban is meghaladták.

Ebből arra lehet következtetni, hogy nem megfelelően tisztított szennyvíz bevezetését követően, mesterséges úton juthatott a befogadóba, mely nagyobb koncentrációnál

eutrofizáció kialakulását okozhatja a vízben. A nagymennyiségű tápanyag jelenléte az algák növekedését, a napsugarak vízbe való behatolási mélységének csökkenését idézheti elő. Továbbá a víz oldott oxigéntartalmát csökkenti az algák pusztulása, melyhez az anaerob lebomlás következtében kellemetlen gáztartalom is párosulhat [6].



4. ábra Foszfát-ion koncentráció értékekből számított P-tartalom változása a mintavételi pontok függvényében

#### 4. KÖVETKEZTETÉS, ÖSSZEFOGLALÁS

Megállapítottuk, hogy a számos paraméterre kiterjedő feltáró monitoring segítségével, azon belül a mért növényi tápanyagokat megadó paraméterek alapján a vizsgált vízfolyást érő antropogén terhelés több ponton igazolt. A duzzasztott, pangó vizes szakaszokon általában a víz sötét színű, oxigénhiányos. Ezt alapvetően a mocsári jellegű növények bomlástermékei okozzák, mely állapot a holtág jelleg természetes velejárója. Nagymennyiségű tápanyag jut a főcsatornába a mezőgazdaságra alapozott iparok részben tisztított szennyvizének a közvetítésével. A magas tápanyag (elsősorban foszfor) tartalom azonban fokozza a szervesanyag képződést, a feliszapolódást és a növekvő belső terhelést, ami ellen csak rendszeres kotrással lehet védekezni. A pontszerű szennyezőforrások ismeretében elvégzett szennyezőanyag-áram számításaink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy önmagukban az érintett települési, fürdő illetve ipari szennyvíztisztító telepek nincsenek jelentős hatással a Hortobágy-Berettyó főcsatorna vízminőségére, ennek ellenére a sok viszonylag kis terhelés mégis rontja a befogadó vízminőségét, attól hogy a kibocsátások külön-külön nem számottevők még jelen vannak az alegység területén.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **TÓTH, I.**, *A Hortobágy-Berettyó rendszerének belvízi és árvízi elvezetése*, Hidrológiai Közlöny, 2004. pp.146.
- [2] *VÍZÜGYI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KÖZPONTI IGAZGATÓSÁG, TISZÁNTÚLI KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS VÍZÜGYI IGAZGATÓSÁG, A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása, VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV - 2-17 Hortobágy-Berettyó*, 2010. április
- [3] **CLEMENT A.**: *MAGYARORSZÁG „VÍZNAGYHATALMI” SZEREPÉNEK ÉRTÉKELÉSE NEMZETKÖZI/EURÓPAI ÖSSZEHASONLÍTÁSBAN* Vízkészleteink minősége BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék MSZ IEC 50(191) Megbízhatóság és a szolgáltatás minősége Magyar Szabványügyi Hivatal, Budapest, 1992., pp 81.
- [4] **POKORÁDI, L.**, *Markovian Modeling Wartime Operation of Military Aircraft*, "International Aerospace Congress 1997", Sydney, Australia, Volume 2, p. 537–549.

## KÖZLEKEDÉSI MINTÁZATOK ANALÓGIÁN ALAPULÓ VIZSGÁLATA VÉGESELEMES MÓDSZERREL

### THE RESEARCH OF TRAFFIC PATTERN FORMATION BY ANALOGY WITH FINAL ELEMENT METHOD

Ungvárai Ádám<sup>1</sup>, Kisgyörgy Lajos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>egyetemi tanársegéd  
Debreceni Egyetem, Építőmérnöki Tanszék  
[ungvarai@eng.unideb.hu](mailto:ungvarai@eng.unideb.hu)

<sup>2</sup>egyetemi docens  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Út és Vasútépítési Tanszék  
[kisgyorgy@uvt.bme.hu](mailto:kisgyorgy@uvt.bme.hu)

**Kivonat:** Számos tanulmány készült motorizált és nem motorizált forgalmi áramlatok vizsgálatával kapcsolatban, melyek többsége az áramlási analógiával igyekszik leírni a mozgásban lévő közlekedők jellemzőit. Az áramlás viszont már egy többé-kevésbé állandósult állapotot modellez, és nem feltétlenül tükrözi helyesen a közlekedők egyéni igényeit a kezdeti, indulási pillanatban. A döntési pontokon a lépéseket a külső környezeti és a belső emberi ingerek motiválta erők irányítják. Az itt elemzésre kerülő megközelítés alapja az analógia a statikusan terhelt kétdimenziós tárcsákkal, ahol a belső feszültségi hálózat rajzolatából nyert adatokkal lehet a közlekedők mozgási viselkedést hűen megjósolni. Ezzel a kutatással egy olyan vizsgálati módot kívánunk kidolgozni, amivel a közlekedés kezdeti pillanatait tudjuk jobban elemezni, ezáltal magát a közlekedést motiváló hatásokat tudjuk mélyebben megérteni. Bemutatjuk a kutatás rövid történetét, eredményeit, és néhány gyakorlati példát. Végezetül egy kitekintést vázolunk a további tervezett munkára, mely PhD kutatás keretén belül zajlik.

**Kulcsszavak:** VEM, végeselemmódszer, tervezési minták, főfeszültségi trajektóriák, forgalmi áramlatok

**Abstract:** The flow of motorised and non-motorised traffic has been often studied. Most of the studies worked based on a continuum-flow analogy and investigated the parameters of the traffic in motion. These analogy models are a solution for a more or less steady state of traffic, but not the initial point, when the traffic is starting. On these decision-points the actions of the people are determined by inner human and outer environmental stimulating forces. In this article the shown approach is based on an analogy with two dimensional statical loaded disks, where the reactions of traffic can be predicted from the trajectories of inner strains. With this research we want to elaborate a method for a better analyzing of the initial time of traffic, and therefore get a better understanding of the inner forces. We briefly show the history of the research, some worked examples and sketch the further planned research of this PhD study.

**Keywords:** FEM, finite element method, design patterns, principle stress trajectories, traffic flow

#### 1. A KÖZLEKEDÉS TULAJDONSÁGAI ÉS NYOMAI

A közlekedés mindennapjaink része, melynek minősége nagy hatással van életünkre. De ahogy a közlekedés hat az emberekre, úgy az emberek is hatnak a közlekedésre. Ennek a kölcsönhatásnak az egyik leglátványosabb tükrö az erózió, azaz a leginkább igénybe vett közlekedési felület kopása.

Hogy mekkora hatással lehetnek a későbbi korra a közlekedés nyomai azt jól példázza a vasúti normál nyomtáv története: A római korból származó utak nyomvályúi olyannyira meghatározták a szekerek geometriáját, hogy később ettől már el se tudtak térni, hiszen minden más keréktávolságú szekér beékelődött volna és hamar tönkremegy. Jó példát Franciaországból az 1-es ábra mutat. Így nyomta rá bélyegét a későbbi hintókra, szekerekre a római kor közlekedése, amiről az újkorban az angliai vasutakat mintázták.



1. ábra: Római útmaradvány Franciaországban [9]

### 1.1. Kitaposott ösvények

Úgyszintén látványos nyomai a közlekedésünknek a kitaposott ösvények, amit többnyire gyalogosok taposnak ki olyan helyeken, ahol közlekedési igény ugyan van, de erre alkalmas kiépített út nincs. Klasszikus megjelenése zöld területeken van, de más helyen ugyanúgy keletkeznek. Megjelenhetnek hóban is, ahol rendkívül gyors vizuális eredménnyel járnak. A kutatásainkat városi ösvényekre korlátoztuk, melyeket gyalogosok, esetleg kis számban kerékpárosok taposnak ki.

Az ösvények keletkezését vizsgálva elkülöníthetünk két fázist: A kezdeti és a stabil fázist. A kezdeti fázisban még nincs ösvény, nem látható. Itt valamely közlekedési résztvevő döntési ponthoz kényszerül. Merre folytatja útját? A számára kézenfekvő irányban nincs alkalmas út. A szakirodalom szerint a közlekedők ilyenkor a látás szerinti következő kitűzött úticélhoz egyenes vonalban tartanak, azonban ez nem mindig igaz, általánosításra szorul.

Mivel a városokban ösvények többnyire ott keletkeznek, ahol kicsi a forgalom, ezért a közlekedők egymást nem figyelhetik meg, azaz nem láthatják, hogy az előző hol ment. Mindenki maga hozza meg - ugyan azt - a döntést.

Ezt a jelenséget általában vizsgálva megfigyelhető egy nagy hasonlóság: a kezdeti fázisban a közlekedők zöme jóformán ugyan ott és ugyan úgy dönt a kérdéses irány mellett. Alexander megfigyelései szerint ennek a jelenségnek oka az alapvető emberi mivoltban keresendő: a homo sapiens – bár kultúránként sok szokás eltérhet – az alapvető megérzéseiben, igényeiben akár 95-98%-ban egyforma döntéseket hoz, egyforma megoldásokat ítél meg kellemesnek [3]. Ezt a jelenséget támasztja alá, hogy egy látható ösvény kialakulásához sok áthaladás kell, és addig is mindenkinek egyformán kell viselkedni.

A stabil fázisban már látható egy nyom, van kialakult ösvény. A döntési pontban a közlekedő ugyan azokat a motiváló erőket érzi, azonban láthatja, hogy ezt más hogyan – merre – oldotta meg. Ez nagyban befolyásolja döntését, és várhatóan a már meglévő ösvény erősíti tovább, az ösvénynél „átszakad” a korábbi homogén terület. Stabil fázisnak kell tekintsünk minden olyan esetet, ahol a korábbi közlekedő döntését az őt követő láthatja, így folyamatos embervonulást. Mivel azonban egy hömpölygő tömegnek egészen más tulajdonságai lesznek, ezekkel az esetekkel nem foglalkozunk a kutatásban.

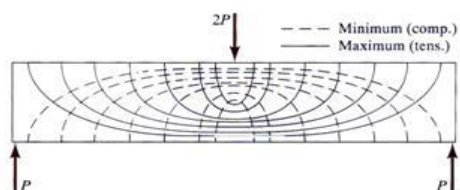
Hóban ez a folyamat extrém módon felgyorsul. Minden egyes áthaladás hosszabb időre láthatóvá válik. Ebben a speciális esetben akár egy áthaladás jelentheti a kezdeti fázist. Hóban előfordul az előző lábnyomába lépés is, amivel pl. a cipő átázását igyekszünk elkerülni. Végül ez is átmegy egy olyan állapotba, ahol markáns ösvény rajzolódik ki.

A stabil fázist, ahol létrejött egy jól látható nyom, nem követi további. Az ösvények ritkán hódítanak teret, azaz nem alakulnak át tisztás foltokká, nem szélesednek ki. Kivételes esetekben a „kétszemélyessé” válás ugyan megfigyelhető, de itt is megmarad egy fő csapásvonal.

A felfedezés nem új keletű, hiszen az ún. „skandináv” járdaépítés is hasonló céloz meg: egy elkészült lakónegyedben a járdákat késve építik meg. Előbb megfigyelik, hol alakulnak ki csapások, merre van a legnagyobb közlekedési igény. Második lépésben ezeket építik ki. Az eredmény egy emberközeli, maximálisan anyagtakarékos megoldás.

## 2. A FŐFESZÜLTSÉGI TRAJEKTÓRIÁK

Az első, ill. második főfeszültségi trajektóriák a síkbeli feszültségállapot síkjában fekvő olyan görbeseregek, amelyeknek érintője minden pontban az első, ill. a második főtengető. Mivel a főtengetők merőlegesek egymásra, a trajektóriák ortogonális görbeseregek. [12]



2. ábra: Főfeszültségi trajektóriák kéttámaszú tartón [11]



3. ábra: Sorompó kikerülése [10]

Amennyiben megnézzünk egy terhelt tartó feszültséglefolyását, szembetűnő a hasonlóság egy forgalom által létrehozott ösvényképpel.

### 2.1. A megközelítés újszerűsége

A közlekedés jellemzőinek leírását általában a mozgó tömeg jellemzőinek kutatásával kísérelték meg, mellyel igen jó eredményeket lehetett elérni.

A szakirodalomban azonban alig lelhető fel olyan kutatás, mely az izolált, de akkumulált közlekedési forgalommal foglalkozik. Ha izoláltan vizsgálják is az egyes közlekedők útvonalait, akkor modern digitális módszerekkel emelik ki az egyént a tömegből, és eredményeiket ismét tömegáramlási vizsgálatokhoz használják fel. Ennek igénye könnyen belátható, hiszen városi életmódunkban egyre több olyan helyzet lép fel, ahol nagyszámú ember találkozik össze, komoly igényeket támasztva a tervező felé: ilyenek például repülőterek, állomások kapui, busz- és vonatajtók, plázák és irodaházak előcsarnokai. Az egyes emberek szabad áramlási viselkedése viszont alapvető emberi jellemző, melyből az összes későbbi ered.

Az áramlási analógián alapuló elméletek a mozgó ember- vagy járműtömeget állítják párhuzamba a folyadékkal, mely egy közlekedőedényen, közlekedési folyosón áramlik. Paramétereket ezen összefüggésekből, analitikusan következtetnek. Numerikus megoldások úgyszintén léteznek nagy számban, melyekre itt nem térünk ki.

Jelen kutatással olyan megoldásra törekszünk, melynél nincs külön közlekedőedény, hanem a közlekedési útvonalra ható forgalmi terhelés, nyomás jelenti az analógia alapjait. Az elvben analitikus megoldást numerikus, véges elemes megoldással hajtjuk végre.

### 3. MÓDSZERTAN

Vizsgálati felvetésünk olyan síkban terhelt tárcsa elrendezéséből áll, mely egységnyi vastag, alakja pedig a közlekedési tér. A közlekedő kiindulása a rendszerben a teher, a célpont a megtámasztás. Közte a valós körülményeknek megfelelő arányban beállított tulajdonságú anyagok jelképezik a különféle haladási lehetőségeket.

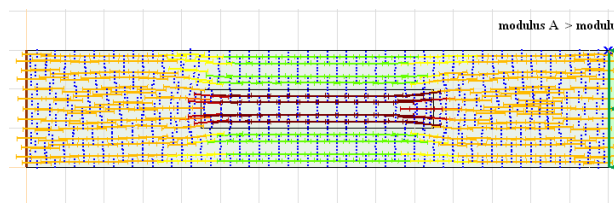
A terheket forgalmi nyomásként fogjuk fel, amik a közlekedőben ébrednek, amikor egy új szituációval találkozik. Megfigyeléseink alátámasztották, hogy ilyenkor az emberi döntéshozóknál megtorpanás történik, és rövid hezitálás után vágnak neki a rövidített útnak.

A felparaméterezés végrehajtásához több olyan modellt igyekeztünk létrehozni, melyben a közlekedés valós lefolyását könnyű megfigyelni, így az egyes szerkezeti paramétereket elkülönítve tudjuk beállítani. Ilyen a rugalmassági modulus, a szabadságfokok beállításai, a nyírás és az ortotrop viselkedés. A mostani állapothoz képest további anyagmodellek bevonását kívánjuk még elvégezni, és a lehatárolást pontosítani.

#### 3.1. Paraméterek elkülönítése, a rugalmassági modulus

Mivel a legnagyobb jelentőséggel a rugalmassági modulus bír, itt példaképpen ennek vizsgálatát mutatjuk be.

Minél nagyobb a rugalmassági modulus, annál nagyobb terhet von magára. Így történik ez a forgalomnál is: minél jobb minőségű a burkolat, annál inkább magára vonzza a környezet forgalmát. Vizsgálataink eredményeképpen az 1. táblázatban összefoglalt arányokat állapítottuk meg.



4. ábra: Eltérő burkolatú utakat jelképező rugalmassági modulusok

burkolat	E modulus rel. aránya [%]
gyep, fű	100 (bázis)
aszfalt, idomkő	1000
zúzottkő, kövek	50
bokrok, alacsony kerítések,	10
épületek, magas kerítések	0
sár	5...20
friss hó	30
letaposott hó	70

1. Táblázat Különböző burkolatokhoz javasolt rugalmassági modulus arányok

A további, már vizsgált modellparaméter esetében [4] publikációnkra hivatkozunk.

### 4. PÉLDÁK

#### 4.1. Budapest, BAH-csomópont

Budapesten a BAH-csomópontnál sokáig olyan gyalogosközlekedési rend volt érvényben, ami a gyalogosokat bizonyos irányokban hatalmas kerülőkre kényszerítette, gyalogátkelőhely igénybevételével (lásd az 5. ábrát). Ennek eredményeképpen a piros nyíllal jelölt útvonalon lerövidített ösvény alakult ki. A problémát felismerve, a BKK 2012-ben a burkolat-



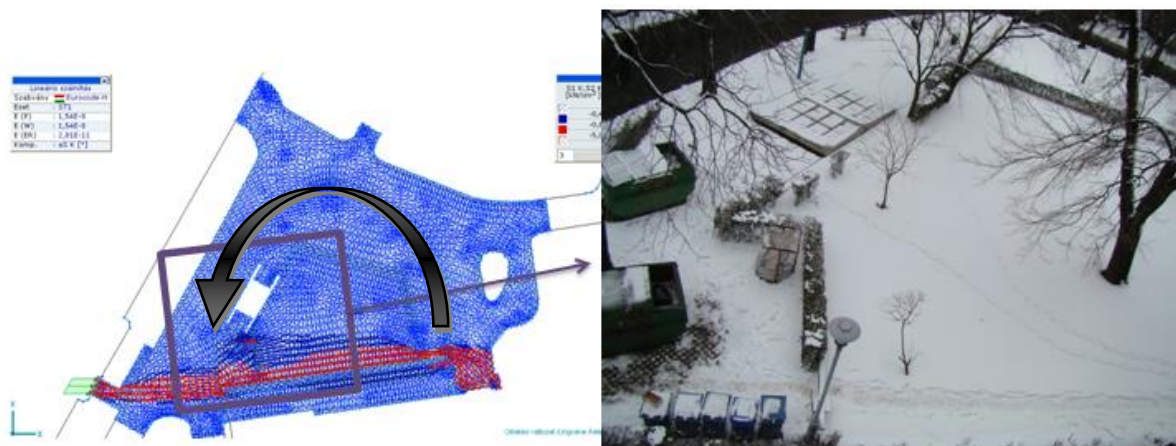
felújításkor új közlekedési rendet valósított meg, ami jobban illeszkedik a felhasználókhöz. Az eredmény nagy sikert hozott, ám 1-2 éven belül még itt is megjelentek a korlátok végét megkerülve határozott kitaposott nyomok – ha nem is akkorák, mint előtte.



5. ábra: A BAH-csomópont gyalogos közlekedése (légifelvétel [8])

Az eset alapján kijelenthetjük, hogy hasznos lett volna tudni, hol van az ideális út, illetve ha ettől el is térünk, meddig kell és milyen korlátot kiépíteni, hogy a forgalombiztonság maximális lehessen. Az eset felparaméterezésén jelenleg dolgozunk.

#### 4.2. Budapest, BME K épület északi kijárat



6. ábra: római a BME északi kertje [13]

Egy másik vizsgált eset a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem K épületének északi kijáratánál volt. Itt homlokzatomlás veszélye miatt lezártak egy járdaszakaszt, a fekete nyíllal jelölt kerületet kijelölve alternatívaként, lásd a 6. ábrán. Az eredmény a járda melletti füves területen megjelenő markáns ösvény lett, ami minden elkerítést felülbíralt.

Az ábra bal oldalán az eset modelljét láthatjuk, ahogy a pirossal jelölt útvonalon megnő a feszültségek értéke. Ezzel megegyezően viselkedtek az emberek is, amit a jobb oldalon látható, havas időben fényképezett képen láthatunk. Részleteket erről a vizsgálatról az [4]-beli publikációban közöltünk.

## 5. CÉLOK

Hosszútávú célunk, hogy olyan módszer jöhessen létre, mely segít a közlekedést jobban megérteni, elsősorban a kezdeti pillanatban. Ennek leginkább az emberközelű közlekedéstervezésnél lenne jelentősége, hiszen olyan közlekedési utakat tudnánk alkotni, ahol a közlekedők igényei jobban, és kevesebb anyag felhasználásával lennének kielégítve. A „skandináv” járdaépítéshez hasonló térszerkezetek jöhetnének létre, még hozzá tudatosan.

További fontos gyakorlati alkalmazás a városi építkezéseknél van. Például a közelmúltban a Budapesti Jászai Mari téren lezártak zebrákat, melyeket a járókelők újra „megnyitottak maguknak”, mivel akkora feszültséget okozott a kerülő. [6] Egy ilyen modellezési lehetőséggel előre jósolható lenne a már elfogadható lezárási mód.

## 6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzői ezúton is szeretnék köszönetüket nyilvánítani az Inter-CAD Kft-nek és munkatársainak, akik rendelkezésünkre bocsátották az AxisVM 12-es végeeselemes programcsomagot.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GARTNER, N., MESSER C.J., RATHY A.K. (EDT.):** *Traffic Flow Theory*, TRB special report 165, Washington D.C., 1992
- [2] *HCM 2010, volume1*, Transportation Research Board, Washington DC, 2010
- [3] **ALEXANDER C., ISHIKAWA, S., SILVERSTEIN, M.,:** *The Timeless Way of Building*, New York; Oxford University Press, 1979.
- [4] **UNGVÁRAI Á.,** *Anyalyzing the formation of traffic-caused patterns with finite-element-method*, International Transport Conference for Engineers and PhD students, Conference Book, Budapest, 2012
- [5] *Traffic Flow Theory - Introduction*, University of Idaho, [www.webpages.uidaho.edu/niatt\\_labmanual/Chapters/trafficflowtheory/Introduction/index.htm](http://www.webpages.uidaho.edu/niatt_labmanual/Chapters/trafficflowtheory/Introduction/index.htm), hozzáférés: 2015.06.10.
- [6] *Lázadás a Jászai Mari téren*, Origo, 2015.03.24., [www.origo.hu/itthon/20150324-elege-lett-jaszai-mari-teri-jarokeloknek-felredobtak-a-zebrat-lezaro-bojakat.html](http://www.origo.hu/itthon/20150324-elege-lett-jaszai-mari-teri-jarokeloknek-felredobtak-a-zebrat-lezaro-bojakat.html), hozzáférés: 2015.06.10.
- [7] *Gyalogosbarát közlekedési rend a BAH-nál*, Helyi Téma újságcikk, 2012.06.06.
- [8] *Google Maps*, hozzáférés: 2015.06.10.
- [9] <http://www.bilder-speicher.de/08050518238877/foto/auf-der-faht-sind-wir.html>, hozzáférés: 2015.06.10.
- [10] <http://www.spassfieber.de/bilder/schranke-wird-umfahren.html>, hozzáférés: 2010.08.03
- [11] *Plane Stress Transformation*, <http://www.scrigroup.com/limba/engleza/93/Plane-Stress-Transformation41525.php>, hozzáférés: 2015.06.02.
- [12] **KURUCZNÉ, K.M., BOJTÁR, I.,** *Szilárdságtan előadások vázlatja*, 2006
- [13] **SZERZŐ SAJÁT KÉPE**

## ÜVEG LIZÉNÁK LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATA

### LABORATORY EXPERIMENTS OF GLASS FINS

Jakab András<sup>1</sup>, Nehme Kinga<sup>2</sup>, Nehme Salem Georges<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ph.D hallgató, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, jakab.andras@epito.bme.hu

<sup>2</sup>egyetemi docens, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Építőmérnöki Tanszék, kpankhardt@yahoo.com

<sup>3</sup>egyetemi docens, laborvezető, BME Építőanyagok és Mg. Tanszék, sgnehme@yahoo.com

**Kivonat:** A hőerősítési eljárásoknak köszönhetően épületeinkben az üveget, már tartószerkezetek anyagaként is fellelhetjük. Külföldön és hazánkban is számtalan korszerű és esztétikus példával találkozhatunk pl.: üveg függönyfalakkal, melyeket már nem acél vagy vasbeton tartószerkezetek támasztanak meg, hanem üveg lizénák. Kutatásunkban ezen lizénák avagy homlokzati üvegezést gyámolító síklapokból álló oszlop elemek tervezési és stabilitási kérdéseire keressük a válaszokat. A BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékén laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk a kérdéskör elemzéséhez. A kutatásaink során több mint 120 db próbatesttel kísérleteket végeztünk, eltérő réteg-, magassági- valamint hőerősítési tulajdonságokat vizsgálva. A kísérleti eredményeinket a szakirodalomban fellelhető számítási módszerekkel is összehasonlítottuk. Elemeztük az üvegek felületén, a kísérlet során alkalmazott alakváltozást mérő bélyegek értékeiből számított feszültségeket és az irodalomban használatos feszültség számítási eljárásokat. Bemutatjuk, hogy milyen eltéréseket tapasztaltunk a számítási eljárásoknál, és értékeljük ezen eljárások mérnöki gyakorlatban való alkalmazhatóságát.

**Kulcsszavak:** üveg lizéna, oszlop, kihajlás, üveg, laboratóriumi kísérlet, átlátszóság

**Abstract:** Supporting structures can be transparent due to the development of glass strengthening procedures. Glass walls can be supported by glass fins against wind load, as well as a slab can be supported by glass columns. This paper focuses on the load bearing capacity of glass columns and the stability issues. More than 120 specimens were loaded under compression to study the buckling behaviour of glass columns. Laboratory experiments were carried out at the BME, Department of Construction Materials and Engineering Geology. Laminated glasses consisted of different glass layers (e.g. variable thicknesses, type of glass layers etc.) were compressed by concentrated load. Based on the laboratory experiments and theoretical calculations the influencing factors on critical force and buckling behaviour of glass columns were studied.

**Keywords:** glass column, buckling, stability, transparency, compression

## 1. BEVEZETÉS

Az építési üvegek felhasználása az elmúlt évtizedektől rohamosan bővül, nehezen lehet és nem is szükségszerű korlátokat szabni fejlődésének. E rideg anyag tartószerkezetekben való felhasználása veszélyeket rejthet, ha nem vagyunk tisztában a teljesítőképességével. Az üveg lizénák hajlítási ellenállásának, stabilitási viselkedésének ismerete fontos tényező, mivel megtámaszthatják a felettük lévő födémet, illetve külpontosan viselhetik az üveghomlokzat terheit. Az építészetben a födém lemezt alátámasztó üvegoszlopok sem tűnnek manapság futurisztikusnak. A statikusok dolgát nehezíti, azonban, hogy nincs kialakult mértezési eljárás, ezért szükségszerű az üveg oszlopok viselkedésének laboratóriumi vizsgálata. [1]

## 2. LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK

### 2.1. Vizsgálati paraméterek

A BME Építőanyagok és Magasépítési Tanszék laboratóriumában egy- és többretegű üvegoszlopok kihajlási és teherbírási viselkedését vizsgáltuk. A vizsgálatokhoz INSTRON 5989 típusú univerzális szakító/nyomó gépet alkalmaztunk. Minden próbatestet

tönkremenetelig terheltünk központos nyomással. A vizsgálatok során float (úsztatott) valamint előfeszített üvegeket vizsgáltunk.

Kísérleti állandók: megtámasztás típusa és gumi keménysége (Shore A 80); próbatest névleges szélessége (80 mm); lamináló anyag típusa (EVA – 0,38 mm); vizsgálati hőmérséklet ( $+23 \pm 5$  °C); él-megmunkálás (KP - polírozott). Változók: hőkezelés típusa (float, előfeszített); próbatestek magassága (1000 mm, 920 mm, 840 mm); üveg rétegek száma: egyrétegű (8 mm, 12 mm, 19 mm), kétrétegű (2×4 mm, 2×6 mm, 8+4 mm, 2×8 mm, 2×10 mm), háromrétegű (3×4 mm). Terhelési sebesség: 0,5 mm/min, 1 mm/min.

A próbatestek jelölései: Példa: F\_2(6.6)\_2\_1000\_0,5. F - Üveg típusa: float üveg; 2(6.6): Üveg réteg száma pl. 2×6 mm-es laminált üveg; 2: A próbatest sorszám; 1000: Névleges próbatest magasság [mm]; 0,5: Terhelési sebesség [mm/min].

## 2.2. Kísérleti elrendezés

A vizsgálati üvegek méreteit és megtámasztási körülményeit megvalósult szerkezetek üveg oszlopainak geometriái alapján, kisebb léptékűre átskálázva határoztuk meg. Az 1. ábra szemlélteti kísérleti elrendezést. A vertikális elmozdulást és a nyomóerőt a terhelő berendezés szoftverével (BlueHill) rögzítettük, míg a horizontális elmozdulást három magasságban mértük úradók segítségével. Az üvegek alakváltozását HBM LY11-10/120 nyúlásmérő bélyeggel mértük az üvegek középpontjában.



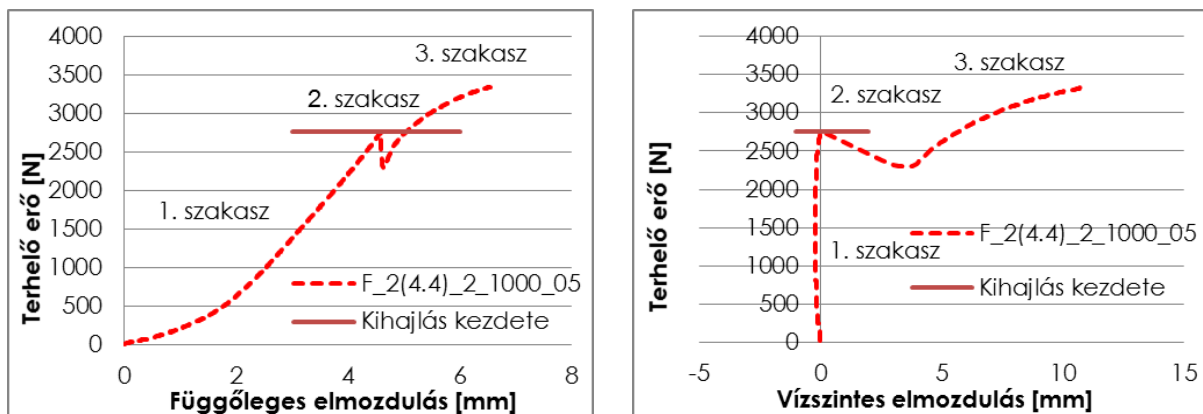
1. ábra Kísérleti elrendezés

## 3. KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK

A próbatestek kísérleti eredményeit jellemző görbéken szemléltettük. Ábrázoltuk a függőleges és vízszintes elmozdulásokat a terhelés függvényében (2 és 3. ábra). Az eredmények elemzése alapján megfigyelhető, hogy a terhelés – kihajlás görbék eltérnek egymástól. A próbatesteket a görbék elemzése alapján három csoportba soroltuk. A korábbi tanulmányokban a jellemző szakaszokat elneveztük, ezek a következők voltak: 1. Első stabil szakasz, 2. Instabil szakasz, 3. Második stabil szakasz.

