MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2018

KONFERENCIA ELŐADÁSAI

Szolnok, 2018. május 31.

Szerkesztette:
Edited by

Dr. Bodzás Sándor
az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Elnöke

Dr. Antal Tamás
az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Titkára

Kiadja: **Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága**

ISBN 978-963-7064-37-1

Debrecen 2018

A konferencia szervezői:

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

a Nemzeti Közszolgálati Egyetem Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar Katonai Repülő Intézete

A konferencia fővédnöke:

Dr. Palik Mátyás
Intézetigazgató

A konferencia elnöke:

Dr. Bodzás Sándor
az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Elnöke

A Konferencia Programbizottsága		
Dr. Palik Mátyás	intézetigazgató, egyetemi docens	Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katonai Repülő Intézet
Dr. Bodzás Sándor	főiskolai docens, az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Elnöke	Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék
Dr. Antal Tamás	főiskolai docens, az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Titkára	Nyíregyházi Egyetem, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék
Dr. Szigeti Ferenc	tanszékvezető, főiskolai tanár, az MTA DAB Gépészeti Munkabizottság Elnöke	Nyíregyházi Egyetem, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék
Dr. Mankovits Tamás	tanszékvezető, egyetemi docens, az MTA DAB Gépészeti Munkabizottság Társelnöke	Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék
Dr. Dezső Gergely	főiskolai tanár, az MTA DAB Gépészeti Munkabizottság Titkára	Nyíregyházi Egyetem, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék
Dr. Kovács Imre	tanszékvezető, főiskolai tanár, az MTA DAB Építési Munkabizottság Elnöke	Debreceni Egyetem, Építőmérnöki Tanszék
Kántor Anita	tanársegéd, az MTA DAB Építési Munkabizottság Titkára	Debreceni Egyetem, Építészmérnöki Tanszék
Dr. Palcsu László	tudományos főmunkatárs, az MTA DAB Hidrológiai Munkabizottság Elnöke	MTA Atommagkutató Intézet
Dr. Szűcs Péter	dékán, egyetemi tanár, az MTA DAB Hidrológiai Munkabizottság Társelnöke	Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet
Dr. Buday Tamás	adjunktus, az MTA DAB Hidrológiai Munkabizottság Titkára	Debreceni Egyetem, Ásvány- és Földtani Tanszék
Klenóczky Károly	területi igazgató, az MTA DAB Infrastruktúra Fejlesztési Munkabizottság Elnöke	Magyar Közút Kht., Területi Igazgatóság
Dr. Békési Bertold	egyetemi docens, az MTA DAB Repülőműszaki Munkabizottság Elnöke	Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Fedélzeti Rendszerek Tanszék
Dr. Óvári Gyula	egyetemi tanár, az MTA DAB Repülőműszaki Munkabizottság Társelnöke	Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Repülő Sárkány – hajtómű Tanszék

A Konferencia Programbizottsága		
Dr. Kavas László	tanszékvezető, egyetemi docens, az MTA DAB Repülőműszaki Munkabizottság Titkára	Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Repülő Sárkány – hajtómű Tanszék
Dr. Dudás László	egyetemi docens	Miskolci Egyetem, Alkalmazott Informatikai Tanszék
Dr. Battáné Dr. Gindert Kele Ágnes	egyetemi docens	Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék
Dr. Pálinkás Sándor	adjunktus	Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék
Dr. Kalmár Imre	főiskolai tanár	Nyíregyházi Egyetem, Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék
Dr. Turai Endre	egyetemi docens	Miskolci Egyetem, Geofizikai Intézeti Tanszék
Dr. Czédli Herta	főiskolai docens	Debreceni Egyetem, Építőmérnöki Tanszék
Dr. Hagymássy Zoltán	egyetemi docens	Debreceni Egyetem, Agrár – Műszaki Tanszék
Dr. Musinszki Zoltán	egyetemi docens	Miskolci Egyetem, Számvitel Intézeti Tanszék
Dr. Molnár Viktor	egyetemi docens	Miskolci Egyetem, Vezetéstudományi Intézet
Dr. Csanády Gábor Mátyás	főiskolai tanár	Debreceni Egyetem, Építészmérnöki Tanszék
Dr. Lámer Géza	főiskolai tanár	Debreceni Egyetem, Műszaki Menedzsment Tanszék
Dr. Kulcsár Balázs	egyetemi docens	Debreceni Egyetem, Műszaki Alaptárgyi Tanszék

A konferencia kiadvány összeállításában segítséget nyújtottak a Debreceni Egyetem Gépészmérnöki Tanszékéről:

Csonkáné Dóró Lilla ügyvivő szakértő,
Sitku Szandra ügyvivő szakértő,
Nemes Dániel demonstrátor

TARTALOMJEGYZÉK

ANTAL Tamás, CZIÁKY Zoltán, SZŐLLŐSI István
A KÍMÉLETES VÍZELVONÁS HATÁSA A SZÁRÍTOTT ANYAG BELTARTALMI ÉRTÉKEIRE **1**

BERÉNYI László
AZ ISO 14001 SZABVÁNY ELTERJEDÉSE EURÓPÁBAN **9**

BEZZEG Pál, L. SZABÓ Gábor
EGYENSÚLYI FANEDVESSÉG ÉS FŰTŐÉRTÉK TÉLEN **16**

BODZÁS Sándor
FERDE FOGAZATÚ FOGASKERÉKPÁROK SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE **25**

BUDAYNÉ BÓDI Erika, BUDAY Tamás
A GEOTERMIKUS POTENCIÁL MEGHATÁROZÁSÁNAK GYAKORLATI PROBLÉMÁI A KÖZÉP-TISZÁNTÚLI FELSŐ-PANNÓNIAI VÍZADÓK ESETÉBEN **41**

CSANÁDY Gábor Mátyás
ANTIK ZSINAGÓGÁK TÉRSTRUKTÚRÁI IZRAELBEN **49**

CSATÁRI Nándor, HAGYMÁSSY Zoltán, VÁNTUS András
TEJELŐ TEHENÉSZETEK ENERGIAHATÉKONYSÁGA HAJDÚ-BIHAR MEGYÉBEN **58**

DEÁK Dávid Péter, L. SZABÓ Gábor, BODÓ Béla
A FAN-COIL-OS HŰTÉSI FOGYASZTÓI RENDSZER VIZSGÁLATA ELTÉRŐ MUNKAKÖZEGEK ESETÉN **65**

DUDÁS László, KAPITÁNY Pálma, BENOTSMANE Rabab
KOMPLEX KAPCSOLÓDÓ FELÜLETPÁROK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ELEMZÉSE **77**

FALUDI Tamás
SZERZŐDÉSTÍPUSOKKAL TÖRTÉNŐ ELLÁTÁSILÁNC-KOORDINÁCIÓ ÖSSZEHASONÍTÓ ELEMZÉSE **84**

FARAGÓ Enikő, BUDAY Tamás, MAKAI Levente
HOMOKMINTÁK KAPILLÁRIS VÍZEMELÉSÉNEK, VÍZTARTALMÁNAK ÉS HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJÉNEK VIZSGÁLATA **92**

HAGYMÁSSY Zoltán, VÁNTUS András, CSATÁRI Nándor
PRECÍZIÓS TÁPANYAGVISSZAPÓTLÁS MŰSZAKI VETÜLETEI **99**

ILOSVAI Mária Ágnes, PEKKER Péter, KRISTÁLY Ferenc, VANYOREK László
SZUPERPARAMÁGNESES NANORÉSZECSKÉK SZINTÉZISE ÉS ALKALMAZÁSA NANOKOMPOZITOK FEJLESZTÉSE SORÁN **105**

KISS Adrienn, ZAUER Károly
A GYÖMBÉR KÉT KOMPONENSÉNEK ÚJ SZINTÉZIS LEHETŐSÉGEI **113**

KOVÁCS Zoltán, SZEGEDI Attila
KERÉKBEPATTOGÁSI JELENSÉG KIALAKULÁSÁNAK VIZSGÁLATA MEZŐGAZDASÁGI ERŐGÉPEKEN **118**

KOVÁCS Zoltán, KALMÁR Imre, LAJTOS István, SIKOLYA László, SZILÁGYI Attila
SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG MEGYE ENERGIAFOGYASZTÁSBÓL EREDŐ ÜHG KIBOCSÁTÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA **126**

KULCSÁR Balázs
A NEM ENGEDÉLYKÖTELES, MEGÚJULÓ ENERGIÁT HASZNOSÍTÓ KISERŐMŰVEK TERÜLETI ELHELYEZKEDÉSE MAGYARORSZÁGON **132**

LÁMER Géza
AZ ÉPÜLET TARTÓSZERKEZETI VÁZÁNAK MODELLEZÉSE CELLÁK SEGÍTSÉGÉVEL **140**

LÁMER Géza
FOLYTONOS ÉS DISZKRÉT MODELLEK A DEFORMÁLHATÓ SZILÁRD TESTEK MECHANIKÁJÁBAN **159**

METSZŐSY Gabriella
NEM TERMELÉSI FOLYAMATOK FEJLESZTÉSI SIKERTÉNYEZŐINEK VIZSGÁLATA **178**

MOLNÁR András, BARKÓCZY Péter, BATTÁNÉ GINDERT-KELE Ágnes, PÁLINKÁS Sándor
TERMIKUS SZÓRÁSSAL ACÉL SZERKEZETEKRE FELVITT CINK ÉS ALUMÍNIUM KORRÓZIÓÁLLÓ BEVONATOK VIZSGÁLATA ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE **186**

MOLNÁR András, KAVAS László, ÓVÁRI Gyula, FAZEKAS Lajos
A HIDEGSZÓRÁS (COLD GAS DYNAMIC SPRAYING) ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI HELIKOPTER ALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSÁNÁL **201**

MOLNÁR Viktor
A DÖNTÉSI TÉNYEZŐK KÖZÖTTI INTERAKCIÓ KEZELÉSÉNEK VIZSGÁLATA TÖBBTÉNYEZŐS DÖNTÉSI MÓDSZEREK ESETÉN **213**

MURÁNYI Klaudia
A KRIPTOVALUTÁK MŰKÖDÉSI HÁTTERE **221**

MURVAY Csanád, RADNAY László
OLDALIRÁNYÚ MEGTÁMASZTÁSOK MEREVSÉGÉNEK HATÁSA EGYSZERŰ TARTÓK KRITIKUS NYOMATÉKÁRA **226**

MUSINSZKI Zoltán
A TÁMOGATÓ TEVÉKENYSÉGEK KÖLTSÉGFELOSZTÁSI PROBLÉMÁI **234**

NEMES Dániel, BODZÁS Sándor, GÉRESI Zoltán Gergő
AUTOMATIZÁLT RETESZHORONY MEGMUNKÁLÁSI TECHNOLÓGIÁK TERVEZÉSE **241**

PÁLINKÁS Sándor, FAZEKAS Lajos, GINDERT-KELE Ágnes, JÁSZAI Zoltán István, MOLNÁR András
MELEG FÉMPORSZÓRÁSSAL FELÜLETKEZELT KULTIVÁTOR KAPÁK VIZSGÁLATA TALAJMŰVELÉS UTÁN **248**

PREKOB Ádám, SÁNDOR Csaba, SIKORA Emőke, PEKKER Péter, KRISTÁLY Ferenc, VANYOREK László
IPARI KOROM KOLLOIDKÉMIAI ÉS MORFOLÓGIAI JELLEMZÉSE **252**

RAVAI NAGY Sándor, SZIGETI Ferenc, VARGA Gyula
FELÜLETI ÉRDESSÉG VIZSGÁLATA IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSÁNÁL **259**

ROMÁN Krisztina, ROMÁN László
ÜVEGSZÁL ERŐSÍTÉSŰ PVC KOMPOZITOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK MEGHATÁROZÁSA **268**

ROMÁN Krisztina, ZSOLDOS Gabriella
PVC/KUKORICACSUTKA LISZT KOMPOZITOK TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA **274**

ROZGONYI Valentin, L. SZABÓ Gábor, BODÓ Béla
A FAN-COIL ÉS A KLÍMAGERENDÁS RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA **280**

RUGÓCZKY Péter, LASSÚ Gábor, LAKATOS János
WC–Co FELÜLETI RÉTEG VIZSGÁLATA SPEKTRÁL ANALITIKAI MÓDSZEREKKEL **288**

RUGÓCZKY Péter, MURÁNSZKY Gábor, LAKATOS János
GYÉMÁNT FELÜLETI RÉTEG LEVÁLASZTÁSÁT LEHETŐVÉ TEVŐ ELŐKÉSZÍTŐ MŰVELETEK WC–Co KOMPOZIT ANYAGOKON **295**

SÁNDOR Zoltán Barnabás, TAMÁSI Kinga, VANYOREK László
SZÉN NANOCSÖVEKKEL ERŐSÍTETT POLIURETÁN NANOKOMPOZIT ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA **302**

SIKORA Emőke, PREKOB Ádám, VANYOREK László, MURÁNSZKY Gábor, BÁNHIDI Olivér, HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsanna, PEKKER Péter
KLORÁTMENTESÍTÉSRE ALKALMAS HIDROGÉNEZŐ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE **308**

SOMLYAI-SIPOS László, BAUMLI Péter
AZ ÓN-NIKKEL FORRASZANYAG NEDVESÍTÉSVIZSGÁLATA RÉZ SZUBSZTRÁTON **316**

SÜVEGES Gábor Béla
HŐSZOLGÁLTATÓK KÖRNYEZETI ELEMZÉSE - TECHNOLÓGIAI ÉS TERMÉSZETI TÉNYEZŐK **323**

SZEGEDI Attila, KOVÁCS Zoltán
ÜZEMI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA POWERSHIFT NYOMATÉKVÁLTÓK TENGELYKAPCSOLÓINÁL **330**

SZŐLLŐSY Zsófia, BODÓ Béla
OFFSZET NYOMÓGÉPEK BELSŐ LÉGÁLLAPOTÁNAK BEFOLYÁSA A PAPÍRRA **338**

TAMÁSI Kinga, SÁNDOR Zoltán Barnabás, ZSOLDOS Gabriella
SZÉN NANOCSŐVEL ÉS IPARI KOROMMAL ERŐSÍTETT GUMIKEVERÉKEK TERMO-MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA **344**

TÓTH Lajos, ERDŐSY Dániel
ICL8038 TÍPUSÚ PRECÍZIÓS HULLÁMFORMA-GENERÁTOR DISZKRÉT ALKATRÉSZEKBŐL FELÉPÍTETT FUNKCIONÁLIS MODELLJÉNEK VIZSGÁLATA **350**

TRUZSI Alexandra, BODNÁR Ildikó, VARGA József
NEONIKOTINOID NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK OXIDATÍV LEBONTÁSÁRA IRÁNYULÓ MÓDSZERFEJLESZTÉSEK **358**

TUMIK Ábel
SORBANÁLLÁSI MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA LEAN SZEMLÉLETBEN MŰKÖDŐ KÖZSZOLGÁLTATÓKNÁL **366**

TURAI Endre, NÁDASI Endre, SZILVÁSI Marcell
FELSZÍN ALATTI OBJEKTUMOK ÉS FÖLDTANI SZERKEZETEK KUTATÁSA GEOELEKTROMOS TOMOGRÁFIÁVAL **374**

TURAI Endre, ILYÉS Csaba, SZŰCS Péter
MAGYARORSZÁGI CSAPADÉK ÉS TALAJVÍZSZINT ADATOK SPEKTRÁLIS ELEMZÉSE **382**

VÁNTUS András, HAGYMÁSSY Zoltán, CSATÁRI Nándor
A MŰSZAKI ELLÁTOTTSÁG FEJLESZTÉSE A TEJTERMELÉSBEN **390**

VARGA Gyula, FISER-NAGY ÁGNES
MESTERSÉGESEN KONSZOLIDÁLT KŐZETMAGOK PETROFIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK MÓDOSÍTÁSA KÜLÖNBÖZŐ ADALÉKANYAGOKKAL **397**

VARGA Zsolt
A MAGASSÁG MEGHATÁROZÁSÁNAK PROBLÉMÁJA A GEODÉZIÁBAN **405**

ZÁKÁNYI Balázs, SZŰCS Péter, TURAI Endre, VASS Péter, ILYÉS Csaba, MÓRICZ Ferenc
A GEOTERMIKUS ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGI A BÜKK-ALJA TÉRSÉGBEN **411**

ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta, VARGA Gyula Gábor, JOBBIK Anita
HŐENERGIA KINYERÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI FELHAGYOTT CH KUTAK HASZNOSÍTÁSÁVAL **417**

ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta, VARGA Gyula Gábor, JUHÁSZNÉ SZALAI Adrienn, BÁRÁNY Sándor
BENTONITOK ZÉTA POTENCIÁL VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA SÓOLDATOK JELENLÉTÉBEN **423**

NEMES Csaba, LUBOMIR Javorek, BODZÁS Sándor, PÁLINKÁS Sándor
FORGÁCSOLÓ ERŐ HÁROM KOMPONENSÉNEK MÉRÉSE ESZTERGÁLÁSI FOLYAMAT SORÁN **429**

FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY **439**

A KÍMÉLETES VÍZELVONÁS HATÁSA A SZÁRÍTOTT ANYAG BELTARTALMI ÉRTÉKEIRE

THE EFFECT OF THE GENTLE DEHYDRATION ON THE CHEMICAL VALUES OF THE DRIED SUBSTANCE

ANTAL Tamás[1], CZIÁKY Zoltán[2], SZŐLLŐSI István[3]

[1]főiskolai docens, PhD, antal.tamas@nye.hu
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

[2]tudományos munkatárs, dr. univ., cziaky.zoltan@nye.hu
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

[3]főiskolai tanár, PhD, szollosi.istvan@nye.hu
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

Kivonat: *A 21. században olyan tartósítási eljárásokra van szükség, melyek kielégítik az egészséges táplálékbevitelt preferáló fogyasztói igényeket. A fagyasztva szárítás jelenleg a legkíméletesebb szárítási módszer, hiszen a kezelési folyamat végén olyan végterméket kapunk, mely mind a külső megjelenésében, mind pedig belső értékeiben a minőséget képviseli. Sajnos Magyarországon a liofilizálás elterjedése még korlátozott, viszont már vannak kezdeményezések abban az irányban, hogy az élelmiszeripar is alkalmazza széles körben. Ebben a cikkben alma és körte bioanyagok fagyasztva szárítását végeztük el, egyrészt a száradási folyamat jellemzését, másrészt pedig a késztermék és a száradó anyagból származó kondenzvíz kémiai alkotóinak elemzését. Megállapítottuk, hogy a száradási görbék polinomiális egyenlet segítségével pontosan leírhatóak, illetve a végtermék hőérzékeny alkotóiból maximálisan 37%-os veszteséggel kell számolni. Kimutattuk, hogy a kondenzvíz jelentéktelen mennyiségben tartalmaz cukrot és aminosavakat. Nagyon hasznos kutatási terület lehet a szárítás melléktermékeként kezelhető kondenzált vízgőz hasznosítási lehetőségének feltárása.*

Kulcsszavak*: fagyasztva szárítás, száradási görbe, beltartalom, kondenzvíz*

Abstract: *In the 21st century, there is need for conservation procedures, which is satisfying demands of consumer requesting a healthy food intake. Freeze drying is currently the gentlest drying method, since at the end of the treatment process a final product is obtained that represents the quality of its appearance and internal values. In Hungary, the spread of lyophilization is still limited, but there are initiatives in the food industry that applying in the wide range. In this article, apple and pear biomaterials were carried out in freeze dryer, on the one hand the characterization of the drying process, on the other hand the analysis of the chemical components of the condensed water from the solid material under drying and the finished product. It was determined that the drying curves can be accurately described using a polynomial equation. It was found that calculate from the heat-labile components of the final product with a maximum loss of 37%. It was shown that condensed water contains insignificant amounts of sugar and amino acids. A very useful research area can be the exploration of the potential utilization of condensed water vapor which can be considered as the by-product of drying.*

Keywords: *freeze drying, drying curve, chemical component, condensed water*

1. BEVEZETÉS

A fogyasztói társadalom egyre inkább olyan igényeket támaszt az élelmiszeripar által előállított termékek iránt, mint a tartósítószer-, és adalékmentesség, az antioxidánsokban gazdag táplálék, a beltartalmi értékeiben a nyersanyagéval megegyezőség, hosszabb ideig veszteségmentesen történő tárolás.

A fent felsorolt követelmények maradéktalan kielégítésére nagyon kevés tartósítási módszer áll rendelkezésünkre. A jelenlegi szárítási technológiák közül ezen igények megvalósítására a liofilizálás vagy más néven a fagyasztva szárítás a legmegfelelőbb. Magyarországon a jelen ismereteink szerint csak néhány élelmiszeripari üzemben folyik olyan

konzerválási technológia, amelynek része a fagyasztva szárítás. Ezeken a helyeken elsősorban nagy bekerülési értékű termékek feldolgozását végzik, vagy adalékanyagot állítanak elő belőle. A hazánkban forgalomba hozott liofilizált termékek – funkcionális élelmiszerek, táplálék-kiegészítők, „sports foods", „pharma foods", stb. – közel 90%-a import behozatal része.

A liofilizálás szárítási módszer magyarországi ipari méretű elterjedését többek között a hűtő- és konzervipar helyzete, az eljárás fenntartási, üzemeltetési költségei és nem utolsó sorban határozott kormányzati szintű támogatás hiánya akadályozza.

A jelen tudományos mű célja ezért az, hogy feltárja a vákuum fagyasztva-szárítás azon kutatási eredményeit, melyek rávilágítanak objektíven a módszerrel kapcsolatos tényekre és lehetőségekre. Ebben a cikkben alma és körte bioanyagok liofilizálás alatti hő- és anyagátadási folyamatokat elemezzük, emellett a késztermék és a száradó anyagból távozó kondenzált vízgőz biokémiai vizsgálatait is ismertetni kívánjuk.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Alapanyag

A kísérletekben felhasznált alma és körte mintákat az alábbi módon készítettük elő a vízelvonásra: megtisztítottuk bő vízben, a magházat eltávolítottuk, ugyanígy a szennyeződéseket és a hibás részeket.

A kísérletek során felhasznált bioanyagok megnevezését, formáját, tömegét és nedvességtartalmát az 1. Táblázat közli.

1. Táblázat. Szárításhoz előkészített növényi alapanyagok fontosabb paraméterei

Megnevezés	*Forma és méret (cm)*	*Nedvességtartalom*		*Tömeg (g)*
		Száraz bázis [kg víz/kg sz. a.](d.b.*)	Nedves bázis [%] (w.b.#)	
Alma (*Idared*) (*Malus domestica* L.)	kocka; 0,5	5,578	84,8	100
Körte (*Packham's Triumph*) (*Pyrus communis* L.)	kocka; 0,5	4,271	81,03	100

* száraz bázis
\# nedves bázis

A szárított termékeket természetes úton történő hűtés után azonnal LDPE zacskóba csomagoltuk, abból a célból, hogy minél kevesebb nedvességet vegyen fel a levegőből. A tasakokba zárt mintákat 5°C-on tároltuk hűtőszekrényben (Husqvarna QT4601, Elektrolux-Lehel KFT., Nyíregyháza) a további feldolgozásig.

2.2. A szárítási módszer

A fagyasztva-szárítás (FD) művelete Armfield FT33 (Armfield Ltd., Ringwood, Egyesült Királyság) típusú berendezéssel lett végrehajtva háromszori ismétléssel. A minták szárítása az alábbi paraméterekkel jellemezhetőek:

- A minták fagyasztása: ⁻20-24°C (a kristályosodási pont alá).
- A szárítókamra hőmérséklete (a művelet végén): 20-25°C.
- A minták átlaghőmérséklete (a művelet végén): 19°C.
- A kondenzátorkamra hőmérséklete (a művelet alatt folyamatosan): ⁻50-⁻55°C.
- A munkakamra nyomása: 80-90 Pa.

A nyersanyag tömege: 100 g (JKH-500 típusú digitális mérleggel mérve, Jadever Scale Co., New Taipei City, Tajvan). A mintatálcára egy rétegben helyeztük el a szárítandó anyagot.

A minták hőmérsékletének változásai 4 db beszúró hőelem által volt meghatározva. A szárítás alatt lejátszódó folyamatok pontos elemzéséhez a laboratóriumi fagyasztva szárító berendezést elláttuk egy adatgyűjtő rendszerrel.

2.3. Nedvességtartalom meghatározása

A nyersanyag és a végtermék nedvességtartalmát gravimetriás módszerrel határoztuk meg. Ez azt jelenti, hogy szárítószekrényben (LP306, Labor MIM, Budapest) 105°C-on 6-8 órán át szárítottuk a mintadarabokat. A nyersanyag nedvességtartalmát nedves bázisban (w.b.), és száraz bázisban (d.b.) kifejezve adtuk meg. A mintákat – minden kísérlet esetében – tömegállandóság beálltáig szárítottuk, a szakirodalmi előírások szerint, háromszor megismételve.

2.4. Száradási görbe modellezése

A fagyasztva szárítás nedvesség-leadási görbéit empirikus (tapasztalati), vékonyrétegű matematikai modellekkel közelíthetjük a legpontosabban. Az alkalmazott polinomiális modell egyenlete (1):

$$MR = at^3+bt^2+ct, \quad (1)$$

ahol:

a, b, c – a harmadfokú polinom állandó együtthatói, melyek értékei az anyag jellemzőitől függnek: a fajtától, az érettségtől, a fagyasztási sebességtől és a vízleadási hajlandóságtól;

t – a szárítási idő (h).

2.5. Beltartalmi vizsgálatok

A 2. Táblázatban összefoglaltuk a beltartalmi vizsgálatokhoz szükséges módszereket, berendezéseket és a referenciákat. A kémiai elemzések háromszori ismétléssel voltak végrehajtva.

2. Táblázat. A növényi alapanyagok és késztermékek kémiai értékeit meghatározó módszerek

Megnevezés	*Módszer*	*Referencia*	*Mérőműszer*
Teljes polifenol tartalom (TPs)	Folin-Ciocalteu	[4]	UV-Vis spektrofotométer
Összes antioxidáns aktivitás (TAA)	DPPH*	[7]	UV-Vis spektrofotométer
C-vitamin tartalom	HPLC#	[2]	HPLC kromatográf

*DPPH: 2,2-diphenyl-1-pycrylhydrazyl

HPLC: nagy teljesítményű folyadék kromatográfia

2.6. Refraktométer

ATAGO PAL-1 típusú kézi digitális refraktométert használtuk a fagyasztva szárítóban gyűjtött kondenzvíz Brix fokának (oldható szárazanyag-tartalom) meghatározásához. A berendezés cukor és ahhoz hasonló oldatok szárazanyag-tartalmának mérésére alkalmas.

A készülék mérete: 55 x 31 x 109 mm. Mérési tartomány 0-53°Brix, hőmérséklet 5-45°C. Az alma és a körte liofilizálásánál keletkező kondenzvíz Brix fokának mérését háromszor ismételtük meg.

2.7. Folyadékkromatográfia (HPLC-MS)

A kondenzvizek elemzése egy Dionex Ultimate 3000RS folyadékkromatográfhoz kapcsolt Thermo Q Exactive Orbitrap tömegspektrométer segítségével történt. A folyadékkromatográfiás elválasztáshoz Thermo Accucore C18 (200/2,1 hossz/átmérő, 2,6 µm szemcseméret) kolonnát használtunk 0,1 % hangyasavat tartalmazó víz (A) és 0,1 % hangyasavat tartalmazó metanol (B) eluensekkel 25 °C–ra termosztálva. Az alkalmazott gradiens program: 0 perc: 95% A, 0-3 perc: 95% A, 3-43 perc: →0% A, 43-61 perc: 0 % A, 61-62 perc: →95% A, 62-70 perc: 95% A. Áramlási sebesség: 200 µl/perc. Injektált mennyiség: 5 µl. Az elemzéseket pozitív és negatív ionizációs módban is elvégeztük. A tömegspektrométer mérési paraméterei: kapilláris hőmérséklet: 320°C. Spray feszültség: 4,0 kV pozitív és 3,8 kV negatív ionizációs módban. A vizsgált tömegtartomány: 100-1500 m/z. Az eredmények értékelését saját és internetes adatbázisok (Metlin, m/z Cloud, Massbank) segítségével a pontos molekulatömeg, az izotópeloszlás és a fragmentáció alapján végeztük.

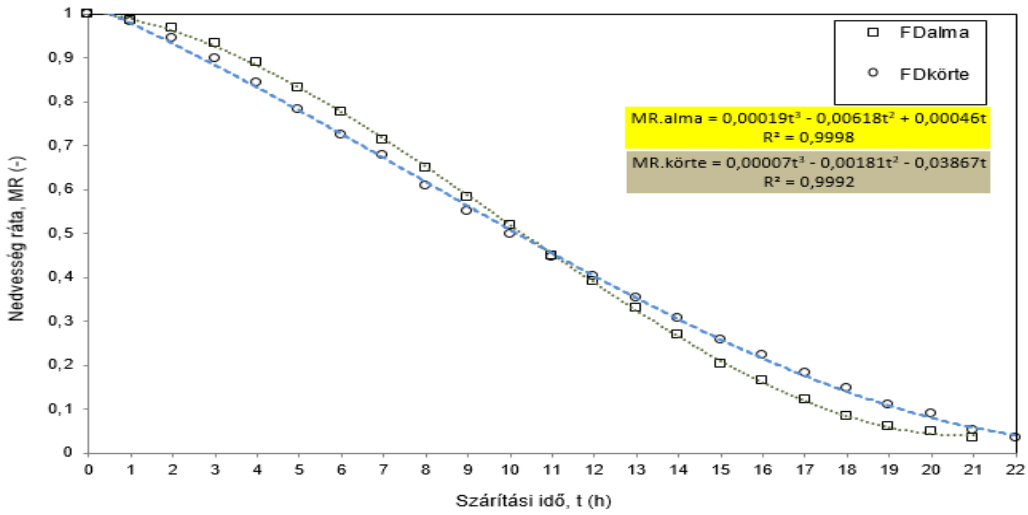
2.8. Statisztikai analízis

IBM SPSS Statistics 21 (IBM, USA) programcsomagot felhasználva matematikai statisztikai vizsgálatot végeztünk el. Egyutas variancia-analízissel (ANOVA, Duncan teszt) mutattuk ki, hogy van-e szignifikáns különbség az alma és a körte biokémiai minősége között.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A szárítási folyamat elemzése

A vízelvonás alatt lejátszódó egyidejű hő- és anyagátadási folyamat jellemzésére legmegfelelőbb az ún. száradási görbe. Az 1. ábra prezentálja számunkra az alma- és körte minták nedvességtartalmának csökkenését a szárítási idő függvényében.



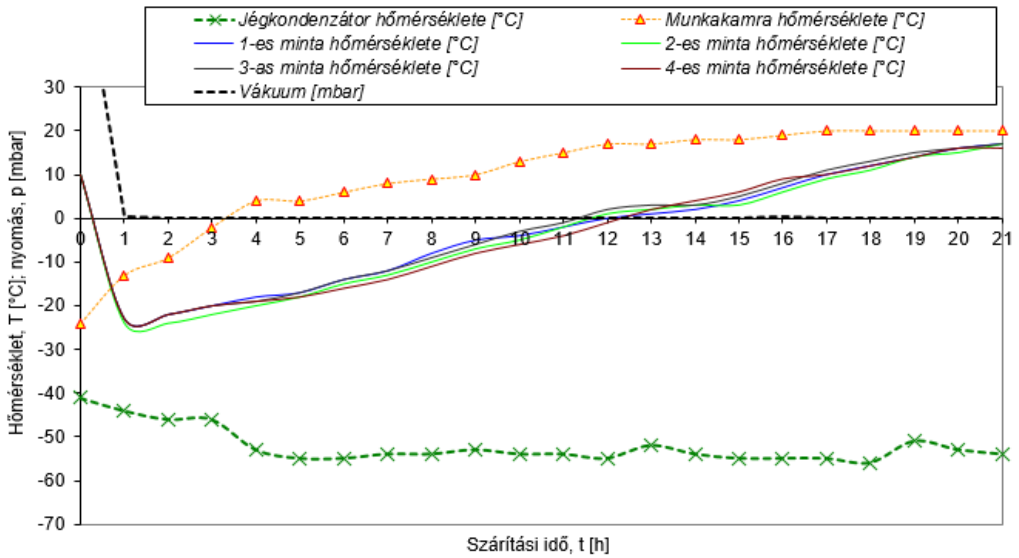
1. ábra. Az alma és a körte kockák száradási göbéi és a görbékre illesztett modellek

A liofilizálás száradási görbéje a konvekciós szárításnak megfelelően három részre bontható: felmelegítési szakasz, állandó száradási sebességű (lineáris) szakasz és a csökkenő száradási sebességű (exponenciális) szakasz. A szárítási folyamat végén (konstans) az alma és a körte nedvességrátája (MR) 0,034 és 0,033, amelyek az egyensúlyi nedvességtartalommal megegyező értékek. Továbbá az 1. ábrán megfigyelhető, hogy a körte száradása 11 h-ig valamivel gyorsabban lezajlott (meredekebb a görbe), mint az alma vízelvonása, majd a szárítás végén a csökkenő száradási sebességű szakaszban már kismértékben alacsonyabb a száradási sebesség a körte esetében, mint az almánál.

Az 1. ábrán feltüntettük a száradási görbékre illesztett polinomiális modellt, az egyenlet az ábra jobb felső sarkán látható. A görbeillesztés pontosságát a korrelációs koefficienssel (R^2) is jellemezhetjük, mely értéke alma és körte szárítása esetében 0,9998-0,9992. Ha az R^2 értéke az 1,0-hez közelít, akkor görbeillesztés pontosságára utal. Szárítási folyamat modellezésénél a 0,95 feletti korrelációs koefficiens érték azt jelenti, hogy az adott vékonyrétegű modell megfelelőnek mondható a vízelvonási folyamat lekövetésére [1]. Tehát mind ezek fényében megállapíthatjuk, hogy az általunk alkalmazott harmadfokú polinom megfelelő a liofilizálási folyamat modellezésére.

Az alma és a körte alapanyagok hőmérsékletgörbéi a fagyasztva szárítás alatt a 2. és 3. ábrákon figyelhetőek meg.

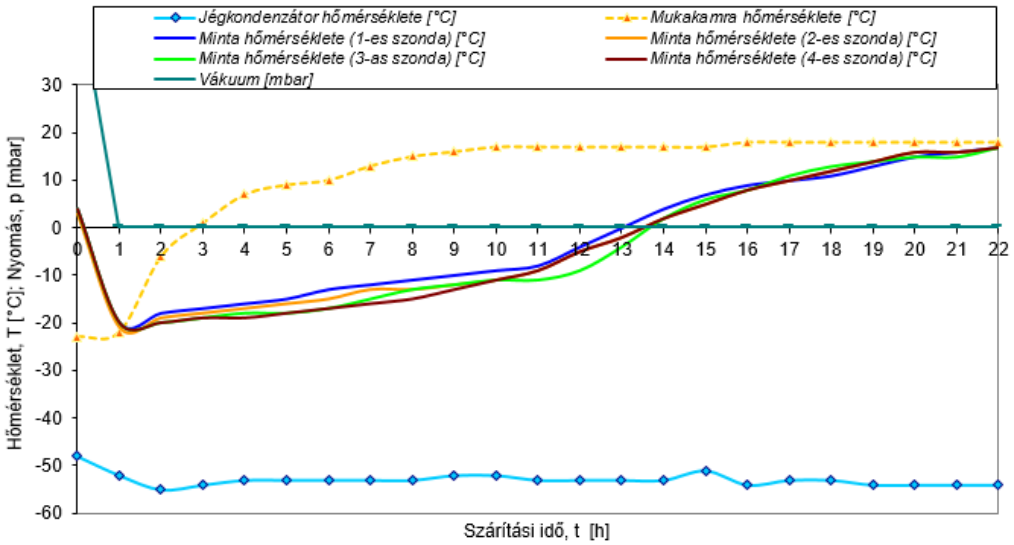
A 2. ábrán látható, hogy az alma minták maghőmérséklete a liofilizáláshoz megszokott módon fagyasztással kezdődik a termék kristályosodási pontja alatt (T=-23-24°C). Majd közel 1 órás fagyasztás után a maghőmérsékleti érték folyamatosan növekszik. Az anyag maghőmérséklete -24°C-ról 0°C-ra való emelkedése a szublimációt jelöli, majd 0°C-ról 17°C-ra való emelkedése pedig a deszorpciót foglalja magában. A 2. ábra emellett a kondenzációs- és munkakamrában uralkodó hőmérsékletet is prezentálja. A kondenzációs kamrában uralkodó fagypont alatti hőmérséklet célja, hogy az anyagból távozó vízgőzt lekondenzáltatja, így a vákuumszivattyú nem sérül. A munkakamra nyomását is feltüntettük az ábrán, mely lefutását konstans állapot jellemzi, hiszen a teljes dehidrálási folyamat alatt a nyomás 80 Pa (0,8 mbar) volt.



2. ábra. A liofilizált alma maghőmérsékletének változása a fagyasztva szárítás alatt

A körte nyersanyag liofilizálása hasonló módon ment végbe, mint az almánál, azzal a különbséggel, hogy a körte szárítása egy órával tovább tartott (3. ábra). Ezen kívül a 3. ábrán az is megfigyelhető, hogy a működési időben való eltérés elsősorban a szublimációnak köszönhető (Másképp kifejezve az anyagon belüli hővezetést jelentősen befolyásolja a minta

belső szerkezete). Ezt a megállapítást arra alapozzuk, hogy az alma szublimációja 11-12 órás szárítási idő után fejeződött be, míg a körténél ez 13-14 órát vett igénybe.



3. ábra. A liofilizált körte maghőmérsékletének változása a fagyasztva szárítás során

3.2. A nyersanyag és a szárítmány biokémiai komponenseinek elemzése

A 3. Táblázatban tüntettük fel az emberi szervezet számára igen fontos hőérzékeny biokémiai alkotókat a nyers és a késztermék esetében. Megállapíthatjuk, hogy mind az alma és a körte esetében a C-vitamin-, a teljes polifenol tartalom és az össz. antioxidáns aktivitás értékei a liofilizálás hatására szignifikánsan csökkentek ($p<0,05$) a nyersanyagoz viszonyítva.

A 2-3. ábrákon feltüntetett maghőmérsékleti görbék lefutásából is látható, hogy az anyag hőmérséklete 17°C fölé nem emelkedett, mégis a hőérzékeny alkotókból az almánál 15,1-37,4 %, a körténél pedig 24,4-37,4% elveszett az alapanyaghoz viszonyítva. Az eredményekből egyértelműen kiderül, hogy az antioxidánsok a legérzékenyebb alkotók a szárításra.

3. Táblázat. A fagyasztva szárítási módszer hatása az alma és a körte főbb biokémiai alkotóira

Szárítási módszerek	*C-vitamin* [mg/100g, sz.a.]	*Teljes polifenol tartalom (TPs)* [mg GAE/100g, sz.a.]	*Összes antioxidáns aktivitás (TAA)* [µg GAE/100g, sz.a.]
Alma nyersanyag	6,21[a]	177,23[a]	31,58[a]
FD alma	5,27[b]	146,31[b]	19,77[b]
Körte nyersanyag	4,72[a]	647,01[a]	86,1[a]
FD körte	3,57[b]	405,03[b]	54,7[b]

GAE=Gallusz sav ekvivalens

Megjegyzés: [abc] A feliratok jelzik a szignifikáns különbséget, oszloponként, $p \leq 0,05$.

Más kutatócsoport mérési eredményeit figyelembe véve az alma nyersanyag polifenol-tartalma 224,82 mg/100 g szárazanyagra vonatkoztatva. Megállapították, hogy 50-70°C feletti szárítási hőmérséklet elpusztítja az alma polifenol alkotók nagy részét [5]. Wolfe és munkatársai *Idared* alma húsában és héjában 120,1 mg/100 g (sz.a.) teljes polifenol tartalmat azonosítottak [6].