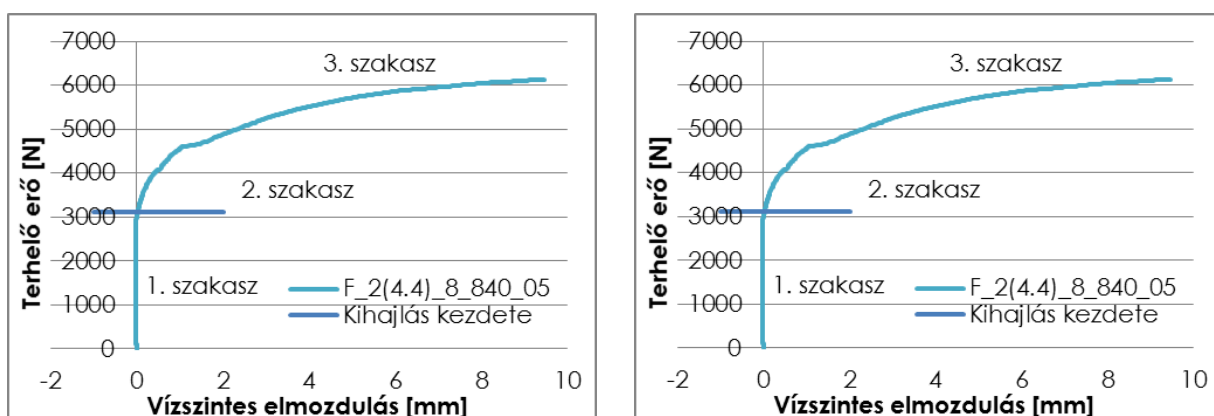
A kísérleti eredmények alapján *első csoportba* sorolt üvegeknél jól elkülöníthető három jellemző viselkedési szakasz. Az első és második szakasz között jól definiálható határ észlelhető. Az üvegek ez esetben posztkritikus állapotba kerültek, ekkor a kritikus kihajlási erőt könnyen meg lehet határozni. A próbatest állékonysága, stabilitási peremfeltételei meglehetősen kedvezőek, tehát az elméleti alakváltozási (összenyomódás) határig jelentős

terhet tud felvenni. Azonban a terhelő erő egy bizonyos határértéknél az üveg oszlop nem tud kihajlás nélküli további alakváltozásokat elviselni és egy másodpercnél rövidebb idő alatt kihajlik. E határérték a próbatest imperfekcióinak, a próbatest nyomógépbe történő beállításainak és a terhelési sebességnek a függvénye. Acél tartókkal ellentétben az egy rétegű (monolitikus) üvegeknél ez a folyamat teljes mértékben rugalmasan megy végbe, majd a kezdeti vízszintes elmozdulások lelassulnak és a tartó ismét további erő felvételére képes. A diagramon látható 2. és 3. szakasz határát nehéz definiálni, azonban a tervezés során megengedett vízszintes elmozdulásokat már meghaladó mértékű alakváltozások alakulnak. Javasoljuk a második és harmadik szakaszok közti határt a görbék érintői segítségével meghatározni. Így, a két határállapot jól definiálható, míg a harmadik szakasz vége a húzószilárdság kimerülését jelzi a próbatest húzott oldalán.



2-3. ábra Első csoport jellemző görbéi és szakaszai a kihajlás kezdetével

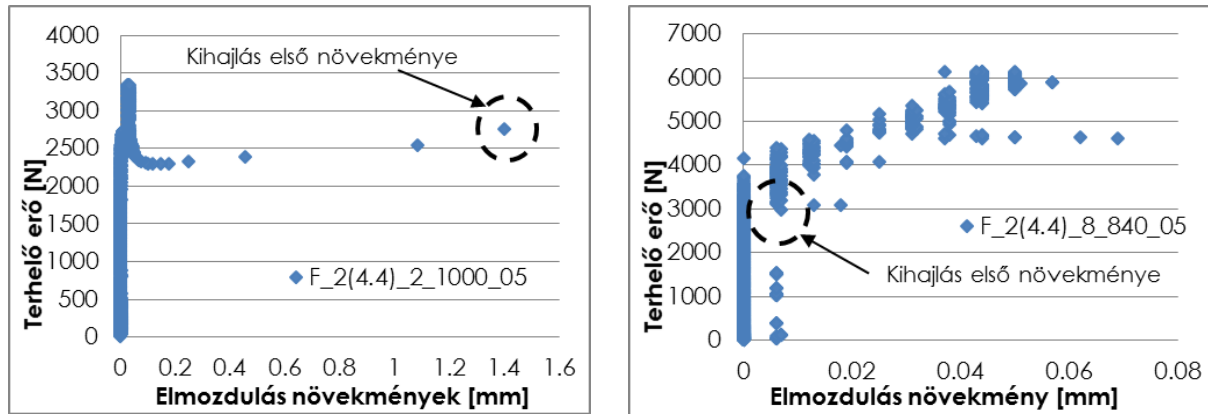
A kísérleti eredmények alapján *második csoportba* sorolt üvegek jellemző görbéi láthatóak a 4. és 5. diagramokon. E jellemző görbéknél megfigyelhető, hogy hiányzik az éles átmenet az első és a második szakaszok között. A kihajlási viselkedést ebben az esetben a kezdeti imperfekciók jelentősen befolyásolják. A terheléskor a kritikus erőt elérve, majd azt meghaladva a próbatest kihajlik, azonban ez lassabb folyamatnak tekinthető, mint az első csoportnál.



4-5. ábra Második csoport jellemző görbéi és szakaszai a kihajlás kezdetével

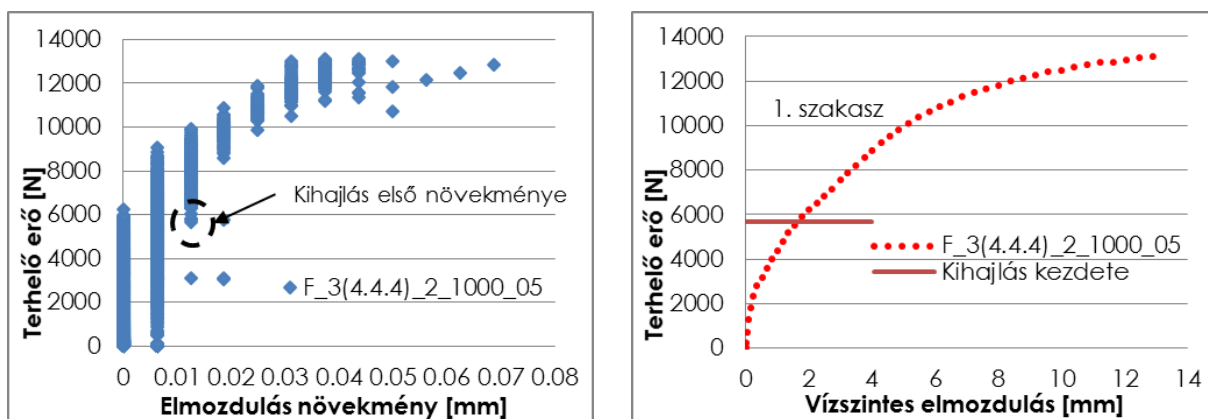
A tervezésnél fontos a kritikus terhelés, kihajlással szembeni ellenállás meghatározása. Ha a görbék jellemző szakaszainak érintőit alkalmazzuk, akkor nem kapunk megbízható eredményt, ezért célszerű az elmozdulás változásokat követve megkeresni azt az értéket, ahol a vízszintes elmozdulás már nullától eltérő értékeket vesz fel. A 6-7 diagramokon láthatók az elmozdulás változás (növekmények) a terhelő erő függvényében. A terhelő erő növekedése

során az elmozdulás különbség növekedni fog, ez az első csoport esetében egy jelentősen kiugró csúcspontként jelenik meg az ábrán. A második csoportnál az elmozdulás növekményt jelentő pontok sűrűsége jelzi a kihajlást. A kihajlás kezdete arra a pontseregre helyezhető, ahol a nulla elmozdulás növekmény mellett fokozatosan megjelenik a következő elmozdulás növekmény lépcső. A kijelölt elmozdulás növekményhez tartozó erőt visszavezetve a jellemző görbéken, a kihajlás kezdete meghatározható. Az így kijelölt teher szint értéke a használhatósági számításokban figyelembe vehető.



6-7. ábra Első és második csoport elmozdulás növekmény görbéi

A kísérleti eredmények alapján *harmadik csoportba* sorolt üvegeknél a terhelési folyamat során az elmozdulás változás nő (növekmény), míg a teher felvétel változása csökken. A stabil állapot e csoport viselkedésére jellemző a legtovább, majd a húzószilárdság elérése után az üveg tönkremegy. A kezdeti imperfekciók tekintetében a próbatetek többsége görbülettel rendelkezett. A releváns kihajlási erő meghatározása ez esetben még nehezebb. Zérustól eltérő elmozdulás növekmények a terhelő erő növelésével folyamatosan megfigyelhetők. A kritikus kihajlási erő egy újabb növekményi szint megjelenéséhez köthető, mely a 8. ábrán látható. A kritikus erő meghatározható szokványos módon is, úgy hogy a magassághoz arányos értékhez pl. H/400 tartozó vízszintes elmozdulásokhoz határozzuk meg. E módon megállapított kritikus terhelő erők az első csoportnál a legmagasabbak, míg a második csoportban kisebbek és a harmadik csoporthoz tartoznak a legkisebb értékek.



8-9. ábra Harmadik csoport elmozdulás növekménye és jellemző görbéje

A kísérleti eredmények elemzésekor a 2. és 3. csoporthoz tartozó üvegeket, csupán a terhelő erő és vízszintes elmozdulás diagramok szerint nehéz volt megkülönböztetni egymástól, mivel a kihajlási viselkedéseiknél éles szakasz határ kevésbé jellemző. A kísérletek során az első csoportba a vizsgált próbatetek 23%-a, a második csoportba a

vizsgált próbatestek 49%-a míg a harmadik csoportban 28%-a volt sorolható. Nem figyelhető meg korreláció, a próbatest csoportok tulajdonságai (rétegfelépítés, magasság, hőerősítés) között. Eddigi kísérleti eredményeink alapján megállapítható, hogy a terhelési viselkedés az üvegek imperfekcióinak (saját alak, görbület) a beépítés sajátosságainak (pl. támaszokban lévő helyzet, ferdeség) valamint a terhelési sebességnek köszönhető. A vizsgált különböző magasságú üvegek eredményei alapján a próbatestek többségét a 2. csoporthoz lehetett besorolni. Az 1000 mm magas üvegek esetén a 2. csoport után a legtöbb próbatestet a 3. csoportba soroltuk. A 920 és 840 mm-es próbatestek közül a 2. csoport után az 1. csoportba soroltunk több próbatestet.

Korábbi publikációkban összehasonlítottuk a próbatestek görbéit a magasság, a rétegvastagság illetve a hőerősítés változtatásának szempontjából. [2,3,4]

## 4. SZÁMÍTÁSOK

### 4.1. Számítási módszerek

Egyrétegű üvegek kritikus kihajlási erejét az Euler féle képletekből lehet kiszámítani. J. Blaauwendraad kapcsolati tényezős eljárást dolgozott ki. E módszerrel meghatározhatjuk a kritikus kihajlási erőt a lamináló fólia figyelembevételével, rövid ideig ható terheléseknél. A kapcsolati tényező a rétegek hajlékonyságából számítható. Blaauwendraad eljárásával a kritikus kihajlási erő két határ értéke számítható: a) nem együttdolgozó két üveg rétegé; b) monolitikusan együttdolgozó üvegek. [5,6].

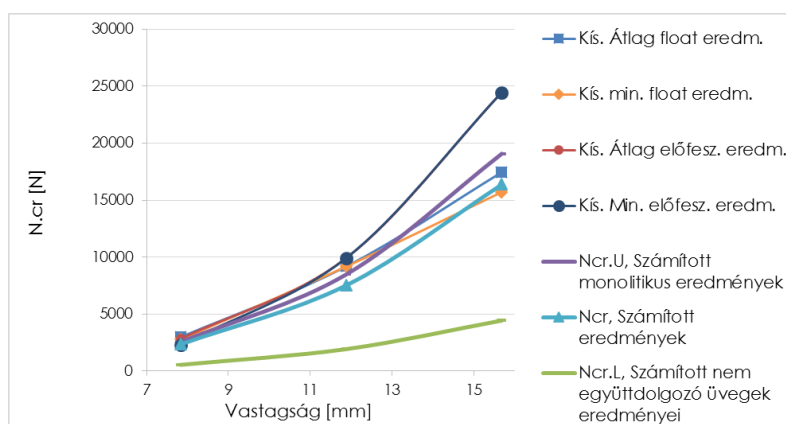
### 4.2. Számítási eredmények

Az ismertetett eljárással a kihajlási erő határértékei kiszámíthatók. Megjegyezzük, hogy amennyiben az erőbevezetés külpontos, úgy másodlagos hatással is számolni kell.

Az alkalmazandó befogási tényezőt Euler-féle képlet figyelembevételével határozhatjuk meg. Az átlagos és a minimális kritikus kihajlási erőket alkalmazva a befogási tényezők 0.8 és 1.2 között változtak. A számított befogási tényező meghaladta az 1.0-t, mivel a támasznál alkalmazott gumitömítés rugalmasan viselkedik, így elmozdulást megengedő kapcsolatként vehető figyelembe. Célszerű tehát a számításokban befogási tényezőt 1.0-nek feltételezni, ha nem alkalmazunk egyéb rögzítést pl. átmenő szárral történő szorítást.

A 10. diagramon láthatóak a kihajlási erők és a kapcsolati tényezős eljárással számított eredmények a vastagság függvényében. A diagramon feltüntettük a nem együttdolgozó rétegek és a monolitikusan együttdolgozó üvegek által számítható kritikus kihajlási erőt. A legtöbb kísérleti kihajlási erő értéke a monolitikusan együttdolgozó üvegek határértékeit meghaladják, illetve a számításban alkalmazott eljárás alulról közelíti a laboratóriumi eredményeket. Az üvegek megtámasztási viszonyait javasolt végeeselemes szoftverek alkalmazásával elemezni, hogy optimalizálni lehessen a befogási tényezőt a kísérleti elrendezésnél.

Az elmozduló csomópontok esetén a vasbeton oszlopoknál már alkalmazott számítási eljárások rendelkezésünkre állnak (1. Képlet). A szerzők ennek a képletnek az alkalmazási lehetőségeit is vizsgálják a későbbi tanulmányokban. [7]



10. ábra Kihajlási erő értéke float és előfeszített 1000 mm magas üvegek esetében

$$L_o = L \times \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}} \left( 1 + \frac{k_1}{1 + k_1} \right) \times \left( 1 + \frac{k_2}{1 + k_2} \right) \right\} \quad (1)$$

ahol:

- $L_o$  - a számított kihajlási hossz;
- $L$  - a tartó (oszlop) teljes hossza;
- $k_1, k_2$  - a rugalmas befogások relatív elfordulási képessége.

## 5. ÖSSZEFOGLALÁS

Laboratóriumi kísérleti eredményeink alapján megállapítható, hogy a központosan nyomott üvegek viselkedése három csoportba sorolható, a terhelő erő - vízszintes elmozdulás diagram szakaszainak elemzése alapján. Az első csoportnál a kritikus kihajlási erő nagyobb a többi csoportba sorolható üvegekéhez képest, míg a kihajlás jelensége időben gyorsan lejátszódó folyamat. A második csoportnál a kritikus kihajlási erőt nem lehet egyértelműen meghatározni a jellemző görbék alapján. A harmadik csoportnál az elmozdulás növekmények fokozatosan nőnek a tönkremenetelig és fordítottan arányosak a tehernövekményekhez képest. A vizsgált üvegek fele a második csoportba volt sorolható. A próbatestek csoportosíthatósága függ pl. a kezdeti imperfekcióktól, a saját alaktól, a megtámasztási viszonyoktól és a terhelési sebességtől. A kritikus kihajlási terhelő erő számításához szükséges a befogási tényező minél pontosabb meghatározása, mely értéke az 1-t is meghaladhatja, ami a rugalmas tömítőanyag elmozdulást megengedő tulajdonságával magyarázható. Blaauwendraad kapcsolati tényezős eljárásával bemutattuk, hogy a számított kritikus erő alulról közelíti az első és második viselkedési csoportok kísérleti eredményeit.

## 6. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A szerzők köszönik a Rákosy Glass Kft-nek, hogy biztosították az üveg próbatesteket valamint a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszéknek és dolgozóinak és a Struktúra Kft. alkalmazottainak, hogy támogatták a kísérletet tanácsaikkal és segítségükkel.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PANKHARDT K.** 2012 *Teherhordó üvegek*. Testing of Construction Glasses (Saarbrücken: Lap Lambert, ISBN: 978 3 8473 2191 0
- [2] **JAKAB A., NEHME K., NEHME S. G.**, *Üvegoszlopok viselkedése központos teherre*, 2014 ÉPKO, 118-121.
- [3] **NEHME K., JAKAB A., NEHME S. G.** 2013 *Experiments on the Buckling Behaviour of Glass Columns Part 1.* (Budapest: Építőanyag **65/3** <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.13>)
- [4] **JAKAB A., NEHME K., NEHME S. G.** 2014 *Fracture Behaviour of Glass columns* (Düsseldorf: Glasstec Engineered Transparency, ISBN:978 3 86780 402 8)
- [5] **NEHME K., JAKAB A., NEHME S G** 2013 *Experiments on the Buckling Behaviour of Glass Columns Part 2.* (Budapest: Építőanyag **65/4** <http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2013.21>)
- [6] **BLAAUWENDRAAD, J.**, *Buckling of laminated glass columns*, 2007, Heron Vol. 52. No. 1/2 pp.147-164.
- [7] **FARKAS GY., KOVÁCS T., SZALAI K.**, *Betonszerkezetek tervezése az Eurocode szerint*

# SZERVEZÉSI FELADATOK VIZSGÁLATA EGY MEGVALÓSULT ÉPÍTKEZÉSRE

## EXAMINATION OF ORGANIZATIONAL TASKS FOR A REALIZED CONSTRUCTION

**Valentényi Péter**

Műszaki Menedzser MSC Hallgató  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
valentenyipeter@freemail.hu

**Kivonat:** A szervezési feladatok kiemelt fontosságúak az építőipari kivitelezések során, melyek segítik, hogy optimális idő, energia és pénz felhasználásával érjük el a kívánt célt. Jelen tanulmány a különböző kivitelezési lehetőségek költség vonzatát hasonlítja össze, ezenkívül az időbeli különbségek is megállapításra kerülnek. A vizsgálatok egyszerű méretkimutatásokra, normaadatokra, a jelenleg aktuális vállalkozói árakra és a szakmunkás, betanított segédmunkás bérekre alapulnak.

**Kulcsszavak:** szervezés, építkezés, költség

**Abstract:** Organizational tasks are important during the construction works, because they enable us to achieve our goals with optimal time, energy and financial costs. This study compares the financial and time costs of different implementation options. The research is based on simple statements, norm dates, current entrepreneurial prices and the wages of skilled and semi-skilled workers.

**Keywords:** organization, building, cost

### 1. Építőipari kivitelezés-szervezés

„A szervezés olyan alkotó szellemi tevékenység, amely meghatározott cél érdekében az adott kor ismeretanyagának, tudományos eredményeinek intézményes felhasználásával munkafolyamatok és azok ellátására hivatott szervezetek

- létrehozására vagy
- fejlesztésére,

működésük rendjének tartalmi és formai előírására, a munkaerő, a munka tárgya, a munkamódszer és a munkaeszköz optimális összehangolására irányul.” (Ladó László, 1980:23)

Az építésszervezés egy olyan tevékenység, amikor a kivitelezéshez kapcsolódó összes elem (technológiák, építőanyagok, munkaerő, gépek, szerszámok, segédszerkezetek, pénz, engedélyek) optimálisan osztjuk el, a folyamatos és hatékony munkavégzés érdekében. Megfelelően szervezett kivitelezéseknél megelőzhetőek a veszélyhelyzetek, javulhat a munka hatékonysága. A építésszervezésen belül elkülönítjük az időbeli tervezést, térbeli tervezést és a pénzügyi ütemtervet. A időbeli tervezéshez soroljuk a különböző ütemterveket. Térbeli tervezéshez az organizációs terveket. A pénzügyi ütemterv készítéséhez pedig a részletes költségvetés ad segítséget. (Tóti Magda, 2000:1), (Takács Ákos – Dr. Neszmélyi László – Somogyi Miklós, 2008:138)

#### 1.1. Költségvetés

Az építőipari termelésben is jelentős szerepet kap a haszon realizálása a kivitelezési tevékenység lezárása után. A nyereség a munkáért kapott vállalkozási összeg és a felmerülő kiadások különbsége. A munka megkezdése előtt a vállalkozónak és a megrendelőnek is

szükséges költségvetést készíteni. A vállalkozónak össze kell számolnia a várható költségeit, melyet a kívánt haszonnal egészít ki. A megrendelőnek az ajánlatok vizsgálata miatt kell költségvetést készítenie, egy optimális költségvetéssel kiszűrheti a reális vállalkozói ajánlatokat. (Takács Ákos – Dr. Neszmélyi László – Somogyi Miklós, 2008:138)

„Magyarországon jogilag formája, tartalma, az egyes tényezők számításának módja, a költségek csoportosításának lehetőségei nincsenek szabályozva.” (Takács Ákos – Dr. Neszmélyi László – Somogyi Miklós, 2008:138)

### ***1.1.1. A költségvetés készítés célja***

A költségvetés alapján írhatnak ki versenytárgyalásokat, köthetnek szerződéseket, számolhat el egymással a megrendelő és a vállalkozó, megrendelő ellenőrizheti a munka minőségét, adhat hitelt a bank, lesz gazdasági szempontból összehasonlítható a vállalkozók ajánlata. (Takács Ákos – Dr. Neszmélyi László – Somogyi Miklós, 2008:139)

### ***1.1.2. A költségvetés funkciói***

A költségvetés kiegészítője a műszaki terveknek. Ezek a kiegészítő költségvetések tartalmazzák az egyes technológiákat, építőanyagokat, melyeket a terven nem tüntettek fel. Mennyiségileg és minőségileg is meghatározza a munkákat. (Takács Ákos – Dr. Neszmélyi László – Somogyi Miklós, 2008:139)

### ***1.1.3. A költségvetések fajtái***

A költségvetések három féle módon osztályozhatóak: részletességük szerint, árképzés módja szerint, készítés célja szerint.

A részletesség szerinti költségvetés fajtákból a következőket különböztetjük meg: költségbecslés normatív adatok alapján, munkanem részletességű költségvetés, szerkezeti bontású költségvetés, részletes tételes költségvetés.

A normatív adatok alapján készülő költségbecslés esetében a készítő, nem részletezi az elszámolandó tételeket. Meghatározza a kivitelezési projekt fő paramétereit és minőségi jegyeit, majd költségként egy összeget ad meg. Ennek az összegnek a kiszámításában a számoló segítségére lehetnek korábbi hasonló épületek adatai, vagy szakmailag megalapozott becslést készít.

A munkanem részletességű költségvetés esetében az építmény költségei az építés során felvonuló szakágakra bontható. Ezáltal még a megvalósulás előtt egy átfogó képet kaphatnak a projekt résztvevői az épület, építmény részleteinek költségmegoszlásáról.

A szerkezeti bontású költségvetés általában több munkanemet is érintő szerkezetre készül. Például ha egy vállalkozót csak alapozásra kérnek fel, akkor van egy földmunka, ácsmunka és egy kőművesmunka rész.

A részletes, tételes költségvetések elkészítése, terjedelmességük miatt sok munkát igényelnek. Magyarországon ez a típus a legjellemzőbb, a részletességhez készülnek a költségvetési segédletek is. Részletességét tekintve a következő részekből áll: szerkezet, szerkezeti elem és állapot.

Az árképzés módja szerinti költségvetések között további két ágot különítünk el. Van az árképzés formája szerint megkülönböztethető és az árképzés pontossága szerint megkülönböztethető. Az árképzés formaiságához tartozik az egységáras költségvetés és a végösszeg számítási rendszer. A pontosság szerinti árképzéshez pedig a részletesen kalkulált árakat tartalmazó költségvetés és a költségbecslés tartozik.

Az egységáras költségvetésnél általában a szerkezetre határozzák meg az árat. Ez Magyarországon gyakran használt költségvetési módszer. A végösszegképző számítási módszernél összesítve számítják ki az építmény kivitelezéséhez szükséges összes tényezőt (gép, munkaerő, anyag).

Árképzés pontossága szerint a részletesen kalkulált árakat tartalmazó költségvetés pontos, a tételek költségeit külön-külön számítják. A költségbecslés egy kevésbé pontos, megépült hasonló építményhez viszonyítva kalkulálják ki az árat. Akkor alkalmazzák, ha gyorsan akarnak hozzávetőleges árat megtudni az építményről.

A készítés célja szerint elkülönített költségvetések között sorolhatjuk fel a költségelőirányzatot, a kiviteli szintű tételes költségvetést, az önköltségszámítást és a vállalási ár meghatározását.

A költségelőirányzat megegyezik a korábban említett költségbecsléssel. Időhiány, vagy nem végleges tervek esetén készítik. Egy közelítő képet kaphatunk a projektről.

A kiviteli szintű tételes költségvetést a kiviteli tervek alapján készül szerkezeti bontásban, mennyiséget és minőséget is figyelembe véve.

Az önköltségszámítás során a munkához kapcsolódó költségek kerülnek összegzésre. A vállalási ár számítása során az önköltséghez kell hozzáadnia a vállalkozónak az felmerülő egyéb költségeit és a remélt hasznát. (Takács Ákos – Dr. Neszmélyi László – Somogyi Miklós, 2008:142)

#### **1.1.4. Költségvetés készítésének lehetőségei**

Költségvetést készíthetünk kézzel írott formában, vagy számítógépes programokkal is. Mindkét esetben első lépés a méretkimutatás készítése. A megfelelő méretkimutatásokkal meglesznek, azok az értékek melyeket az egységárral kell beszorozni. Az egységárat kézi készítés esetén segédletekből nézhetjük ki, költségvetés készítő programok esetében a program alkalmazza az egységárat.

### **1.3. Ütemtervek**

Régebben az ütemterveket főként a nagyobb építőipari beruházásokhoz készítették. Ma már szinte minden termelő, vagy szolgáltató tevékenységhez tartozik egy időbeli terv.

Napjainkban a következőképpen definiálhatjuk az ütemterv kifejezést: „Az ütemterv olyan dokumentum, mely összetett, esetenként akár több ezer tevékenységből álló tevékenységrendszert megvalósításának időbeli sorrendjét adja meg.” (Hajdu Miklós – Klafszyk Emil, 1999:2)

Az ütemterv készítésének módja lehet kézi, vagy számítógépes, ezt főként a beruházás mértéke dönti el. Számítógépes ütemtervezéshez vannak alap programok, melyek nem kifejezetten erre a célra lettek kitalálva, de alkalmazhatóak. De vannak kizárólag csak ütemtervezéshez készített programok is. A készítési módtól függetlenül időbeli tervezés előtt fontos, hogy pontosan meghatározzuk a munkafolyamatokat és azok sorrendjét, valamint az időszükségeiket. (Tóti Magda, 2000:96)

## **2. KIVÁLASZTOTT ALAPOZÁSI TECHNOLÓGIÁK KÖLTSÉGVETÉSE**

A következőkben a kiválasztott ötlakásos társasház alapozási munkája kerül vizsgálat alá. A valóságban kútalapok készültek, ezek koronáját egy vasbeton gerendarács fogja össze. Ezt a mélyalapozást egy vasbeton lemezalappal hasonlítom össze. Elvégeztem a méretkimutatásokat és TERC programmal költségvetést készíték. Az összevetés kizárólag a költség vonzatot fogja figyelembe venni.

## 2.1. Kútalapok készítése

A kiviteli tervek szerint 35 db, 3 m hosszú, 1 m átmérőjű alaptest szükséges. A talajmechanikai szakvélemény alapján is elegendő a tervezett mélység. A kútalapokat 45 cm magas, 30 cm széles vasbeton gerenda köti össze. Az alapozás során  $117,05 \text{ m}^3$  földet kell kiemelni és elszállítani, valamint az alaptestekhez és gerendákhoz  $98,017 \text{ m}^3$  beton szükséges. A munka elvégzéséhez szükséges egy fűrófejjel ellátott földmunkagép, egy kis homlokrakodó és egy tűvibrátor.

Költségeket tekintve a kútalapok földkiemelése 283.185 Ft, a gerendarács földkiemelése 19.438 Ft, a kitermelt föld felrakása szállítóeszközre 31.252 Ft, kútalapok betonozása 115.454 Ft, gerendarács betonozása 91.496 Ft. A beton anyagára: 1.568.272 Ft. Ezen tételek összesen: 2.109.097 Ft.

## 2.2. Vasbeton lemezalap

Vasbeton lemezalap alkalmazása esetén, a lemez alatti nem megfelelő minőségű talajrétegeket le kell fejteni. A kívánt réteg elérését követően homok visszatöltéssel lehet elérni az alapozási szintet. A töltés során húsz centiméterenként tömöríteni kell a homokrétegeket.

A talajmechanikai szakvélemény szerint 2,7-2,8 m mélységnél található a homokos iszap réteg, idáig kell a nem megfelelő talajrétegeket eltávolítani. Így az lemezalap kivitelezése a következő munkák szükségesek:  $552,86 \text{ m}^3$  földkiemelést és elszállítást,  $454,13 \text{ m}^3$  tömörített homokfeltöltést,  $98,73 \text{ m}^3$  beton. A gépszükséglet megegyezik a kútalap kivitelezéséhez szükséges gépekkel, de a földmunkagépre nem fűrófej, hanem kanál szükséges.

A lemezalap költségei: A munkagödör földkiemelése 513.054 Ft, a fejtett föld felrakása szállítóeszközre 147.613 Ft, a visszatöltésre szolgáló homok anyagára 1.816.520 Ft, a tömörítés díja 146.684 Ft, a vasbeton lemez anyagára 1.579.680 Ft, a betonozás munkadíja 210.000 Ft, ezek a tételek összesítve 4.413.551 Ft költséget jelentenek.

## 2.4. Összehasonlítás

A síkalapozás teljes költsége 4.413.551 Ft, a mélyalapozás költsége 2.276.516 Ft. A lemezalap kivitelezése az adott helyszínen 109%-al kerülne többbe. Megállapítható tehát, hogy a tervezett alapozási mód kedvezőbb.