Szintén más kutatási eredményekből megfigyelhető a körte (*Packams* fajta) esetében, hogy a héj és a hús C-vitamin és antioxidáns tartalma különböző volt. A héjban és húsban mért C-vitamin tartalom 4,1 és 3,8 mg/100 g (sz.a.), míg ugyanitt az antioxidáns tartalom 98,7 és 26,1

mg/100 g (sz.a.). A *Packams* körte héjában detektált teljes polifenol mennyiség 139,8 mg/100 g (sz.a.) [3].

3.3. A fagyasztva szárító kondenzációs kamrájából származó folyadék elemzése

Fagyasztva szárítás művelete alatt a száradó anyagból távozó pára/vízgőz a berendezés kondenzátor kamrájában lecsapódik, és jég formájában tárolódik a szárítási folyamat végéig. A vízelvonás befejeztével a jégkondenzátorban felgyülemlett növényi folyadékot leolvasztottuk és konvekciós szárítószekrényben (LP306, T=40°C), illetve refraktométer segítségével meghatároztuk szárazanyag-tartalmát (4. Táblázat).

4. Táblázat. Az alma és a körte alapanyag szárításakor keletkező kondenzvíz szárazanyag-tartalma és Brix foka

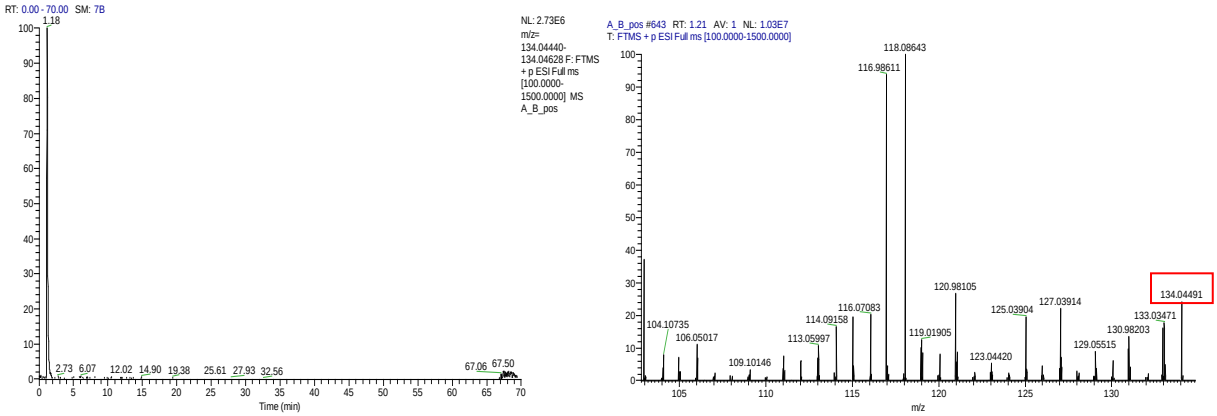
Megnevezés	*Szárazanyag (sz_a)* [%]	*Vízben oldható szárazanyag (°Brix)* [-]
Kondenzvíz – alma	0,1	0,1-0,2
Kondenzvíz – körte	0,1	0,0

A mérési eredmények szerint a szárított almából és körtéből származó növényi folyadék (oldat) elhanyagolható mértékben (max. 0,1-0,2%) tartalmaz cukrot és/vagy egyéb szárazanyagot.

Az almából származó folyadék esetében megállapítottuk, hogy az oldat 100g mennyiségére számolva 0,1-0,2 g szacharózt tartalmaz. A körtéből származó oldat szárazanyag tartalmából arra következtethetünk, hogy csekély – nem számottevő – mértékben valamilyen kémiai anyagot tartalmazhat, szacharóz viszont nem található benne.

A HPLC-MS vizsgálatokból megállapítottuk, hogy az alma kondenzvizében öt aminosav (izoleucin, leucin, ornitin, aszparaginsav, glutaminsav), cukor (fruktóz) és almasav mutatható ki. A körte kondenzvizében nem találtunk azonosítható vegyületet.

Példaként bemutatjuk az aszparaginsav extrahált ion kromatogramját (m/z: 134.04534) és tömegspektrumát (4. ábra).



4. ábra. Az alma kondenzvizében lévő aminosav kromatogramja és tömegspektruma

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a tanulmányban két almaterméső gyümölcsfajtával (alma és körte) végeztünk fagyasztva szárítási kísérleteket. Kitűztük célul, hogy mind a késztermék, mind pedig a

nyersanyagból kiszárított nedvességtartalom kémiai vizsgálatát végrehajtjuk. A kutatásból az alábbi következéseket tudjuk levonni és javaslatokat tenni.

1. A fagyasztva szárítás működési ideje a vizsgálat alá vont gyümölcsök esetében 21-22 h-t vett igénybe. Megállapítottuk, hogy a szárítás kezelési ideje termékfüggő. Ez a tény jól megfigyelhető a szublimációs részművelet esetében, mivel a körte minta szublimációja 2 órával tovább tartott, mint az almáé. Véleményünk szerint ez az adott termék szövettani felépítésétől függ, ugyanis az anyag belső szerkezete nagyban befolyásolja a hőátadást a szublimáció alatt.
2. A liofilizálás száradási görbéire harmadfokú polinom modellt illesztettünk. A modell kiértékeléséhez felhasznált korrelációs koefficiens értékei (R^2=0,9992-0,9998) szerint az alkalmazott modell megfelelő a liofilizálás hő- és anyagátadási folyamat elemzésére hivatott száradási görbe jellemzésére.
3. A késztermék biokémiai elemzésével igazoltuk, hogy a hőlabilis, emberi szervezet számára nélkülözhetetlen alkotók (C-vitamin, polifenolok és antioxidánsok) vesztesége jelentős (az almánál 15,1-37,4 %, a körténél pedig 24,4-37,4%) a fagyasztva szárítás során. Ennek ellenére ismereteink szerint még így is a legkíméletesebb szárítási eljárásról van szó, az ipar számára megfontolandó ezen tartósítási módszer alkalmazása.
4. Megállapítottuk, hogy az almaterméșűek szárításánál keletkező – kondenzált – vízgőz jelentéktelen mértékben tartalmaz vízben oldható szárazanyagot (max. 0,1-0,2%), emellett aminosavakat, almasavat és fruktózt.
5. További kutatás és innováció tárgya lehet a fagyasztva szárítás melléktermékeként kezelhető növényi kondenzvíz megfelelő kezelés (filtráció) után, és szakhatósági engedéllyel ivóvízként való forgalomba hozása.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **DOYMAZ, I., KIPCAK, A.S., PISKIN, S.:** *Characteristics of Thin-layer Infrared Drying of Green Bean*. Czech Journal of Food Sciences, 33, 83-90, 2015., ISSN 1212-1800

[2] **ODRIOZOLA-SERRANO, L., HERNANDEZ-JOVER, T., MARTINEZ-BELLOSO, O.:** *Comparative evaluation of UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits*. Food Chemisty, 105, 1151-1158, 2007., ISSN 0308-8146

[3] **SANCHEZ, A.C.G., GIL-IZQUIERDO, A., GIL, M.I.:** *Comparative study of six pear cultivars in terms of their phenolic and vitamin C contents and antioxidant capacity*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 83, 995-1003, 2003., ISSN 0022-5142

[4] **SINGLETON, V.L., ROSSI, J.A.:** *Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents.* American Journal of Enology and Viticulture, 16, 144-158, 1965., ISSN 0002-9254.

[5] **WOJDYŁO, A., FIGIEL, A., OSZMIAŃSKI, J.:** *Influence of temperature and time of apple drying on phenolic compounds content and their antioxidant activity*. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 57, 601-605, 2007., ISSN 1230-0322

[6] **WOLFE, K., WU, X., LIU, R.H.:** *Antioxidant Activity of Apple Peels*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 51, 609-614, 2003., ISSN 0021-8561

[7] **ZHANG, D., HAMAUZU, Y.:** *Phenolics, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity of broccoli and their changes during conventional and microwave cooking.* Food Chemistry, 88(4), 503-509, 2004., ISSN 0308-8146

AZ ISO 14001 SZABVÁNY ELTERJEDÉSE EURÓPÁBAN

THE SPREAD OF THE ISO 14001 STANDARD IN EUROPE

BERÉNYI László

PhD dr. habil, egyetemi docens, szvblaci@uni-miskolc.hu
Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *Az irányítási rendszerek szabványai azon túl, hogy iránymutatást adnak a szervezetek számára egy-egy kérdés kezeléséhez, alkalmazásuk makroszinten sajátos képet fest a gazdálkodó szervezetekről és a gazdaság egészéről is. Tanulmányomban a környezetközpontú irányítás szabványának, az ISO 14001-nek elterjedését vizsgálom Európa egyes országaiban, összehasonlítva nyugati és keleti tapasztalatokat, rámutatva Magyarország helyzetére és lehetőségeire.*

Kulcsszavak: *ISO 14001, környezetközpontú irányítás, menedzsment szabvány*

Abstract: *Beyond the organizational guidelines, analyzing the popularity of management system standards allows to draw a macro-level picture of the business organizations as well as the economy. The study pays attention to spread of the environmental management system standard (ISO 14001) in selected European countries. The comparison is conducted between western and eastern countries. I intend to show the state and possibilities of the topic in Hungary.*

Keywords: *ISO 14001, environmental management system, management standard*

1. BEVEZETÉS

Az irányítási rendszerek szabványainak alkalmazása mutatja egy szervezet elkötelezettségét amellett, hogy működésében valamilyen speciális érdeket érvényre juttasson. A legnépszerűbb ilyen szabvány a minőségirányításhoz kötődik (ISO 9001), ezt követi a környezetközpontú irányítási rendszer szabványa (ISO 14001). Boiral [1] kiemeli, hogy ezek a szabványok útlevelet jelentenek a globális kereskedelemhez azzal, hogy egységes követelményrendszereket határoznak meg, amelyek teljesítését a beszállítói láncok mentén érvényre lehet juttatni. A szabványok alkalmazását nem írja elő jogszabály, önkéntesség, üzleti megfontolások és megállapodások állnak az alkalmazásuk hátterében. A szabványok alkalmazásának szervezeti szintű motivációi és várható előnyei sokfélék. A témával foglalkozó tanulmányok rámutatnak, hogy a szervezeti teljesítmény fokozása iránti igény meghatározó (lásd például [2], [3], [4]), nem szabad figyelmen kívül hagyni a költségcsökkentés lehetőségét vagy az üzleti partnerekkel ápolt kapcsolatok fejlesztését. Tarí és társai [5] szakirodalmi források feldolgozása mentén vizsgálta, hogy milyen előnyöket említenek a szabvánnyal kapcsolatban. Tanulmányuk a környezeti teljesítmény javulása után a nyereségtermelés fokozását, a hatékonyabb működést (alacsonyabb költségek, kevesebb hiba), a szervezet javuló külső megítélését és a dolgozók magasabb szintű elégedettségét emeli ki legfontosabb előnyökként.

A szabványok alkalmazásának eloszlása az országok között, továbbá annak időbeli alakulása sajátos képet adhat a gazdaság és a társadalom helyzetéről is. Az ISO 14001 szabványt alkalmazókat tekinthetjük olyan szervezeteknek, amelyek módszeres megközelítést [6] alkalmazva környezettudatosabban akarnak működni másoknál, ugyanakkor nem hagyható figyelmen kívül, hogy a tanúsítvány megszerzését gyakran csak szerződéses kötelezettségeik teljesítése érdekében kezdeményezik.

A tanúsítványok számáról nemzetközi statisztikát készít a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet „The ISO Survey of Management System Standard Certifications” (továbbiakban:

ISO Survey) címmel, amit évente frissítve közread. Tanulmányomban e statisztikára alapozva keresek választ arra a kérdésre, hogy az európai országok között milyen fejlődést mutatnak, továbbá láthatók-e jellegzetes mintázatok a tanúsítványok számának alakulásában.

2. AZ ISO 14001 SZABVÁNY FEJLŐDÉSE

A globális problémákkal és a környezetvédelemmel való foglalkozás az 1960-as évekre értékelődött fel, az útkereső kutatások és a megoldásokat kínáló modellek jelentős része az 1970-es években született meg (lásd [7]). A fenntartható fejlődés elvének és pilléreinek megfogalmazása [8] olyan eredmény, ami napjainkban is meghatározó. A Brundtland Bizottság meghatározása szerint a fenntartható fejlődés úgy biztosítja a jelen generációk szükségleteinek kielégítését, hogy közben nem fosztja meg a jövő generációit saját szükségleteik kielégítésének lehetőségétől. A fenntarthatóság három pillérét (környezet, társadalom, gazdaság) jelöli meg a jelentés, amelyeket együttesen kell kezelni. Szervezeti aspektusból a vállalatok társadalmi felelősségvállalásának (CSR) előtérbe kerülése [9] és a szabványosítás emelhető ki. Az elmúlt időszakban számos módszer, eszköz és gyakorlati alkalmazás publikálása segíti a fenntarthatóság céljainak integrálását a szervezeti működésbe stratégiai és operatív szinten. Sőt, a téma már a korai kiválósági értékelési modellekben is helyet kapott, majd szerepe egyre inkább bővült. Az ISO 14001 szabvány követelményei és útmutatása tanúsítható keretet ad a környezetközpontú irányítás érvényesítéséhez bármilyen szervezet számára.

A nemzetközi szabványt először 1996-ban adták ki (habár előzményének tekinthető az 1992-ben kiadott BS 7750 szabvány), amit 2004-ben, majd 2015-ben új kiadás követett. Az 1996-os kiadás újdonsága a politika és cél szintjén megjelenő tervezés volt, ami figyelembe veszi a jogi előírásokat és a környezeti igényeket. A 2004-es kiadással a szabvány követelményeit összehangolták az ISO 9001 szabvánnyal, így segítették elő az integrált alkalmazásukat. 2015-ben a két szabvány közös struktúrát kapott, az irányítási rendszer működését pedig deklaráltan a szervezettel kapcsolatos elvárásokból és a stratégiai irányokból vezeti le, továbbá megjelenik a kockázat-alapú megközelítés [6].

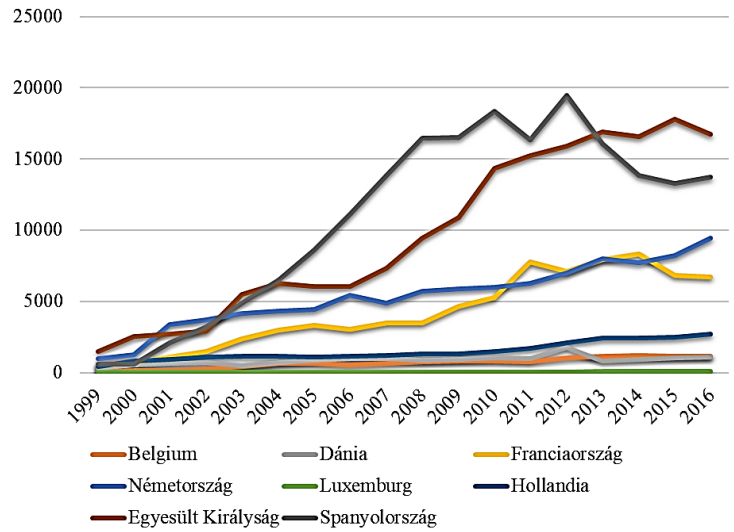
3. AZ ISO 14001 ELTERJEDTSÉGE

3.1 Az ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának alakulása

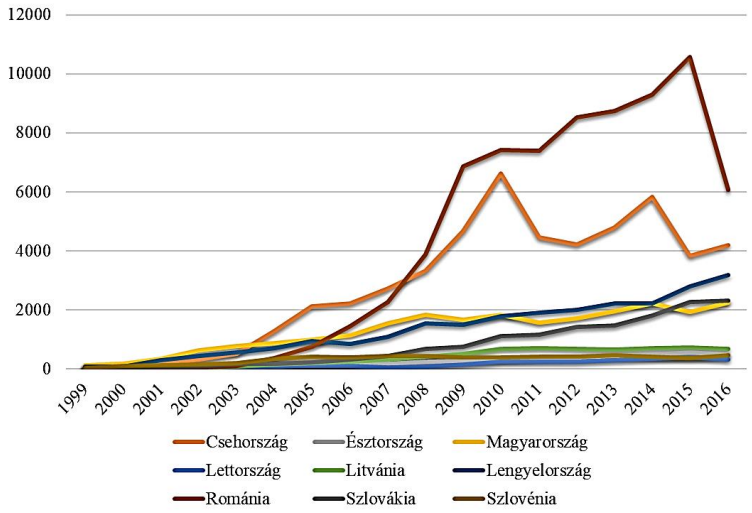
Az ISO 14001 szabvány a második legnépszerűbb irányítási rendszer-szabvány a világon. A Nemzetközi Szabványügyi Szervezet éves adatokkal frissített adatbázist vezet a tanúsított rendszerekről (ISO Survey), ami alapján 2016-ben 346.147 tanúsítvány élt a világon, ami 8,3%-os növekedést jelent az előző évhez képest. A tanúsítványok 89,5%-a Európában és Kelet-Ázsiában és az Óceáni térségben koncentrálódik, a világszintű növekedés lényegében az utóbbi területnek köszönhető, az európai növekedés 0,7% körüli volt. A növekedés üteme lassuló tendenciát mutat. Míg 2000 és 2005 között világszinten 4,9-szeresére, 2005 és 2010 között 2,2-szeresére, 2010 és 2015 között pedig 1,3-szeresére nőtt az ISO 14001 szerinti tanúsítványok száma.

Európai vizsgálataimhoz – a grafikus ábrázolás jobb áttekinthetőségének kedvéért – 17 országot választottam ki, nyugati és keleti országok csoportjába sorolva. A kiválasztás önkényes volt, de arra törekedtem, hogy nagyobb és kisebb országok is a mintába kerüljenek. Az Egyesült Királyság szerepe meghatározó a szabványosítás történetében, Németország és Franciaország pedig ipari pozíciók miatt jó indikátorai a folyamatoknak. Olaszországban elhagyásának oka, hogy kiugróan sok ISO 9001 és ISO 14001 tanúsítvány van érvényben, helyzetének értékelése külön vizsgálatokat igényel.

A keleti országok mindegyike posztszocialista ország, a visegrádi országok mellett Romániát, Észtországot, Lettországot és Litvániát foglalja magában a minta. Az ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának időbeli alakulását az 1. és 2. ábrák foglalják össze.



1. ábra. ISO 14001 szerinti tanúsítványok száma nyugati országokban (ISO Survey alapján)



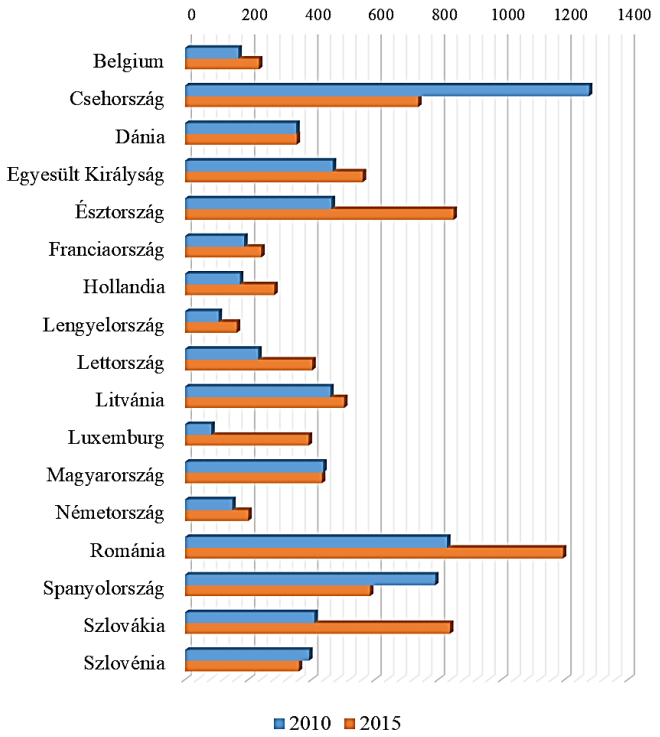
2. ábra. ISO 14001 szerinti tanúsítványok száma keleti országokban (ISO Survey alapján)

3.2 Változások a szabvány alkalmazásában

A tanúsítványok számának alakulása eltérő mintákat mutat az egyes országokban és a részminták között is. A nyugati országok közül leginkább Spanyolország fejlődött dinamikusan, és „vezetett” 2012-ig, 2015-re azonban a csúcsértékhez képest 32%-kal esett vissza a mutató értéke. Egyenletes fejlődést mutat az Egyesült Királyság statisztikája. 2005-től a növekedés dinamikusabbá vált, emellett az országban a minőségirányítás iránti figyelem (ISO 9001 tanúsítványok száma) meredeken csökkenni kezdett [10]. Németország az átlagosnál lassabb ütemű fejlődést mutat. A keleti országok között Csehország és Románia fejlődése kiemelkedő. Románia esetében 2004 után látható dinamikus fejlődés, 2006 után a tanúsítványok száma meghaladja a vizsgált nyugati országok többségének mutatóját is. Romániában az ISO 9001 tanúsítványok száma hasonló fejlődést mutat. Természetesen az egyes országok mérete eltérő, az abszolút számok közvetlen összehasonlítása nem minden

esetben célravezető. Csehországban 2010 után jelentős visszaesés látható, Románia adataiban hasonló jelenség 2016-ban látható a rendelkezésre álló adatok alapján.