## 3. KIVITELEZÉS SAJÁT DOLGOZÓKKAL, VAGY ALVÁLLALKOZÓVAL

A következő pontokon belül, egy megvalósult ötlakásos társasház kivitelezésének kőműves munkafolyamatait vizsgáltam. Két lehetőséget állítottam fel. Az első eset, hogy saját kőműves brigádot veszünk fel. Ez állandó létszámot jelent: három fő kőműves szakmunkás és két fő betanított segédmunkás. A második eset, hogy alvállalkozót veszünk fel. Az alvállalkozó nem fix létszámmal rendelkezik, mindig a munkának megfelelő maximális dolgozói állományt biztosítja.

### 3.1. Kőművesmunkák kivitelezése saját szak- és segédmunkásokkal

Saját dolgozókkal való kivitelezésre egy öt főből álló brigádot vizsgáltam (három fő szakmunkás, két fő betanított segédmunkás). A szakmunkások bruttó bére: 150.000 Ft/fő, a betanított segédmunkások bére: 120.000 Ft/fő. A társasház építése során felmerülő összes szakmunka időszükségletét a mennyiségszámítások és az ÉMIR norma adatok segítségével

meghatároztam. A kőművesmunkák esetén figyelembe vettem a meghatározott létszámot, a többi szakmunkánál az optimális idő és erőforrás elosztást vettem figyelembe. A megkapott eredmények alapján készítettem sávós ütemtervet.

	napok száma	kőműves létszám (fő)	betanított segédmunkás létszám (fő)
Saját dolgozók esetén	Alapozás	2	3
	Földszinti falazás	2	3
	Földszint feletti födém betonozása a földszinti pillérekkel és vb fallal	1	3
	I.em.-en falazás	2	3
	I.em. feletti födém betonozása, I.em.-i pillérekkel és vb fallal	1	3
	II.em.en falazás	2	3
	II.em. feletti födém betonozása, II.em.-i pillérekkel és vb fallal	1	3
	TT-i falazás	2	3
	TT-i vb gerendák és pillérek betonozása	1	3
	Összes válszfal falazása	10	3
	Összes belső falfeleület vakolása (mennyezetet nem kell)	25	3
	Földszinten szigetelés tartó betonréteg és az összes aljzatbeton betonozása 5cm vtg.-ban	7	3
	Homlokzati hőszigetelés	13	3
		69	39

1. táblázat Saját dolgozók munkákhoz rendelése

Az 1. táblázatban látható a munkanapok norma alapján való meghatározása. A kivitelezés 69 munkanapot igényel, ez az adat nem tartalmazza a technológiai szüneteket, és egyéb munkaszüneteket. A teljes képet a 1. sávós diagramról olvashatjuk le. A társasház építése 2014.04.07.-én kezdődik és 2014.10.14.-én fejeződik be.

### 3.1. Kőművesmunkák kivitelezése alvállalkozónak kiadva

Alvállalkozó bevonása esetén a szerződésekben feltüntetett árakat tartottam irányadónak. Mivel minden esetben fordított áfá-s (az áfá-t a megrendelő fizeti) a szerződés ezért a kapott eredményt 27%-al növelni kell. Az erőforrások meghatározásakor mindig a legmagasabb optimális létszámot határoztam meg.

	napok száma	kőműves létszám (fő)	betanított segédmunkás létszám (fő)
Alvállalkozó bevonása esetén	Alapozás	2	3
	Földszinti falazás	1	6
	Földszint feletti födém betonozása a földszinti pillérekkel és vb fallal	1	3
	I.em.-en falazás	1	6
	I.em. feletti födém betonozása, I.em.-i pillérekkel és vb fallal	1	3
	II.em.en falazás	1	6
	II.em. feletti födém betonozása, II.em.-i pillérekkel és vb fallal	1	3
	TT-i falazás	1	6
	TT-i vb gerendák és pillérek betonozása	1	3
	Összes válszfal falazása	1	15
	Összes belső falfeleület vakolása (mennyezetet nem kell)	5	15
	Földszinten szigetelés tartó betonréteg és az összes aljzatbeton betonozása 5cm vtg.-ban	3	7
	Homlokzati hőszigetelés	4	15
		23	91

2. táblázat Alvállalkozó dolgozói létszámának meghatározása

A 2. táblázatban látható, hogy itt kihasználtam a magasabb létszám használhatóságát. Ezáltal rövidül a kivitelezés ideje, a technológiai sorrendeket és szüneteket szintén a hozzátartozó sávós ütemterven lehet követni. Ezeken kívül a többi a technológiai sorrend betartása során a többi szakmunka lassíthatja a kivitelezést, mert ott nincs emelt dolgozói létszám (a vizsgálat csak a kőműves munkákat érinti). A társasház teljes építése 2014.04.07.-én kezdődik és 2014.09.01.-én fejeződik be.

### 3.3. A két vizsgált lehetőség összehasonlítása

A két kivitelezést között jelentős különbségek tapasztalhatóak. Az egyik az idő, a másik a költség. Saját brigád esetén az adott időtartamban 4.140.000 Ft-ot kell kifizetni, ez az ár tartalmazza a munkabérek közterheit is. Alvállalkozó bevonása esetén az összes kőműves

munkára 5.126.350 Ft-ot kell kifizetni, ehhez az árhoz a 27%-os áfa-t is hozzá kell számolni. Tehát valójában 6.510.465 Ft-ba kerülnek az elvégzett munkák. Így 2.370.465 Ft-ot lehet megtakarítani a saját dolgozókkal, valamint a kőműves munkák szünetelése alatt más munkát is lehet vállalni, ami plusz bevételt jelent.

Az időbeli különbséget tekintve jelentős eredményt lehet elérni, ha az alvállalkozó magas létszámú brigádot is képes felvonultatni az építkezésen. Jelen esetben a két vizsgálat között 46 munkanap van. A sávos ütemterveken leolvasható, hogy ez a gyakorlatban másfél hónapot jelent (2014.09.01. és 2014.10.14. között). Jelen esetben mind a két munkavégzés nagyon hamar befejeződött, mivel a műszaki átadás 2015.04.01.-re volt kiírva. Ennek oka a jelentős építési nedvesség, ami még a szerkezetekben van a kivitelezés után is.

Eredményként megállapítható, hogy olcsóbb, ha saját dolgozókkal dolgozunk. Viszont, ha szoros határidőt kell betartani, akkor érdemes alvállalkozót bevonni.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **LADÓ L.**, *Szervezélmélet és -módszertan*, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1980.
- [2] **TAKÁCS Á., NESZMÉLYI L., SOMOGYI M.**, *Építéskivitelezés-szervezés*, Szega Books, Pécs, 2008.
- [3] **TÓTI M.**, *Építésszervezés*, SZIE YMÉK Budapest, é.n.
- [4] **HAJDU M., KLAFSZKY E.**, *Hálós tervezési technikák az építések tervezésében és irányításában*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1994.

# GÁZTURBINÁS HAJTÓMŰVEK PARAMÉTER-ÉRZÉKENYSÉGI VIZSGÁLATA

## PARAMETER SENSITIVITY EXAMINATION OF GAS TURBINE ENGINES

Varga Béla<sup>1</sup>, Békési László<sup>2</sup>, Sipos Jenő<sup>3</sup>

<sup>1</sup>egyetemi docens, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, [varga.bela@uni-nke.hu](mailto:varga.bela@uni-nke.hu)

<sup>2</sup>főiskolai tanár, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, [bekesi.laszlo@uni-nke.hu](mailto:bekesi.laszlo@uni-nke.hu)

<sup>3</sup>címzetes egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem, [siposj229@gmail.com](mailto:siposj229@gmail.com)

**Kivonat:** A gázturbinás hajtóművek munkafolyamatában a gépegység hatásfokoknak és veszteségeknek jelentős, de nem azonos mértékű hatásuk van a fajlagos hasznos munka, a termikus hatásfok, illetve a hozzájuk tartozó optimális kompresszor nyomásviszony értékekre.

A cikkben szerzőársaimmal megvizsgáljuk, hogy az egyes veszteségek milyen hatással lesznek a fenti jellemzőkre. Mindezt kombinálva a turbina előtti gázhőmérséklet változtatásával képet kaphatunk arról is, hogy azonos veszteségeket feltételezve a turbina előtti gázhőmérséklet hogyan befolyásolja a gázturбина paraméter-érzékenységet. A korrekt összehasonlíthatóság miatt minden gázhőmérséklet esetében a szerzők egyike által létrehozott hajtómű matematikai modell által szolgáltatott optimális nyomásviszony értékeket vesszük figyelembe. Maga a paraméter-érzékenységi vizsgálat is ezzel a matematikai modellel került végrehajtásra.

**Kulcsszavak:** Matematikai modell, paraméter érzékenység, gépegység hatásfokok és veszteségek

**Abstract:** Of course, in the work of gas turbine engines all engine component efficiencies and losses significantly influence the Specific Net Work Output and Thermal Cycle Efficiency and the related operational points (pressure ratios), however their influence is different.

In this paper, with my co-authors, try to reflect how significantly each one effects the above mentioned engine properties. Furthermore the examination also includes the change of Turbine Inlet Temperature considering same component efficiencies giving information how the Turbine Inlet Temperature effect the parameter sensitivity. Due to the correct comparability the examined operational points (pressure ratios) are determined by the mathematical model created by one of the authors. For the parameter sensitivity examination itself also the above mentioned programme was used.

**Keywords:** Mathematical model, parameter sensitivity, component efficiencies and losses

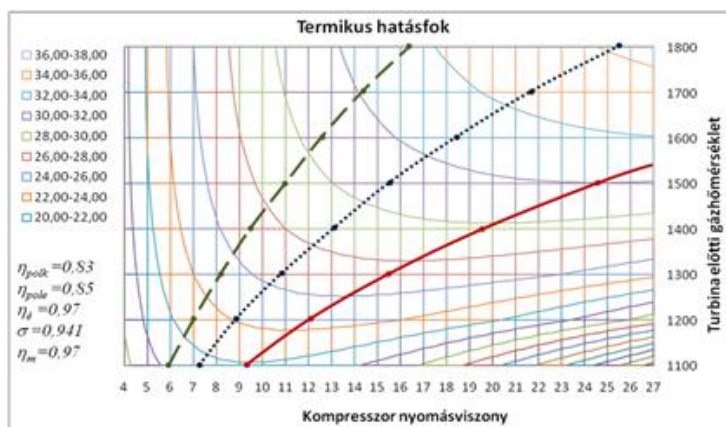
## 1. BEVEZETÉS

A gázturbinás hajtóművek gépegység hatásfokainak és veszteségeinek jelentős, de nem azonos mértékű hatásuk van a hajtómű fajlagos-hasznos munkájára és termikus hatásfokára (mindkettő fontos jellemzője a hajtómű jóságának), illetve maximumukhoz tartozó optimális kompresszor-nyomásviszony értékekre. A szerzők egyikének PhD értekezésében létrehozott modell segítségével ábrázolásra kerültek ezek a jelleggörbék adott, az ábrák bal alsó sarkában feltüntetett gépegység veszteségeket feltételezve (1-2. ábra)[3].

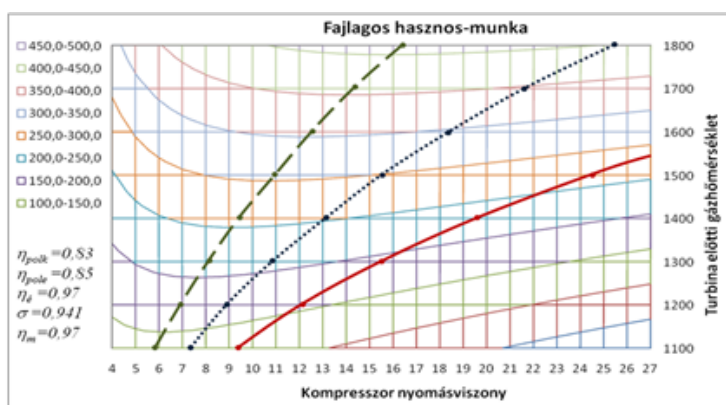
ahol:

- $\eta_{polk}$  - a kompresszió politrópus hatásfoka;
- $\eta_{pole}$  - az expanzió politrópus hatásfoka;
- $\eta_e$  - az égőtér hatásfok;
- $\sigma$  - nyomásvesztési tényező;
- $\eta_m$  - mechanikai hatásfok.





1. ábra Termikus hatásfok jelleggörbék



2. ábra Fajlagos hasznos munka jelleggörbék

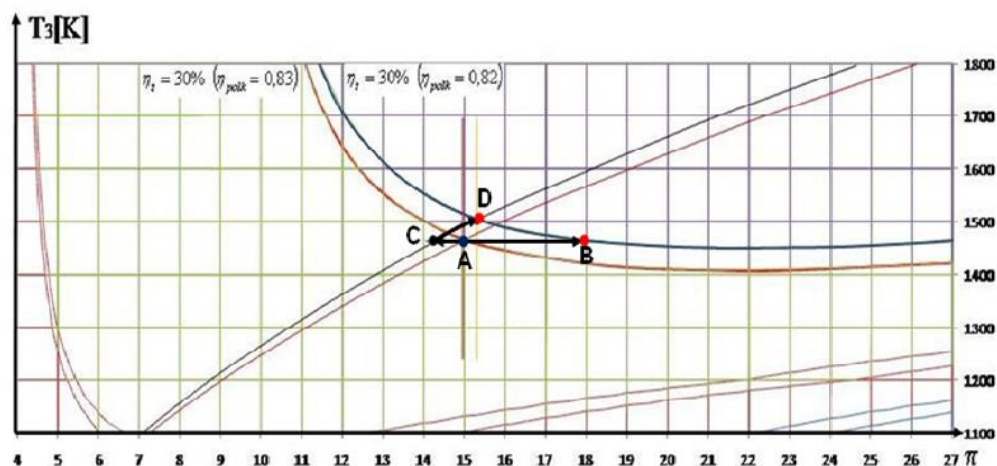
A cikk összefoglalója annak a vizsgálatnak, hogy az egyes veszteségek milyen hatással lesznek a hajtómű termikus hatásfokára, illetve a fajlagos-hasznos munkájára, valamint a hozzájuk tartozó optimális nyomásviszonyokra. Ezt három turbina előtti gáz hőmérsékletre (1100 K, 1450 K, 1800 K) végeztük el.

## 2. PARAMÉTERÉRZÉKENYSÉG VIZSGÁLATÁNAK MÓDSZERE

A gázturbinás hajtóművek esetében két kiemelt nyomásviszony definiálható, nevezetesen ahol a fajlagos-hasznos munka függvény első deriváltja zérus (maximális fajlagos-hasznos munka), illetve ahol a termikus hatásfok függvény első deriváltja zérus (maximális a termikus hatásfok) adott turbina előtti gáz hőmérséklet és gépegység hatásfokok és veszteségek mellett.

A munkapontot minden esetben az adott turbina előtti gáz hőmérséklethez a két mutató közös optimumát meghatározó nyomásviszonyra vettük fel (kék pontvonal az 1-2 ábrákon). Természetesen a hajtóművet hangolhatják a két optimum között más munkapontra is attól függően, hogy a fajlagos hasznos munka, vagy a hatásfok növelését preferálják a tervezők. Ilyen szempontból a mi munkapont felvételünk önkényes, de valószínűleg nincs távol a valóságtól. A kiinduló hatásfok és veszteség adatok továbbra is az 1-2 ábra bal alsó sarkában lévő értékek lesznek. Az első lépésben az egyes hatásfokokat és veszteségeket 1%-al rontottuk a bázisértékhez képest és a változásokat százalékosan adom meg a kiinduló értékekhez képest.

A termikus hatásfok vizsgálatánál a hatásfok relatív változásán kívül az abszolút változást is ábrázoltuk, vagyis, hogy nominálisan mennyivel romlik a hatásfok az adott gépegység hatásfokának 1%-os csökkenése mellett.



3. ábra A kompresszor politrópus hatásfokának csökkenése esetén a termikus hatásfok fenntartásának lehetőségei

A modell többféle lehetőséget is kínál a gépegység veszteségek hatásának vizsgálatára. Ennek értelmezéséhez kíván segítséget nyújtani a 3. ábra, ahol a kompresszor politrópus hatásfok csökkenésén keresztül lehet görcső alá venni a különböző lehetőségeket. Az „A” pont a kiinduló helyzet 0,83-as politrópus hatásfokkal és kb. 30%-os termikus hatásfokkal (az „A” ponton átmenő piros görbe).

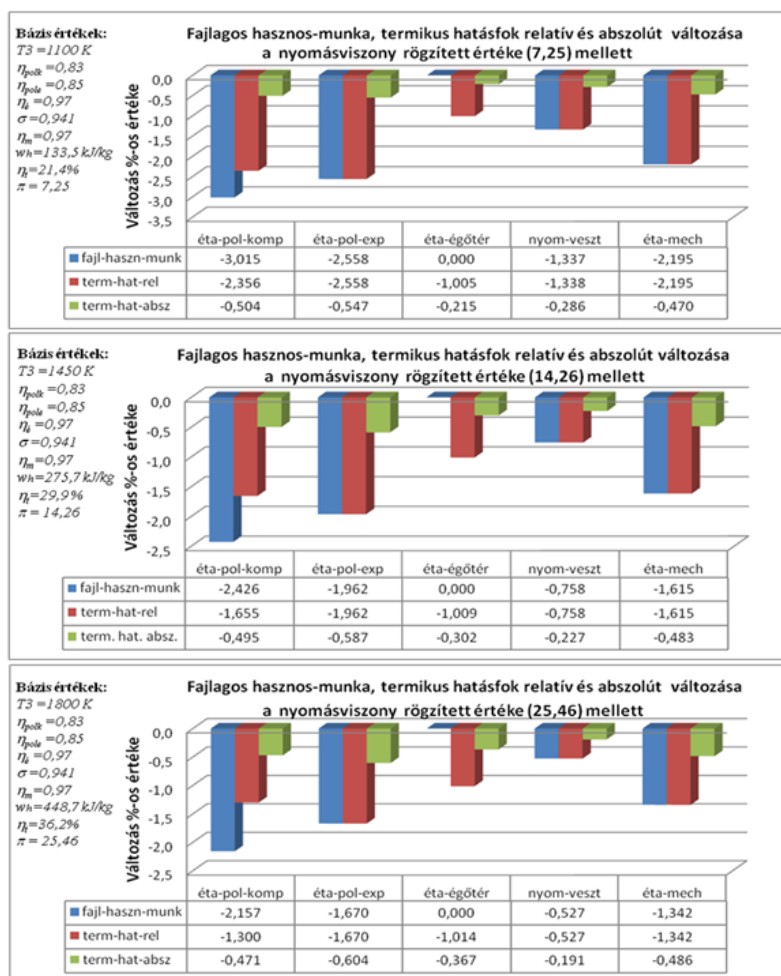
A politrópus hatásfokot 0,82-re csökkentve a 30%-os termikus hatásfok-görbe felfelé csúszik (a **D – B** pontokra fekvő görbe). Az optimális nyomásviszonyok görbéje balra csúszik (az **A** ponton keresztülmenő görbe helyett a **C – D** pontokra fekvő görbe lesz).

A vizsgálat során mind a négy lehetőséget számba vettük a többi gépegység veszteség szempontjából is. Nevezetesen:

- változatlan turbina előtti gázhőmérséklet és nyomásviszony (**A** pont);
- változatlan turbina előtti gázhőmérséklet mellett, a nyomásviszony növelésével a 30%-os termikus hatásfok fenntartása (**B** pont);
- változatlan turbina előtti gázhőmérséklet, míg a nyomásviszony az új gépegység hatásfoknak megfelelően kerül optimalizálásra (**C** pont);
- az új optimális nyomásviszony mellett, a 30%-os termikus hatásfok fenntartása (**D** pont).

### 3. VÁLTOZATLAN TURBINA ELŐTTI GÁZHŐMÉRSÉKLET ÉS KOMPRESSZOR NYOMÁSVISZONY (**A**)

A 4. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a fajlagos hasznos munkára legnagyobb hatással a kompresszor politrópus hatásfoka (éta-pol-komp) van. A termikus hatásfokot viszont az expanzió politrópus hatásfokának (éta-pol-exp) csökkenése érinti a legnagyobb mértékben, de a kompresszor politrópus hatásfok csökkenése is közelítően hasonló termikus hatásfok csökkenéssel jár. Megállapítható, hogy ennek a két hatásfoknak a csökkenése (romlása) lesz döntő, mind a fajlagos hasznos munka, mind pedig a termikus hatásfok csökkenésére. A turbina előtti hőmérséklet növekedésével a kompresszor politrópus hatásfokának ugyanolyan mértékű csökkenése esetében a negatív hatás némileg csökken mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok tekintetében. Ugyanez az expanzió politrópus hatásfokának csökkenése esetén is igaz, habár ebben az esetben az abszolút hatásfok csökkenése nagyobb lesz a turbina előtti hőmérséklet növekedésével. Az égési hatásfok (éta-égőtér) romlása nincs hatással a fajlagos hasznos munkára.



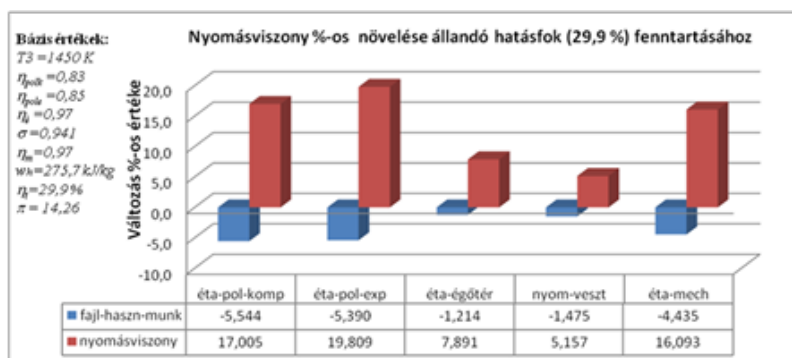
4. ábra A gépegség veszteségek hatása a fajlagos hasznos munkára és a termikus hatásfokra változatlan turbina előtti gázhőmérséklet és nyomásviszony mellett

Ez logikusan igazolható, mivel a fajlagos hasznos munka csak a folyamatban megjelenő hőtől függ, függetlenül attól, hogy ez a hő milyen hatásfokkal jutott be a folyamatba. Ugyanakkor az égési hatásfok csökkenésekor a termikus hatásfok jelentősen csökken (ugyanannyi hőmennyiséghez több tüzelőanyag elégetése szükséges). A turbina előtti gázhőmérséklet növekedésével ez a hatás még egy kicsit erősödik is. A gépegség nyomásvesztések (nyom-veszt) növekedésének hatására mind a fajlagos hasznos munka, mind a termikus hatásfok viszonylag mérsékelten csökken, de a turbina előtti hőmérséklet növekedésével a romlás csökkenő jelleget mutat. Jelentős hatással lesz még a gázgenerátor egység mechanikai hatásfoka, amelybe itt bevontuk a segédberendezések teljesítményfelvételét is. A negatív hatás ebben az esetben is csökken a turbina előtti gázhőmérséklet növekedésével.

Konklúzióként levonható, hogy a hajtómű legérzékenyebben a kompresszor politrópikus hatásfokára reagál, ezt követi az expanzió politrópikus hatásfoka, a mechanikai veszteségek, az összegzett nyomásvesztések és végül az égőtér hatásfok.

#### 4. A KOMPRESSZOR NYOMÁSVISZONY NÖVEDELÉSE (B)

Jól ismert, hogy az ideális termikus hatásfok a kompresszor nyomásviszony függvénye. Ennek megfelelően a kompresszor nyomásviszony növelése feltételezhetően jótékony hatással lesz a (valós) termikus hatásfokra is [1].



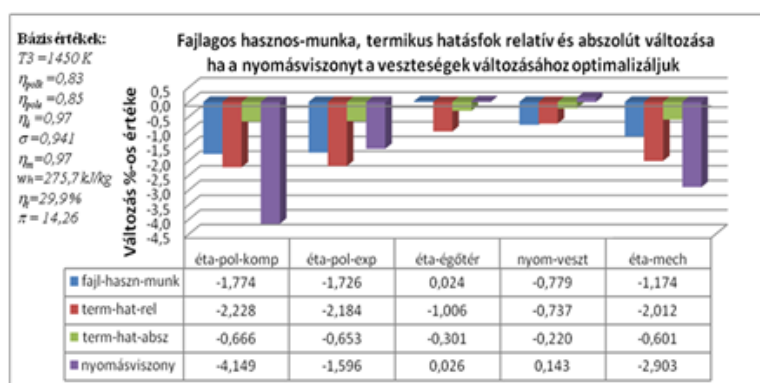
5. ábra A kiinduló (29,9%-os) termikus hatásfok fenntartásához szükséges nyomásviszony növelés

Az 5. ábra azt szemlélteti, hogy az adott gépegység hatásfokának 1%-os csökkenése milyen kompresszor nyomásviszony növeléssel kompenzálható, ha fenn akarjuk tartani az eredeti termikus hatásfokot. Láthatóan a kompresszor nyomásviszony növelése nem feltétlenül hozza meg a kívánt hatást. Mind a kompresszió, mind az expanzió politrópikus hatásfokának 1%-os csökkenését közel 20%-os kompresszor nyomásviszony növeléssel lehetne kompenzálni. Ez tulajdonképpen egy gyengébb kompresszor fokozat nyomásviszonynak felel meg. Ezt feltételezve meg is fordíthatjuk a feltételezést, miszerint, különösen egy kisméretű axiális kompresszor esetében érdemes-e egy plusz fokozattal próbálkozni a teljesítmény-mutatók javítása érdekében [2].

Jól látható, ha ez a plusz fokozat a politrópikus kompresszor hatásfok 1%-os csökkenésével jár, a feltételezés szerint a termikus hatásfokban nem nyertünk, ellenben több min 5%-os fajlagos hasznos munkát veszünk.

## 5. A KOMPRESSZOR NYOMÁSVISZONY CSÖKKENTÉSE AZ ÚJ GÉPEGYSÉG HATÁSFOK SZERINT (C)

A következő lépésben azt vizsgáltuk, hogy a hatásfokok és veszteségek fenti mértékű változása esetében az optimális nyomásviszony hogyan változik és ez milyen hatással lesz a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok változásaira.



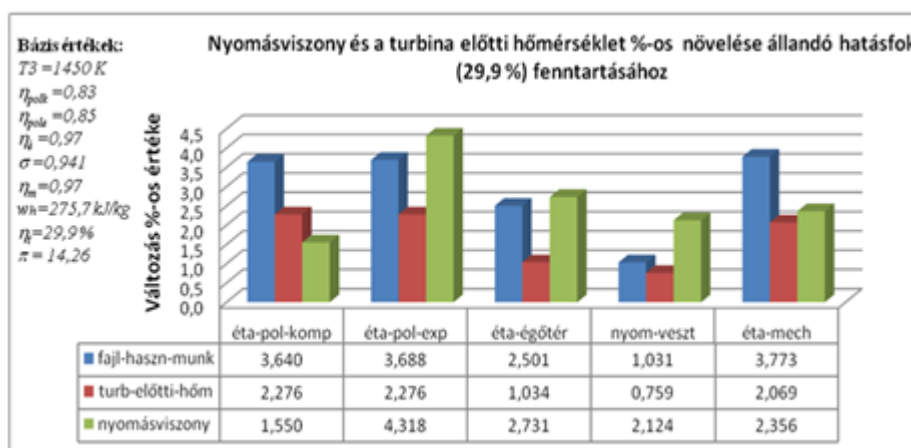
6. ábra A gépegység veszteségek hatása a fajlagos hasznos munkára, a termikus hatásfokra a nyomásviszony optimális értéke mellett

Ennek az eredményét a 6. ábra szemlélteti. A nyomásviszony kiinduló értéke 14,26. Ehhez képest láthatjuk a nyomásviszony százalékos változásának mértékét az új optimális nyomásviszony létrehozásához. Mivelhogy ez minden esetben az új helyzetnek megfelelő optimumot jelenti, így a fajlagos hasznos munka és a termikus hatásfok romlása

kiegyensúlyozottabb lesz. Ezt az égőtér hatásfok és a nyomásveszteségek csökkenését kivéve a kompresszor nyomásviszony csökkentésével tudjuk elérni. Legjelentősebb mértékben a kompresszor politrópikus hatásfok csökkenésekor indokolt a kompresszor nyomásviszony csökkentése. Itt a kompresszor politrópikus hatásfokának 1%-os csökkenése átlagosan kb. 4%-os nyomásviszony csökkentést indokolna.

## 6. A TERMIKUS HATÁSFOK CSÖKKENÉSÉNEK KOMPENZÁLÁSA AZ OPTIMUM GÖRBE MENTÉN (D)

Erre csak akkor van lehetőség, ha a turbina előtti gázhőmérséklet még növelhető (turbina lapátok anyaga, hővédő bevonat, hűtés hatékonyságának növelése).



7. ábra A kiinduló termikus hatásfok fenntartása a turbina előtti hőmérséklet növelésével az optimális nyomásviszony mentén

Ebben a megoldásban több lehetőség van. A 7. ábrán látható módon már viszonylag kis kompresszor nyomásviszony és turbina előtti gázhőmérséklet növelés hatására a gépegség veszteségek 1%-os csökkenése mellett is nem csak a termikus hatásfok értéke maradt változatlan, de a fajlagos hasznos munka értéke is nőtt minden esetben néhány százalékkal.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **PÁSZTOR, E.**, *Gázturbinás repülőgép hajtóművek*, 1983, Előadás vázlat, Budapesti Műszaki Egyetem.
- [2] **PÁSZTOR, E.**, *Szállító repülőgépek gázturbinás hajtóművei nyomásviszonya növelésének termikus problémái*, 2007, Repüléstudományi Közlemények, p. 36-45.
- [3] **VARGA, B.**, *Gázturbinás hajtóművek teljesítmény és hatásfok növelésének műszaki technológiai háttere és ezek hatása a katonai helikopterek korszerűsítésére*, PhD értekezés, Budapesti Műszaki Egyetem, 2013.