A 2008-as válság bár eltérő mértékben, de szinte minden országban törést okozott a tanúsítványok számának alakulásában, majd 2010 után ismét a növekedés lett jellemző. A 3. ábra 2010 és 2015 adatain keresztül mutatja be az ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának változását, kiszűrve az országok méretét (1000 fő munkavállalóra vetített tanúsítványok száma). Csehországban és Spanyolországban jelentős visszaesés, Magyarországon, Dániában és Szlovéniában stagnálás, a többi országban bővülés látszik. Románia, Észtország és Szlovákia fejlődése a leginkább figyelemre méltó.



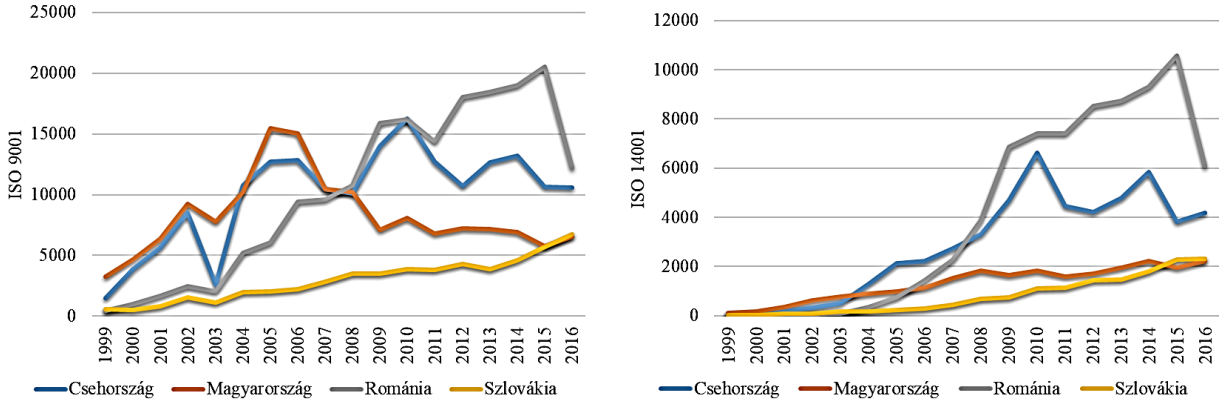
3. ábra. ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának változása (2010 és 2015, ISO Survey alapján)

3.3 Magyarország helyzete

A szabványok alkalmazásának alakulásában az általános tendenciák mellett a gazdaságban betöltött szerepük és azok változása, kulturális tényezők sőt a tanúsítások támogatása fontos befolyásoló tényező. Ezek részletes tárgyalása túlmutat a tanulmány keretein. Magyarország és a szomszédos országok vonatkozásában a minőségirányítási rendszerek tanúsítványainak száma és a gazdasági teljesítmény között sikerült kapcsolatot találni, továbbá a beszállítói hálózatok keletre vándorlásának problémájára rámutatni [10]. Érdekes megvizsgálni, hogy az eltolódás a környezetközpontú irányítás esetében is látszik-e.

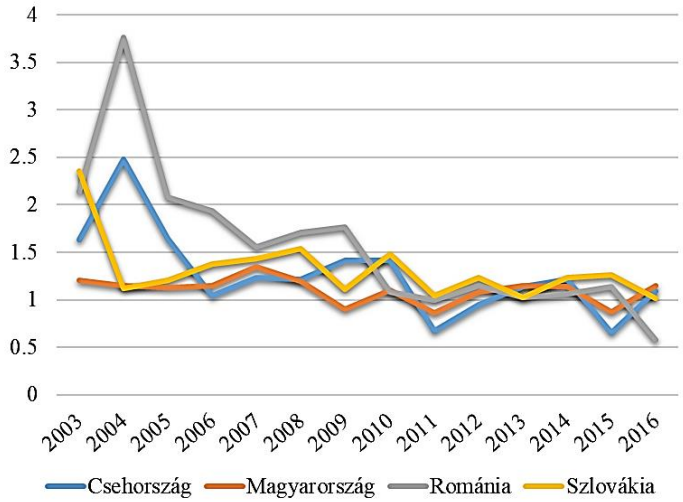
Párhuzamosan vizsgálva az ISO 9001 és ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának alakulását (4. ábra) a kiválasztott országokban – kivéve Magyarországot – hasonló tendenciák figyelhetők meg 1999 és 2015 között. Viszonylag lassú, de kiegyensúlyozott fejlődést mutatnak Szlovákia adatai, 2015-re elérte a magyar mutatók szintjét mindkét szabvány esetében. Románia adatai mutatják a leginkább dinamikus növekedést, ami az ISO 14001 tanúsítványok esetében a 2008-as év megingását követően tovább folytatódott. Csehország vezető szerepet töltött be a 2000-es évek elején, a 2010-es években azonban mindkét

szabvány tanúsítványainak a száma egyértelműen csökken. Magyarország a 2000-es évek második felében vezetett az ISO 9001 tanúsítványok számban, 2005-ben 15.464 volt a csúcsérték. 2010-ben már csak 8.083, 2015-ben pedig 5.789 tanúsítványt élt. Az ISO 14001 szerinti tanúsítványok számában Magyarország nem mutat kiugró értéket, éves ingadozások mellett lassú fejlődési tendencia látszik.



4. ábra. ISO 9001 és ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának alakulása néhány országban (ISO Survey alapján)

Az ISO 14001 szerinti tanúsítványok számát az előző évhez viszonyítva (5. ábra) látható, hogy a növekedés üteme lassult és konvergál az 1-hez a vizsgált országokban.



5. ábra. ISO 14001 tanúsítványok számának változása (tárgyév/előző év, ISO Survey alapján)

4. KÖVETKEZTETÉSEK

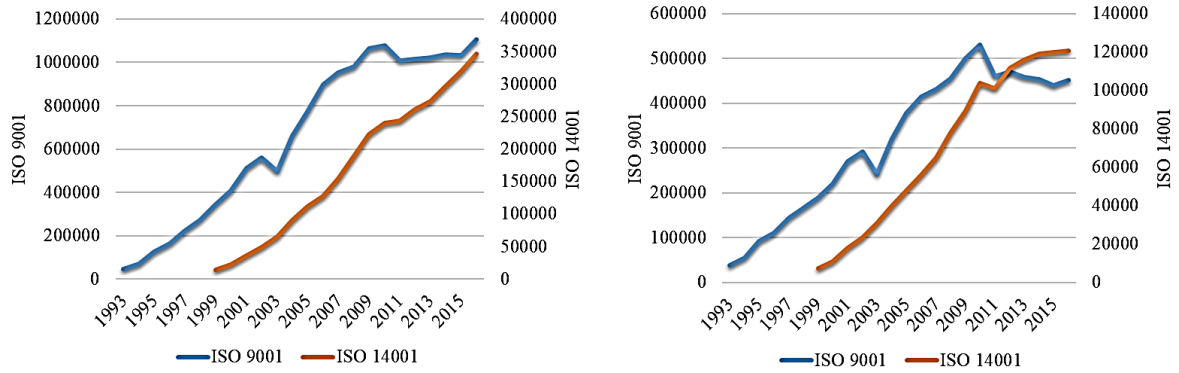
4.1 Korlátok

Az ISO 14001 szerinti tanúsítványok számának alakulása véleményem szerint érdekes képet ad gazdaság helyzetéről, ugyanakkor indikátorként történő használatának erősen korlátozott. Az okoknak két fontos csoportját szeretném kiemelni.

Egyrészt, Magyarország példáját véve 2016. év végén a Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint 540 ezer regisztrált társas vállalkozás működött Magyarországon (az összes regisztrált vállalkozás száma 1,7 millió). A 2233 tanúsítvánnyal rendelkező szervezet 0,4%-ot

tesz ki, ráadásul a tanúsítványok szervezeti méret vagy tevékenységi terület szerinti reprezentativitása sem biztosított. Hasonló a helyzet a többi országban is.

Másrészt, a tanúsítványok száma még nem stabilizálódott. Habár a növekedés üteme Európában 2010 után lassult, a rendelkezésre álló adatok jelentős része az exponenciális növekedés szakaszából származik, ami alapján nem adható megbízható előrejelzés. Világszinten a növekedés üteme nem lassul (6. ábra).



6. ábra. ISO 9001 és ISO 14001 tanúsítványok növekedése világszinten (balra) és Európában (jobbra) (tanúsítványok száma, ISO Survey alapján)

A fentieken túl meg kell említeni a tanúsítványok számának jelentős évenkénti ingadozását is. Románia 2016-os adatainak megítélésére a statisztika alapján jelenleg nem szabad vállalkozni. Az adatgyűjtés sajátosságaiból adódóan előfordulhat, hogy még nem jelentettek le minden tanúsítványt a nemzetközi szervezetnek, ám ha már a végleges adatok állnak is rendelkezésre, a helyzet csak a következő évek ismeretében lehet majd megállapítani, hogy átmeneti visszaesésről van szó, vagy a magyar és cseh minták 10 év utáni megismétlődéséről.

4.2 A bizalomvesztés begyűrűzése

A tanúsítványszámok alakulásának megítélése összecseng egy érdekes problémával.

Kerekes [11] rámutat, hogy az elmúlt húsz év egyik legfontosabb problémája a bizalomvesztés. Az emberek egyre kevésbé hisznek az intézményekben, a tudósok eredményeiben és a vállalatvezetők szándékaiban. Kiemel egy másik jelenséget is, a globális piacot, amelynek „előnye”, hogy mindent olcsóbbá tesz. A multik erőfölénye a gazdaságot fenntarthatatlanná teheti (sok esetben teszi), hiszen ők képesek az előállítási költségektől alacsonyabb áron kínálni a termékeket. Az árverseny begyűrűző jellege visszahat a bizalmi kérdésekre is.

Az irányítási rendszerek szabványainak alkalmazásával kapcsolatban felmerülő kérdés a rendszerek minőségének színvonala. Ez végső soron az árverseny kényszerére, illetve a rövid távú érdekek előtérbe helyezésére vezethető vissza. Ha a szabvány alkalmazására kizárólag szerződéses kötelezettségek fenntartása miatt kerül sor, akkor arra elsősorban költségokozóként fognak gondolni a gazdálkodók, és igyekeznek a lehető legolcsóbban fenntartani a rendszert. A szabvány alkalmazásának valódi előnyeit, a hosszú távú hatásokat ilyenkor nem veszik számításba, ami végső soron a bizalomvesztést erősíti.

Fontos kérdés, hogy a fenti csapdából van-e kiút. A tapasztalatok szerint a kikényszerítés – akár jogi, akár piaci alapú – félmegoldásokhoz vezet, a tanúsítvány érdemi teljesítmény nélkül is fenntartható. Az elmúlt években a ISO 14001 szabvány esetében számos pályázati forrásokhoz való hozzájutást segítette a tanúsítvány megszerzésének vállalása. Kérdéses, hogy ezek a tanúsítványok a pályázat fenntartási időszaka után is élni fognak-e. A megoldás kulcsát az önkéntesség erősítésénen és látom, a rendszerek bevezetésének és fenntartásának országos

támogatásában és a kiváló eredmények díjakkal való elismerésében. Mindez a verseny új aspektusba helyezését jelenti, ahol nem a tanúsítás ténye, hanem a környezeti teljesítmény nem-menedzseri összetevőinek javulása jelent versenyelőnyt.

Zárszóként szeretném megjegyezni, hogy a Nemzetközi Szabványügyi Szervezet egyéb szabványai is egyre népszerűbbek. Mindenképpen figyelmet érdemel a 2011-ben bevezetett ISO 50001 szabvány (energiairányítási rendszer), ami alapján Európában 2016-ban már 6.950 szervezet, ezen belül Magyarországon 546 szervezet rendelkezett tanúsítvánnyal.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BORIAL, O.:** *Managing with ISO systems: Lessons from practice*, Long Range Planning, 2011., 44, 197–220.

[2] **MORROW, D., RONDINELLI, D.:** *Adopting Corporate Environmental Management Systems: Motivations and Results of ISO 14001 and EMAS Certification*, European Management Journal, 2002., 20(2), 159–171.

[3] **BABAKRI, K. A., BENNETT, R. A., FRANCHETTI, M.:** *Critical factors for implementing ISO 14001 standard in United States industrial companies*, Journal of Cleaner Production, 2002., 11, 749–752.

[4] **MARIMON, F., LLACH, J., BERNARDO, M.:** *Comparative analysis of diffusion of the ISO 14001 standard by sector of activity*, Journal of Cleaner Production, 19, 1734–1744.

[5] **TARÍ, J. J., MOLINA-AZORÍN, J. F., HERAS, I.:** *Benefits of the ISO 9001 and ISO 14001 standards: A literature review*, Journal of Industrial Engineering and Management, 2012., 5(2), 297–322.

[6] MSZ EN ISO 14001 -- Környezetközpontú irányítási rendszerek. Követelmények alkalmazási útmutatóval (ISO 14001:2015).

[7] **LÁNG, I.:** *A fenntartható fejlődés Johannesburg után*, Agroinform, Budapest, 1993., ISBN 9635027915

[8] Our common future, WCED, Geneva, 1987., ISBN 019282080X

[9] **KOTLER, P., LEE, N.:** *Corporate Social Responsibility: Doing the Most Good for Your Company and Your Cause*, Wiley, Hoboken, 2005., ISBN 9780471476115

[10] **BERÉNYI, L.:** *Relationship Between the Number of ISO 9001 Certifications and the National Economic Performance in Transitional Economies*, Wseas Transactions on Business and Economics, 2018., 15, 99–112.

[11] **KEREKES, S.:** *Fenntarthatóság és verseny: környezetgazdász nézőpontok*, Magyar Minőség, 2016., 25(6), 30–35.

EGYENSÚLYI FANEDVESSÉG ÉS FŰTŐÉRTÉK TÉLEN

THE BALANCE BETWEEN THE SATURATION OF WOOD AND ITS HEATING VALUE

BEZZEG Pál[1], L. SZABÓ Gábor [2]

[1]hallgató, bezzegpal@freestart.hu
[1]Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]tanársegéd, l.szabo.gabor@eng.unideb.com
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *Fatüzelés fontossága nő, mind az ipari, főképp pedig a lakossági felhasználóknál. A munka célja az, hogy meghatározzam, hogy a Debrecen környékén két szélsőséges esetű fafajnak mekkora az a fűtőértéke, mely a téli átlagos tárolási körülmények között kialakul. Ehhez meg kellett határoznom a tüzelő víztartalmát, rosttelítettségi pontját kísérleti úton, de mindenképp átlagos háztartásban rendelkezésre álló eszközökkel. Ha a mérés otthon megfelelő pontossággal elvégezhető, lehetővé válik saját, vagy vásárolni kívánt tetszőleges tüzelő, elfogadható pontosságú vizsgálata és várható fűtőértékének meghatározása.*

Kulcsszavak: *fatüzelés, fűtőérték, rosttelítettségi pont, egyensúlyi nedvesség*

Abstract: *Using wood as a way of heating is becoming more and more important both for the industrial and for the residential users. The aim of my essay is to define the heating value of the wood available around Debrecen in the winter period. In order to realize this I had to determine the extent of the water content and the fibre saturation point.in an experimental way, but by using some common measuring tool which is available at even an average household.*
If the measuring process can be done correctly, it can give way to determine the heating value of wood before use.

Keywords: *Wood heating, heating value, fiber saturation point, equilibrium moisture*

1. BEVEZETÉS

A fatüzelést, összes kényelmetlenségével és problémáival együtt, kezdjük újra felfedezni. A helyben növő állományok használata gyakoribb. A szállítás drága, energiaigényes, szennyez, és nagy távolságnál elveszíthetjük a fa megújuló jellegét. Változnak a fatüzelési szokások, a nyárfa, fenyő is eltüzelésre kerül. Ezért indokolt vizsgálódni.

Ezt támasztja alá, Loughlin és Dodder cikke, mely New York állam fatüzeléssel működő hőtermelőiről, gazdasági vonatkozásairól szól. Összehasonlítja más tüzelőanyagokkal, próbál a közeljövőt tekintve tendenciákat megállapítani. Fatüzelés részarányának növekedését jelzi, erős függésben a helyi és egyéni adottságoktól [1]

Hutkainé Göndör Zsuzsanna kistelepüléseken vizsgálta a fokozódó fatüzelés hatásait. Vizsgálta az emissziót és összevetette a lignit tüzeléssel. Járható útnak látja a hasábfa égetést, leginkább levegőkörnyezeti hatásokat elemzi. [2]

Dr. Bodnár István 2017-es könyvében vizsgálja a fás szárú biomasszák felhasználási lehetőségeit. Tárgyalták a lehetséges feldolgozási technológiákat, biomassza potenciált, erőművi felhasználás jelenét, jövőjét. Külön fejezetben foglalkozik a fagáz múltjával, jelenével [3]

Biomassza mikrohullámmal való melegítésének hatásait vizsgálja Kostas, Beneroso és Robinson cikke. Beszámolnak energiasűrűség növekedéséről, ezzel párhuzamosan csökkenő víztartalomról. Használata jelentősen csökkenti a vízvesztés idejét, de költségesebb. [4]

A nevezett munkák nem adják meg, hogy adott téli légállapoton tárolva mekkora lesz az adott fa fűtőértéke. Ezzel foglalkozik ez a cikk.

2. ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS

A fák gyökérzetből, törzsből és koronából épülnek fel. Az ipari felhasználás számára a törzs a legjelentősebb. Ennek külső része az elparásodott háncs, azaz a kéreg. Jelentős az ásványanyagtartalma, (több hamu képződik belőle) és nedvességtartalma. A következő réteg a szíjács, mely rétegben folyik döntően a víz és tápanyagszállítás. A belül a sűrű, kemény réteg, a geszt található, mely a fa idősebb, elhalt része.