## A KARBANTARTÁS – ÉRTÉKELÉS ÉS – FEJLESZTÉS NÉHÁNY LEHETŐSÉGE

### SOME POSSIBILITY OF MAINTENANCE EVALUTION AND IT DEVELOPMENT

Vermes Pál

ny. főiskolai tanár

Szolnoki Főiskola Műszaki Agrár és Gazdaságelemzési Tanszék

[vermesp@szolf.hu](mailto:vermesp@szolf.hu)

**Kivonat:** A karbantartás teljesítményének, színvonalának értékelése számos elvi, módszertani és gyakorlati kérdést vet fel. A 2009. és 2013. évi konferencián áttekintettük az elemzési módszereket. Értelmeztük a karbantartás-értékelést, amely a karbantartandó termelőeszközök karbantartási célú vizsgálatát, valamint a karbantartási rendszer elemeinek vizsgálatát, elemzését foglalja magában. A szóbajóhető vizsgálati módszerek közül a folyamatelvű (mutató-számokon nyugvó), valamint a REFA módszertanon alapuló, súlyozással bővített értékelő rendszer bemutatása történt meg. Jelen anyag a váratlan hibákat emeli ki és vázolja a hibaelemzés információin alapuló fejlesztési lehetőségeket.

**Kulcsszavak:** karbantartás értékelése, mutatószámok, váratlan hiba, hibelemzés, gyengepont elemzés, innováció.

**Absrtact:** The assessment of the performance and quality of maintenance work raises a number of theoretical, methodological and practical questions. At the conference int he years 2009 and 2013 we reviewed the analytical methods. In this paper the maintenance assessment will be interpreted wich comprising the maintenance-aimed inspection of production tools (to be maintained) as well as the analysis of the elements of the maintenance system. Of the methods of examination applicable this talk aims the assessment systems based on the flow principle (based on indicators) and the weighted extended system based on the REFA method will be presented. The paper underline the unexpected faults and describe the possibilities based on information of fault analysis.

**Keywords:** assessment of maintenance, indicators, unexpected faults, fault analysis, weak point analysis, innovation.

#### 1. A TÉMA MEGKÖZELÍTÉSE

A karbantartás mint a termelőeszközök funkcióképességének megőrzője és újratermelője kiemelten fontos a termelés (kiesések), a környezetvédelem (hulladékok és kezelésük), a minőség (selejt), az energiateljesítmény (veszteségek) szempontjából.

A karbantartás egészét átfogó **kézikönyv** [1] a karbantartás elemzését a tervezésével, irányításával, a karbantartási intézkedések végrehajtásával kapcsolatos adatok felhasználásával határozza meg.

Felfogásunk szerint a **karbantartás értékelése** alapvetően **kétirányú**: lényegében a karbantartandó **tárgyi eszközök** (szűkebben: termelőeszközök) karbantartási szempontú értékelését, valamint a **karbantartási rendszer** vizsgálatát és minősítését jelentő, hangsúlyozottan a karbantartás **innovatív fejlesztését** célzó komplex tevékenység [2].

A **karbantartási rendszer** egyfajta (gyakorlati) megközelítésben a karbantartáshoz szükséges **erőforrások** (eszközök, anyagok, munkaerő, információ, pénz, műszaki-szervezési dokumentációk, stb.), a karbantartási **folyamatrendszer**, a karbantartás **szervezete**, valamint az adott géppark funkcióképessége fenntartásához szükséges **intézkedések rendjének összessége**. A karbantartási rendszer **létrehozása és működtetése** következtében valósulhat meg a karbantartási stratégia.

A karbantartás vizsgálatának általános lépései közül kiemelten fontos a **vizsgálati módszer megválasztása**. A szakirodalomban számos módszer ismert, amelyek a karbantartást átfogóan, vagy egy-egy intézkedését, részfolyamatát képes minősíteni.[2]

## 2. A KARBANTARTÁS VIZSGÁLATA ÉS A HIBAELEMZÉS

### 2.1. Meghibásodás, hiba, gyengepont

Hibaállapotban a gép nem tudja ellátni a termelésben/szolgáltatásban a feladatát a megkívánt mennyiségben és minőségben. Így funkciójának nem tud megfelelni, a funkcióellátásra felhasználható elhasználódási tartaléka (EHT) [3] elfogyott, vagyis a gép hibaállapotba került. A hibák a termelőrendszerben jelentős zavarokat, veszteségeket okozhatnak. Léteznek módszerek, amelyekkel a még be nem következett, potenciális hibákat tudjuk megelőző jelleggel feltárni [4], más módszerek pedig a már bekövetkezett hibák elemzésére alkalmasak. [5][6]

A **meghibásodás** az MSZ IEC 50(191):1992 szerint olyan **esemény**, amely során a termék elveszti azt a képességét, hogy ellássa előírt funkcióját. A **hiba** pedig a terméknek az az **állapota**, amelyben nem tudja ellátni előírt funkcióját. Tehát a termék a meghibásodás folyamatában működő állapotból hibaállapotba jut.

A meghibásodás és a hiba értelmezéséhez a **hibahatár** meghatározása kötődik. A hibahatár konkrét értékével tulajdonképpen kijelöljük, hogy a teljes elhasználódási tartalékból mennyi a konkrét termelési feladat végrehajtásához, vagyis a funkcióellátáshoz felhasználható készlet.

**Gyengepont fogalmán** gépekre, berendezésekre vonatkoztatva általában jellegzetes hibahelyet, kritikus szerkezeti egységet, meghibásodásra hajlamos elemeket értenek. Kutatásaim alapján [6] a gyengepont a gép konstrukciójának azon szerkezeti része (feltételezett vagy tényleges hibahelye), amelynek eredeti vagy helyreállított elhasználódási tartaléka más szerkezeti részeihez képest kedvezőtlenebb: kisebb az EHT értéke/nagyobb ráfordítással állítható helyre.

### 2.2. Hiba-és gyengepont-elemzés

A **hibaelemzés** összetett tevékenység, amely a hiba okát, gyakoriságát, költségét, fajtáját, következményeit és egyéb jellemzőit tárja fel azzal a céllal, hogy megfelelő intézkedések megtételét segítse.

A **gyengepontelemzés** olyan komplex, műszaki, gazdasági, szervezési jellegű, szisztematikus **eljárás**, amely a **hibaelemzés** információinak felhasználásával, célszerűen választott kritériumok szerint a szerkezeti egységek közül a gyengehelyeket **kiválasztja, értékeli** és **javaslatokat tesz** abból a célból, hogy a gyengepontok elhasználódási tartalékának mértéke lehetőleg növekedjen vagy csökkenésének sebessége mérséklődjön. Törekvésünk az, hogy a gyengepont véglegesen kiküszöbölhető legyen (**egyszeri** gyengepont), ha ez nem lehetséges, akkor az ismételt jelentkezésének időpontja minél távolibb legyen (**viisszatérő** gyengepont) és minél kevesebb esetben legyünk kénytelenek belenyugodni abba, hogy nem tudjuk vagy gazdaságilag nem érdemes a megszüntetése (**állandó** gyengepont).

Elvben tulajdonképpen hiba-és gyengepont-elemzésről beszélhetünk [6]

A vizsgálati folyamatot és fontosabb elemeit, a vizsgálati (kiemelve a REFA módszertanon alapuló és a folyamatelvű mutatószám) módszereket korábbi DAB-konferenciákon is bemutattam [7][8], ezeknek lényeges szempontja a hibaelemzés megítélése. Fontos kiemelni a **komplex** (többtényezős) **módszerek** alkalmazását [9][10] és a **hiteles**, dokumentált **adatok** fontosságát (pl. a hibaelemzéshez).

#### A hibaelemzés

- a karbantartás vizsgálatának kiemelt szempontja: a hiba-információk ugyan a termelőeszközökre vonatkoznak, de a karbantartási rendszer kérdése az, hogy végeznek-e hibaelemzést és miként;
- egyértelműen a váratlan (nem tervezett) hibákkal foglalkozik;

- karbantartás értékelése mellett az innováció megítélésében is kiemelt jelentősége van.

### 3. VÁRATLAN HIBA ÉS SZEREPE A KARBANTARTÁS ÉRTÉKELÉSÉBEN

A meghibásodási esetekről szóló első tudósítások és tapasztalatok a XIX. század közepéről származnak a gőzkazánrobbanások nyomán. A növekvő iparosítás révén merült fel az igény a károk biztosítására. A biztosítótársaságok az 1920-as és az 1930-as években végezték az első káreset-gyűjtéseket.

Német kutatók 30 üzemre kiterjedt felmérése [11] igazolta, hogy meghibásodás esetén a javítást több mint 80 %-ban az üzemi karbantartók végzik. A géptervezők a kívánatosnál kevésbé veszik figyelembe az üzemeltetés tapasztalatait, hiszen az újabb gépek hibáinak több mint fele előfordult már a megelőző géptípusoknál is. Ezért a karbantartók mintegy 65-80 %-os gyakorisággal említve úgy látják, hogy a meghibásodás miatti beavatkozás adataira, a hibaokok ismeretére szükség van az új gépek és karbantartásuk megtervezésében.

#### 3.1. A váratlan hiba jellemzői

A váratlan (nem tervezetten, véletlenszerűen jelentkező) hiba **fontos** jellemző, mert: a funkció-teljesítést megakadályozza; a termelésben csökkent sebességű üzemet, selejtet, állásidőt, ezzel veszteségeket okoz; a karbantartás alapvető feladata a váratlan hibák megelőzése; megítélése a karbantartás értékelésének szerves része; mértéke alapvetően **minősíti** a karbantartást.

Két egyszerű szerkezetű idő- és költség-alapú **mutató** alkalmazása ajánlható:

a) Adott karbantartási rendszerre értelmezett **készenléti tényező** ( $K$ ) értelmezése [12]:

$$K = \frac{T_{\bar{u}}}{T_{\bar{u}} + T_k} = \frac{T_{\bar{u}}}{T_{\bar{u}} + T_j + T_v} = \frac{1}{1 + k_j + k_v}$$

ahol  $T_{\bar{u}}$  – meghibásodások közti átlagos üzemóra [óra/év]  
 $T_k = T_j + T_v$  – váratlan hiba miatti átlagos állásidő [óra/év]  
 $T_j$  – átlagos javítási átfutási idő [óra/év]  
 $T_v$  – átlagos várakozási (felkészülési) idő [óra/év]  
 $k_j = \frac{T_j}{T_o}$  döntően a javíthatóságra (mint a konstrukció képességére),  
 $k_v = \frac{T_v}{T_o}$  inkább a karbantartás mint szolgáltatás színvonalára jellemző

Az átlagos (például egy évre eső) időértékek helyett egy vizsgált időszak összes időadatai is szerepeltethetők.

A  $K$  tényező az alkalmazott karbantartási rendszer **hatékonyságára** utal: mennyire volt képes a **megelőző** funkciójának megfelelni. A  $K$  tényező a **rendelkezésreállítás** mértékét fejezi ki, maximális (de gyakorlatilag el nem érhető) értéke = 1

b) **Költségalapú** kéttényezős **modell** a karbantartás értékeléséhez

$$K_k + H \text{ költségjellegű mennyiségek összege,}$$

ahol  $K_k$  – karbantartási rendszer működésének összes („közvetlen”) költsége [Ft/év]



$H$  – karbantartás által okozott állásidő miatti veszteség és elmaradt haszon értéke [Ft/év]  
Jellegzetessége: nemcsak a karbantartás („házon belüli”) költségeit veszi figyelembe, hanem számol a karbantartás (hiányosságai) miatt a termelőrendszeret érintő negatív hatásokkal is.[12]

c) Idő- és költség-alapú **kombinált számítások** elve

A  $T_k$  illetve a  $H$  tényezők az időszak alatti **váratlan hibaszám ( $n$  db/év)** és az egy hibára eső átlagos állásidő (óra/db), illetve az egy hibára eső elmaradt haszon és veszteség (Ft/db) szorzataiként felírhatók. Ily módon a váratlan hibaszám a kétféle megközelítésű számítások között átjárást biztosít, valamint a váratlan hiba átlagos jellemző értékei (száma, okozott állásidő, karbantartási költsége) alkalmas a karbantartás megítélésére, a fejlesztési célok számszerű kijelölésére. Az egy hibára eső elmaradt haszon és veszteség átlagos értéke a karbantartás számára hosszabb időszakra közel állandónak tekinthető.

## 4. KARBANTARTÁSI INFORMÁCIÓK INNOVÁCIÓS CÉLÚ FELHASZNÁLÁSA

### 4.1. Hibaelemzésen alapuló innovációs területek

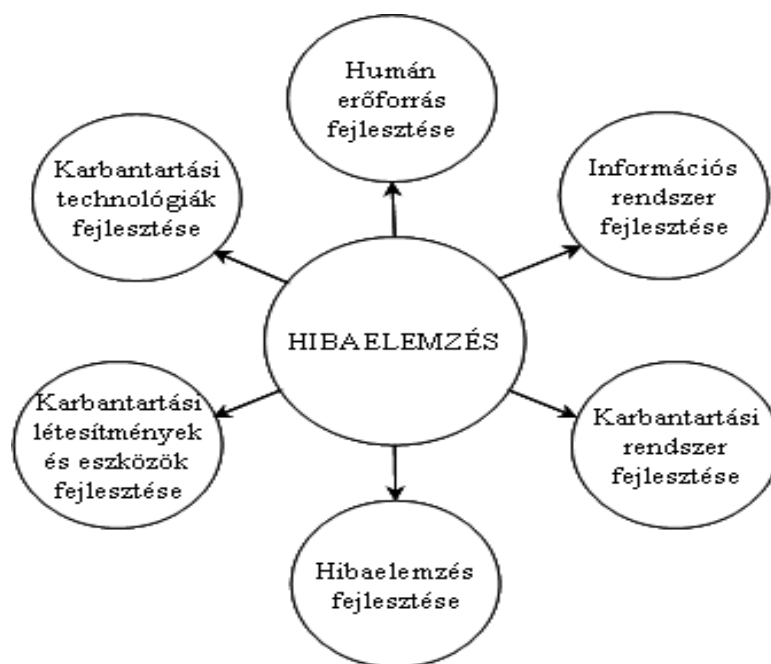
A hibaelemzés – különösen gyengepont-elemzéssel bővítve – innovációs eszköz lehet a menedzsment kezében. Módszerei, folyamata, lépései [6][13] konkrétan meghatározottak. A hibaokok feltárásához nemcsak szakértelem (technológia és berendezés ismerete, tapasztalatok, módszerek), tapasztalat [14] szükséges, hanem intuíció is. [15]

A hibaelemzésre támaszkodó innovációs tevékenység arra irányul, hogy valamely funkció ellátására hivatott gép eredeti (gyártással képződő) elhasználódási tartaléka mennyiségben és minőségben növekedjen, ill. az EHT felhasználásának, helyreállításának feltételei javuljanak.

A sikeresen végrehajtott komplex hiba- és gyengepont-elemzés [6][15] eredményeit felhasználva számos intézkedés tehető, amelyek végrehajtása **innovációt** jelent. Ilyen **lehetőségek**: a meglévő gépek minőségének fejlesztése a konstrukciós, a gyártási hibák kiküszöbölésével; a meglévő gépek konstrukciós fejlesztése; a gépek műszaki kiszolgálásának, vevőszolgálati ellátásának, az üzemeltetés feltételeinek és előírásainak fejlesztése; új, korszerűbb gépkonstrukciók létrehozása; a gépkarbantartás fejlesztése, korszerűsítése.

Anyagunkban csak a **karbantartás fejlesztését** érintjük kissé részletesebben. A hibaelemzésből nyerhető információk felhasználásával a gépkarbantartás korszerűsítésének főbb területeit, irányait az **1. ábra** mutatja.

Meghibásodások karbantartási okokból is bekövetkezhetnek. Szükség lehet új, korszerűbb karbantartási **technológiák** bevezetésére, ezekhez is **létesítmények** és karbantartási **eszközök** fejlesztése tartozik. Kiemelten fontos a karbantartás **humán erőforrásának** fejlesztése, melyet egyre kvalifikáltabb szakemberek alkalmazásával, a meglévő állomány rendszeres oktatásával, továbbképzésével, specifikus ismeretekhez juttatásával. A karbantartás-fejlesztés egyik meghatározó iránya a **karbantartási rendszer** fejlesztése. Figyelembe kell venni a korszerű irányzatokat, a feltételekhez igazodó hatékony rendszer kialakítására. Az **információs rendszer** korszerűsítését a cég informatikai rendszeréhez illesztve célszerű megoldani. Természetesen magának a **hibaelemzésnek** a fejlesztése is elengedhetetlen, amely szorosan összefügg a humán erőforrás és az információs rendszer színvonalával. [16].



1. ábra Innovációs területek a karbantartásban [16]

#### 4.2. Az innovációk végrehajtásának lépései és néhány esetpélda ezek illusztrálására

1. Hibaelemzés elvégzése: egy vagy több hibahely feltárása történik.
2. Több hibahely esetén a gyengepont-elemzés elvégzése: a hibahelyek minősítése, „gyengeségi sorrend” megállapítása.
3. Fejlesztési célok kitzúzése: konstrukcióra, gyártásra, üzemeltetésre, karbantartásra irányulhatnak (utóbbi például a váratlan hibák csökkentését célozhatja).
4. Megtervezett fejlesztés megvalósítása, bevezetése: műszaki, szervezési, üzemeltetési, karbantartási, stb. intézkedéseket jelenthet.
5. Fejlesztések hatásának értékelése: a mutatók (indikátorok) tényleges alakulásával.
6. Jelentősebb innovációk komplex értékelése: a termelőrendszer egészére vonatkoztatva (például a gyűrűződő rendszerhatások számbavételével megtérülés számítása).
7. Korrekciós intézkedések: ha a célok részben teljesültek.

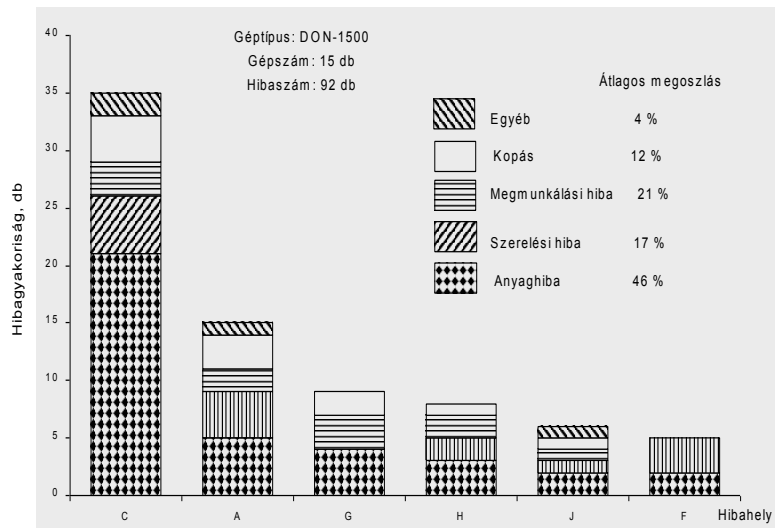
##### a) Arató-cséplőgép vizsgálata

15 db garanciális gép 51 db meghibásodása 92 db hibájának feldolgozása. [13]

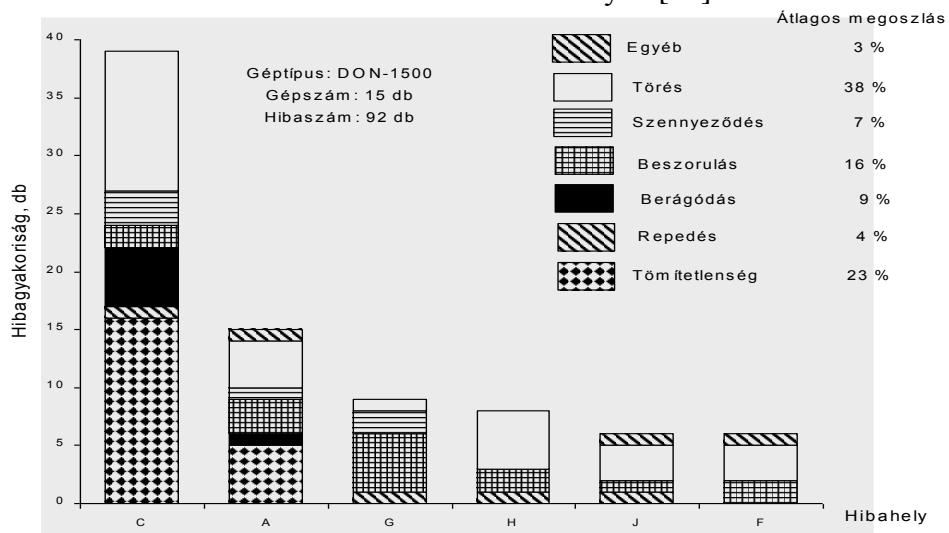
A hibahelyek jelölése: A–motor, C–hidraulikus rendszer, F–vágószerkezet,

G–behordószerkezet, H–cséplőszerkezet, J– kihordószerkezet

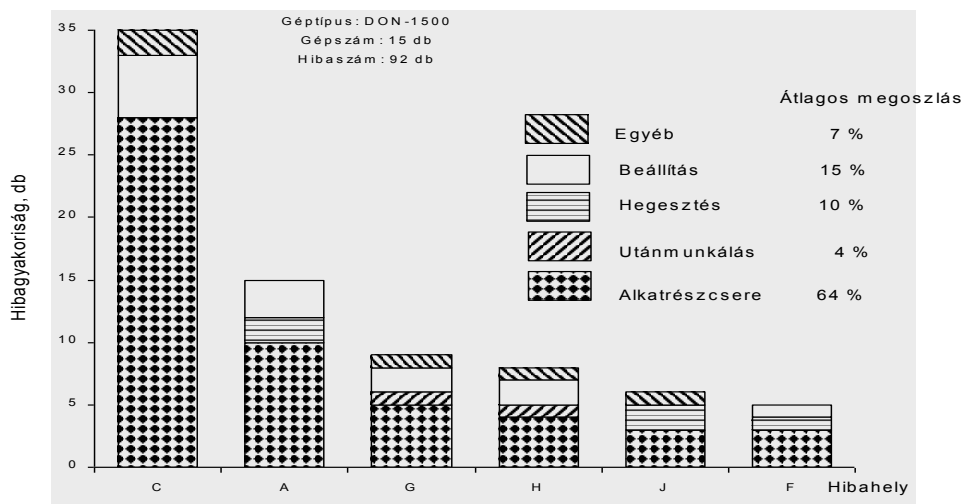
A hibahelyeket hibaokok szerint vizsgálva a **2. ábra** szerinti megoszlás adódott. Látható, hogy átlagosan az anyaghiba a leggyakoribb (46%), ezt a megmunkálási hiba (21%) és a szerelési hiba (17%) követi. A **3. ábra** a hibafajtákat mutatja, leggyakoribb a törés (38%) és a tömítetlenség (23%). A **4. ábrán** a javítási módok láthatók az alkatrészcsere a túlnyomó (64%) a garanciális előírások miatt.



2. ábra Hibaokok és hibahelyek [13]

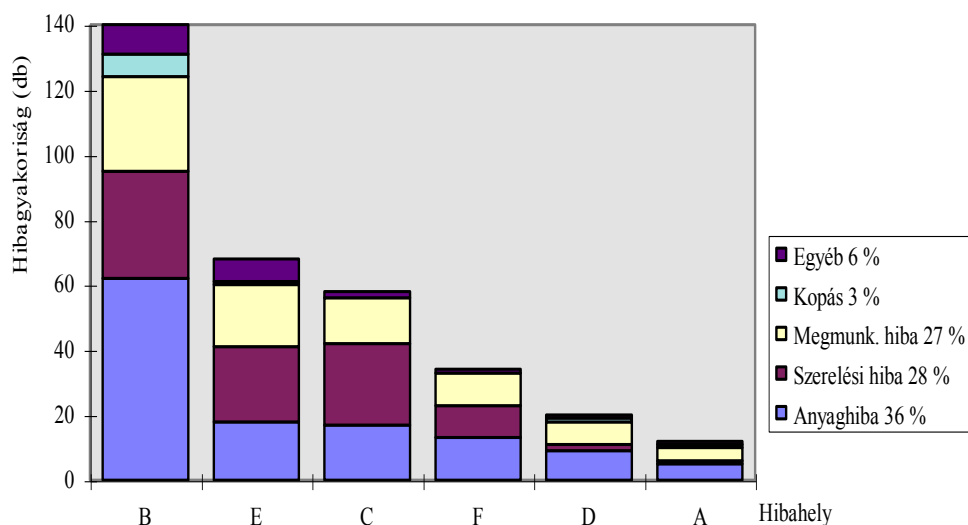


3. ábra Hibahelyek és hibafajták [13]



4. ábra Hibahelyek és javítási módok [13]

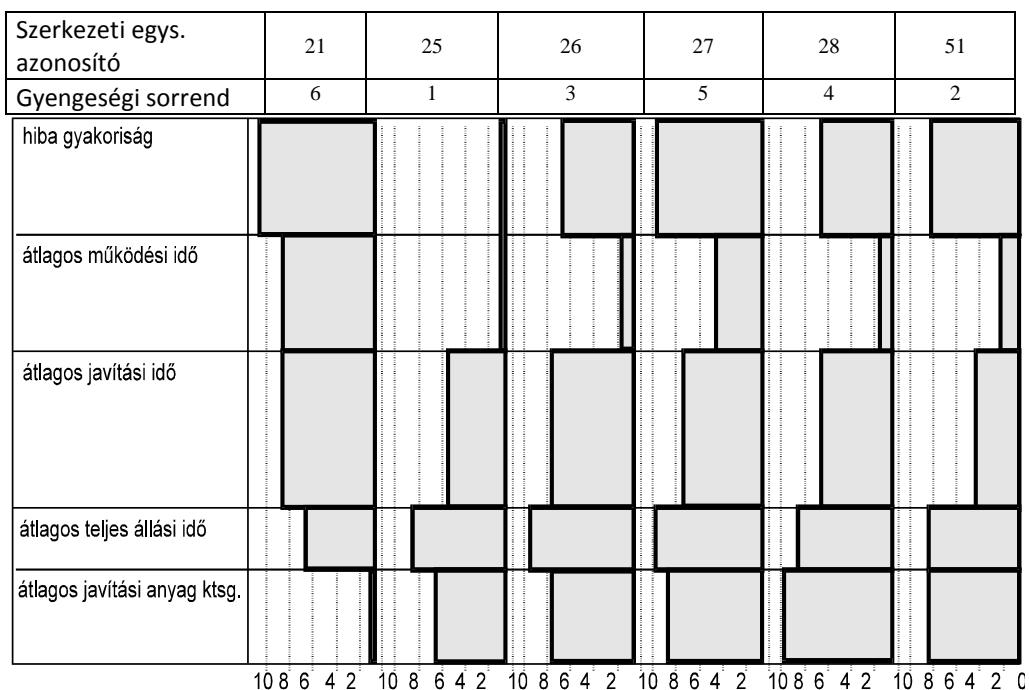
**b) Vontatott hidraulikus forgórakodógép vizsgálata:** ND 4-022 tip. 329 db gépből 184 db hibamentes, 145 gépen 305 meghibásodás, 354 hiba fordult elő garanciaidőben.[6]



5. ábra. Hibahelyek és hibaokok [6]

Az **5. ábra** a hibahelyek és a hibaokok kapcsolatát mutatja. Itt is az anyaghiba (36%), a szerelési hiba (28%) és a megmunkálási hiba (27%) a leggyakoribb.

Az úgynevezett használati érték-analízis eredménye látható a **6. ábrán**. A szempontok fontossága és a hibahelyek szempontonkénti pontszámai meghatározás után hozható létre az értékprofil. Az öt minősítő szempont sávjainak szélessége a súlyszámaikkal arányosak. Gyengepontot a széles és kis pontszámú (alacsony) szerkezeti részek jelentenek.



6. ábra A gyengehelyek értékprofilja [6]

A lehetséges intézkedéseket az **1. táblázat** tartalmazza.

Sorrend	Hibahely	Intézkedés jellege	Intézkedés leírása
1.	25 Forgó hidraulikus elosztó	műszaki szervezési üzemeltetési	forgóelosztó test és palást megmunkálásának javítása, a gumigyűrűk anyagának módosítása; techn. fegyelem és ellenőrzés szigorítása a gyártásban; olajsűrő tisztítása, szemlerendszer
2-	51 Forgóoszlop a fordítóművel	üzemeltetési- karbantartási	olajsűrő napi tisztítása, szemlerendszer bevezetése; rögzítőcsavarok napi ellenőrzése
3.	28 Hidr. csővezetékek és szerelvények	szervezés üzemeltetési- karbantartási	techn. fegyelem és ellenőrzés szigorítása a gyártásban; szelepek gyártóinál intézkedések kérése; átvétel szigorítása; olajsűrők tisztítása (napi)
4.	26 Vezérlőtomb és elosztó	műszaki szervezési	megmunkálási technológia és szerelés felülvizsgálata a gyártónál; techn. fegyelem és ellenőrzés szigorítása a gyártásban
5.	27 Hidr. munkahengerek	műszaki	munkahenger belső furat megmunkálásának felülvizsgálata; tömítőelemek felülvizsgálata
6.	21 Hidr. szivattyú	műszaki- szervezési	a szivattyú konstrukciójának és megmunkálásának felülvizsgálata a szállítónál

1.táblázat Gyengepontok hatásának csökkentésére javasolt intézkedések [6]

### c) Innováció hatásának átfogó értékelése

A karbantartásban végrehajtott fejlesztés az egész termelőrendszerben változtatásokat okoz. Ha a termelőrendszer kiinduló Ár–Költség–Fedezet–Nyereség (ÁKFN)-struktúrája [17] ismert vagy meghatározható, akkor a beavatkozás hatásterületeinek szisztematikus feltárásával és a hatások számszerűsítésével az új ÁKFN-struktúra meghatározható. A számítás elvét, a megtérülés értékelését a **7. ábra** mutatja.

Rendszerbeavatkozás hatásterületei	ÁKFN-komponensek					Egyszeri ráfordítások Ft
	Árbevétel	-K <sub>p</sub>	F	-K <sub>f</sub>	N	
1	$\pm \Delta A_1$	$\pm \Delta K_{p1}$	$\pm \Delta F_1$	$\pm \Delta K_{f1}$	$\pm \Delta N_1$	B <sub>1</sub>
2						B <sub>2</sub>
3						B <sub>3</sub>
⋮						⋮
⋮						⋮
⋮						⋮
n	$\pm \Delta A_n$	$\pm \Delta K_{pn}$	$\pm \Delta F_n$	$\pm \Delta K_{fn}$	$\pm \Delta N_n$	B <sub>n</sub>
Változás	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta A_i$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta K_{pi}$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta F_i$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta K_{fi}$	$\sum_{i=1}^n \pm \Delta N_i$	$\sum_{i=1}^n B_i$

A vállalati szintű gazdaságossági mutató ( $G_o$ ) ahol:

$$G_o = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta A_i - \Delta K_{pi} - \Delta K_{fi})}{\sum_{i=1}^n B_i + R}$$

a megtérülési idő ( $t_m$ )

$$t_m = \frac{I}{G_o} \text{ (év),}$$

ahol:

- $n$  - a beavatkozás hatásterületeinek száma,
- $\Delta A_i, \Delta K_{pi}, \Delta K_{fi}$  - a beavatkozás következtében előálló árbevétel, proporcionális- és fixköltségváltozás, hatásterületenként,
- $m$  - a beavatkozási ráfordítások területeinek száma,
- $B$  - a beavatkozási (pl. beruházási, szervezési) ráfordítások területeenként,
- $R$  - a beavatkozás miatti fedezet, valamint esetleges fixköltségkiesés (pl. üzemleállás miatt).