A fa egyrészt fotoszintézis során levegő szén-dioxidjából, vízből, másrészt a talajoldatból gyökereken át felvett oldott ásványi anyagokból épül fel. Egy átlagos fa elemi alkotói ennek megfelelően szén (~50%), oxigén (~43%), hidrogén (~6%), nitrogén (0,2%). A maradék 0,8%-on több mint 40 féle mikroelem osztozik. Égés szempontjából nem lényegesek, hamualkotóként jelennek meg. Fafajonkénti, farészenkénti, termőhelytől függő eltérések lehetnek, de ez jellemzően csak néhány százalékot jelent. [5]

A fa alsó és felső fűtőértéke szintén eltérő lehet fafajonként, sőt farészenként is. A helyzetet tovább bonyolítja, hogy a fa higroszkópossága miatt bizonyos tehetetlenséggel ugyan, de folyamatosan változtatja víztartalmát, aminek változása jelentős fűtőérték ingadozást okoz, tökéletes égés esetén is. [6]

A vizsgálatunk során a vízmentes fa égéshőjének a *Holland Energetikai Kutató Központ* [7] nyilvános, biomassza tulajdonságait vizsgáló adatbázis értékeit vesszük, amely számos minta bombakalorimeteres mérésén alapul. Az itt szereplő értékeket a legjobban a Milne-formula írja fel matematikai alakban :

$$H_{f,Milne} = H_{f,C} \cdot g_C + H_{f,H} \cdot g_H - 12 \cdot g_O - 12 \cdot g_N - 1{,}53 \cdot g_{Hamu} \qquad (1)$$

ahol:

g_i – Az „i”-edik alkotó tömegaránya
$H_{f,i}$ – Az „i”-edik alkotó égéshője
C, H, O, N – A fa alkotói: Szén, hidrogén, oxigén, nitrogén,
g_{hamu} – A fa éghetetlen szilárd alkotóinak tümegaránya
12; 1,53 – Konstansok

A(z alsó) fűtőérték az égéshőnél a füstgáz víztartalmának fázisváltozási energiájával csökkentett értéke. Fatüzelésnél fontos érték, mivel jelenleg nem használunk kondenzációs megoldásokat. Értékét az alábbi összefüggéssel tudjuk meghatározni:

$$H_{a,elvi} = H_{f,elvi} - L \cdot 9 \cdot g_H \qquad (2)$$

ahol:

L – A füstgáz víztartalmának párolgáshője, értéke 2,45 [MJ/kg]
9 – Konstans, az égési bruttó egyenletekből levezetve.
$H_{f,elvi}$ – A tökéletesen szárat fa felső fűtőértéke (égéshője). Vagy mért érték, ennek hiányában számolt (pl. Milne módszer)

Gyakorlatban a faanyag mindig tartalmaz vizet. A víztartalmat a bruttó („u_{br}) nedvességtartalommal célszerű leírni. Értéke megegyezik a nedvesség tömegarányával:

$$g_{víz} \equiv u_{br} = \frac{m_n - m_0}{m_n} \tag{3}$$

ahol:
m_n – A mindenkori nedves tömege a fának
m_0 – A tökéletesen száraz fa tömege

A (3)-as összefüggést felhasználva fel tudjuk írni tetszőleges nedvességtartalmú fa fűtőértékét:

$$H_{a,tényl} = H_{a,elvi} \cdot (1 - g_{víz}) - L \cdot g_{víz} = (H_{f,elvi} - L \cdot 9 \cdot g_H) \cdot (1 - g_{víz}) - L \cdot g_{víz} \tag{4}$$

Hazai körülmények között a fát jellemzően kültéri levegőn tároljuk huzamosabb ideig. Ilyen tárolási körülmények között meghatározható, hogy mekkora bruttó nedvességtartalom alakul ki a fában, így pedig meghatározható akár a fűtőértéke is. A problémát az okozza, hogy a bruttó nedvességtartalmat mindig változó nedves tömegra vonatkoztatjuk. Ha viszont a száraz tömegre tennék, akkor egy olyan jellemzőt kapnánk melyben a nedves tömeg egy helyen szerepel. Ez a nettó nedvességtartalom („u_n”):

$$u_n = \frac{m_n - m_0}{m_0} \tag{5}$$

A nettó nedvességtartalom egy kitüntetett pontja az *egyensúlyi fanedvesség*. Ez az a nettó fanedvességi szint, mely a fában a környező levegő páratartalmának hatására beáll. Ha pedig ez a környező levegő páratartalom pontosan 100 %, akkor az egyensúlyi fanedvesség felveszi a fa *rosttelitettségi pontját.* Ha egyenlettel szeretnénk felírni:

$$u_{n,RH} \equiv ENT = \frac{m_{RH} - m_0}{m_0} \tag{6}$$

$$u_{n,RH\,\max} \equiv RTP = \frac{m_{RH\,\max} - m_0}{m_0} \tag{7}$$

Ha feltételezzük, hogy a két érték aránya, adott relaítv tartalom mellett közel állandó minden fára, akkor felírható:

$$ENT_{RH,valósfa} = \frac{ENT_{RH,átlagosfa}}{RTP_{átlagosfa}} \cdot RTP_{valósfa} \tag{8}$$

Ebből már felírható a bruttó nedvességtartalom, ha felhasználjuk az (5)-(8) összefüggéseket:

$$g_{RH,valósfa} = \frac{ENT_{RH,valósfa}}{ENT_{RH,valósfa} + 1} = \frac{\frac{ENT_{RH,átlagosfa}}{RTP_{átlagosfa}} \cdot RTP_{valósfa}}{\frac{ENT_{RH,átlagosfa}}{RTP_{átlagosfa}} \cdot RTP_{valósfa} + 1} \tag{9}$$

A következő, amit célszerű meghatározni az átlagos téli relatív páratartalom. Ennek értékét az Amatőr Meterológia Szolgálat *(amsz.hu*[1]) mérési adatait használtuk fel. Ezen adatok kertvárosi környezetben lettek mérve, így jól közelíthetik a valós tüzifa tárolási körülményeit. A felhasznált adatokat az *1. táblázat* tartalmazza. A téli hónapok összesített átlaga 80,14%.

1. Táblázat A téli légnedvesség havi átlagai az „amsz.hu" szerint

2.

Évek	Október	November	December	Január	Február
2008	75,4	79	82,1	81,5	68,4
2009	74,5	86,4	83,4	84,7	78,6
2010	76,3	82,3	84,8	85,5	81,6
2011	69,6	79,9	84,2	85,6	75,8
2012	77,1	83,9	84,3	75,6	68,9
2013	73	82,6	82,6	84	82,1
2014	81	85,3	80,1	84,8	81,7
Átlag:	76,26	82,11	83,07	82,74	76,50

Ennek ismeretében megtudjuk határozni egy átlagos fa esetén az adott relatív nedvességtartalomhoz tartozó ENT/RTP arányt. Ehhez fel kell használni *Lugosi Armand: Faipari kézikönyv 1-47 diagramját.* Az így nyert arány értéke 0,5789. Az ehhez a külső relatív páratartalomho tartozó bruttó nedvességtartalom a továbbiakban *„$g_{víz,téli}$"*-vel jelöljük, és az ehez tartozó *„$H_{a,tényl}$"* értéka pedig *„$H_{a,gyak}$"*. Az előbb említetteket beírva:

$$H_{a,gyak} = H_{f,elvi} - 9 \cdot L \cdot g_H + \left((9 \cdot g_H - 1) \cdot L - H_{f,elvi} \right) \cdot \frac{0{,}5789 \cdot RTP_{valósfa}}{0{,}5789 \cdot RTP_{valósfa} + 1} \qquad (10)$$

Mint látható a fűtőérték meghatározásához komoly jelentősége van a vizsgált fánk rosttelítettségi pontjának is. A következő pontban megvizsgáljuk ennek meghatározását.

3. MÓDSZEREK

3.1 A vizsgált fafajok

Vizsgált minták Debreceni Erdőspuszták erdeiből kerültek ki. Frissen vágott, 10 [cm], vagy annál kisebb átmérőjű, 2-3 [cm] szélességű áganyag, több helyről gyűjtve, fafajra jellemző darabokat válogatva. A vizsgált fajok az olasz nyár (Populus italica euramericana) és a fehér akác (Robinia pseudoacacia). Választásom oka jelentős területi részarányuk, az akác kemény, a nyár puhafa, eltér az RTP-jük is, sok szempontból a két szélsőséget képviselik. Ugyanakkor mindkét fajt használják energiafaként, jellemzően rövid vágásfordulóval.

Az *olasznyár* őshonos fafajunk keresztezett, vegetatív úton szaporított, ültetvényszerűen művelt változata. Rendkívül gyors növekedés és kis sűrűség (~360 [kg/m^3]) jellemzi. Gesztje élőnedvesen több vizet (200 [%]) tartalmaz, mint szíjácsa (120 [%]). Kiváló ipari fa, de energiaültetvények fája is lehet megfelelő termőhelyen. Nemesnyarak alkotják erdeink 6,3 [%]-át. Kéregaránya fiatalon 18 [%]. A rosttelítettségi pontja 0,292 [kg/kg]. [8]

[1] *„A www.amsz.hu egy nonprofit meteorológiai portál, amely azzal a célja jött létre, hogy olyan országos amatőr észlelői hálózatot alakítson ki, ahol pontosabb és hitelesebb adatokat tud szolgáltatni az érdeklődőknek. Tagjaink automata mérőállomásukkal bővítik az oldal adatbázisát."*

A homokfásítás fája a *fehér akác*. Nem őshonos, 1710 körül került hazánkba, tömegesen XIX. század közepe óta ültetik. Remekül alkalmazkodott éghajlatunkhoz, mára hungarikummá vált. Legnagyobb európai állományai nálunk találhatók, területarányuk országosan 24 [%]. Gyors növekedése ellenére a legsűrűbb ~770 [kg/m^3], legkeményebb fajaink között van. Rendkívül tartós. Igen jó tűzifa, élőnedvesen is ég. Színes gesztű, kéreg térfogataránya magas, ~28 [%].A rosttelítettségi pontja 0,195 [kg/kg]. [6]



1. ábra. A vizsgált fafajok
1−4 *Olasz nyár;* ***5−8*** *Fehér akác*

3.2 A Mérés módszere

Célom a vizsgált minták víztartalmának, rosttelítettségi pontjának megállapítása házi eszközökkel. Ehhez ismernünk kell a 0 [%] vizet tartalmazó fa, valamint egy ettől eltérő állandó, pontosan ismert páratartalmon tartott anyag súlyát.

Első lépés a fa száraz tömegének kimérése. Laboratóriumi körülmények között a vízmentesség az anyag 24 órán keresztüli 103 [°C]-on tartásával érhető el, képződő páratartalom egyidejű elvonásával. Így lassan, kívülről befelé melegedve az anyag felületén keresztül párolog el a víztartalom. Ahogy a bevezetőben írtam, egy másik vízelvonási mód a nagyfrekvenciájú vagy mikrohullámú sugárzás alkalmazása. Ezek belülről melegítik az anyagot, vízmolekulák energiáját növelik, így a vízvesztés gyors. Miután a víz elpárolgott, extrakt anyagok kezdenek forrni, gyorsan elérhető a gyulladási, égési hőmérséklet, így a minta tönkre mehet. Ez utóbbi módszerrel házi körülmények között is végezhető, de gyakori ellenőrzés szükséges a mérés közben. [8],[9] [10]

A mérés során felhasznált eszközöket a *2. táblázat* tartalmazza.

2. Táblázat A száraz tömeg meghatározásához használt eszközök

Eszköz	Márka, típus	Mérési/Működési tartomány, pontosság	Megjegyzés
Digitális konyhai mérleg	Dimarson DM-187	1–5.000 [g], 1[g]-os pontosság	
Mikrohul-lámú sütő	MM07	700W, 2450MHz	Tesco saját márkás
Digitális	SH 102	(-20) - 80 °C	Nedves gézbe

külső hőmérő		között 0,1 °C pontosság	csavarva tartva. Házi pszichrometer rész
Digitális belső hőmérő	SH 102	(-20) - 80 °C között 0,1 °C pontosság	Házi pszichrometer rész

A fafajonként egyszerre berakott 4-4 korong alakú minta (darabja ≅75g) volt. Vízvesztést segítendő, bütümetszeteket használtunk, az anizotrópia jelenségét kihasználva. Azonos fokozaton (≈280W), egységnyi ideig (5 perc) történő energiaközlést követő tömegmérések adatait feljegyeztük. Minden szakasz után visszahűtöttük kezdeti hőmérsékletre (20°C), ventilátor segítségével, majd újra szárítottuk a mintát. A súlyállandóságot elérve az eredményeket feljegyeztem. Itt a fa víztartalma 0 [%]. Ez az *„m_0”* (száraz, vízmentes tömeg).

A következő lépésben egy adott relatív nedvességtartalom mellett kellett meghatározni a súlyállandóságkor beálló nedves fa tömeget. A folyamat lassú, hetekig eltarthat, amíg bekövetkezik a súlyállandóság. Ezen feltételek mesterséges megteremtése érdekében kihasználtuk, hogy bizonyos sók telített vizes oldatainak közvetlen, zárt környezetében állandó páratartalom tapasztalható. A vizsgálat során réz szulfát ($CuSO_4{-}5{\cdot}H_2O$) telített vizes oldatát használtuk. Emellett 20°C-on, 98% relatív nedvességtartalom alakul ki. [12]

Ha tudjuk 98%-os relatív páratartalom esetén a nedves fa tömegét („m_n”) és tudjuk a száraz fa tömegét („m_0”), akkor a (6)-os összefüggés segítségével meg tudjuk határozni az ehhez tartozó „ENT_{RH}” egyensúlyi fanedvességet. Ezt felhasználva, a (8)-as összefüggés alapján meg tudjuk határozni a vizsgált fa rosttelítettségi pontját („$RTP_{valósfa}$”). Ehhez még szükséges, hogy egy átlagos fa esetén ismerjük a 98%-hoz tartozó ENT/RTP arányt. Ez *Lugosi Armand: Faipari kézikönyv 1-47 diagramot* használva 0,9825.

3. EREDMÉNYEK

Az első mérési sorozatban a mintákat mikrohullámú sütőben szárítottuk súlyállandóság beálltáig. Ehhez 50 percre volt szükség. Az olasz nyár (1-4. minta) és a fehér akác (5.-8. minta) eredményeit a *3. táblázat* tartalmazza.

3. Táblázat Az olasz nyár, a fehér akác és a puszta szil minták tömegváltozása száradáskor

	Olasz nyár				Fehér akác			
	1	2	3	4	5	6	7	8
0:00	*77*	*60*	*71*	*79*	*83*	*71*	*77*	*100*
0:05	*72*	*55*	*66*	*74*	*79*	*67*	*73*	*95*
0:10	*65*	*51*	*61*	*69*	*75*	*63*	*68*	*91*
0:15	*60*	*47*	*56*	*64*	*71*	*60*	*65*	*85*
0:20	*55*	*43*	*52*	*57*	*66*	*57*	*62*	*78*
0:25	*51*	*40*	*47*	*51*	*63*	*54*	*58*	*74*
0:30	*46*	*37*	*43*	*47*	*59*	*51*	*55*	*71*
0:35	*44*	*35*	*39*	*45*	*56*	*49*	*53*	*68*
0:40	*43*	*33*	*38*	*43*	*54*	*47*	*52*	*67*
0:45	*41*	*32*	*37*	*43*	*53*	*46*	*52*	*66*
0:50	*41*	*32*	*37*	*42*	*53*	*46*	*51*	*65*

A második mérési sorozat a minták tömegének meghatározása 98 %-os relatív páratartalom mellett *(„m_{RH}”)*. Az eredményeket az *4. táblázat* tartalmazza.

4. Táblázat A minták tömege 98% relatív páratartalom mellett

Fafaj	Minta sorszám	Tömeg
	N.o.	m_{RH}, [g]
Olasz nyár	1. minta	55
	2. minta	42
	3. minta	48
	4. minta	55
Fehér akác	5. minta	64
	6. minta	55
	7. minta	61
	8. minta	78

A (6)-os, a (8)-as és a (9)-es összefüggést és a két mérési sorozat eredményeit felhasználva kiszámoltuk a minták RTP értékét, és azt, hogy téli körülmények között mekkora bruttó nedvességtartamúak. A (10)-es összefüggéssel pedig meghatároztuk a minták fűtőértékét téli légállapoton. A nyert eredményeket mutatja be az *5. táblázat*.

5. Táblázat A minták rosttelítettségi pontja és téli relatív nedvességtartalom mellett a nettó és bruttó nedvességtartalmuk.

Minták	ENT_{RH}	RTP	$ENT_{tél}$	$g_{víz,tél}$	$H_{a,gyak}$
	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]	[MJ/kg]
1.	0,341	0,348	0,201	0,168	14,68
2.	0,313	0,318	0,184	0,156	14,92
3.	0,297	0,303	0,175	0,149	15,05
4.	0,310	0,315	0,182	0,154	14,95
5.	0,208	0,211	0,122	0,109	16,48
6.	0,196	0,199	0,115	0,103	16,60
7.	0,196	0,200	0,116	0,104	16,59
8.	0,200	0,204	0,118	0,105	16,56

Megvizsgáltuk a fafajok 4-4 mintájából képzett átlagos tömegek esetén a fára jellemző rosttelítettségi pontot és a téli bruttó és nettó nedvességtartalmat, valamint az ezekből számolt gyakorlati fűtőértéket. Ezt mutatja be a *6. táblázat*.

6. Táblázat A mintákból meghatározott átlagok rosttelítettségi pontja és téli relatív nedvességtartalom mellett a nettó és bruttó nedvességtartalmuk.

Fa átlag	m_0	m_{RH}	ENT_{RH}	RTP	$ENT_{tél}$	$g_{víz,tél}$	$H_{a,gyak}$
	g	g	kg/kg	kg/kg	kg/kg	kg/kg	MJ/kg
Olasz nyár	38	50	0,316	0,321	0,186	0,157	14,89
Fehér akác	53,75	64,5	0,200	0,204	0,118	0,105	16,56

4. KIÉRTÉKELÉS

A nyert adatokat összevetettük az irodalmi adatokkal. Elsőnek a *6. táblázat*ban szereplő átlagokat. A gyakorlati fűtőértéket a *Holland Energetikai Kutató Központ* nyilvános mérései jelentik, míg az RTP értékeit, csak több szakirodalomban találtuk meg. A nyert eredmények eltérését a *7. táblázat* tartalmazza.

7. Táblázat A mintákból meghatározott átlagok rosttelítettségi pontjának és gyakorlati fűtőértékének eltérése

Fafaj	RTP Irodalmi adat	Eltérés	$H_{a,gyak}$ HEKK mérései	Eltérés
	kg/kg	%	MJ/kg	%
Olasz nyár	0,292	-10,08%	14,72	1,17%
Fehér akác	0,195	-4,40%	16,43	0,76%

A házi módszerekkel meghatározott rosttelítettségi pont -4,4 és 10,08%-ban tér el. A gyakorlati fűtőértékben nincs ekkora eltérés, csak 0,76-1,17 % között változnak az értékek.

A következőkben megvizsgáltuk ezeket az egyes minták esetén is illetve azt, hogy mennyire térnek el az átlagtól. Elsőnek a rosttelítettségi pont esetén. (*8. táblázat*)

8. Táblázat A minták eltérés az átlaguktól és az irodalmi adatoktól a rosttelítettségi pontnál

Fafaj	Minták	Eltérés átlagtól, [kg/kg]	Eltérés átlagtól, [%]	Szórása	Eltérés Irodalmi adattól, [%]
Olasz nyár	1.	-0,026	-8,13	0,0190	-19,03
	2.	0,003	1,04		-8,93
	3.	0,019	5,86		-3,63
	4.	0,006	1,98		-7,89
Fehér akác	5.	-0,008	-3,77	0,0056	-8,34
	6.	0,004	2,17		-2,13
	7.	0,004	1,96		-2,35
	8.	-	0,00		-4,40

Az összehasonlításból kitűnik, hogy az *olasz nyár* minták (-8,13)-5,86 %-ban térnek el az átlagtól, ezzel ennek a mérési sorozatnak van a legnagyobb szórása. Ebből is az első minta amely nagyon eltér, ahogy az irodalmi adatokból való összevetésből is látszik. A *fehér akác* esetén (-3,77)-2,17% az eltérés az átlagtól, és a szórás itt a legkisebb. A szakirodalomi adatoktól az első mintát leszámítva legfeljebb 8,93%-ban térnek el.

A *9. táblázat* hasonló módon, de a gyakorlati fűtőértéket vizsgálja.

9. Táblázat A minták eltérés az átlaguktól és az irodalmi adatoktól a gyakorlati fűtőértéknél

Fafaj	Minták	Eltérés átlagtól	Eltérés átlagtól	Szórása	Eltérés Irodalmi adattól
		kg/kg	%		%
O –	1.	0,212	1,42	0,1553	0,26

	2.	-0,027	-0,18		-1,37
	3.	-0,156	-1,05		-2,24
	4.	-0,052	-0,35		-1,54
Fehér akác	5.	0,073	0,44	0,0533	-0,32
	6.	-0,042	-0,25		-1,02
	7.	-0,038	-0,23		-1,00
	8.	-	0,00		-0,77

Itt az eltérés nagyon kicsi, az átlagtól a 8 minta legfeljebb 1,42%-ban tér el, míg a *Holland Energetikai Kutató Központ* méréseitől 2,24%-ban. Ha figyelembe vesszük a házi mérés pontosságának korlátjait (pl. a mérleg osztása, mérési pontossága, hibahatára). Akkor kijelenthető, hogy házi módszerekkel, és néhány egyenlet megfelelő használatával pontos eredményeket tudunk adni a vizsgált gyakorlati fűtőértékére.

5. ÖSSZEGZÉS

A cikkben megvizsgáltuk a fa nedvességtartalmának és rosttelítettségi pontjának hatását a fa fűtőértékére. Utóbbinak meghatározását elvégeztük otthoni környezetben fellelhető eszközök segítségével. A nyert eredményeket összevettettük a szakirodalmi adatokkal, az egyes minták esetén jellemzően 10% alatti az eltérés.

A fa fűtőértékei közül az átlagos téli tárolási körülmények között kialakuló értéket kívántuk meghatározni. Ehhez meghatároztuk az utóbbi évtized jellemző átlagos téli relatív páratartalmát. Az ehhez a páratartalomhoz meghatároztuk a mérések alapján az alsó fűtőértéket, melyet összevetettünk a *Holland Energetikai Kutató Központ* hitelesített méréseivel. Az eltérések a minták esetén 2,24 % alattiak, míg a 4 mintából képzett átlagnál már csak 1,17%.

A későbbiekben első lépésként ki szeretnénk terjeszteni a módszert további fafajokra is.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **LOUGHLIN, D.H., DODDER, R. S.***: Engineering economic assessment of whole-house residential wood heating in New York,* Biomass and Bioenergy Volume 60, January 2014, Pages 79-87, ISSN: 0961-9534

[2] **HUTKAINÉ, Z. G., KOÓS, T., SZŰCS I.**: *Faalapú biomassza energiacélú hasznosításának globális és helyi levegőkörnyezeti hatásai*. Anyagmérnöki Tudományok. 38/1. pp. 137–146. 2013, ISSN: 2063-6784

[3] **BODNÁR I**: *Fás szárú biomasszák és települési szilárd hulladékok termikus hasznosítása*. Miskolc, 2017. ISBN: 978-963-12-7604-6

[4] **KOSTAS, E. T., BENEROSO, D., ROBINSON, J. P.**: *The application of microwave heating in bioenergy: A review on the microwave pre-treatment and upgrading technologies for biomass* Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 77, September 2017, Pages 12-27, ISSN: 1364-0321

[5] **MOLNÁR,S.**: *Faanyagismeret*. Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 1999. ISBN: 978-963-95-5317-0

[6] **VERES, R.**: *Faipari anyag- és gyártásismeret*. Pécs: Szega Books Kiadó, 2008. ISBN: 978-963-97-0215-8

[7] ECN Phyllis2 Database for biomass and wasteh. https://www.ecn.nl/phyllis2/ [Hozzáférés dátuma: 2017. 11. 27. 10:14].

[8] **LUGOSI, A.**: *Faipari kézikönyv*, Budapest, Műszaki könyvkiadó, 1976, ISBN: 963-10-1383-9

[9] **IMRE, L.**: *Szárítási kézikönyv*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1974 ISBN: 963-10-0626-3

[10] **ZHOU, H., XU, R, MA, E.:** *Effects of Removal of Chemical Components on Moisture Adsorption by Wood*. BioResources. 2016. 11/2. pp. 3110-3122. ISSN 1930-2126

FERDE FOGAZATÚ FOGASKERÉKPÁROK SZÁMÍTÓGÉPPEL SEGÍTETT TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE

COMPUTER AIDED DESIGNING AND MODELLING OF HELICAL GEAR PAIRS

BODZÁS Sándor

Ph.D., tanszékvezető helyettes, főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu
Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A publikáció célkitűzése a ferde fogazatú fogaskerékpárok (elemi, kompenzált és általános) tervezési folyamatának általánosítása és a számítógépes modellek elkészítése (CAD). A CAD modellek előállítása fontos TCA vizsgálatokhoz. Számítógépes programot fejlesztünk ki a tervezési folyamat automatizálása céljából. A publikációban tervezünk egy adott geometriájú ferde fogazatú hengeres fogaskerékpárt melyet a TCA vizsgálatok során különböző nyomatékokkal terheljük. Vizsgáljuk a nyomatékok hatására keletkező TCA paramétereket.*

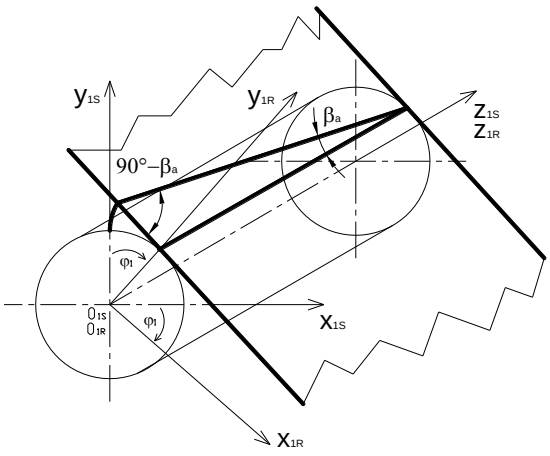
Kulcsszavak: *ferde fogazat, TCA, nyomaték, CAD*

Abstract: *The objective of the publication is the universal designing process of the helical gear pairs (x-zero gears, gears having normal or modified teeth) and making of the computer aided models (CAD). Determination of the CAD models is important for the TCA analysis. A computer aided program is worked out because of the automatization of the designing process. A given geometric helical gear pair will be designed in this publication which is loaded by different moments during the TCA analysis. The received TCA parameters will be analysed in the function of the moments.*

Keywords: *helical gear, TCA, moment, CAD*

1. BEVEZETÉS

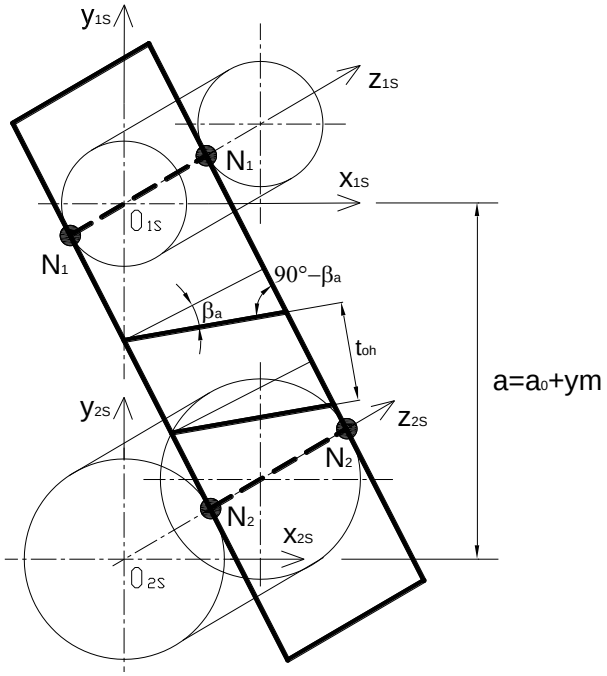
A ferde fogazatú fogaskerékpárokat széles körben használják a különböző gépészeti berendezésekben. A fogak kapcsolódása folyamatosan történik, ezért zajtalanabbul járnak az egyenes fogazatú fogaskerekekhez képest. A ferde fogkialakítás miatt a fogak kapcsolódásakor radiális és tengelyirányú erő is ébred [3, 5, 7, 8, 9, 10].



1. ábra. Az evolvens csavarfelület keletkezése

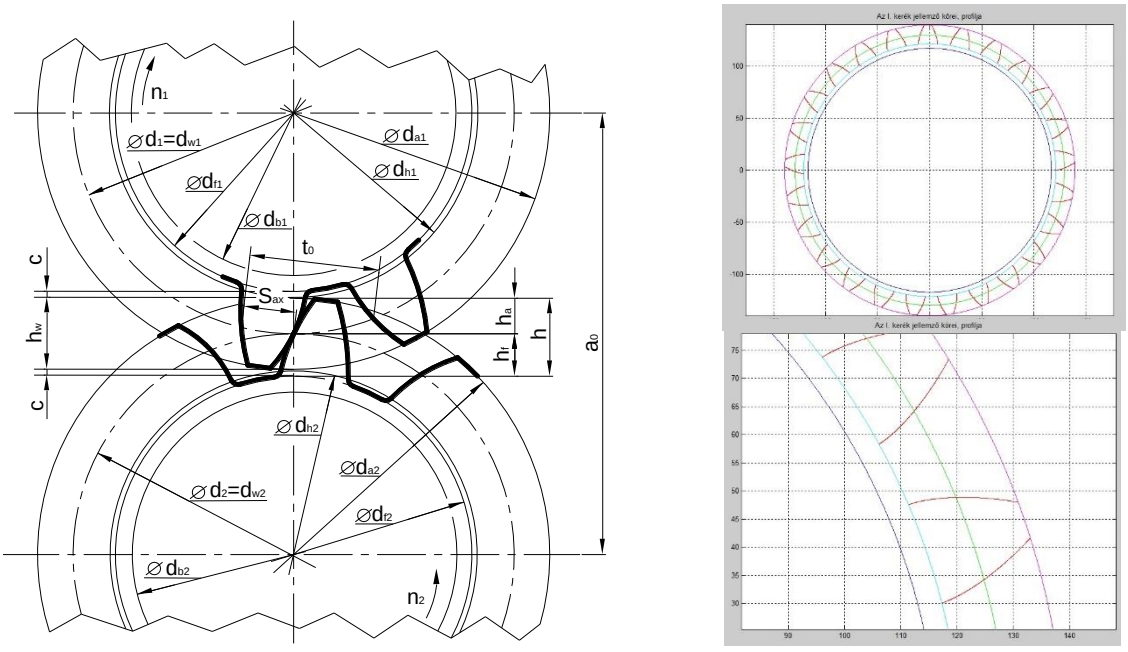
Az 1. ábrán látható, hogy az evolvens csavarfelület származtatásakor a K_{1S} álló koordináta rendszerben lévő alaphenger körül a K_{1R} koordináta rendszerben egy alaphengert érintő síkot forgatunk. Ezen síknak egy tetszőleges ferde egyenese evolvens csavarfelületet ír le. Ennek a körhengerre merőleges minden síkmetszete csúcsos evolvens. Az alaphengert érintő sík a kapcsolósík [3, 5, 7, 8].

A kerekek fogfelületeinek kapcsolódása mindig a kapcsolósíkban történik a ferde egyenes mentén, amelyet a fogfelület alkotójának nevezünk (2. ábra) [3, 5, 7, 8].



2. ábra. Evolvens csavarfelületek alaphengerei és kapcsolósíkja

2. ELEMI FERDE FOGAZATÚ HENGERES FOGASKEREKEK TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE

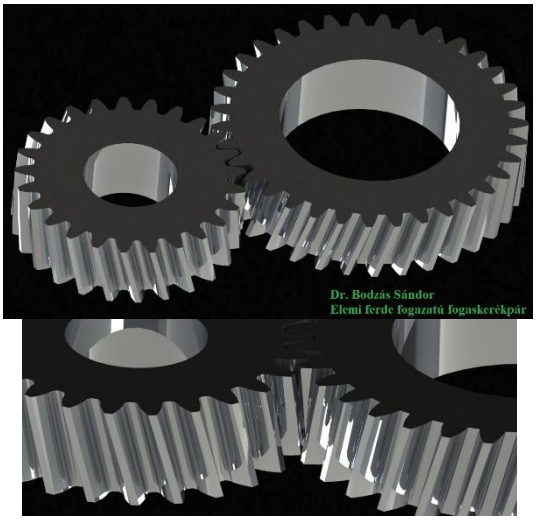


3. ábra. Elemi ferde fogazatú hengeres kerékpár tervezése

Elemi fogazatú fogaskerekek tulajdonsága, hogy a fogak kapcsolódása az osztókörátmérő (d_1, d_2) mentén történik, azaz (3. ábra) [5, 8]

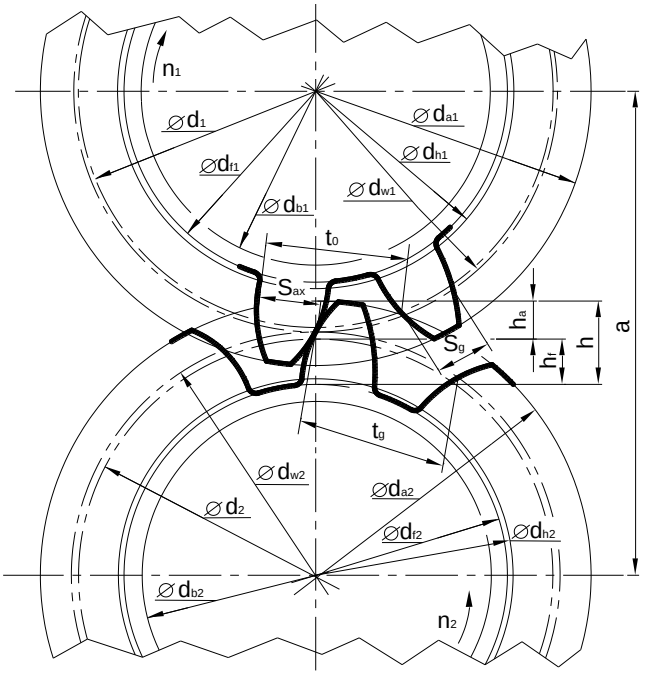
$$\left.\begin{aligned} a_o &= \frac{d_1 + d_2}{2} \\ d_1 &= d_{w1} \\ d_2 &= d_{w2} \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Elemi ferde fogazatú fogaskerékpár		
Axiálmetszeti modul	m= 10 mm	
Fogszámok	z1=25	z2=35
Osztóhengeri fogferdeségi szög	β_o=15°	
Csavarvonal emelkedési szög	γ_o=75,923°	
Homlokmetszeti evolvens profilszög az osztókörön	α_{ok}=20,646°	
Kerék osztása a homloksíkban	t_{ok}=32,524 mm	
Homlokmetszeti modul	m_h=10,352 mm	
Fejmagasság	h_a=10 mm	
Lábhézag	c=2,5 mm	
Lábmagasság	h_f=12,5 mm	
Elemi tengelytáv	a_o=310,582 mm	
Osztókörátmérők	d_1=258,819 mm	d_2=362,346 mm
Fejkörátmérők	d_{a1}=278,819 mm	d_{a2}=382,346 mm
Lábkörátmérők	d_{f1}=233,819 mm	d_{f2}=337,346 mm
Foghézag	j_s=1.6262 mm	
Működő fogmagasság	h_w= 20 mm	
Osztóköri fogvastagság	S_{ax}= 15,449 mm	
Alapkörátmérők	d_{ak1}= 242,19mm	d_{ak2}= 339,07mm
Áttétel	i=1,4	



4. ábra. Konkrét geometriájú elemi ferde fogazatú fogaskerékpár tervezése és modellezése

3. ÁLTALÁNOS FERDE FOGAZATÚ HENGERES FOGASKEREKEK TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE

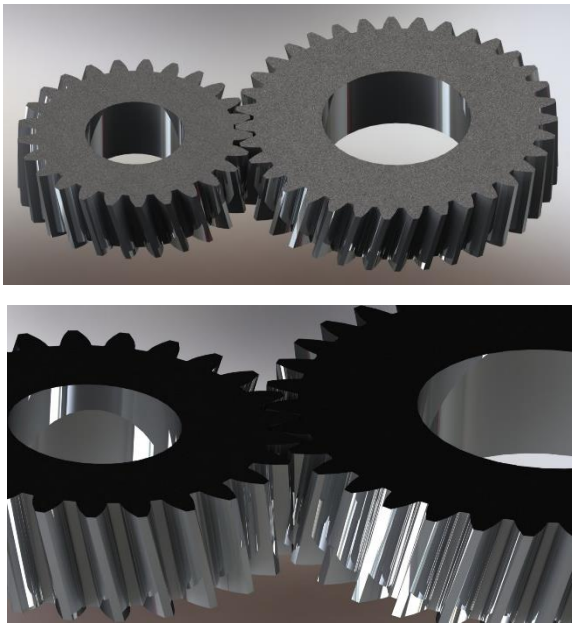


5. ábra. Általános ferde fogazatú hengeres kerékpár tervezése

Általános fogazat tulajdonsága hogy a kerekek profileltolással készülnek. Ebből adódóan az osztókörátmérő (d_1, d_2) és a gördülőkör (dw_1, dw_2) átmérő nem egyezik meg. A fogak kapcsolódása a gördülőkör átmérő mentén történik. Értelmezhetjük az elemi (a_0) és a valós tengelytávot (a) [5, 8]:

$$\left.\begin{array}{l} a_0 = \dfrac{d_1 + d_2}{2} \\ a = \dfrac{d_{w1} + d_{w2}}{2} \\ d_1 \neq d_{w1} \\ d_2 \neq d_{w2} \end{array}\right\} \quad (2)$$

Általános ferde fogazatú fogaskerékpár		
Axiálmetszeti modul	m= 5 mm	
Fogszámok	z1=25	z2=35
Osztóhengeri fogferdeségi szög	β0=15°	
Csavarvonal emelkedési szög	γ0=75,923°	
Homlokmetszeti evolvens profilszög az osztókörön	α0h=20,646°	
Kerék osztása a homloksíkban	toh=16,262 mm	
Homlokmetszeti modul	mh=5,176 mm	
Fejmagasságok	ha1=4,726 mm	ha2=4,726 mm
Lábhézag	c=1 mm	
Lábmagasság	hf1=5,726 mm	hf2=5,726 mm
Elemi tengelytáv	a0=155,291 mm	
Tengelytáv	a=157,866 mm	
Fajlagos tengelytáv növekmény	y=0,497 mm	
Osztókör átmérők	d1=129,409 mm	d2=181,173 mm
Fejkör átmérők	da1=141,009 mm	da2=193,631 mm
Lábkör átmérők	df1=120,102 mm	df2=172,724 mm
Foghézag	js=0,83 mm	
Működő fogmagasság	hw= 9,453 mm	
Osztóköri fogvastagságok	Sax1= 8,937 mm	Sax2=9,853 mm
Alapkör átmérők	dak1= 127,097 mm	dak2= 169,536 mm
Gördülőkör átmérők	dw1= 131,555 mm	dw2= 184,178 mm
Fajlagos profileltolások összege	Σx=0,671	
Profileltolás tényezők	x1=0,214	x2=0,457
Áttétel	i=1,4	

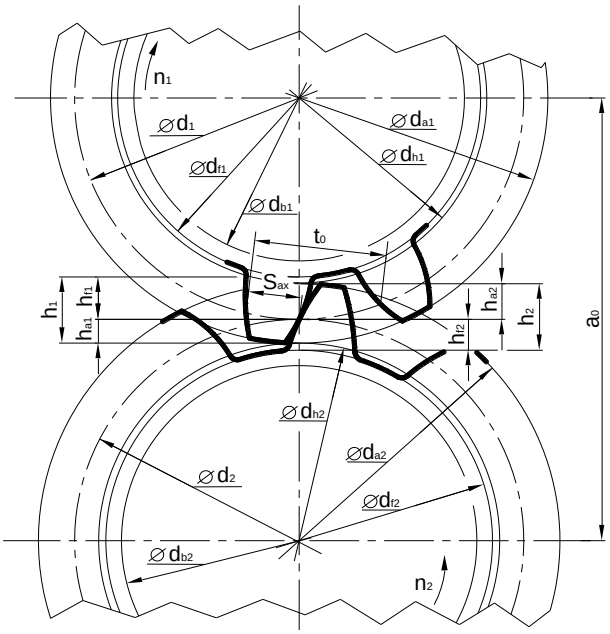


6. ábra. Konkrét geometriájú általános ferde fogazatú fogaskerékpár tervezése és modellezése