7. ábra A gyűrűződő rendszerhatások számításának elve [17]

A karbantartás sokszempontú, komplex rendszerként [9] történő értékelése és fejlesztése nemcsak a karbantartási szakterület szempontjából fontos, hanem elsősorban a termelőrendszer egésze számára meghatározó. A karbantartó szakemberek innovációs tevékenysége önmagában kevés. Feltétlenül szükséges a cég menedzsmentjének támogatása, amely azon a felismerésen alapul, hogy a karbantartás-fejlesztés eredményei a cég eredményességét javítják.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **GAÁL Z.** (szerk.): *Karbantartási Kézikönyv. Módszerek és eszközök a karbantartás irányításában.* Budapest: RAABE Kft. 2002-2007., p.2530
- [2] **VERMES P.:** *A karbantartás értékelése (3. Modul)* Szolnok: Kézirat, 2012., p.58+mell.
- [3] **VERMES P., JANIK J.:** *Elhasználódási tartalék – karbantartási alapfogalom avagy a lényeg elfedése?* In: *Gépgyártástechnológia*, 1998. XXXVIII. évf. 6. sz. pp. 35-40.
- [4] **MEXIS, N. D., DÖLTSCH, H.:** *Beeinflussung der Verfügbarkeit durch das Schwachstellenverhalten.* In: *Konstruktion*, 34. k. 8. sz. 1982. pp. 327-334.
- [5] **SCHMITT-THOMAS, KH. G., SIEDE, R.:** *Technik und Methodik der Schadenanalyse.* Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
- [6] **VERMES P.:** *A vevőszolgálat, a fenntartás, valamint a hiba- és gyengepontelemzés komplex kölcsönhatásai.* Doktori (Ph.D.) értekezés tézisei. Gödöllő, TTI, 1998. p.122+mell.
- [7] **VERMES P.:** *Karbantartási rendszerek vizsgálata – elvek és módszerek.* In: *Műszaki Tudomány az Észak-alföldi régióban 2009 konferencia előadásai* (szerk.: Pokorádi L.) Mezőtúr, 2009. május 20. Debrecen: DAB Műszaki Szakbizottsága Elektronikus Műszaki Füzetek VII. 2009. pp. 1-6.
- [8] **VERMES P.:** *Gyakorlati lehetőségek a karbantartás értékelésére* In: *Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2013 konferencia előadásai* (szerk.: Pokorádi L.) Debrecen, 2013. jún.4. Debrecen: DAB Műszaki Szakbizottsága Elektronikus Műszaki Füzetek XIII. 2013. pp. 91-113.
- [9] **KINDLER, J., PAPP, O.:** *Komplex rendszerek vizsgálata.* Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1977., p.262
- [10] **VERMES P.:** *Értékelő módszer komplex rendszerek összemérésére.* In: *ITDK és VII. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Nap (2011.11.18.) Konferencia kiadványa* (szerk.: Barancsi Á. és Hernyák G.), Szolnok: SZF, 2011. Poszter pp.244-252.
- [11] **BERGER, J.:** *Optimierte Planung und Instandhaltung von produktionsanlagen.* Wissen erhöht Verfügbarkeit. In: *VDI-Integrierte Produktion*, 144. k. 6. sz. 2002. pp. 67-69. Az üzemfenntartási ismeretek szerepe a rendelkezésreállítás növelésében. In: *MIÜF*, 2002. 12. sz. pp. 23-29.
- [12] **VERMES P.:** *A karbantartás gazdaságossága (2. Modul)* Szolnok: Szolnoki Főiskola, 2013. p. 48
- [13] **VERMES P.:** *A gépek műszaki állapotváltozása, hibaelemzés.* In: Janik J. (szerk.): *Gépuzemfenntartás I.* Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2003. pp. 23-61.
- [14] **GARAI T.:** *Milyen tapasztalatok szükségesek a hibakereséséhez?* In: *MIÜF*, BME OMIKK 2004. 3. sz. pp. 14-18.
- [15] **WERNER, G.:** *Ressourcenoptimierung durch eine Prozessanalyse der Instandhaltung eines Unternehmens.* In: *Instandhaltung im Aufbruch: Neues aus Theorie und Praxis.* 9. Goslarer Instandhaltungstage, Goslar. 2000. május. 25-26. Gesellschaft für Instandhaltung e. V., p. 1-18. Vállalati üzemfenntartás folyamatainak elemzése. In: *MIÜF*, 2000. 10.- sz., pp. 3-17.
- [16] **VERMES P.:** *A hibaelemzés felhasználása a karbantartás fejlesztésében.* In: *VI. ATTN Mezőtúr*, 2008. 10.16-17. Agrártechnológiák, műszaki fejlesztés szekció. SZF Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás: Mezőtúr, CD pp. 369-377. ISBN: 978-963-87874-2-2
- [17] **VERMES P.:** *Karbantartás, költségek, gazdaságosság.* In: *„Műszaki Tudomány az Észak-alföldi Régióban 2010” Konferencia (MTÉAR 2010) előadásai* (szerk.: Pokorádi László) Debrecen: DAB Műszaki Szakbizottsága, 2010. pp. 21-28.

# HIDEGHENGERLÉSI FOLYAMAT VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

## FINITE ELEMENT MODELING OF COLD ROLLING PROCESS

**Pálinkás Sándor<sup>1</sup>, Krállics György<sup>2</sup>, Bézi Zoltán<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Ph.D., tanársegéd

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.  
e-mail: [palinkassandor@eng.unideb.hu](mailto:palinkassandor@eng.unideb.hu)

<sup>2</sup> Ph.D., egyetemi docens

BME, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Bertalan L. u. 7.  
e-mail: [krallics@eik.bme.hu](mailto:krallics@eik.bme.hu)

<sup>3</sup> Ph.D., tudományos munkatárs

BAY Zoltán Alkalmazott Kutatási Közhasznú Nonprofit Kft., Bay-Logi Intézet, 3519 Miskolc, Iglói út 2.  
e-mail: [zoltan.bezi@bayzoltan.hu](mailto:zoltan.bezi@bayzoltan.hu)

**Kivonat:** *A hengerlés egy igen összetett folyamat, melynek bonyolultsága abból adódik, hogy hengerléskor az egymással érintkező hengerek (kvartó állvány) és a hengerállvány által alkotott rugalmas rendszer közvetlen kölcsönhatásba lép a rugalmas-képlékeny lemezanyaggal. Ennek a kölcsönhatásnak az eredményeként jön létre a hengerelt termék, amelynek lokális geometriájának megváltozását követni kell a gyártási folyamatban. Ezért szükség van egy olyan mechanikai modellre, amellyel ezt a kölcsönhatást részletesen elemezni lehet. Kutatásunk eredményeként komplex végeselemes modellt fejlesztettünk a hideghengerlési folyamat teljes körű leírására. A végeselemes modell készítése során az alakított anyagot lineárisan rugalmas izotróp keményedő, míg az alakítást végző hengereket lineárisan rugalmasnak tételeztük fel a különböző hengerlési lépésekben. A komplex modell magában foglalja a hengerhajlítást, és a különböző hengerlési paramétereket, a hengerek be- és összelapulását, valamint a hengerállvány rugalmas alakváltozását figyelembe véve számol, továbbá a hengerlés közben kialakult állandósult állapot segítségével alkalmas a hullámosság kimutatására is.*

**Kulcsszavak:** *hideghengerlés, síkkifejvási hiba, 3D végeselemes modellezés, hullámosság kimutatása.*

## 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

Az utóbbi évtizedekben világszerte felgyorsult a hideghengerlési technológiák fejlődése. Az általános fejlődés értelemszerűen a féltermékekkel szemben is fokozott követelményeket támaszt, ami a felhasználók részéről elsősorban szigorú minőségi elvárások formájában jelentkezik. A korszerű szalagfeldolgozó iparágak minőségi feltételei az utóbbi időben különösen a hengerelt termékkel szemben támasztott alaki követelmények területén növekedtek. A hengerrés alakváltozási törvényszerűségei következtében a végső alak kialakulásában a technológiai műveleteknek igen nagy szerepe van. A hengerelt szalagok síkkifejvése összefügg a hengerlés közben kialakuló hengerréssel. A terhelt hengerrés alakját befolyásoló tényezők eredőjeként kialakul egy hengerrés alak, ha ez nem biztosítja azt, hogy a szalag szélessége mentén a hengerlés folyamán az alakváltozás mértéke mindig azonos legyen, akkor belső feszültség vagy hullám alakul ki. Ezért elengedhetetlen a hengerrés alakjának pontos ismerete. A hengerlési erő következtében a henger részben rugalmasan benyomódik, részben behajlik. A munkahengernek a lemez által nyomott felülete, továbbá a munka- és támhengerek körkeresztmetszetei rugalmasan eltorzulnak. A hengerelt szalag alakja szempontjából a hengerszélesség mentén kialakuló benyomódás eltéréseinek a mértéke is lényeges. A hengerrés rugalmas alakváltozása főként a kevésbé merev hengerek esetén határozza meg alapvetően a hengerrés nagyságát és így a hengerelt szalag síkkifejvését. A hengerelt szalagról átadódó megoszló terhelés jellege, valamint a munkahenger

csapágyazásainak és a támhengerek elhelyezkedése miatt a hengerrés rugalmas alakváltozása csak térbeli kontakt végeselemes modellel számítható [1]. A végeselemes analízis és a számítástechnika utóbbi időben bekövetkezett fejlődése lehetővé tette a teljes hengerlési folyamat részletes szimulációját.

Alapvető célkitűzésünk az volt, hogy pontosan feltérképezzük a hideghengerlés során kialakuló hengerrést, amely a hengerelt szalag alakját, ezáltal a síkkifekvését is befolyásolja. Kutatómunkánk fő gerince – a fő célkitűzésnek megfelelően – olyan komplex modellezési módszer kidolgozása, amelyet az iparban alkalmazva javul a hidegen hengerelt lemezek síkkifekvése, ezáltal növekszik a hengerművek versenyképessége. Kutatásunk során törekedtünk arra, hogy korszerű mérési- és számítástechnikai módszereket használjunk fel úgy, hogy az alakítandó anyag és az alakítást végző szerszám közötti kölcsönhatást modellezni tudjuk.

2008-ban az Alcoa-Köfém Kft-ből egy VON ROLL gyártmányú kísérleti hengerállvány (1. ábra) áttelepítésre került a Miskolci Egyetem Fémteni és Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetébe (a továbbiakban: ME-FKNI). A hengerállvány teljes körű felújítása után, hengerlési erő hatására kialakuló hengerrés változását bemutató kísérletsorozatot végeztünk. A hengerlési kísérletekhez keskeny alumínium szalagot használtunk, azonban az elért eredmények egyéb fémek hengerlése során is hasznosíthatóak.



1. ábra. A VON ROLL gyártmányú kísérleti hengerállvány

## 2. A VÉGESELEMES MODELL BEMUTATÁSA

Kutatásunk eredményeként komplex végeselemes modellt fejlesztettünk a hideghengerlési folyamat teljes körű leírására. A végeselemes modell készítése során az alakított anyagot lineárisan rugalmas izotróp keményedő, míg a hengereket lineárisan rugalmasnak tételeztem fel a különböző hengerlési lépésekben. A komplex modell magában foglalja a hengerhajlítást, és a különböző hengerlési paramétereket, a hengerek be- és összelapulását, valamint a



hengerállvány rugalmas alakváltozását figyelembe véve számol, továbbá a hengerlés közben kialakult állandósult állapot segítségével alkalmas a hullámosság kimutatására is.

A kutatómunkánk fő célkitűzése a hideghengerlés során kialakuló hengerrés pontos feltérképezése volt, a kutatásunk arra irányult, hogy geometriailag pontos terméket lehessen gyártani. További – a fő célkitűzés megvalósítását elősegítendő – célunk volt, hogy a komplex végeelemes modell által számolt eredményeket valós kísérleti eredményekkel össze lehessen vetni, ehhez számos hengerlési kísérletet kellett végrehajtanunk a ME-FKNI Fémteni és Képlékenyalakítási Tanszékén található VON ROLL gyártmányú kísérleti hengerállványon.

A modellezést 3D-ben végeztük, az MSC.Marc nemlineáris végeelemes szoftver 2010.1-es verziójával. Nemlineáris folyamatok leírására a végeelem módszer igen hatékonyan alkalmazható. A nemlineáris analíziseknél a megoldás pontossága lényegesen nehezebben javítható, mint a lineáris analízisnél. A pontos végeelemes diszkretizációhoz szükséges a kontinuummechanikai egyenletek konzisztenciája, illetve fontos az, hogy az alkalmazott anyagmodell minél pontosabban illeszkedjen a modellezni kívánt fizikai folyamathoz [2].

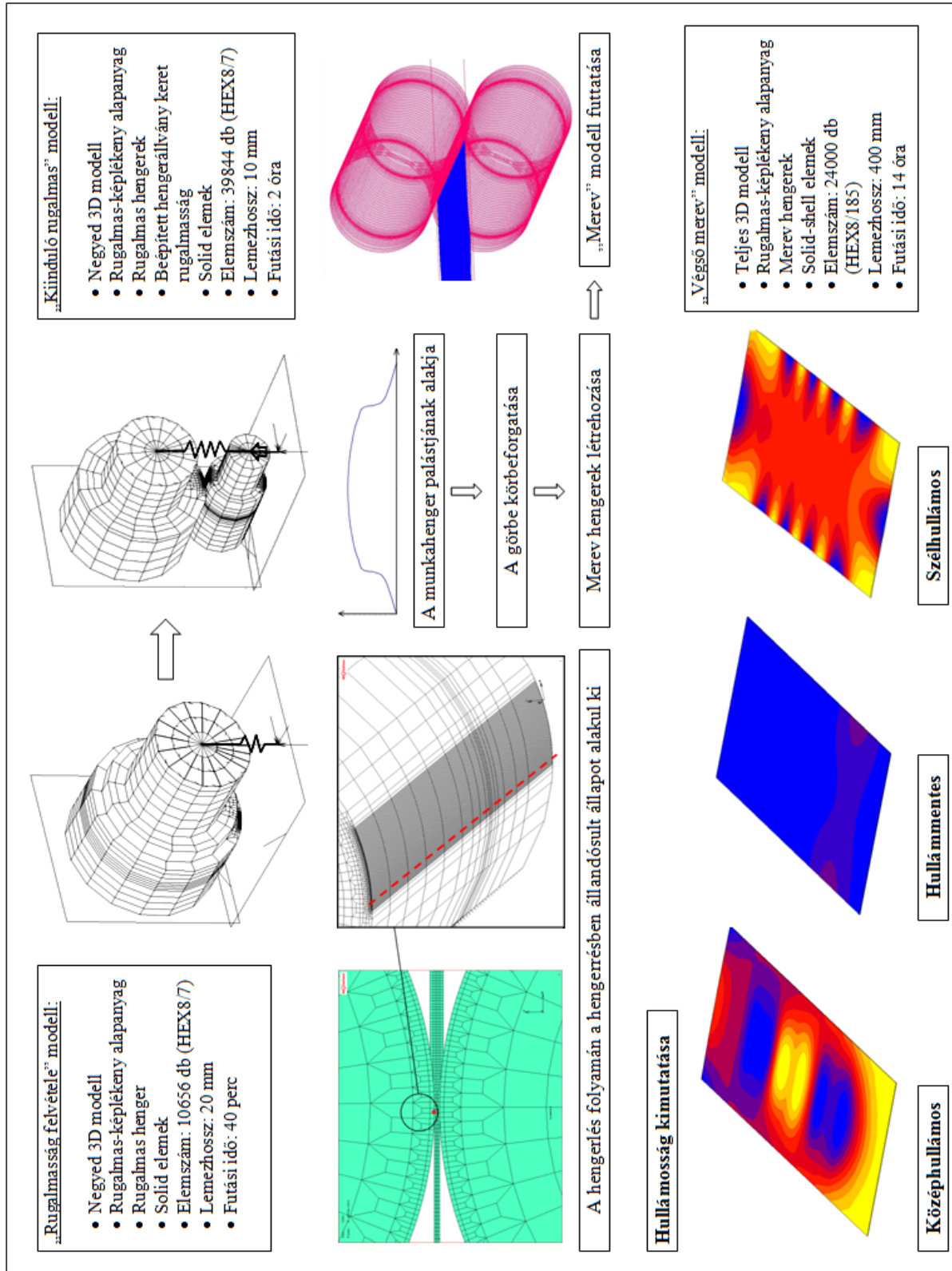
Az elkészített komplex modell 3 szimulációs lépés összekapcsolásából tevődik össze (2. ábra), az első modell a kísérleti hengerállvány rugalmasságának a meghatározására szolgált, a második modell a teljes hengerrendszer modellje, amely a tényleges hideghengerlési folyamat végeelemes analízisét tartalmazza. Ebben kerül meghatározásra a hideghengerlés során kialakuló hengerrés alak. A harmadik modell a hullámosság kimutatásával foglalkozik. Ennek megvalósítására egy egyszerűsítést végeztünk, mivel a második modellben a hullámosság kimutatása olyan hosszú időt igényelt volna, amelyet a mai számítástechnikai kapacitások mellett sem lehetett volna kezelni.

Az első modellre a hengerállvány rugalmasságának a meghatározása miatt volt szükség, mivel a hengerlési folyamat pontos modellezése érdekében nyomon kell követni a kísérleti hengerállvány eredő rugalmasságát, amely magában foglalja a hengerállvány rugalmasságát (ami a hengerállvány keret, és a hengerlési erő hatásvonalában lévő gépelemek rugalmasságából tevődik össze), valamint tartalmazza a hengerek rugalmasságát (belapulás, összelapulás, hengerek tengelyvonalának rugalmas kihajlása) is. Ezután a meghatározott rugóállandót beépítettük a második modellbe, amely a hengerlés során különböző hengerhajlító erők hatására kialakuló hengerrés alak meghatározására szolgál [3].

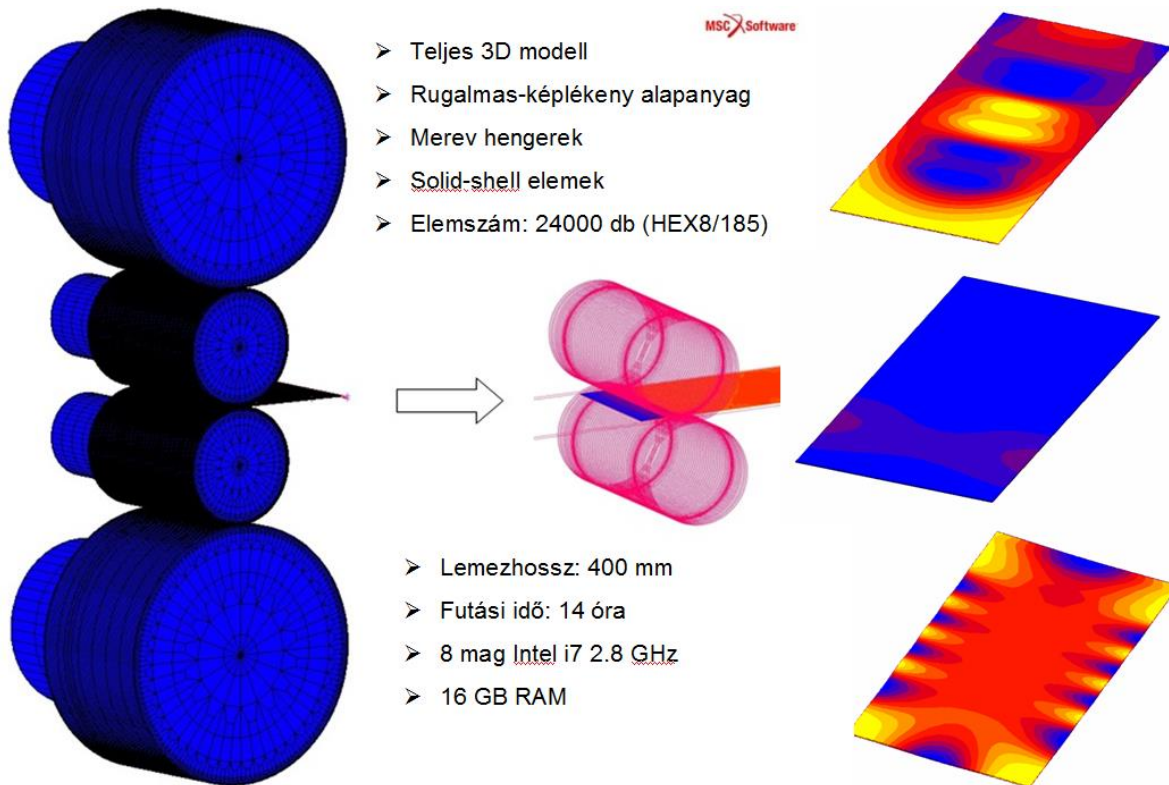
A hullámosság kimutatására irányuló modell készítése során a fő célunk az volt, hogy kidolgozzunk egy olyan módszert, amellyel a hullámosság kimutatásához elegendően hosszú lemez alakítási folyamatát szimulálni lehet. A hengerlés folyamán a hengerrésben állandósult állapot alakul ki, ezt kihasználva alkottuk meg a hullámosság kimutatására szolgáló „végső merev” modellt. A modell készítése során a „kiinduló rugalmas” modellben a henger szélessége mentén kialakult terhelt hengerrés legnagyobb torzulást elszenvedő hengeralkotóját képeztük le, majd ezt megforgatva merev hengereket hoztunk létre, a terhelt hengerrés alaknak megfelelően. Így a szimuláció további lépéseinek elvégzése után sikerült kimutatni a hengerlés során kialakuló középhullámos, szélhullámos és hullámmentes állapotokat.

A 3. ábra a hengerlés szimulációs folyamatának egyszerűsítését mutatja. A bal oldali ábrarészen a hagyományos quartó elrendezésben solid elemekből felépülő – félhengerekkel végzett – hengerlés szimuláció, a jobb oldalon a merev hengerekkel történő szimulációs folyamat látható. A „végső merev” modell felépítésekor, a „kiinduló rugalmas” modellben solid elemekből felépülő hengerek hengerlés közben kialakult hengergeometriájával azonos merev hengereket használtunk, ez a geometria tartalmazza a hengerállvány összes rugalmas hatását. A rugalmas-képlékeny alapanyag hálózására 24000 darab solid-shell (HEX8/185) típusú elemet használtunk. Ezzel a modellezési módszerrel jelentősen csökkenteni tudtuk a

szimulációs folyamat számításgényét. A „kiinduló rugalmas” modellben egy 10 mm hosszú lemez, hengerlése 2 óráig tartott, az új módszernek köszönhetően, egy 400 mm hosszú lemez hengerlésének a szimulációs ideje 14 óra. Ez a hosszúság már elegendő volt a lemezben kialakuló hullámosság kimutatására.

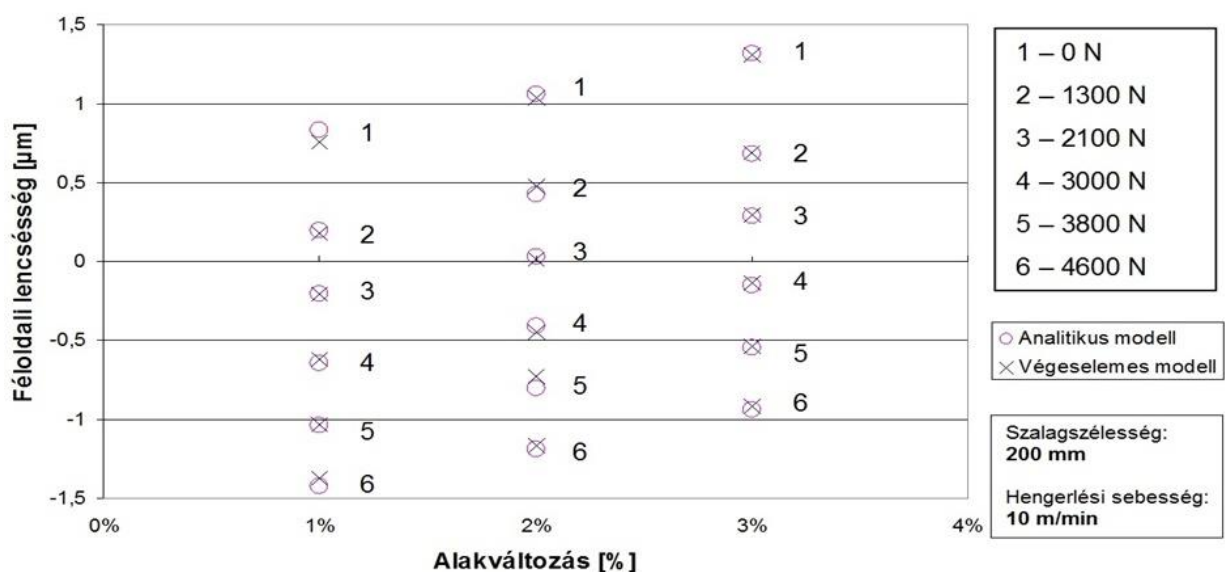


2. ábra. A hengerlési folyamat komplex 3D modellezésének elve [4]



3. ábra. A hengerlés szimulációs folyamatának egyszerűsítése [5]

A hengerlési folyamat végeelemes modellezése során kapott eredményeket összehasonlítottuk egy korábban készített a VON ROLL gyártmányú kísérleti hengerállvány hengerrés alakjának meghatározására szolgáló analitikus modell [6] eredményeivel. A 4. ábrán, a vízszintes tengelyen a különböző alakváltozásokat, a függőleges tengelyen pedig a lemez egyik oldalának a lencséségét tüntettük fel, míg a számokkal az eltérő hengerhajtító erőket jelöltük.



4. ábra. Az analitikus és a végeelemes modell eredményeinek összehasonlítása

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkünkben bemutatott modellezési módszerrel ipari hengerlési folyamatok is modellezhetőek. Korábban a hideghengerléssel foglalkozó kutatók hengerlési kísérletek alapján határozták meg a síkkifejvés biztosításához szükséges paramétereket, ehhez nagy mennyiségű alapanyagot használtak fel, és nagyon sok hengerlési kísérletet kellett végezniük. A kutatómunkánk során kifejlesztett végeeselemes modellt fizikai kísérletekkel validáltuk, ezáltal lehetővé vált, hogy a VON ROLL gyártmányú kísérleti hengerállványon konkrét kísérletek nélkül előre meg lehet határozni a kifutó lemez alakját. Az említett hengerállvány egy kísérleti hengerállvány, így ezzel nem állt módunkban tömeggyártást optimalizálni, azonban véleményünk szerint az elért eredmények a tömeggyártásban is hasznosíthatóak. Az ipari alkalmazás során az adott hengerállványra hasonló elvek alapján elkészített végeeselemes modell által előre meg lehetne határozni a hengerlés után kialakuló lencséséget, és ezt össze is lehetne vetni a stresszométerrel végzett mérés alapján számított lencséséggel.

Az általunk kidolgozott végeeselemes modellezési módszerrel a hengerlési folyamatok modellezése lényegesen egyszerűbb lett. Az ipari tapasztalatok alapján megállapítható az, hogy a hideghengerlés során előállított szalag alakját nagymértékben befolyásolja az alapanyag meleghengerlése során kialakuló lencsésége. Ezt a lencséséget be lehet építeni a végeeselemes modellbe, így az iparban történő alkalmazás során a hideghengerlési folyamatoknál előre számítani lehet a hengerelt termék alakját az első szúrásban, sőt a további lencséségek ismeretében a teljes hengerlési folyamatot szúrásról-szúrásra nyomon lehet követni. Az elkészített modell által nyújtott számítás eredményeinek felhasználásával a szabványban előírt fokozottan síkfekvő hidegen hengerelt szalagokat lehetne előállítani. A modelljeink együttes alkalmazásával a hengerlési folyamatot befolyásoló paraméterek és a lemez geometriai paraméterei között közvetlen függvénykapcsolat határozható meg, ami alapja lehet a hengerlés on-line szabályozásának.

A kutatás során elért eredmények alkalmazásának további lehetősége rejlik abban, hogy a modelltől ki lehet olvasni azt a kritikus feszültségeloszlást, amelynél a hullámképződés megindul, ezáltal mód nyílik az instabilitás feltételeinek a meghatározására is.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **VOITH M.:** *A képlékenyalakítás elmélete, Nagy alakváltozások tana*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1998.
- [2] **PÁCZELT I.:** *Végeselem-módszer a mérnöki gyakorlatban I. Kötet*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 1999.
- [3] **PÁLINKÁS, S., KRÁLLICS, GY., BÉZI, Z.:** *Modelling of Crown on Cold Rolled Aluminium Sheet*, MATERIALS SCIENCE FORUM 752., 2013., pp. 115-124.
- [4] **PÁLINKÁS, S., KRÁLLICS, GY., BÉZI, Z.:** *Hidegen hengerelt alumínium lemez hullámosságának modellezése*, Proceedings of the 1st International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2013), Debrecen, Magyarország, 2013.10.10-2013.10.11. Debreceni Egyetem Műszaki Kar, pp. 143-152. (ISBN:978-963-473-623-3).
- [5] **PÁLINKÁS, S., KRÁLLICS, GY., BÉZI, Z.:** *Finite element modelling of cold rolling process*, Proceedings of the International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2014). Debrecen, Magyarország, 2014.10.08-2014.10.09. University of Debrecen Faculty of Engineering, 2014. pp. 118-123. (ISBN:978-963-473-751-3)
- [6] **PÁLINKÁS, S.:** *Investigation of the shape of roll gap of experimental mill stand*, IN-TECH 2010. Prague, Csehország, 2010.09.14-2010.09.16. pp. 436-439. (ISBN:978-80-904502-2-6)

# A DUÁLIS KÉPZÉS EURÓPÁBAN, A NÉMETORSZÁGI DUÁLIS MODELL

## DUAL TRAINING IN EUROPE, THE GERMAN DUAL MODELL

**Bak Judit**

ügyvivő-szakértő

Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.