4. KOMPENZÁLT FERDE FOGAZATÚ HENGERES FOGASKEREKEK TERVEZÉSE ÉS MODELLEZÉSE

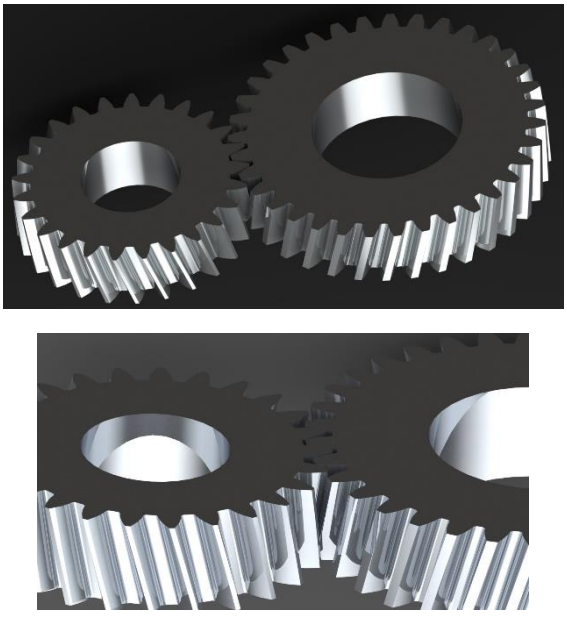
Kompenzált fogazat tulajdonsága, hogy a kerekek profileltolással készülnek, de a fogak kapcsolódása az osztókör átmérők mentén történik. A fajlagos profileltolások összege nulla [5, 8]:

$$\left.\begin{array}{l} a_0 = \dfrac{d_1 + d_2}{2} \\ d_1 = d_{w1} \\ d_2 = d_{w2} \\ \sum x = x_1 + x_2 = 0 \end{array}\right\} \quad (3)$$



7. ábra. Kompenzált ferde fogazatú hengeres kerékpár tervezése

Kompenzált ferde fogazatú fogaskerékpár		
Axiálmetszeti modul	m= 5 mm	
Fogszámok	z1=25	z2=35
Osztóhengeri fogferdeségi szög	β0=15°	
Csavarvonal emelkedési szög	γ0=75,923°	
Homlokmetszeti evolvens profilszög az osztókörön	α0h=20,646°	
Kerék osztása a homloksíkban	toh=16,262 mm	
Homlokmetszeti modul	mh=5,176 mm	
Fejmagasságok	ha1=6,035 mm	ha2=3,964 mm
Lábhézag	c=1,25 mm	
Lábmagasság	hf1=5,214 mm	hf2=7,285 mm
Elemi tengelytáv	a0=155,291 mm	
Osztókör átmérők	d1=129,409 mm	d2=181,173 mm
Fejkör átmérők	da1=141,480 mm	da2=189,102 mm
Lábkör átmérők	df1=118,98 mm	df2=158,673 mm
Foghézag	js=0,83 mm	
Működő fogmagasság	hw= 9,453 mm	
Osztóköri fogvastagságok	Sax= 7,724 mm	
Alapkör átmérők	dak1= 121,097 mm	dak2= 169,536 mm
Profileltolás tényező	x1=0,2	
Áttétel	i=1,4	



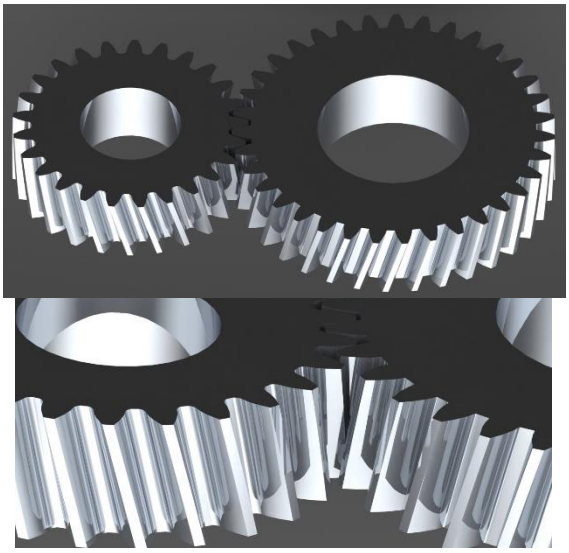
8. ábra. Konkrét geometriájú kompenzált ferde fogazatú fogaskerékpár tervezése és modellezése

5. TCA VIZSGÁLATOK KONKRÉT GEOMETRIÁJÚ ELEMI FERDE FOGAZATÚ FOGASKERÉKPÁR ESETÉRE

A *„Tooth Contact Analysis”* (TCA) vizsgálatok célja a fogazott hajtópárok kapcsolódásának számítógépes modellezése és szimulációja a mechanikai tulajdonságok meghatározása céljából [7, 9, 10].

Terveztünk egy konkrét geometriájú elemi ferde fogazatú hengeres fogaskerékpárt, melynek elkészítettük a CAD modelljét (9. ábra). Vizsgáljuk a terhelő nyomatékok hatására a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén ébredő normál feszültség, normál nyúlás és normál deformáció értékeket [7, 9].

1. Geometriai adatok meghatározása		
Axiálmetszeti modul	m= 5 mm	
Fogszámok	z_1=25	z_2=35
Osztóhengeri fogferdeségi szög	β_0=15°	
Csavarvonal emelkedési szög	γ_0=75,923°	
Homlokmetszeti evolvens profilszög az osztókörön	α_{0h}=20,646°	
Kerék osztása a homloksíkban	t_{oh}=16,262 mm	
Homlokmetszeti modul	m_h=5,176 mm	
Fejmagasság	h_a=5 mm	
Lábhézag	c=1,25 mm	
Lábmagasság	h_f=6,25 mm	
Elemi tengelytáv	a_0=155,291 mm	
Osztókörátmérők	d_1=129,409 mm	d_2=181,173 mm
Fejkörátmérők	d_{a1}=139,409 mm	d_{a2}=191,173 mm
Lábkörátmérők	d_{f1}=116,909 mm	d_{f2}=168,673 mm
Foghézag	j_s=0,813 mm	
Működő fogmagasság	h_w= 10 mm	
Osztóköri fogvastagság	S_{ax}= 7,724 mm	
Alapkörátmérők	d_{ak1}= 121,09 mm	d_{ak2}= 169,53 mm
Áttétel	i=1,4	



9. ábra. A vizsgálatokhoz tervezett konkrét geometriájú elemi hengeres ferde fogazatú fogaskerékpár

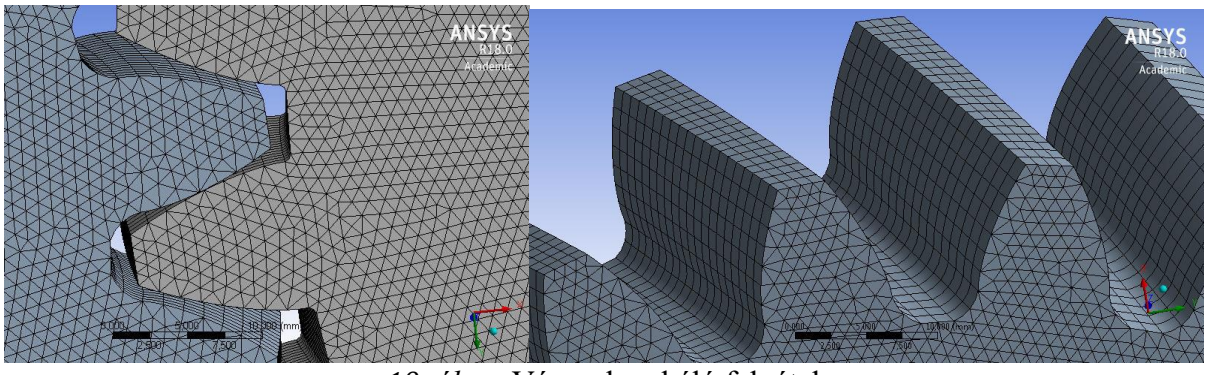
5.1. Anyagminőség definiálása, végeselem háló felvétel

A vizsgálatokhoz a kapcsolódó fogaskerékpár anyag tulajdonságát az 1. táblázat szerint definiáltuk.

1. Táblázat. Anyagjellemzők definiálása

Sűrűség	7850 kg/m^3
Folyáshatár	250 MPa
Szakítószilárdság	460 MPa

A végeselem haló felépítésekor a fogérintkezési zónában sűrű tetraéderes hálózást alkalmaztunk a homlokfelületen. Ezt a halót a foghossz mentén egyenletesen osztottuk ki 20 db egyenlő osztással (10. ábra) [7, 9, 10]. A kontakt zónában a súrlódási együttható μ=0,15 .

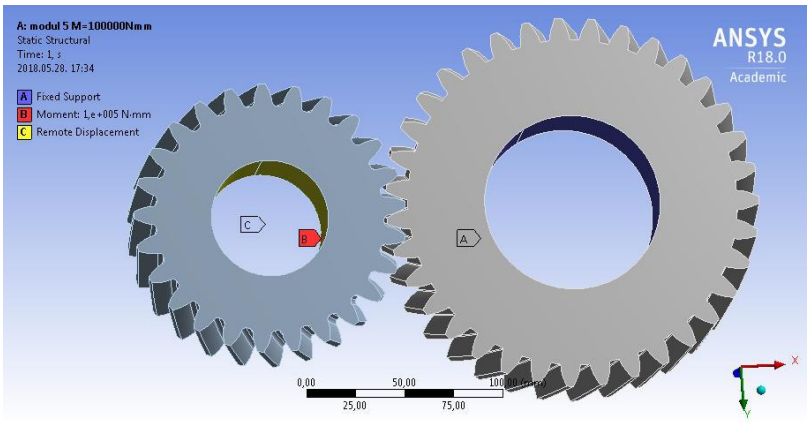


10. ábra. Végeselem háló felvétel

5.2. Terhelési és peremfeltételek beállítása

A TCA vizsgálathoz négy koordináta rendszert definiáltunk: K_s – abszolult álló, K_{s1} – a hajtó

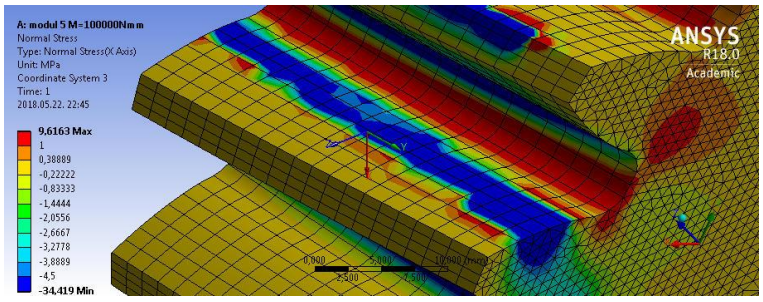
kerékhez kötött álló, K_{s2} – a hajtott kerékhez kötött álló és a K_c – fogérintkezési zónában lévő koordináta rendszerek.



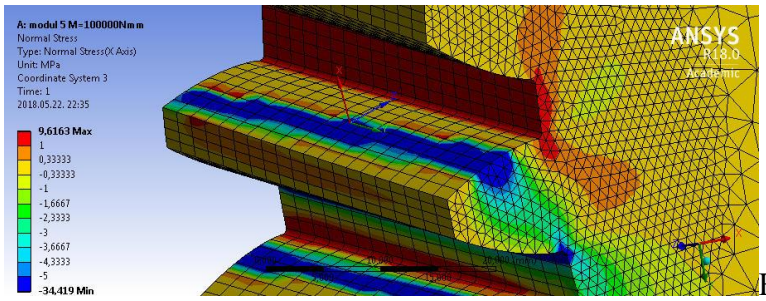
11. ábra. Terhelési és peremfeltételek beállítása

A vizsgálatok során a kisebb fogszámú kerékkel hajtjuk meg a nagyobb fogszámú kereket. A kerekek 5 szabadsági fokát lekötöttük, csak a forgástengely körüli forgást engedélyeztük (11. ábra). A hajtó kereket M=100 – 200 Nm forgatónyomatékkal terheljük 20 Nm lépésekkel.

5.3. Normál feszültség vizsgálatok

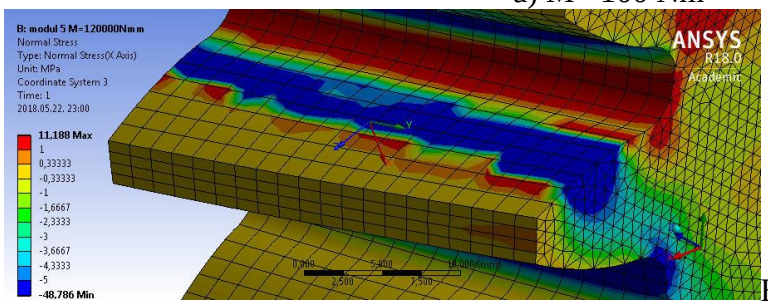


Hajtó kerék, $\overline{\sigma_n} = -2{,}81$ MPa

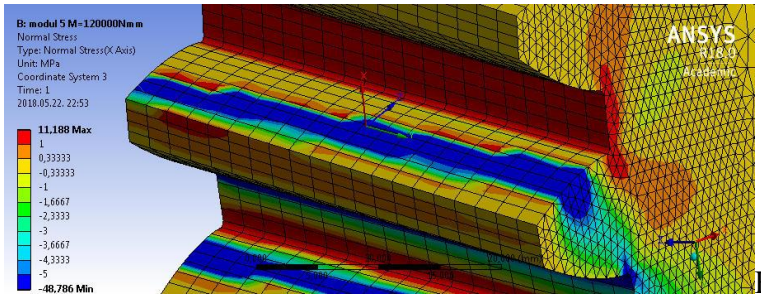


Hajtott kerék, $\overline{\sigma_n} = -2{,}61$ MPa

a) M= 100 Nm

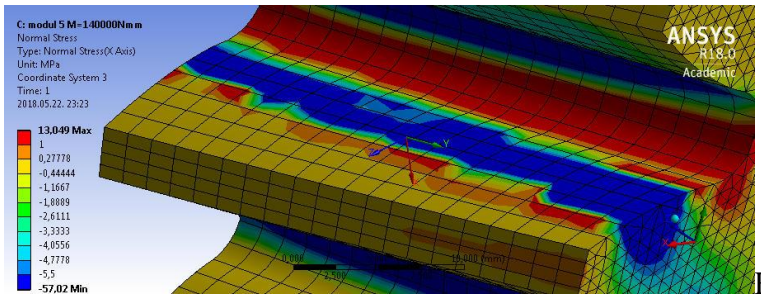


Hajtó kerék, $\overline{\sigma_n} = -3{,}16$ MPa

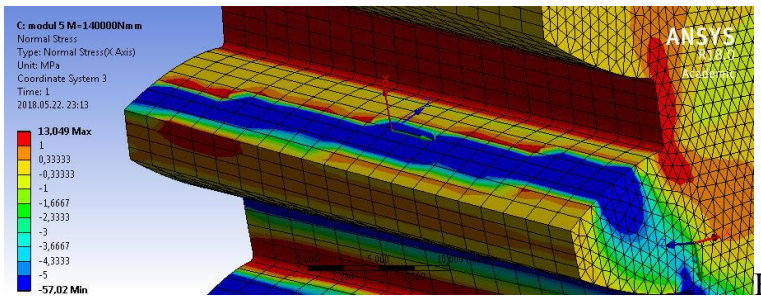


Hajtott kerék, $\overline{\sigma_n} = -3{,}31$ MPa

b) M= 120 Nm

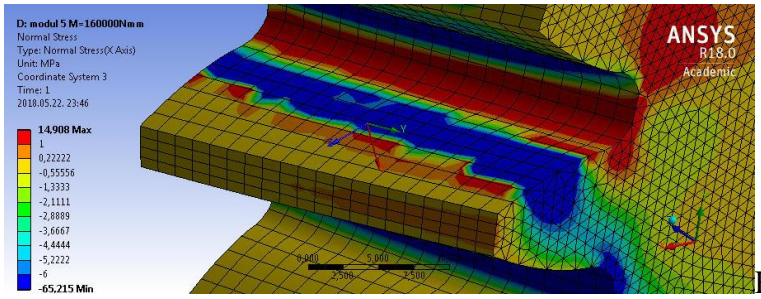


Hajtó kerék, $\overline{\sigma_n} = -3{,}77$ MPa

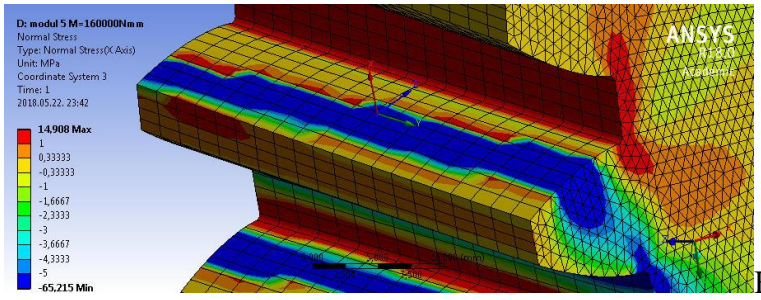


Hajtott kerék, $\overline{\sigma_n} = -3{,}73$ MPa

c) M= 140 Nm

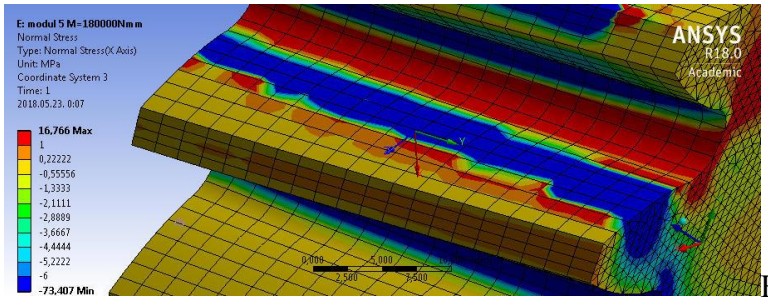


Hajtó kerék, $\overline{\sigma_n} = -3{,}97$ MPa

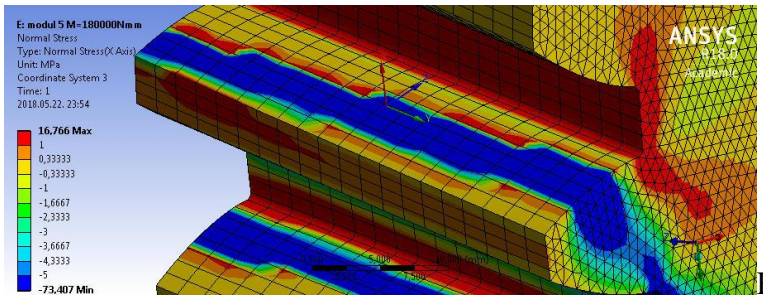


Hajtott kerék, $\overline{\sigma_n} = -4{,}11$ MPa

d) M= 160 Nm

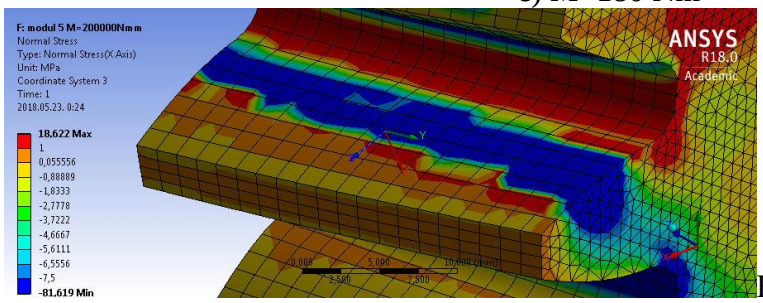


Hajtó kerék, $\overline{\sigma_n} = -5{,}25$ MPa

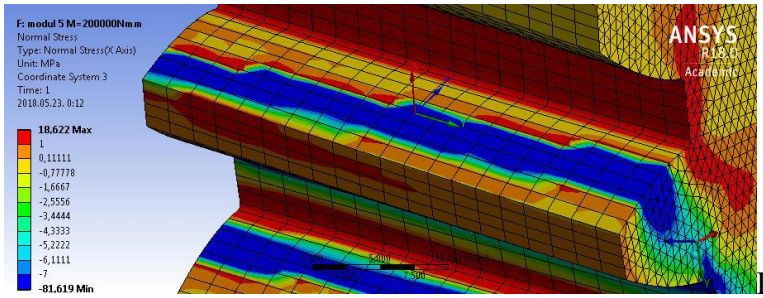


Hajtott kerék, $\overline{\sigma_n} = -4{,}678$ MPa

e) M=180 Nm



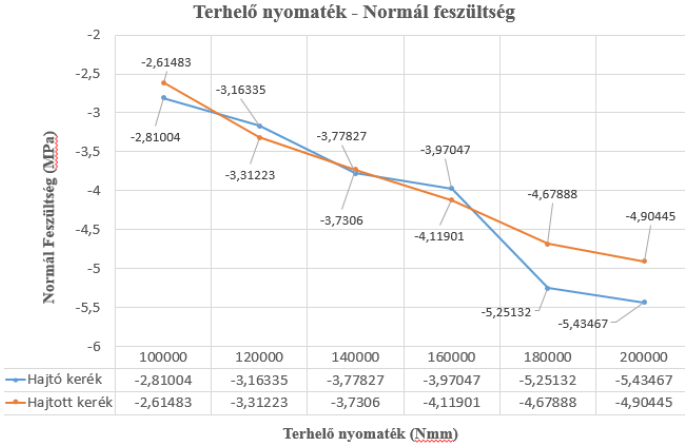
Hajtó kerék, $\overline{\sigma_n} = -5{,}43$ MPa