[bakjudit@eng.unideb.hu](mailto:bakjudit@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** A tanulmány célja bemutatni, mennyiben felel meg a duális képzés a bolognai rendszer célkitűzéseinek, megvizsgálni, hogy Európa mely országaiban valósult meg a duális képzés a felsőoktatásban, részletesen kitérve a leginkább példaértékűnek tekinthető németországi képzési rendszer bemutatására.

**Kulcsszavak:** duális képzés, európai minták, németországi duális képzés

**Abstract:** This paper presents how far the dual training answers the requirements of the Bologna process, which European countries introduced the dual training, with a detailed description of the most exemplary German training model.

**Keywords:** dual training, Bologna process, European modell, Germany

### 1. BEVEZETÉS

2015 májusában az Európai Unió belül 4,7 millió volt a 25 év alatti munkanélküli fiatalok száma [1], Görögországban és Spanyolországban ennek a korosztálynak 50% fölötti a munkanélküliségi mutatója. Érthető tehát, hogy valamennyi európai ország megoldást keres a képzési rendszerből a munkaerőpiacra történő zökkenőmentes és hatékony átlépés fokozására. Ennek egyik legkézenfekvőbb lehetősége a duális képzés bevezetése, illetve kiszélesítése a középiskolai szakképzésen túl a felsőoktatásra is.

A duális képzés egy olyan innovatív képzési forma, amely már a képzési idő alatt egyesíti az akadémiai képzést (elméleti tudás, tudományos módszerek és eljárások megismerése egyetemi keretek között) és a gyakorlati tapasztalatot (ipari partnereknél végzett tényleges munka).

Vállalati oldalról a duális képzés jelentősége abban áll, hogy a cég olyan új munkavállalókat nyer, akikben már tanulmányaik alatt kialakult egyfajta kötődés a vállalat felé, a cégnél eltöltött gyakorlati idő alatt a hallgató, vagyis a jövőbeli munkavállaló elsajátította a kimondottan az adott cégre jellemző tudásanyagot, így jelentősen csökkenthető vagy akár teljes mértékben kiküszöbölhető a frissen végzettek betanítási időszaka, ami különösen a kis és középvállalatok számára fontos. Duális képzés keretében már a tanulmányok alatt felismerhető az egyes hallgatók speciális képessége vagy fokozott érdeklődése egy bizonyos munkaterület vagy tevékenység iránt, így abban már a végzés előtt - például egy projekt vagy szakdolgozat keretében – elmélyülhet. Emellett a cég a már aktív dolgozóinak is lehetőséget nyújt arra, hogy kipróbálják és fejlesszék önmagukat az oktatás, képzés területén.

### 2. DUÁLIS KÉPZÉS EURÓPÁBAN

Egy új képzési forma bevezetésénél fontos kérdés, hogy mennyiben felel meg az Európai Unió felsőoktatási stratégiájának, támogatja-e a bolognai rendszer célkitűzéseit. [2]

A duális képzés esetén az akadémiai képzés - időtartamát és tartalmát tekintve - teljességgel egybeesik a normál képzéssel és a képzés minőségét – mind az oktatási intézmények, mind a vállalati partnerek esetében - a különböző akkreditációs testületek biztosítják, különbséget tehát a nagyobb arányú gyakorlati oktatás jelent, ami lehetőséget biztosít a hallgatóknak a munkaerőpiaci igényeknek megfelelő képzettség megszerzésére.

A bolognai folyamat fontos célkitűzése a hallgatói mobilitás fokozása. A hallgatók a normál BSc képzés keretében is élhetnek azzal a lehetőséggel, hogy egy vagy akár több elméleti félévet egy partneregyetemen hallgattak, a duális képzés keretében viszont akár gyakorlati időszakot is tölthetnek külföldön, ami multinacionális cégeknél sokszor a későbbi képzési vagy munkaterületet jelenti.

Tekintve, hogy a bolognai rendszer célja egy közös, átjárható európai képzés megteremtése, érdemes megvizsgálni, milyen modelleket alkalmaznak az egyes országokban, illetve a működő modelleknek mely elemeit veszik át az egyes országok.

Az alábbi összefoglaló forrásaként a Duális Képzés Hessen (Duales Studium Hessen) kampány keretében készült tanulmány szolgált [3]. Az adatgyűjtés során 18 nyugat- és közép-kelet európai külkereskedelmi kamarával vették fel a kapcsolatot és az általuk megadott szervezetek adatai alapján készült az alábbi táblázat.

<b>Ország</b>	<b>Duális képzés</b>
Ausztria	Szakképzésben választható, a képzés 4 éves.
Belgium	A felsőoktatásban nincs duális képzés.
Csehország	Nincs duális képzés.
Dánia	A felsőoktatásban nincs duális képzés.
Finnország	A felsőoktatásban nincs duális képzés.
Franciaország	License (a BSc végzettségnek megfelelő) és MSc szintű, részben integrált, több hetes tömbösített gyakorlattal (cél szakmai gyakorlat biztosítása és kapcsolat kialakítása egy adott vállalattal).
Görögország	Nincs duális képzés.
Hollandia	Több mint 300 BSc és MSc szakon választható a duális képzés.
Írország	„Sandwich Courses“/„co-operative education“/„intra (integrated training) placements“: a képzés során egy évet töltenek a hallgatók a vállalatnál, College-System
Lengyelország	Nincs duális képzés.
Nagy-Britannia	A kereskedelmi/üzemgazdasági területeken választható már megszerzett végzettséggel szakképzés, college-rendszer
Norvégia	Nincs duális képzés.
Olaszország	A felsőoktatásban nincs duális képzés.
Portugália	A felsőoktatásban nincs duális képzés.
Spanyolország	A felsőoktatásban nincs duális képzés.
Svájc	A vállalatok egy része a DHBW-vel működik együtt (Duale Hochschule Baden-Württemberg); választható a szakképzési képzés keretein belül is (nincs intenzív együttműködés a képzőhelyek és a vállalatok között).
Svédország	„Co-op Education“ modell: a hallgató dönthet úgy, hogy a 3 éves képzést kiegészíti egy év szakmai gyakorlattal.
Szlovákia	Nincs duális képzés.

Fontos megemlíteni, hogy a vizsgált országok egy részében egyáltalán nem működik duális képzés a felsőoktatásban vagy akár középiskolai szintű szakképzés sincs, amely alapvetően két okra vezethető vissza. Bizonyos országokban a munkanélküliek között a fiatalok száma az elmúlt években növekedett meg jelentősen, ezért duális képzés bevezetésének lehetősége, amely kimondottan a pályakezdők esetében alkalmazható megoldás, csak nemrégiben merült fel lehetőségként. Más országok (pl. Görögország) alapvetően elutasítja a vállalatok és a felsőoktatási intézmények együttműködését, mert úgy gondolják, csak így őrizhető meg a kutatás és az akadémiai tevékenység függetlensége.

Érdekes megfigyelni a középiskolai szakképzés és a felsőoktatásban megvalósuló duális képzés egymásrahatását az egyes országokban. Többnyire azt figyelhetjük meg, hogy a működő vagy kialakulóban lévő középiskolai szakképzéssel rendelkező országok a felsőoktatásban is nyitottabbak a duális képzésre, így akár egyfajta kedvező előfeltételnek is nevezhetjük a szakképzési rendszert.

A duális képzési rendszer Németországban a legelterjedtebb, ez tekint vissza a legrégebbi múltra, így több európai ország, mint Spanyolország, Görögország, Portugália, Olaszország, Szlovákia, Lettország és persze Magyarország is ezen minta alapján kívánja megreformálni saját képzési rendszerét.

### 3. DUÁLIS KÉPZÉS NÉMETORSZÁGBAN

Az egyes modelleket vizsgálva nyilvánvalóvá válik, hogy az elmélet és gyakorlat integrációja kivételes a német modellben. Más országokban (Franciaország, Nagy-Britannia, Írország, Svédország) hosszabb szakmai gyakorlatok beépítésével igyekeznek gyakorlati tapasztalatot átadni, Németországban ezzel szemben valóban egymásra épül a képzés elméleti és gyakorlati része, a szakképzés területén az állam, a vállalatok és a kamarák együttműködésének száz éves hagyománya van. A képzés elméleti és gyakorlati tartalmainak céltudatos összehangolása az ipari partnerek és a felsőoktatási intézmények szoros együttműködésével valósul meg, amelyet az biztosít, hogy nem csak a hallgató és az ipari képviselő között jön létre szerződéses kapcsolat, hanem az intézmény és a vállalat is szerződésben rögzíti vállalt szolgáltatásait és kötelezettségeit. Az ipari partnerek intenzív kapcsolata a képzőhelyekkel a közösen gesztorált projekt feladatokban és szakdolgozatokban is megmutatkozik, illetve azoknak a testületeknek a munkájában, amelyek feladata biztosítani, hogy a vállalatok által preferált tartalmak helyet kapjanak a tananyagban.

További sajátága a német duális képzési rendszernek, hogy csak itt lehetséges kreditpontokat szerezni a gyakorlati időszak teljesítésével (maximum 10 kreditpont), illetve a szakmai gyakorlattal töltött idő minimum a teljes képzési idő 30%-a kell, hogy legyen, de nem haladhatja meg az 50%-ot.

A németországi duális képzési lehetőségeket vizsgálva megállapíthatjuk, hogy maga a képzés valamennyi tartományban kiépült és elterjedt, azonban különböző modellek szerint működik. A tartományok közül ki kell emelnünk Baden-Württemberg, ahol már az 1970-es évek óta választhatóak bizonyos szakok ebben a formában. Jelenleg a duális hallgatók száma 34.000 fő, akik 9.000 vállalatnál és intézménynél vesznek részt gyakorlati oktatásban. Az oktatási idő BSc szakok esetében egységesen hat félév és a DHBW valamennyi duális szakjának költségei azonosak. [4]

Ezzel szemben például Hessenben és Bajorországban többféle modell közül választhatnak a hallgatók, melyeket különböző időbeosztás, illetve költség jellemez az együttműködő

vállalat szükségleteinek megfelelően. [5]

A hesseni modell alapját a duális képzést nyújtó intézmények, illetve a képző vállalatok által közösen kidolgozott kritériumkatalógusok alkotják, amelyek valamennyi érintett (hallgató, intézmény, vállalat) kötelezettségeit és a velük szemben támasztott követelményeket tartalmazzák:

- előfeltételek a duális képzésben történő részvételhez (felvételi, illetve akkreditációs eljárások),
- a képzésben részt vevők között kötendő szerződések kötelező elemei,
- a tanulmányi és gyakorlati időszakok időtartama, időbeli és tartalmi beosztása,
- a vállalat és az intézmény együttműködésének módja (tartalmi egyeztetések, hallgatóra vonatkozó információk átadása),
- érdekképviseleti testület meghatározása, minőségbiztosítás, felvevőképesség, a vállalat által hozzáférhetővé tett tudásanyag, szakemberkapacitás,
- elismerhető képzések.

#### 4. ÖSSZEGRZÉS

A teljes iskolarendszer – az általános iskolától a felsőoktatásig - Európa egyes országokban egészen eltérő elemeket mutat és bár a bolognai rendszer bevezetésének célja az volt, hogy a felsőoktatás átjárhatóvá váljon, ebben a szektorban sem beszélhetünk olyan szerkezeti egyezőségről, amely lehetővé tenné egy új képzési forma, így például a duális képzés működő struktúrájának egy az egyben történő átvételét, ezért a cél a képzés elemeinek adaptálása, differenciált átültetése, a megfeleltethető elemek kiválasztása, illetve az eltérő elemek esetén a hazai viszonyokra történő átdolgozása.

#### KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a Munkaerő-piaci igényeknek megfelelő, gyakorlatorientált képzések, szolgáltatások a Debreceni Egyetemen Élelmiszeripar, Gépészet, Informatika, Turisztika és Vendéglátás területen (Munkaalapú tudás a Debreceni Egyetem oktatásában) TÁMOP-4.1.1.F-13/1-2013-0004 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] <http://ec.europa.eu/eurostat/web/lfs/data/main-tables>
- [2] [http://www.ihk-berlin.de/aus\\_und\\_weiterbildung/bildungspolitik/Internationalisierung\\_der\\_Berufsausbildung/813740/EU\\_Laendervergleich.html](http://www.ihk-berlin.de/aus_und_weiterbildung/bildungspolitik/Internationalisierung_der_Berufsausbildung/813740/EU_Laendervergleich.html)
- [3] [http://www.dualesstudium-hessen.de/uploads/tx\\_sbdownloader/Europaeueberblick\\_Duales\\_Studium.pdf](http://www.dualesstudium-hessen.de/uploads/tx_sbdownloader/Europaeueberblick_Duales_Studium.pdf)
- [4] Prof. Dr. Michael Nagel: The Theory-Practice-Transfer-Concept of the Baden-Wuerttemberg Cooperative State University, ppt, Kecskemét College, 14th April 2015
- [5] [http://www.bibb.de/dokumente/pdf/xcms\\_bst\\_dms\\_37640\\_37641\\_2.pdf](http://www.bibb.de/dokumente/pdf/xcms_bst_dms_37640_37641_2.pdf)



# A TOKAJI-HEGYSÉG VÍZGAZDÁLKODÁSI CÉLÚ REGIONÁLIS ÁRAMLÁSI MODELLJÉNEK PONTOSÍTÁSA ÉS KALIBRÁLÁSA

## WATER MANAGEMENT FOR REGIONAL MODEL OF THE TOKAJ MOUNTAIN REFINEMENT AND CALIBRATION

Zákányi Balázs<sup>1</sup>, Fejes Zoltán<sup>2</sup>, Szűcs Péter<sup>3</sup>, Székely Ferenc<sup>4</sup>

<sup>1</sup>egyetemi tanársegéd, <sup>2</sup>tudományos segédmunkatárs, <sup>3</sup>egyetemi tanár, <sup>4</sup>munkatárs  
Miskolci Egyetem, <sup>1,2,3</sup>Környezetgazdálkodási Intézet, <sup>3</sup>MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, 3515,  
Miskolc-Egyetemváros, <sup>4</sup>HYGECON Kft., 1204 Budapest Bocskai u. 13  
hgzb@uni-miskolc.hu

**Kivonat:** A már előzetesen elkészített regionális modellt először a nyugalmi vízszintekre kalibráltuk, majd a kutak üzemi vízszintjeit figyelembe véve végeztünk modell futtatásokat. Továbbá a maradó beszivárgási zónák kalibrálását is elvégeztük „Trial and error” módszer segítségével. A pontosított áramlási modellel képesek leszünk különböző vízgazdálkodási forgatókönyveket (scenáriókat) szimulálni az ivóvíz, az ásvány-és gyógyvíz, és a termálvízre vonatkozóan. Mutatkozik ebben a régióban egy erős igény a turisztikai infrastruktúra fejlesztésére, amit az ásvány-és termálvíz erőforrásokra kívánnak alapozni.

**Kulcsszavak:** Tokaji-hegység, regionális modellezés, modell kalibráció

**Abstract:** The regional model was first calibrated to the static water level, and then taking into account the dynamic water levels of the wells was carried out model runs. In addition, the recharge zones remain calibration was performed "Trial and error" method. A refined flow model, we are able to various water management scenarios to simulate drinking water, mineral and medicinal water and thermal water on. There is a strong demand in these regions to develop tourism infrastructure, we intend to be based on the mineral and thermal water resources.

**Keywords:** Tokaj Mountains, regional modeling, model calibration

### 1. BEVEZETÉS

A Tokaji-hegység – hazánk egyik legismertebb vulkanikus eredetű hegysége – az Északnyugati-Kárpátok részeként, Magyarország északnyugati végében helyezkedik el. Az észak-déli csapásirányban 100-120 km hosszan – a ma Szlovákia területén lévő Eperjestől Tokajig – húzódó hegységet a történelmi Magyarországon Eperjes-Tokaji-hegységnek vagy hegysornak nevezik. A Tokaji-hegység területe a termál-, és hévízkutatás szempontjából mindig is kevésbé előkelő helyen szerepelt a hidrogeológiai szakmai körökben. A terület rendkívül bonyolult geológiai felépítése, az alaphegység anyagi összetételének és elhelyezkedésének bizonytalansága, valamint a kevés számú kellően nagy mélységű kutatófúrás miatt a hegység igen nehéz feladatnak számít a melegvíz felkutatása szempontjából [1]. Összetett földtani helyzete ellenére a Tokaji-hegységben számos langyos- és meleg-vizet szolgáltató kutat fúrtak, melyek létesítésüket követően, valamint azóta is, megfelelő minőségű és hőmérsékletű vizet szolgáltatnak.

A területen található kutak és források hidrogeológiai paramétereinek vizsgálatával és a korábbi kutatások eredményeit felhasználva elkészítettük a Tokaji-hegység hidrogeológiai adatbázisát, valamint a kutak és források több mint 50 éven át elvégzett vízkémiai eredményeinek felhasználásával a hegység vízkémiai adatbázisát is [2]. Ezek felhasználásával számos információhoz juthatunk a hegység áramlási viszonyait illetően. A fő célunk az volt, hogy az előkészítsük a regionális áramlási modellt, majd meghatározzuk a vízmérleget erre a vulkáni területre, és megérteni a felszín alatti áramlási rendszereket a mélyebb vízadókban. A

modellezés során USGS MODFLOW programcsomagot alkalmaztuk, hogy szimulálja az áramlási viszonyokat a Tokaj-hegységben. A regionális modell felépítéséhez a Groundwater Modeling System rendszert alkalmaztuk, amely tartalmazza az előbb említett programcsomagot is.

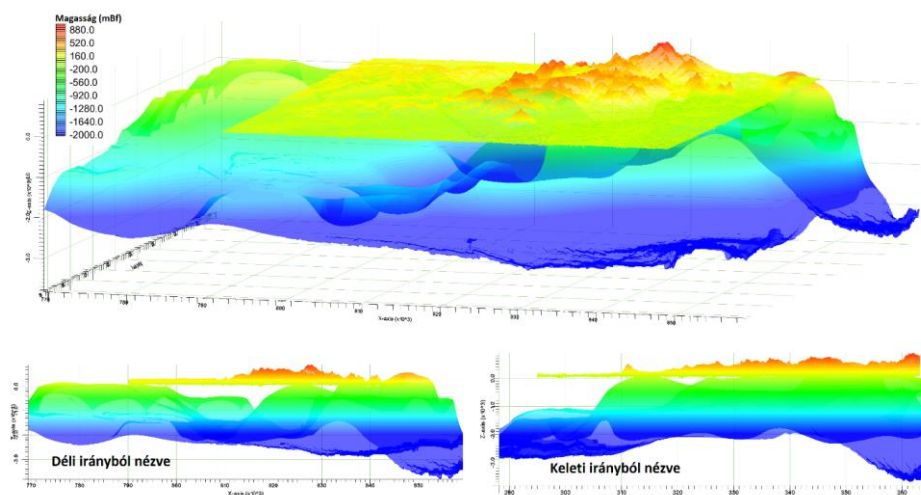
## 2. A TOKAJI-HEGYSÉG REGIONÁLIS HIDRODINAMIKAI MODELLEZÉSE

### 2.1. A hidrodinamikai modell felépítése

A területen található kutak és források hidrogeológiai paramétereinek vizsgálatával és a korábbi kutatások eredményeit felhasználva elkészítettük a Tokaji-hegység hidrogeológiai adatbázisát, valamint a kutak és források több mint 50 éven át elvégzett vízkémiai eredményeinek felhasználásával a hegység vízkémiai adatbázisát is, amelyet előző fejezetekben már bemutattunk. Ezek felhasználásával számos információhoz juthatunk a hegység áramlási viszonyait illetően. A modellezés során felhasználtuk a meglévő kutak vízföldtani naplóit, a rendelkezésünkre álló geofizikai eredményeket és valamennyi a kutatás során megszerzett ismeretet. A fő célunk, hogy az előkészített regionális áramlási modellel lehetőségünk legyen meghatározni a vízmérleget erre a vulkáni területre, és megértsük a felszín alatti áramlási rendszereket a mélyebb vízadókban. A modellezés során USGS MODFLOW programcsomagot alkalmaztuk –amely része a GMS programnak - hogy szimulálja az áramlási viszonyokat a Tokaj-hegységben.

A modellezett terület domborzatának szintvonalait SRTM műholdas digitális képről vettük át, amely természetesen a modell felső rétege is egyben.

A térbeli geológia test alsó rétegének – alapkőzet – geofizikai méréseket vettünk alapul [3], amelyeket digitalizálás után sikerült bevinni a GMS programba. A felszín és az alapkőzet egymáshoz viszonyított helyzetét a 1. ábra szemlélteti.



1. ábra A felszín és alapkőzet egymáshoz viszonyított helyzete 3D-ben

A további térbeli geológia kép kialakításához felhasználtunk 172 db fúrási adatsort, majd ezek alapján a 3D térmodell kialakításánál a hidrodinamikai modellezéshez egyszerűsítettük a geológiai felépítést és összesen 4 db réteget (pleisztocén, pannon, miocén és alapkőzet) különböztettünk meg.

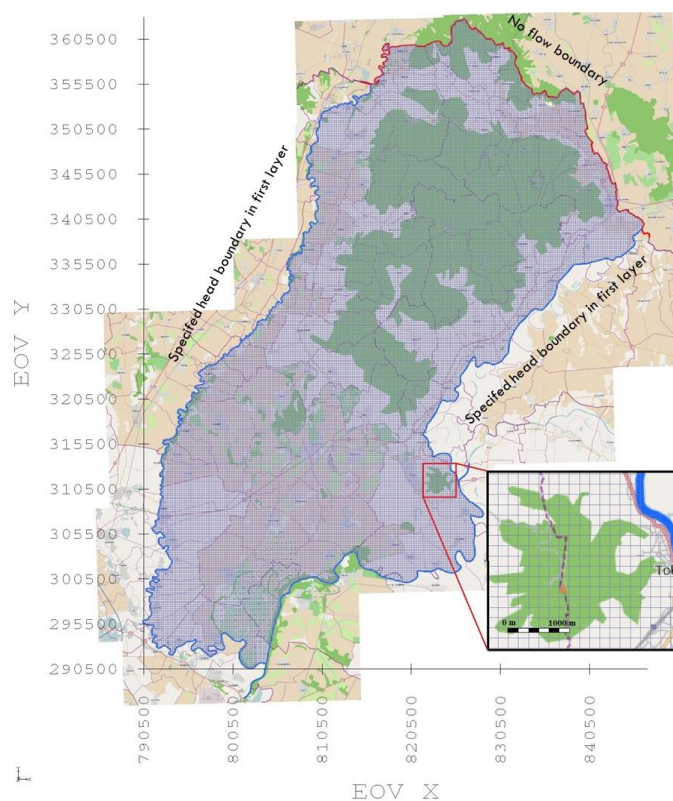
A fúrási rétegsoroknál megkülönböztettük az alapkőzetet, az arra települő miocén tömör kőzettestet, néhol a felszínre kibukkanó repedezett miocén réteget, majd a völgyekben és a vizsgált terület déli részén a pleisztocén és pannon felszín közeli képződményeket, mint öt

alapvető földtani egységet. A modellszámításoknál az alapkőzetet kvázi vízzárónak feltételeztük.

A modellezett terület egy 48 x 77 km oldalhosszúságú téglalappal lefedhető szabálytalan sokszög. A modellszámításokra kijelölt térrész lehatárolásakor figyelembe vettük a fúrási és feltérési pontok elhelyezkedését is.

A modell határát É-i oldalon a Nagy-Milic határolja, míg a többi irányban a határok domborzati egységeken (pl. völgyek) húzódnak feltételezve, hogy egy részük egyben hidrogeológiai határ is. A modellszámítást egyenletesen 200 x 200 m-es cellákra bontottuk, így egy 372 sorból és 290 oszlopból álló modellszámítást kaptunk (2. ábra).

A modellt vertikálisan 4 fő képződményre és összesen 7 modellrétegre bontottuk, annak érdekében, hogy az áramlási pályákat is tudjuk szimulálni. A modellrétegeket a kutak vízföldtani és fúrási naplójából álló rétegsorok, ill. a rendelkezésünkre álló geofizikai mérések alapján vettük fel.



2. ábra. A 200 x 200 m-es rácsháló osztás és a modellezés során alkalmazott peremfeltételek

Minden modellréteg fekéjét térben változóknak vettünk fel, oly módon, hogy a fúrási rétegsorok és a kutak vízföldtani naplóinak alapján kapott rétegvastagságokat interpoláltuk a modellezett területre, és ezekből képeztük a fekéfelületeket.

Az egyes képződményekre jellemző minimális és maximális, valamint a modellben alkalmazott értékeket a 1. táblázatban adjuk meg, ahol az effektív porozitások is szerepelnek. A porozitás értékeit szakirodalmi adatok alapján vettük fel. A modellezett területen figyelembe vettük a törési zónákat, ahol a szivárgási tényező eltérő a környező köztömegétől.

A vertikális szivárgási tényezőket a vízföldtani jelleg alapján határoztuk meg, azon tapasztalatra támaszkodva, hogy a vető/törés zónák nyújthatnak lehetőséget jelentősebb vízforgalomra a vulkáni összletekben, illetve hogy a vulkanitoknál az anizotrópia szerepe és mértéke kisebb.

Földtani egység	Modellréteg	Földtani képződmény	$K_h$ (m/d)	$K_v$ (m/d)	$n_0$ (-)
1	1-4.	Miocén (repedezett) képződmények	0,1-0,01	0,03-0,003	0,1
2	2.	Pleisztocén korú kőzetek	0,1-10	0,03-3	0,15
3	3.	Pannon képződmények	0,1-20	0,03-5	0,15
4	5-7.	Miocéni kotú (tömör) kőzetek	0,003	0,001	0,05

1. táblázat Modellrétegek szivárgási tényezője és porozitása

A megadott modellréteget – modellezés technikai okokból vegyes tükrűnek tételeztük fel, ami jelentősebb számítási igényhez vezetett ugyan, de nagyobb volt a modell szabadsági foka is.

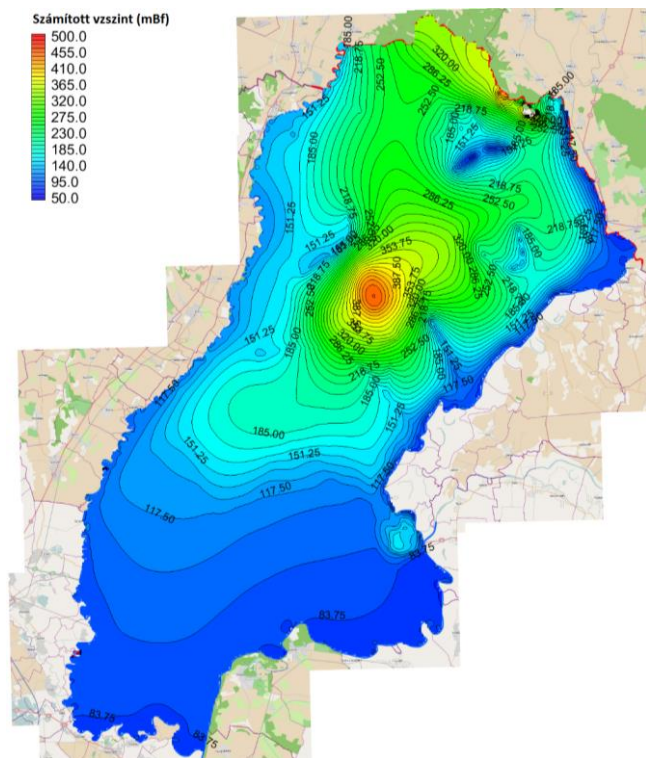
A rétegek nyugalmi nyomásszintjének előállításakor figyelembe vettük az fűrt kutak vízszint adatait, illetve a források felszínre bukkanásainak helyeit. A vízszinteket természetesen a felszínhez korrigáltuk, ahol indokolt volt.

A modell É-i részén No flow, míg a többi részen Specific head határfeltételt állítottunk be a peremeken (2. ábra).

A beszivárgást a modellterületre zónázással adtuk meg, a magasabb területeken a nagyobb lefolyás miatt kisebb, míg a völgyekben nagyobb beszivárgási értékeket állítottunk be [4]. A maradó beszivárgás, mindig a legfelső aktív rétegbe történik. Figyelembe vettük még a modell építésénél a kisebb vízfolyásokat is.

## 2.2. A hidrodinamikai modellszámítások eredményei

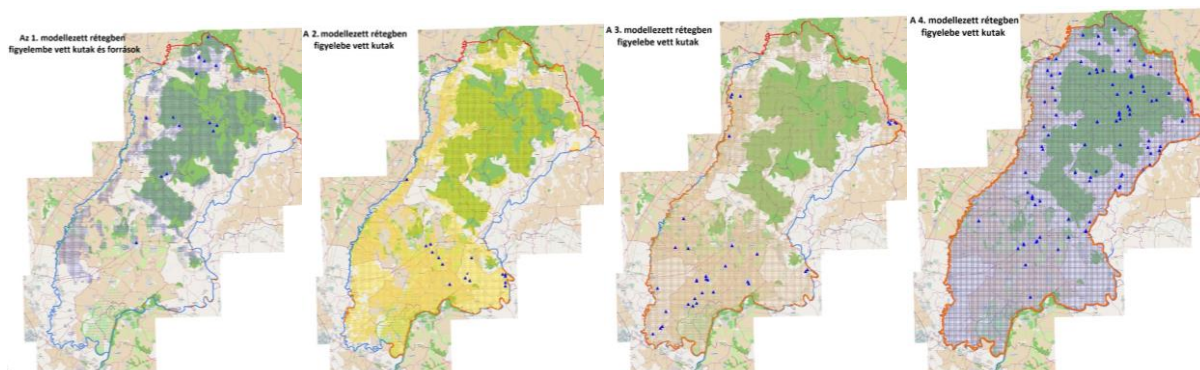
A hidrodinamikai modellel meghatároztuk minden rétegben a nyugalmi vízszint eloszlásokat, amelyek közül csupán a 4. miocén rétegben kialakulót mutatjuk be a 3. ábrán, mivel a területen a termelés nagy része ezekből a rétegekből történik.



3. ábra A szimulációval számított nyugalmi vízszinteloszlás

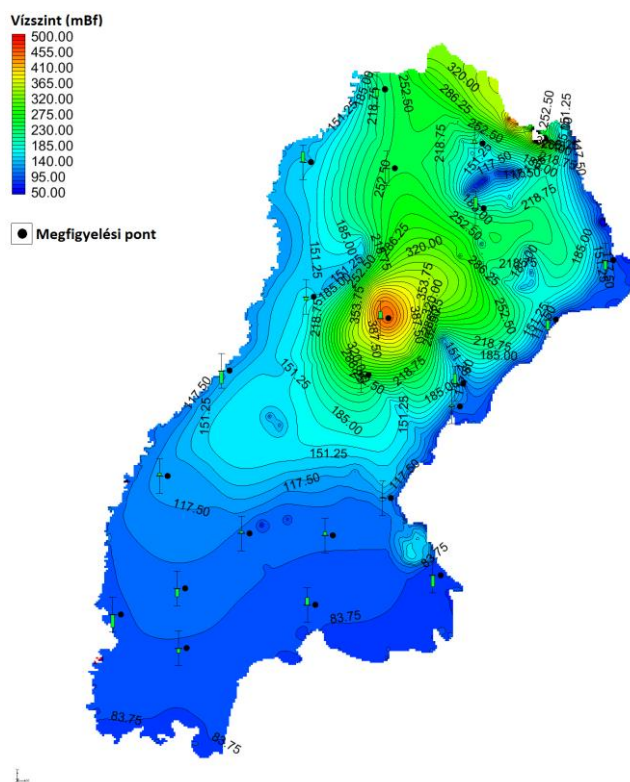
A számított vízszint értékeket természetesen „Trial and Error” módszer segítségével kalibráltuk a mért vízszintekhez és az eltérés  $R^2$  hibája 7,12 m-re adódott. Ha figyelembe vesszük a modellezett terület nagyságát, akkor ez az eltérés megfelelőnek tekinthető.

A kalibráció után a rendelkezésünkre álló termelési adatokat felhasználva modellezést végeztünk, annak érdekében, hogy a területre megkapjuk az üzemi vízszinteket illetve vízgazdálkodási vizsgálatokat elvégezhesünk. Probléma volt, hogy nagyon sok kút esetében a termelésről kapott információk nem pontosak vagy nincsenek adatok, így nem sikerült minden kitermelt vízmennyiséget figyelembe venni a szimulációk során. A kutakat és forrásokat a különböző rétegekben a 4. ábra mutatja.



4. ábra. A szimulációk során figyelembe vett kutak és források elhelyezkedése a különböző rétegekben (1. réteg – miocén, 2. réteg- pleisztocén, 3. réteg – pannon, 4. réteg – miocén)

A 5. ábrán a szimulációval kapott üzemi vízszint eloszlás látható a 4. rétegben. A kapott modellt kalibráltuk és az  $R^2$  hiba értéke ebben az esetben 6,12m –re adódott, amelyet a jövőben tovább szeretnénk pontosítani.



5. ábra. Üzemi vízszintekre kalibrált modellezési eredmények

### 3. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Észak-Magyarországi Régió nevének említése esetében az embereknek (de még a szakembereknek sem) általában nem az ásvány-, gyógy- és hévízkészletek jutnak az eszébe elsőként. A régió összetett és bonyolult földtani és hidrogeológiai viszonyai miatt ez a komplex témakör eddig alapvetően csak lokális szerephez jutott néhány területen, holott a természeti adottságok sokkal jobb helyzet alapjául is szolgálnak. A kutatás lehetőséget teremtene az igen összetett természeti adottságok jobb megismerése, valamint a készletek feltárása és hasznosítása területein, amely komoly gazdasági és fejlődési lehetőségeket nyithatna az Észak-Magyarországi Régió több helyszínén is.

A Tokaji-hegységre elkészített kalibrált áramlási modellel képesek leszünk különböző vízgazdálkodási forgatókönyveket (szcenáriókat) szimulálni az ivóvíz, az ásvány-és gyógyvíz, és a termálvízre vonatkozóan. A most kapott eredményeket természetesen tovább kell javítani a jövőben, leginkább a maradó beszivárgás eloszlásra illetve szivárgási tényező értékekre kell nagy hangsúlyt fektetni.

Mutatkozik egy erős igény ebben a régióban a turisztikai infrastruktúra fejlesztésére, amit az ásvány-és termálvíz erőforrásokra kívánnak alapozni. Éppen ezért, a regionális modellből készíthetünk kisebb léptékű lokális modelleket is, amelyekkel egyes területeken (pl. Szerencs, Sátoraljaújhely) szintén megmutatható a döntéshozóknak a hidrogeológiai viszonyok.

### 4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutató munka a Miskolci Egyetemen működő Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központ TÁMOP-4.2.2/A-11/1-KONV-2012-0049 jelű „KÚTFŐ” projektjének részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **SZŰCS, P., FEJES, Z., ZÁKÁNYI, B., FEKETE, ZS., SZÁRNYA, G., HARTAI, É., TURAI, E., GYULAI, Á., SZABÓ, N., CSERNY, T.** (2014): *General Characterization of Mineral and Thermal Water Resources in the Tokaj Mountains*. Geosciences and Engineering: A Publication of the University of Miskolc 3:(5) pp. 77-82. (2014)
- [2] **FEKETE ZS., FEJES Z., SZŰCS P., GONDA N.:** *A Tokaji-hegység vízkémiai jellemzése. A Kárpát-medence ásványvizei*: X. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Konferencia helye, ideje: Csíkszereda, Románia, 2014.08.28-2014.08.31. Csíkszereda: Sapientia, 2014. pp. 53-62. (ISBN:978-973-7625-63-2)
- [3] **ZALAI P.:** *A Zempléni-hegység regionális geofizikai kutatási programja*. ELGI Adattár, kézirat, 1991.
- [4] **KOMPÁR L., SZŰCS P., DEÁK J., PALCSU L.:** *Beszivárgás vizsgálatok terepi és laboratóriumi lehetőségei*. 10. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia. Konferencia helye, ideje: Kolozsvár, Románia, 2014.03.27-2014.03.29. Kolozsvár: Ábel Kiadó, pp. 136-139 ISSN 1842-9815

# KUTATÁSI EREDMÉNYEK A KORSZERŰ ÉS KÖLTSÉGHATÉKONY HIBRID SZÁRÍTÁSI MÓDSZER KIDOLGOZÁSÁVAL KAPCSOLATBAN

## RESEARCH RESULTS IN CONNECTION WITH DEVELOPMENT OF THE MODERN AND COST-EFFECTIVE HYBRID DRYING METHOD

**Antal Tamás<sup>1</sup>, Kerekes Benedek<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>főiskolai docens, <sup>2</sup>egyetemi tanár

<sup>1,2</sup>Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet

E-mail: <sup>1</sup>antalt@nyf.hu, <sup>2</sup>kerekesb@nyf.hu

**Kivonat:** Ebben az összefoglaló műben a hibrid vagy kombinált szárítás (névlegesen: meleg levegős-fagyasztva szárítás – HAD-FD, infravörös-fagyasztva szárítás – IR-FD) hatását mutatjuk be a fagyasztva szárítás vízelvonási jellemzőire és a szárított anyag minőségére. A fagyasztva szárítás (FD) nyújtja a legjobb szárítmány minőséget, de hosszú szárítási idővel és ehhez hasonlóan magas kezelési költséggel is rendelkezik. A kombinált és fagyasztva szárítással tartósított gyümölcsök és zöldségek minőségét meghatároztuk kémiai összetétel és fizikai jellemzők (textura, szín, rehidráció) szerint. Az IR-FD és HAD-FD módszerek a szárítási időt a hagyományos liofilizálási folyamat felére csökkentették és hasonló termékminőséggel jellemezhetőek. Alapul véve a kísérleti eredményeinket, az IR-FD módszer jobbnak bizonyult a HAD-FD módszerhez képest, ha a végtermék fizikai jellemzőit hasonlítjuk össze.

**Kulcsszavak:** hibrid szárítás, fagyasztva szárítás, minőség, költséghatékonyság.

**Abstract:** In this summarized work, the effects of hybrid or combination drying (namely: hot-air-freeze drying – HAD-FD, infrared-freeze drying – IR-FD) on freeze dehydration drying characteristics and quality of dried material were studied. Freeze drying (FD) yields the best quality of dried material but at the cost of long drying time and also the overall cost. Fruits and vegetables dried by two combination drying methods and by FD were evaluated for their composition and analyzed for properties (texture, color and rehydration). The IR-FD and HAD-FD reduced the drying time by about half of conventional FD process and provided a similar good product quality. Based on our experimental study, the IR-FD method is better than HAD-FD when physical properties of product were compared between the two combination drying methods.

**Keywords:** hybrid drying, freeze drying, quality, cost-effectiveness.

## 1. BEVEZETÉS

Ma, a 21. században egyre nagyobb az igény olyan tartósított termékek iránt, melyek hónapok, akár évek után is hasonló minőségi értékekkel rendelkeznek, mint a nyersanyag, illetve egyre nő a kereslet a fagyasztva szárított étrend-kiegészítők, funkcionális élelmiszerek, gyógykészítmények és ún. sport food iránt [8].

A fagyasztva szárítás vagy más néven liofilizálás lényege, hogy a termékben lévő vizet megfagyasztjuk és a jeget vákuum térben elszublimáltatjuk. A liofilizálás jó választás élelmiszerek és hőérzékeny anyagok szárítására. A fagyasztva szárítás három fő műveletből áll, (1) az anyag fagyasztása; (2) az ún. első szárítási szakasz, ahol a kifagyott szabad víz elszublimál; (3) a második szárítási szakasz, itt a kötött víz (maradék nedvesség) eltávolítása történik meg, ún. deszorpció által [2].

A liofilizálás, mint modern kíméletes szárítási eljárás közismert arról, hogy a legkedvezőbb fizikai, kémiai paraméterekkel (textura, szín, beltartalom, rehidráció, érzékszervi tulajdonságok: íz, szag, állomány, külső megjelenés, stb.) rendelkező végterméket produkálja, mely értékek hasonlóak a nyersanyagéhoz [1, 10]. Ennek ellenére Magyarországon a liofilizálás élelmiszeripari alkalmazása még várat magára, ennek két fő oka van, az egyik, hogy a berendezés beszerzési ára nagyon magas, a másik, hogy a szárítás

üzemeltetési költsége (a szárítási idő és energiafogyasztás) is igen nagy volument képvisel [11]. Az utóbbi probléma elsősorban az alacsony fagyasztási- és szublimációs sebességtől függ. Másképp kifejezve a liofilizált késztermék a legjobb minőséggel rendelkezik, de egyben a legdrágább is, hasonlítva a létező mesterséges szárítási módszerekkel előállított anyagokhoz képest.

A kutatómunka célja az, hogy a liofilizálás szárítási idejét/energiafogyasztását ún. hibrid vagy kombinált szárítási módszerek alkalmazásával csökkentjük le, oly módon, hogy a végtermék minősége a hagyományos egyfokozatú fagyasztva szárításhoz képest ne vagy csak minimális mértékben változzon. Ezáltal a szárított anyag magas minősége megmarad, de jóval kedvezőbb áron válik beszerezhetővé.

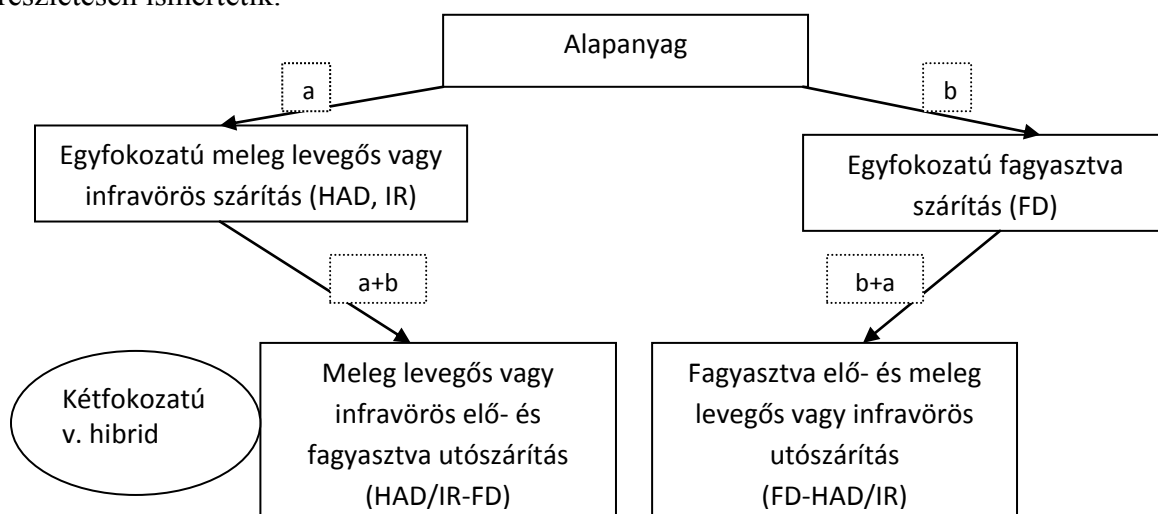
Ezért ebben az összefoglaló műben olyan módszerek ismertetésére és kutatási eredmények közzlésére kerül sor, melyek meggyorsítják a fagyasztást, illetve a szublimációt, úgy, hogy a száradó anyag szabad vizének eltávolítása egy másik – gyorsabb száradási sebességgel jellemezhető – szárítási módszerrel történik: meleg levegős és infravörös vízelvonással - előszáritással.

## 2. KUTATÁSI EREDMÉNYEK

### 2.1. Kombinált konvektív-fagyasztva szárítási kísérletek eredményei (NYF)

A kísérletek során a következő alapanyagokat használtuk fel: alma, meggy, burgonya és sárgarépa. Az alapanyagot először meleg levegővel szárítottuk, elérve az általunk megfelelőnek ítélt anyag-nedvességtartalmakat, majd ezután közvetlenül fagyasztva utószáritottuk. A szárítási procedúrát ezért a konvektív vagy meleg levegős módszerrel (HAD: LP306 típus,  $T=75^{\circ}\text{C}$ ,  $v=1\text{m/s}$ ) kezdtük, mert a nedvesség (szabad víz) nagy részét itt eltávolítjuk rövid idő alatt, ezzel meggyorsítva a vízleadást, a minőség nagymértékű vesztesége nélkül. A minták dehidrállását a liofilizálással (FD: Armfield FT33,  $T=16-20^{\circ}\text{C}$ ,  $p=50-90\text{ Pa}$ ) fejeztük be, ennek oka, hogy a termékben lévő maradék nedvességtartalom (kötött víz) eltávolításához kíméletes módszer kell, amely során az anyag szöveteinek roncsolása nélkül vagy kismértékű roncsolásával megy végbe a teljes vízelvonás. A kombinált szárítás fokozatai felcserélhetőek, azaz a vízelvonási művelet fagyasztva szárítással is kezdhető és a meleg levegős szárítással zárható (1. ábra).

A kutatás eredményeit megalapozó anyag és módszer részt ebben az összefoglaló tanulmányban nincs lehetőség közölni, viszont az irodalomjegyzékben feltüntetett források részletesen ismertetik.



1. ábra. Az általunk fejlesztett szárítási procedúra vonalas vázlata (Forrás: saját szerkesztés)



Az eredmények szerint a konvektív utószáritással szignifikánsan csökkent a szárítási idő az *alma* esetében, mintegy 7,1%-kal, a rendszer energia-fogyasztása pedig 8,7%-kal volt kedvezőbb a fordított megoldáshoz képest. A szárított *alma* biokémiai minősége (C-vitamin- és polifenol-tartalom) több mint 50 és 20%-kal csökkent a meleg levegős utószáritás hatására, ha a fagyasztva utószáritással összevetjük. Megállapítható, hogy a meleg levegővel történő kombinált szárítás befejezése a fagyasztva szárítási időre és az energia-fogyasztásra kedvező kivitelű, viszont a termék minősége szempontjából nem az (1. táblázat). Itt meg kell jegyezni, hogy a blansírozással (100°C, 1 min, deszt. víz) egybekötött fagyasztva elő- és konvektív utószáritás vízelvonási technológia alkalmazása megfontolandó (saját mérési eredmények alapján).

Száritási módszerek	C vitamin [mg/100g]	Polifenol [mg GA/100 g]*
Nyersanyag	5,4 <sup>a</sup>	194,45 <sup>a</sup>
FD	4,45 <sup>b</sup>	173,84 <sup>b</sup>
HAD	0,98 <sup>f</sup>	102,33 <sup>e</sup>
FD-HAD1 (csatlakozás: MR=0,5)	1,85 <sup>e</sup>	120,36 <sup>d</sup>
FD-HAD2 (MR=0,3)	2,44 <sup>d</sup>	118,49 <sup>d</sup>
HAD-FD1 (MR=0,5)	4,09 <sup>bc</sup>	151,55 <sup>c</sup>
HAD-FD2 (MR=0,3)	3,82 <sup>c</sup>	143,56 <sup>c</sup>

1. Táblázat. A szárítási eljárások hatása a végtermék (*alma*) biokémiai értékeire

Megjegyzés: <sup>abc</sup> A felíratok jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként,  $p \leq 0,05$ .

\*GA=Galluszsav ekvivalensben kifejezve (Forrás: saját szerkesztés, [4])

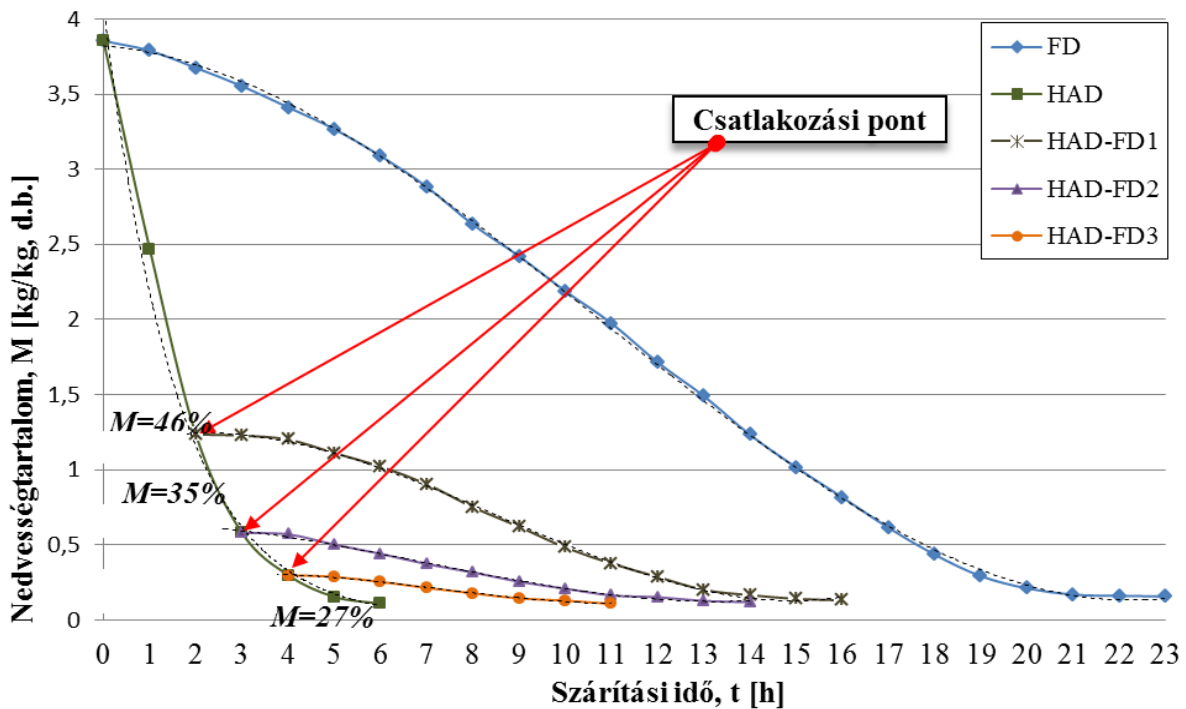
Az 1. táblázatban látható, hogy az emberi szervezet számára szükséges beltartalmi alkotók a dehidráció hatására drasztikus mennyiségben csökkennek. A nyersanyagban (*alma*) található C-vitamin és polifenol-tartalom a fagyasztva szárítás (FD) hatására 17,6% és 10,6%-kal csökkent, ami igen kedvezőnek mondható. A kombinált szárítási változatok közül, a meleg levegős szárítással végződő módszernél (FD-HAD1-2) a C-vitamin és a polifenol-tartalom a fagyasztva szárításhoz (FD) képest 58,4%, 45,2% és 30,7%, 31,8%-kal csökkent. Viszont a meleg levegős elő- és fagyasztva utószáritással (legkedvezőbb: HAD-FD1) kezelt *alma* beltartalmi értékei a fagyasztva szárításhoz (FD) képest csak 8,1% és 12,8%-kal degradálódott.

Ezek mellett azt is megalapítottuk, hogy a szárítási módszerek csatlakozási pontja lényegesen befolyásolja a szárítási időt. A meleg levegős szárítás kezelési idejének növelésével (2-3-4 h) a szárítási idő és a végtermék minősége arányosan csökken [4].

A kísérleti eredményeink emellett egyértelműen igazolják, hogy a konvekciós előszáritás kezelési ideje nem haladhatja meg a 4 órát, 60-80°C-os szárítóközeg hőmérséklet és 1m/s légsebesség felett. A 60°C alatti szárítólevegő hőmérséklet alkalmazásánál a szárítási idő növekedésével kell számolnunk.

A *meggy* minták szárítási kísérleteinél is a fentiekhez hasonlóan megállapíthatjuk, hogy a konvektív utószáritás nem kedvező a késztermék minőségére. Bár a szárítási időt tekintve 12,5%-kal alacsonyabb értéket mértünk a meleg levegős utószáritásnál, mint a fagyasztva utószáritásnál. A vizsgált fizikai jellemzőket tekintve (szín, textúra és rehidráció) szignifikánsan jobb eredményt kaptunk, mint amikor a meleg levegős eljárással fejeztük be a kombinált szárítási folyamatot. A meleg levegős- és a fagyasztva utószáritott anyagok texturája, színe és a visszanedvesítési paraméterei számszakilag az alábbi értékekkel változtak a kontroll (FD)-hoz képest: +30.8%, +9.6%; +27.37%, -5.2% és +27.6%, -45,5% (A „+” jel az értékcsökkenést jelzi.) [5].

A 2. ábra szemlélteti a dehidrálnási módszerek szárítási görbéit és a csatlakozási pontokat (a pontok jelölik azt a helyet a görbén, ahol a fagyasztva szárítás becsatlakozik, mint utószárítás – ún. második fokozat) a *burgonya* vízelvonása esetében. A burgonyaminták kétfokozatú szárításánál az eredményekből kiderült, hogy - a legkedvezőbb receptúra - a HAD-FD2 (3 órás előszárítás a konvektív szárítóban és 11 órás utószárítás a fagyasztva szárítóban) a szárítás időt 39,1%-kal, az energia-felvételt 46%-kal, a minőségi értéket (texturális tulajdonság) pedig 25,7%-kal csökkentette a hagyományos fagyasztva szárításhoz (kontroll) képest [6].



2. ábra. Fagyasztva-, meleg levegővel- és kombinált módszerrel szárított burgonya kockák szárítási görbéje és az azokra illesztett empirikus modellek  
(Forrás: saját szerkesztés, [6])

A *sárgarépa* szárítása során a legkedvezőbb szárítási idővel és energiafogyasztással 4 órás konvektív előszárítás és 8 órás fagyasztva utószárítás (HAD-FD3) rendelkezik. A fizikai jellemzőket tekintve (keménység-textúra, szín és rehidráció) a 2 órás előszárítás a konvektív szárítóban és liofilizálással (17 órás utószárítás) előállított sárgarépa szárítmány megközelítette a fagyasztva szárított (FD) sárgarépa minőségét. Az egyfokozatú FD minták felületi keménységéhez, színéhez és rehidrációs képességéhez hasonlítva 14,5%, 18,7% és 11,6% -os értékcsökkenés volt tapasztalható. Mindezen eredményeket figyelembe véve, a 4 órás konvektív elő- és a 8 órás liószárítás (HAD-FD3) 60,4%-kal csökkentette a fagyasztva szárítás energia-felvételét, de a késztermék minősége a kombinált módszerek közül a legkedvezőtlenebb volt, ezzel ellentétben a 2 órás konvektív elő- és 17 órás fagyasztva szárítási módszerrel (HAD-FD1) gyártott termék kiválóan mondható, viszont a fagyasztva szárítás energia-fogyasztását mindösszesen 28,2%-kal minimalizálta. A 2. táblázat összefoglalja a kombinált eljárás hatását a szárítási időre és a rendszer villamosenergia fogyasztására (sárgarépa esetében) [3].

A kombinált dehidrálnási szárítási görbéire illesztett vékonyrétegű matematikai modellek (exponenciális és polinomiális) pontosan lekövezték ( $R^2=0,99$ ) a vízelvonás görbéinek lefutását [3].

Szárítási módszerek	Konvektív szárítási idő [h]	Fagyasztva szárítási idő [h]	Teljes szárítási idő [h]	Megtakarítás a szárítási időben [%]	Energia-fogyasztás [kWh]
FD	-	25	25 <sup>e</sup>	-	13,5 <sup>e</sup>
HAD	7	-	7 <sup>a</sup>	-	1,78 <sup>a</sup>
HAD-FD1	2	17	19 <sup>d</sup>	24 <sup>c</sup>	9,69 <sup>d</sup>
HAD-FD2	3	12	15 <sup>c</sup>	40 <sup>b</sup>	7,24 <sup>c</sup>
HAD-FD3	4	8	12 <sup>b</sup>	52 <sup>a</sup>	5,34 <sup>b</sup>

2. Táblázat. A szárítási eljárások hatása a kezelési időre és az energia-felvételre  
Megjegyzés: <sup>abc</sup> A felíratok jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként,  $p \leq 0,05$ . (Forrás: saját szerkesztés)

## 2.2. Az infravörös-fagyasztva kombinált szárítás kutatási eredményei (NYF)

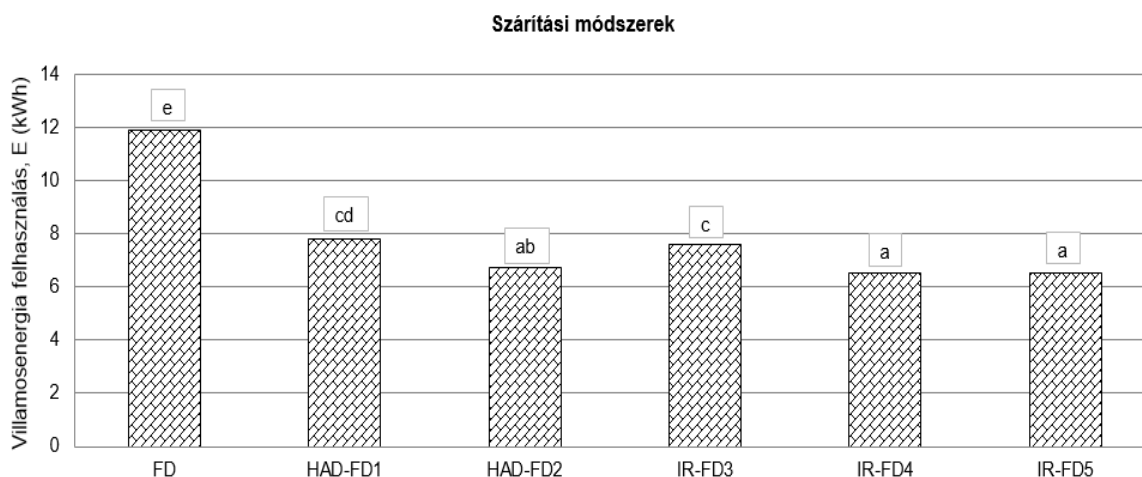
Az infravörös szárítás elvéről néhány szót: Az infravörös sugarak a sugárgenerátorból a besugárzott objektumig terjedő utat a másodperc milliomod része alatt teszik meg; mivel nem ütköznek a határréteg ellenállásába, *mint a konvektív szárításnál*, ezek a sugarak biztosítják az anyag hatékony felmelegítését az atomok és molekulák mozgásának intenzívebbé tétele révén a felületi rétegekben. Az anyag felmelegítése ekkor nemcsak a felületről befelé történik, mint a klasszikus esetben (meleg levegős hőközlésnél), hanem belülről kifelé is. A hősugarak egy része az anyag felületéről visszaverődik, más része az anyag felületén vagy belsejében elnyelődve hővé alakul át [9]. Mindezek tudatában gyorsabb anyagszáradást és kedvezőbb végtermék minőséget várunk el az infravörös elő- vagy utószárítástól.

Jelenleg az infravörös és a fagyasztva szárítás kombinációjának kidolgozása még az első fázisokban van. A kísérletek során már az alábbiakra fény derült:

- Az infravörös előszárításnak van létjogosultsága, mert az infravörös utószárítás kedvezőtlen a liofilizálás által kiszárított anyagra (felületi barnulás), mely a csatlakozásnál 10-40%-os nedvességtartalmi (wb) állapotban van.
- Az infravörös emitterek (sugárgenerátor) által előállított szárítási hőmérséklet 60-70°C-nál nagyobb nem lehet, mert megégeti a vizsgálat alá vont anyagot. Korábbi tanulmányokra hivatkozva ennek valószínűsíthető oka, hogy az emitterek és az anyag közötti távolság alacsony (10-15 cm), ami az általunk alkalmazott/kialakított berendezésben nem változtatható [12].
- Az infravörös előszárítás ideje nem haladhatja meg az 5-6 percet, mivel a minták felületén elszíneződés következik be. Természetesen mindez az anyagtól és az anyagvastagságtól is függ.

A továbbiakban összefoglaljuk azokat az infravörös-fagyasztva szárítással kapcsolatos eredményeket, mely során az alapanyag az *Idared* alma (*Malus domestica* L.) volt [7]. Szárítási paraméterek: hőintenzitás az infravörös szárítóban 5 kW/m<sup>2</sup>, a sugárzás hullámhossza 2.4-3 μm, liofilizálás: T<sub>szárítókamra</sub>=20°C, p=85-90 Pa.

Megfigyelhető a 3. ábrán, hogy a fagyasztva szárítás (FD) energia felvétele a kezelés alatt 11.88 kWh volt, míg mindezt elvégezve a konvektív előszárítással HAD-FD1 (60°C, 3h) és HAD-FD2 (80°C, 3h) 7.78 és 6.7 kWh-t mértünk.



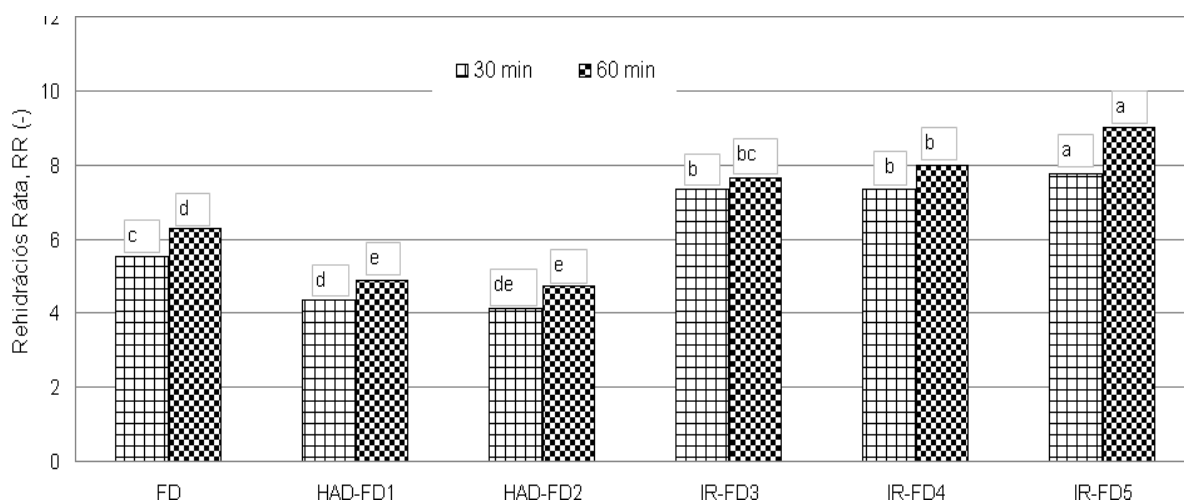
3. ábra. A különböző szárítási módszerek villamosenergia felvétele

Megjegyzés: <sup>abc</sup> A felíratok jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként,  $p \leq 0,05$  (Forrás: saját szerkesztés)

Az infravörös elő- és fagyasztva utószárításnál mért villamosenergia felhasználás értékei: IR-FD3 (60°C, 3 min) – 7.58, IR-FD4 (60°C, 4 min) – 6.52 és IR-FD5 (60°C, 5 min) – 6.53 kWh. Az eredményekből jól látható, hogy a 4 és 5 perces infravörös előkezelés szignifikánsan csökkentette az almaszárítás (FD) energia-felvételét, mintegy 45.3%-kal. Az oszlopokon feltüntetett szignifikancia értékek jelzik a fenti megállapításokat.

Az elvégzett ellenőrző vizsgálatokkal kimutatható, hogy az általunk fejlesztett hibrid szárítási eljárások, milyen hatással vannak a végtermék fizikai jellemzőire (4. ábra és 3. táblázat).

A hibrid technikával kezelt almakockák vízfelvevő-képességét nagyító alá véve, az infravörös-fagyasztva szárított mintáknál sikerült a legjobban (4. ábra). Az IR-FD5 módszerrel kezelt almakocka rehidrációja 9.01-es értékkel, 60 perces áztatási idő után 43.7%-kal több desztillált vizet ( $T_{\text{víz}}=22^\circ\text{C}$ ) szívott magába, mint a liofilizált anyag. A fagyasztva szárított (FD) minták relative magas rehidrációja (RR) az elvárásoknak megfelelően alakult, viszont a meleg levegős-fagyasztva szárított alma alul multa mindezt. Ez köszönhető a viszonylag magas szárítóközeg hőmérsékletnek. Az ábrán megfigyelhető továbbá, hogy a 30 percről 60 percre növelt áztatási idő magasabb vízfelvételt eredményezett.



4. ábra. Fagyasztva- és kombinált szárítással kezelt almaminták visszanedvesítési értékei

Megjegyzés: <sup>abc</sup> A felíratok jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként,  $p \leq 0,05$ . (Forrás: saját szerkesztés)

A különböző vízelvonási eljárásokkal kezelt alma texturális értékeit összegzi a 3. táblázat.

Erő	Nyersanyag	FD	HAD-FD1	HAD-FD2	IR-FD3	IR-FD4	IR-FD5
F (N)	4.70 <sup>ab</sup>	4.13 <sup>a</sup>	19.67 <sup>e</sup>	22.33 <sup>g</sup>	14.14 <sup>c</sup>	19.81 <sup>ef</sup>	17.51 <sup>d</sup>

3. Táblázat. A fagyasztva- és a hibrid szárítással kezelt almakockák texturális értékei  
Megjegyzés: <sup>abc</sup> A felíratok jelzik a szignifikáns különbséget, soronként,  $p \leq 0,05$ . (Forrás: saját szerkesztés)

Korábbi eredményeinket alátámasztva a liofilizált (FD) almaminták alacsony texturális értékkel – felületi ellenállással jellemezhetőek (4.13N), még a nyersanyag texturális paramétereinél is kedvezőbbek. Ennek oka, hogy a fagyasztva szárítás alatt a termék szövetei porózussá, likacsos és rugalmas szerkezetűvé válnak. Az IR-FD3 és IR-FD5 termékek felületi ellenállásai alacsonyabb értéket vettek fel, mint a HAD-FD1 és HAD-FD2 módszerrel kezelt terméké. A hibrid szárítással előállított termékek viszonylag magas texturális értéke, annak köszönhető, hogy a meleg levegős-, illetve az infravörös előszárítás során alkalmazott szárítási hőmérséklet hatására a minták felülete kismértékben be barnult, keményedett.

Ezt támasztják alá a spektrofotometriás színmérések eredményei is. Minden esetben a kontrol minta a nyersanyag volt. Ennek fényében a teljes színeltérés ( $\Delta E$ ) a következőképpen alakult: FD – 5.01, HAD-FD1 – 9.57, HAD-FD2 – 11.5, IR-FD3 – 6.45, IR-FD4 – 6.1, IR-FD5 – 6.49. A teljes színeltérést elsősorban az ún. világossági tényező (L) befolyásolta. Ha az „L” tényező közelíti a nulla értéket, azt jelenti, hogy a kezelt minta felülete barnult. A HAD-FD1-2 módszerrel kezelt almaminták magasabb színeltérése az „L” tényező csökkenésének köszönhető. A liofilizált (FD) és az infravörös-fagyasztva szárított (IR-FD3-5) alma „L” tényezője között nem volt szignifikáns eltérés, viszont a „b” sárgasági tényező értéke változott (emelkedett az IR-FD esetében).

### 3. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Ebben az összefoglaló műben olyan kombinált szárítási eljárásokkal kapcsolatos kutatási eredményeket közöltünk, melyek méltán alkalmasak arra, hogy a magas üzemeltetési költségű, de kíméletes fagyasztva szárítást kiváltsák, vagy ígéretes alternatívái legyenek. Jelen ismereteink szerint pl. a mikrohullámú-fagyasztva szárítás kutatása olyan szinten áll, hogy már elkészült a prototípus és az ipari alkalmazása is elindult [13]. A meleg levegős előszárítással 30-50% közötti megtakarítást érhetünk el az energia-fogyasztásban a fagyasztva szárításhoz képest, viszont a szárítási idő csökkenésével egyenes arányosan csökken a végtermék minősége.

Véleményünk szerint – figyelembe véve az infravörös szárítással kapcsolatos kedvező eredményeket – ígéretes módszernek tűnik a kétfokozatú infravörös elő- és fagyasztva utószárítás kidolgozása, mert nagyobb a szárítási ráta és egyenletesebb az anyagszáradás, illetve kedvezőbb paraméterekkel bíró termékminőség jellemzi a meleg levegős előszárításhoz képest. Emellett meg kell jegyezni, hogy ez a hibrid szárítási technológia még nem teljesen kidolgozott. A kutatócsoportunk ezért a jövőben több élelmiszeripari termékre kívánja kidolgozni az infravörös előkezelés szárítási paramétereit és az előállított végtermék minőségi vizsgálatát (beltartalmi és mikroszkópos feltérképezés).

### 4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AKTAS, T., FUJI, S., KWANO, Y., YAMAMOTO, S., *Effects of pretreatments of sliced vegetables with trehalose on drying characteristics and quality of dried products.* Food and Bioproducts Processing, 2007., 85(3), pp. 178-183.

- [2] **ANTAL, T.**, *A fagyasztás, mint előkezelés hatása a szublimációs szárítás működési idejére és a végtermék minőségére.* Élelmiszer-tudomány Technológia, 2014., 68(1), pp. 4-11.
- [3] **ANTAL, T.**, *A kombinált (konvektív előszárítás és fagyasztva utószárítás) vízelvonási eljárás szárítási- és a végtermék fizikai jellemzőinek vizsgálata.* Agrártudományi Közlemények (Acta Agraria Debreceniensis), 2014., 56, pp. 5-12.
- [4] **ANTAL, T., KERÉKES, B., SIKOLYA, L., SZÖLLŐSI, I.**, *New possibilities in food preservation.* XIV. Nemzetközi Tudományos Napok, Hungary, Gyöngyös, 27-28. March, 2014., p. 85-93.
- [5] **ANTAL, T., SIKOLYA, L., KERÉKES, B.**, *Quality evaluation of different pre-treatments and combined convective-freeze drying of sour cherry (Prunus cerasus L.).* Progress in Agricultural Engineering Sciences, 2014., 10, pp. 17-33.
- [6] **ANTAL, T., SZILÁGYI, A., STRANKULA, K., PLÓSZ, G.**, *Kombinált szárítási eljárás matematikai modellezése és energia-fogyasztásának vizsgálata.* Tavaszi Szél Konferencia 2014, Debreceni Egyetem, p. 15-26.
- [7] **ANTAL, T.**, *Comparative study of three drying methods: freeze, hot air-assisted freeze and infrared-assisted freeze modes.* Agronomy Research, 2015., 13(4), pp. 863-878.
- [8] **BERMÚDEZ-AGUIRRE, D., TAPIA, M.S., WELTI-CHANES, J.**, *Specialty Foods.* In: Food Drying Science and Technology: Microbiology, Chemistry, Applications. Chapter 19. DEStech Pub., Inc., USA., 2008., pp. 447-458.
- [9] **BURITS, O., BERKI, F.**, *Zöldség és gyümölcs-szárítás,* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1974., pp. 119.
- [10] **KROKIDA, M. K., KARATHANOS, V.T., MAROULIS, Z.B.**, *Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products.* Journal of Food Engineering, 1998., 35, pp. 369-380.
- [11] **ROTHER, M., STEIME, P., GAUKEL, V., SCHUCHMANN, H.P.**, *How to meet the freeze drying standard in combined drying processes: pre and finish drying of carrot dice.* Drying Technology, 2011., 29, pp. 266-277.
- [12] **ZHU, Y., PAN, Z.**, *Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating.* Journal of Food Engineering, 2009., 90, pp. 441-452.
- [13] **Internetes forrás:** <http://www.pueschner.com>

# ÉPÜLETEK ENERGIAFOGYASZTÁSÁNAK VIZSGÁLATA AZ ENERGY PLUS SZOFTVER HASZNÁLATÁVAL

## EXAMINATION OF BUILDING'S ENERGY CONSUMPTION APPLYING ENERGY PLUS SOFTWARE

**Bánóczy Emese**

PhD hallgató  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar  
Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék  
[emese.banoczy@eng.unideb.hu](mailto:emese.banoczy@eng.unideb.hu)

**Kivonat:** Napjainkban az összes energiafogyasztás jelentős része az épületekben történik. Ezért az épületek jelentős energiacsökkentési potenciált hordoznak magukban. Magyarországon, hasonlóan az európai átlaghoz az épületállomány jelentős része a '60-as évek előtt, illetve 1960-1990 között épült. Minthogy az épületek kora jelentős mértékben meghatároz egyéb paramétereket is az épülettel kapcsolatosan, mint például az alkalmazott építőanyagok, a falszerkezet, a használt fűtési- illetve hűtési rendszerek, a nyílászárók, stb., ezért a régi épületek felújításánál ezek javításával, cseréjével érhető el energia megtakarítás. Ebben a tanulmányban különböző kialakítású, különböző anyagokból épült és különböző fűtési rendszereket használó épületek esetét tekintem át. Ezen különböző tulajdonságú épületeket szimuláció segítségével, az Energy Plus szoftver használatával modellezem.

**Kulcsszavak:** energiafogyasztás, modellezés, szimuláció, EnergyPlus

**Abstract:** Nowadays a significant part of the total energy consumption is in buildings. Therefore, significant energy reduction potential is in there. In Hungary, similarly to the European average the significant part of buildings were built before 1960 and between 1960-1990. As the age of the building determines further parameters about the building, such as applied building materials, the wall structure, the applied heating -, cooling-, and air conditioning system, fenestration and so on. Thus in the case of modernization of old buildings with replace and retrofit of the above mentioned parameters can be achieved energy savings. In this study I examined different shape, building material and different applied heating systems of buildings. In this research I applied Energy Plus for modeling.

**Keywords:** energy consumption, modeling, simulation, EnergyPlus

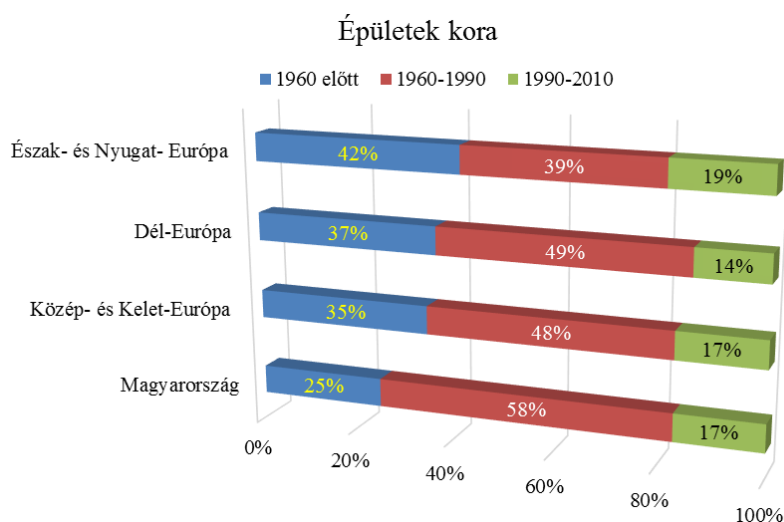
### 1. BEVEZETÉS

Napjainkban az összes energiafogyasztás megközelítőleg 40%-át épületekben használjuk el. Az Európai Unió nagy hangsúlyt fektet az energiafogyasztás kérdéskörére, különös tekintettel az épületenergetikára.

2002-ben bevezetésre került az Európai Unió és Tanács által kiadott, az épületek energiateljesítményéről szóló 2002/91/EK irányelv. A tagállamok részére előírja, hogy dolgozzanak ki olyan jogszabályokat és rendeleteket, amelyekkel elérhető, hogy a direktívában foglalt követelmények hatályba léphessenek. Magyarországon, ennek eredményeként került implementálásra a 7/2006 TNM rendelet. A hazai és EU szabályozások az épületekre, a hőtermelő berendezéseikre, a klímaberendezéseikre és a szellőztetőrendszereikre vonatkoznak. Az új épületenergetikai szabályozás célja, hogy ösztönözze az épületek energetikai minőségének javítását, különös tekintettel a fenntartható fejlődésre és a költséghatékonyságra, az új energetikai követelmények bevezetésével, az épületek energetikai minőségének tanúsításával, valamint a kazánok és klímaberendezések időszakos felülvizsgálatával. Az összesített energetikai jellemző, tartalmazza az épület transzmissziós hőveszteségén és sugárzási hőnyereségén túlmenően az épületgépészeti

rendszerek veszteségeit és önfogyasztását, a használati melegvízfogyasztás, világítás energiaigényét, valamint az aktív szoláris és fotovoltaiikus rendszerekből és a kapcsolt energiatermelésből származó nyereségeket is.

Az épületek kora szoros kapcsolatban áll az épületek energiafogyasztásával, valamint az épületekkel kapcsolatos további paramétereket határoz meg. Az épületek kor szerinti megoszlását vizsgálva Európán belül, az állapítható meg, hogy Dél-Európa és Közép-Európa átlagértékei megközelítőleg megegyeznek. Azonban Észak- és Nyugat-Európa jelentősebb eltérést mutat, ugyanis több épületet építettek az 1960-as évek előtt, illetve 1990 és 2010 között. Ezáltal az 1960 és 1990 között építettek sávja leszűkült. Magyarországon hasonlóan a Közép- és Kelet-európai átlaghoz az 1960 és 1990 között épült épületek száma a legjelentősebb, azonban eltérést figyelhetünk meg ugyanis ez a sáv a Közép- és Kelet-európai átlaghoz képest jelentősebb. Az épületek kor szerinti megoszlását mutatja az 1. ábra.



1. ábra. Az épületek kora (saját szerkesztés [1] alapján)

## 2. ÉPÜLETMODELLEK VIZSGÁLATÁNAK FOLYAMATA ÉS AZ ALKALMAZOTT SZOFTVEREK

A kutatás során az épületek modellezésére ingyen elérhető szoftverek kerültek alkalmazásra. Az épületmodellek vizsgálatának folyamata azt a logikát követte, hogy egy épületmodell elkészítése után különböző scenáriók kerülnek megvizsgálásra energiafogyasztás szempontjából és ezek közül a legoptimálisabb kiválasztható.

Az épületek modellezése során a kutatásban elsőként az épület geometria létrehozása a feladat. Az épület geometria ebben a tanulmányban a SketchUp Make nevű szoftverrel került kialakításra. A programhoz letölthető egy bővítmény (Legacy Open Studio Plug-in), amely alkalmazásával az épület geometria kimenete olyan kiterjesztésű fájlra alakítható, amely a teljes vizsgálati folyamat következő állomásának bemeneteként szolgál, ahogyan ezt a 2. ábra is mutatja.

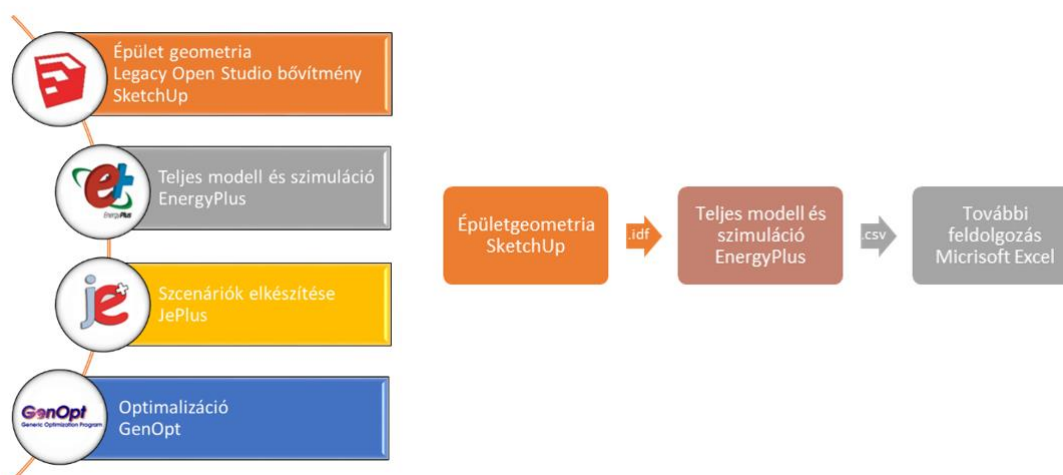
A teljes épület modell és a szimuláció az EnergyPlus szoftver felhasználásával készül, amely egy energia elemző és hőtermelést szimuláló szoftver. Alkalmazható az épületgépészeti eszközök, a különböző belső terhelések és az épületszerkezet egyidejű szimulációjára. Egy teljes épület, vagy az épület egy része is vizsgálható. Eredményként részletes energiafogyasztási adatokat kapunk, amelyek további feldolgozásra szorulnak, mert az eredményeket a szoftverrel közvetlenül nem jeleníthetjük meg grafikusán.



A teljes épület modell elkészítése után különböző scenáriók szükségesek annak érdekében, hogy egy meglévő épület esetén különböző felújítási lehetőségek közül választhassunk, illetve tervezési fázisban lévő épületek esetében energiafogyasztás szempontjából a legoptimálisabb koncepció kerüljön kiválasztásra. A scenáriók elkészítése a JePlus program segítségével történik.

A scenáriók közül a legoptimálisabb kiválasztása a GenOpt szoftver alkalmazásával valósítható meg, költség szempontokat is figyelembe véve. Költség szempontok közül a beruházási és az üzemeltetési költség kerül figyelembe vételre.

Az épületmodell vizsgálatának folyamatát a 2. ábra mutatja.



2. ábra . Az épületmodellek vizsgálatának folyamata

### 3. SZIMULÁCIÓS PÉLDÁK BEMUTATÁSA

A következőkben néhány esettanulmány bemutatására kerül sor. Elsőként rávilágítok az épületek különböző elrendezéseinek az energiafogyasztásra gyakorolt hatásaira, majd különböző fűtési rendszerek esetén az energiafogyasztás alakulását, illetve összetételét vizsgálom. Harmadikként egy családi ház validációs esetét mutatom be, végül néhány scenárió vizsgálok „kockaház” szerkezeti változtatásainak esetére.

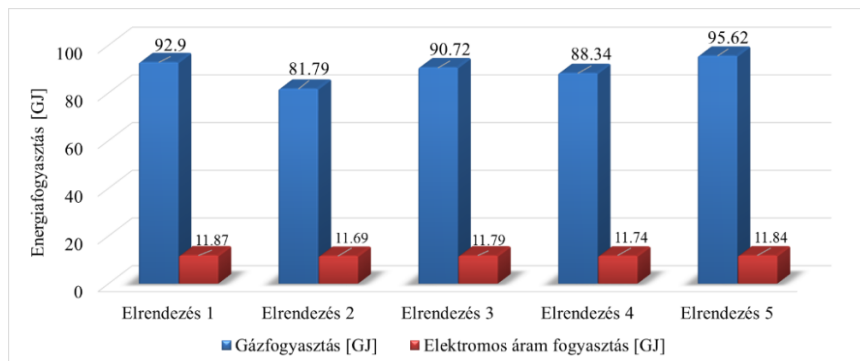
#### 3.1. Különböző elrendezések vizsgálata

Ebben a részben 5 tipikus magyar családi ház elrendezés került vizsgálatra, melyet a 3. ábra mutat. Az 5 épület összterülete, illetve az egyes helyiségek területe külön-külön is megegyezett. Továbbá nem történt változás a vizsgálat során szerkezeti paraméterekben, az épületgépészeti paraméterekben és a fogyasztási szokásokban sem. Kizárólag az elrendezés változott. Ennek eredményeit mutatja be a 4. ábra.

A legjobb elrendezésnek az energiafogyasztás szempontjából a 2 és 4 elrendezések bizonyultak, azaz az emeletes és a kockaház kialakítás, azok kompakt formája miatt. Legrosszabbnak a „T” elrendezés adódott. A 4. ábrán látható az éves gázfogyasztás változása, továbbá csekély változás figyelhető meg az elektromos áram fogyasztásban is, melyet tovább vizsgálva megállapítható, hogy a fűtési rendszer szivattyújának energiafogyasztásából származik, tehát összefügg az egyes elrendezések közötti fűtési energia különbséggel.



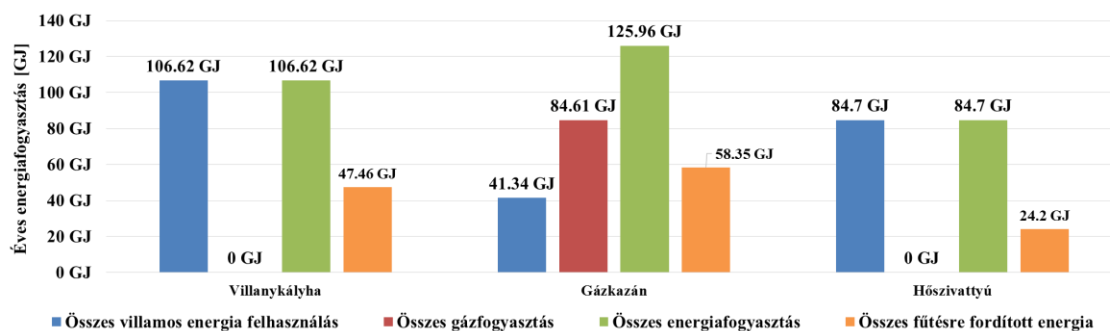
3. ábra : Különböző elrendezések



4. ábra : A különböző elrendezések energiafogyasztása

### 3.2. Különböző fűtési rendszerek vizsgálata

Ebben az alfejezetben ugyanazon elképzelt családi ház energiafogyasztását vizsgáltam 3 különböző fűtési lehetőség szempontjából, az épület többi paraméterének változatlansága mellett. A 3 fűtési rendszer hőfejlesztője: villanykályha, gázkazán és hőszivattyú. Egy éves szimuláció energiafogyasztási eredményeit az 5. ábra mutatja. Legkedvezőbb esetnek a hőszivattyúval való fűtés bizonyul energiafogyasztás szempontjából, azonban meg kell jegyezni, hogy az energiaköltségeket illetően a magyar gyakorlat szerint egy családi házban nem kifizetődő a villamos árammal történő fűtés.



5. ábra : Különböző fűtési rendszerek vizsgálata

### 3.3. Családi ház fogyasztási szokásainak validálása

Ebben az alfejezetben egy családi ház fogyasztási szokásainak validálása kerül bemutatásra. A vizsgálat során egy olyan családi ház került modellezésre (6. ábra), amellyel kapcsolatosan mind az épületszerkezeti, mind az épületgépészeti, mind a fogyasztási szokások ismertek és elérhetők. Továbbá az éves gázfogyasztás, az éves villamos energia fogyasztás valamint a HMV<sup>1</sup> fogyasztási adatok is rendelkezésre állnak. Az épületmodell minden tekintetben megfelel az eredeti épületnek.

Az 1. táblázat tartalmazza a szimulációs és mért értékek összehasonlítását. A táblázatból jól kitűnik, hogy az egy éves szimulációból nyert értékek jól közelítik az éves mért átlagértékeket, azonban kismértékű eltérés megfigyelhető, melyek származhatnak:

- mért értékekből, melyek az elmúlt 10 év átlag értékei
- a használt időjárás fájlból, hiszen ez több év átlag értékén alapszik
- a tényleges menetrendek néha eltérhetnek az átlagtól (pl.: huzamosabb otthon tartózkodás esetén)



6. ábra : A vizsgált épület modellje

Vizsgált mennyiségek	Szimulációs értékek [GJ]	Mért értékek [GJ]
Gázfogyasztás	93,29	95,1
Villamos energia fogyasztás	12,1	10,8
HMV fogyasztás	126,14	120

1. táblázat: Szimulációs és mért értékek összehasonlítása

### 3.4. „Kockaház” scenáriók

A JePlus programmal további paraméteres vizsgálódás folytatható, amely segítségével különböző scenáriók modellezhetők. Ennek végeredményeként kiválasztható a számunkra legoptimálisabb megoldás egy épület felújítása során.

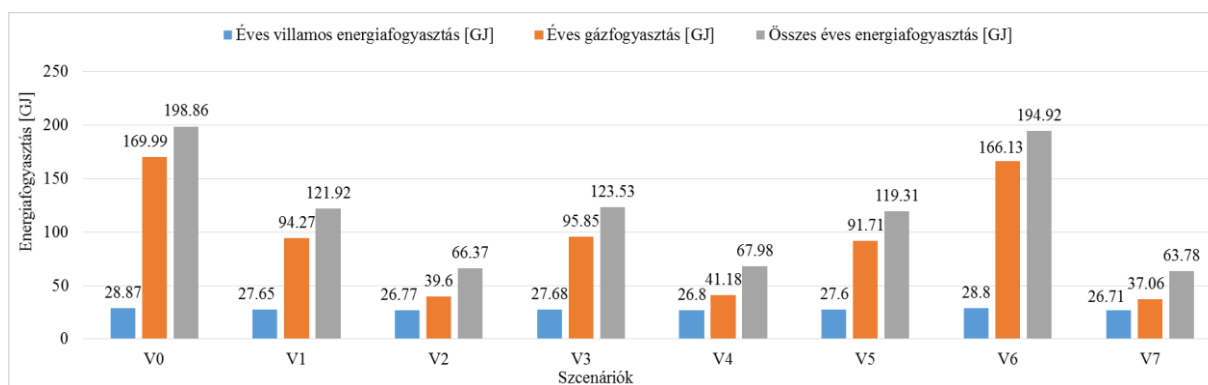
Jelen tanulmányban a 3.1 fejezetben bemutatott kockaházra állítottam fel különböző scenáriókat, melyeket modelleztem is. Az alap épület (V0) egy szigetetlen, 2 W/m<sup>2</sup>K hőátbocsátási tényezőjű nyílászárókkal ellátott épület. Az egyes scenáriókat a 2. táblázat mutatja be.

A scenáriók eredményeit a 7. ábra foglalja össze. Jól látható, hogy a V2, V4 és V7 felújítási lehetőségekkel érhetünk el jelentős energia megtakarítást. Továbbá megfigyelhető az is, hogy az épület szerkezetének szigetelése sokkal nagyobb hatással van az energia megtakarításra, mint a nyílászáró csere. Megállapítható az is, a szimulációk alapján, hogy egy jól megválasztott felújítással az éves energiafogyasztás akár harmad részre is csökkenhet.

<sup>1</sup> HMV:Használati melegvíz

Verziószám	Ablak U tényező [W/m <sup>2</sup> K]	Szigetelési vastagság [m]
V1	1	0.05
V2	1	0.2
V3	2	0.05
V4	2	0.2
V5	1	0.05
V6	1	0
V7	1	0.2

2. táblázat: Verziók



7. ábra : Szenáriók bemutatása

#### 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott programok és a bemutatott példák alapján megállapítható, hogy a szimulációkkal történő vizsgálatok objektivitást nyújtanak. Alkalmazható felújítási lehetőségek közül a leoptimalisabb kiválasztására, továbbá egy fenntartható, gazdaságos üzemeltetésű új épület tervezésére. A bemutatott programok együttes használatával és összefogásával épületek energiafogyasztásának feltérképezésére, a kiugró energiafogyasztás okának felkutatására és energiaracionalizálási feladatok megoldására alkalmas informatikai rendszer hozható létre, amely alkalmas lehet szimuláción alapuló energetikai tanúsító rendszer létrehozására is.

#### 5. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] **ECONOMIDOU, M., ATANASIU, B., DESPRET, C., MAIO, J., NOLTE, I., RAPF, O., LAUSTSEN, J., RUYSEVELT, P., STANIASZEK, D., STRONG, D., ZINETTI, S.,** *Building Performance Institute Europe (BPIE), Europe's buildings under the microscope – A country-by country review of the energy performance of buildings*, ISBN: 9789491143014, 2011.,
- [2] **ADAMKO, E., SZEMES P. T., NIITSUMA, M.,** *Investigation on the heating system of the Mechatronics Research Centre Building using OLAP technology*, Environmental Engineering and Management Journal, vol 13., pp 2733-2742, 2014
- [3] 7/2006 (V.24) TNM Ministerial Decree, Hungary, 2006
- [4] EnergyPlus TM, Guide for module developers, online: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/moduledeveloper.pdf>

- [5] EnergyPlus TM, Input-Output Reference – The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output, online:  
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/inputoutputreference.pdf>