Hajtott kerék, $\overline{\sigma_n} = -4{,}90$ MPa

f) M= 200 Nm

12. ábra. A terhelő nyomaték hatására kialakuló normál feszültség értékek

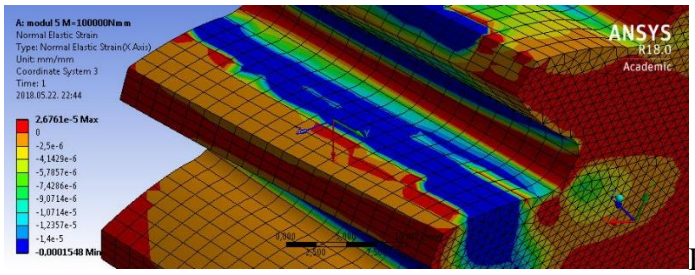


13. ábra. Terhelő nyomaték – normál feszültség diagram

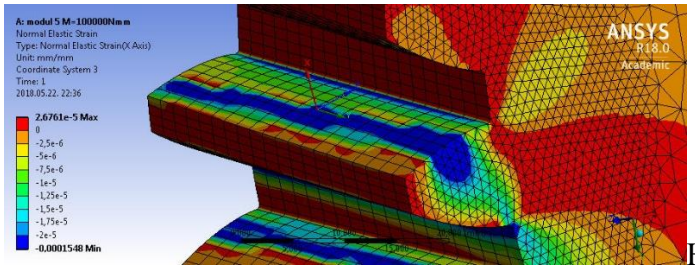
A terhelő nyomatékok hatására a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén az alábbi normál feszültség eloszlások és átlagos normál feszültség értékek jöttek létre (12. ábra).

A kapott eredményeket diagramon ábrázoltuk (13. ábra). Látható hogy abszolult értékben értelmezve a nyomaték növelésének hatására a normál feszültség értékek növekednek a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén.

5.4. Normál nyúlás vizsgálatok

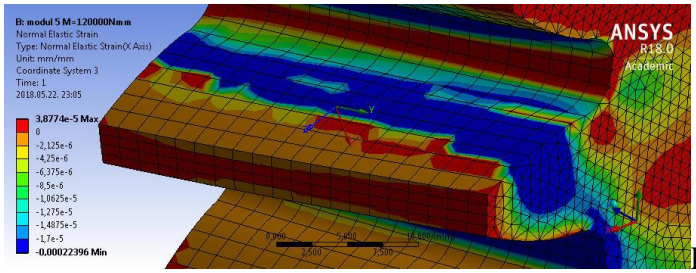


Hajtó kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000127 mm

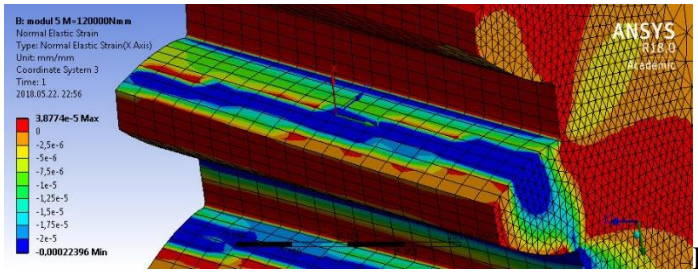


Hajtott kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000136 mm

a) M=100 Nm

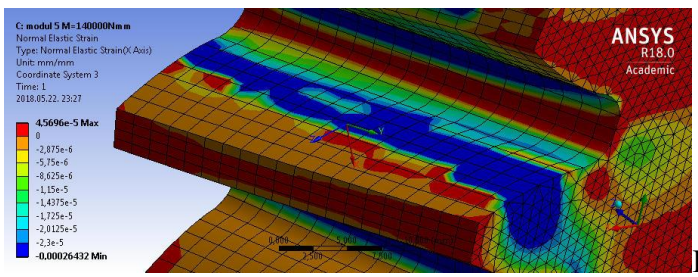


Hajtó kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000148 mm

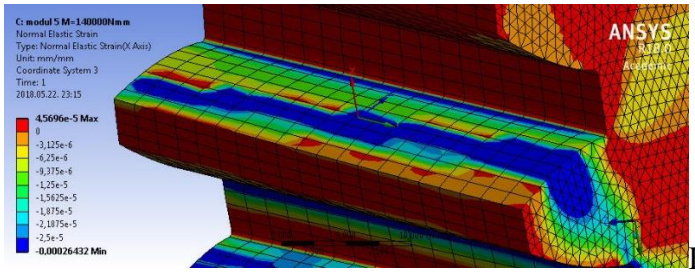


Hajtott kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000154 mm

b) M= 120 Nm

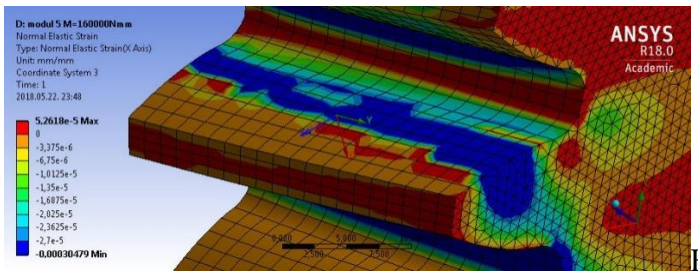


Hajtó kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000174 mm

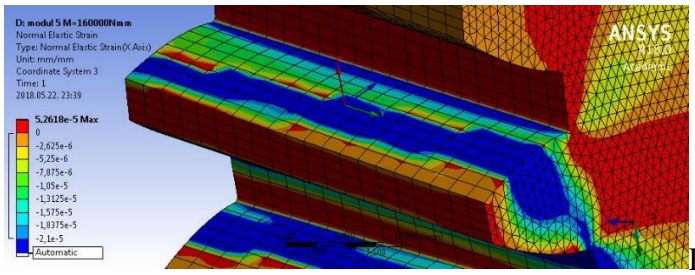


Hajtott kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000177 mm

c) M= 140 Nm

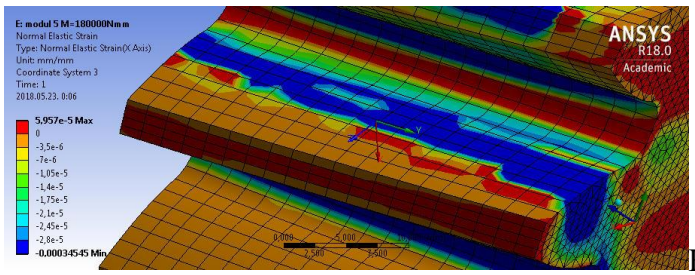


Hajtó kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000183 mm

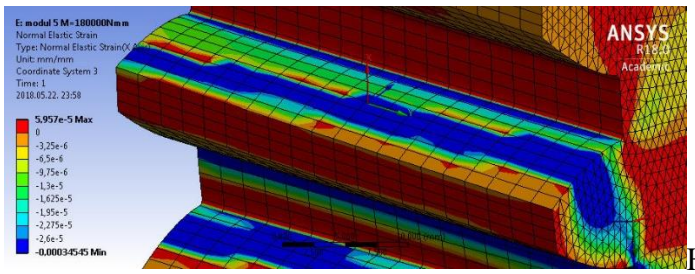


Hajtott kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000201 mm

d) M= 160 Nm

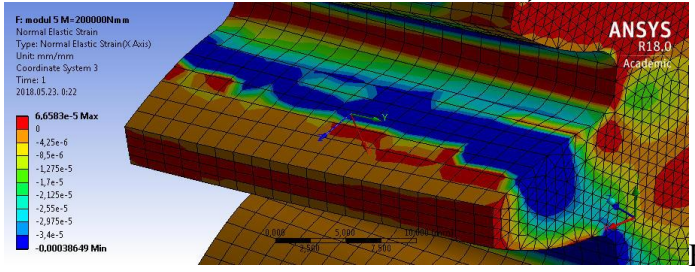


Hajtó kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000219 mm

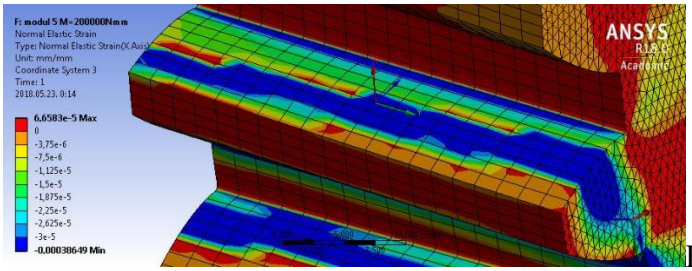


Hajtott kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000242 mm

e) M= 180 Nm



Hajtó kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000253 mm

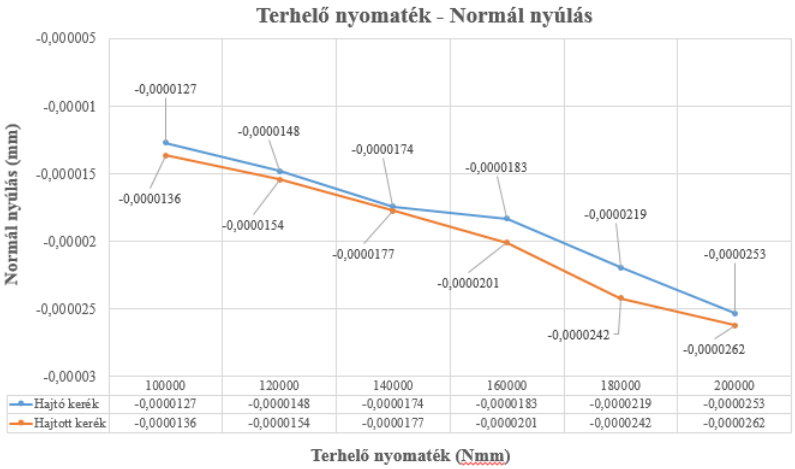


Hajtott kerék, $\overline{\varepsilon_n}$ =-0,0000262 mm

f) M= 200 Nm

14. ábra. A terhelő nyomaték hatására kialakuló normál nyúlás értékek

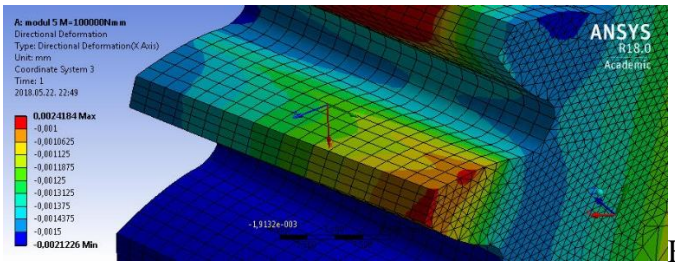
A terhelő nyomatékok hatására a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén az alábbi normál nyúlás eloszlások és átlagos normál nyúlás értékek jöttek létre (14. ábra).



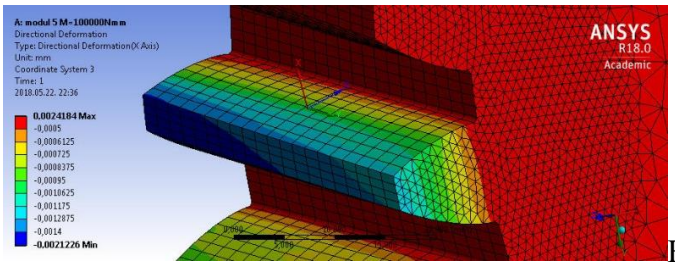
15. ábra. Terhelő nyomaték – normál nyúlás diagram

A kapott eredményeket diagramon ábrázoltuk (15. ábra). Látható hogy abszolult értékben értelmezve a nyomaték növelésének hatására a normál nyúlás értékek növekednek a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén.

5.5. Normál deformáció vizsgálatok

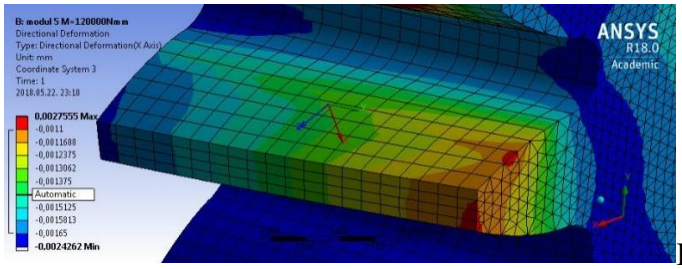


Hajtó kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00127 mm

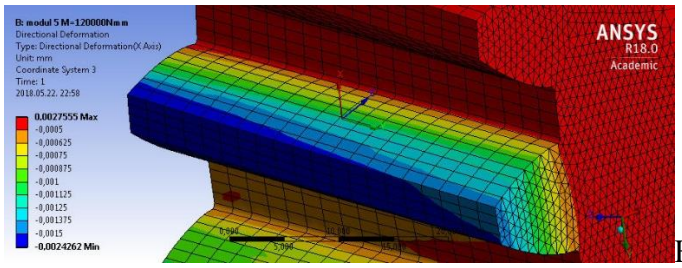


Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00127 mm

a) M= 100 Nm

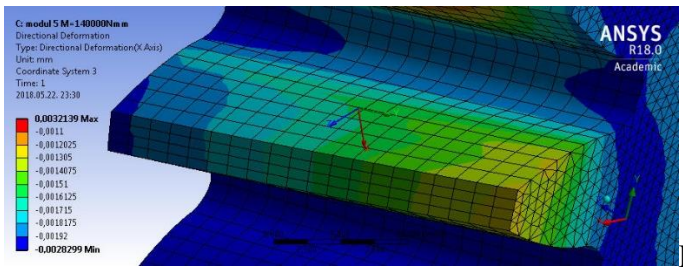


Hajtó kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00141 mm

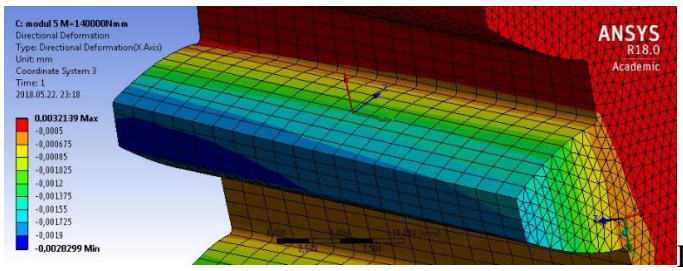


Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00111 mm

b) M= 120 Nm

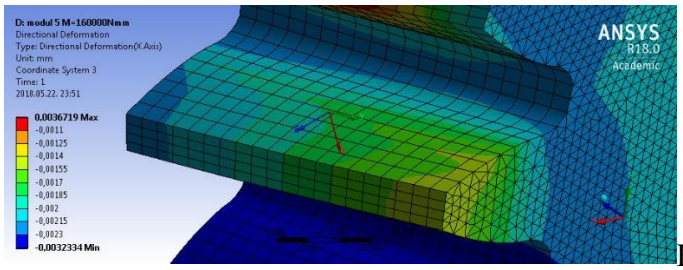


Hajtó kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00165 mm

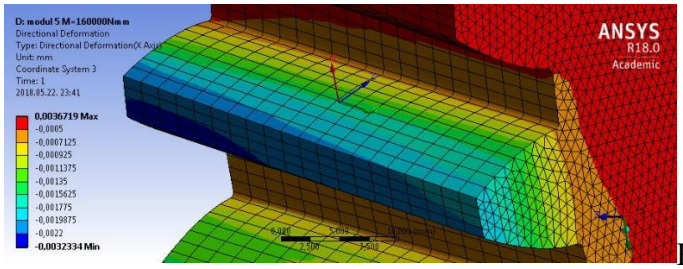


Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00123 mm

c) M=140 Nm

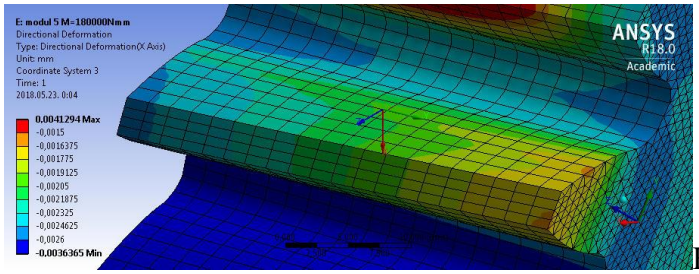


Hajtó kerék, $\overline{u_x}$ =-0,0019 mm

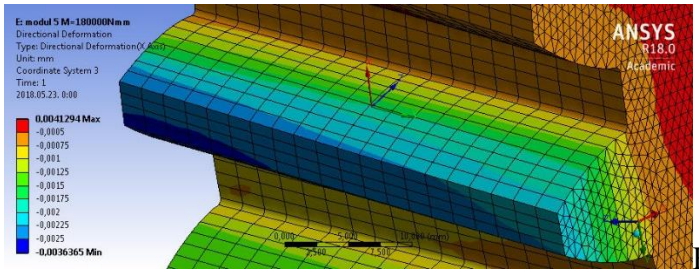


Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00141 mm

d) M= 160 Nm

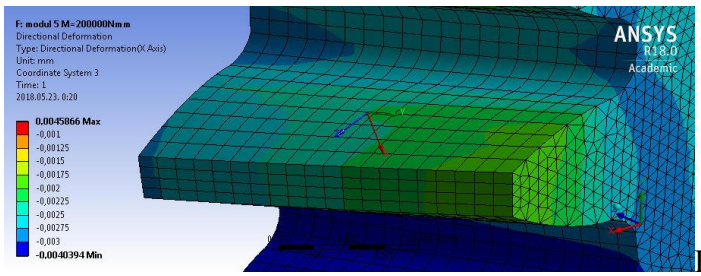


Hajtó kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00212 mm

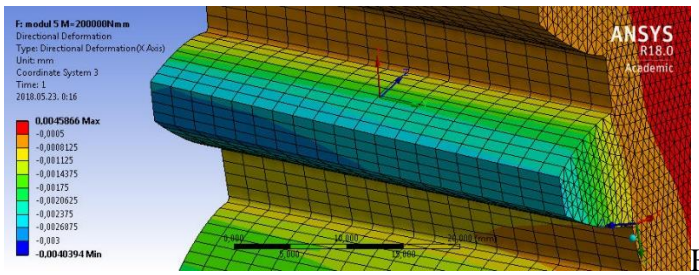


Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00163 mm

e) M= 180 Nm



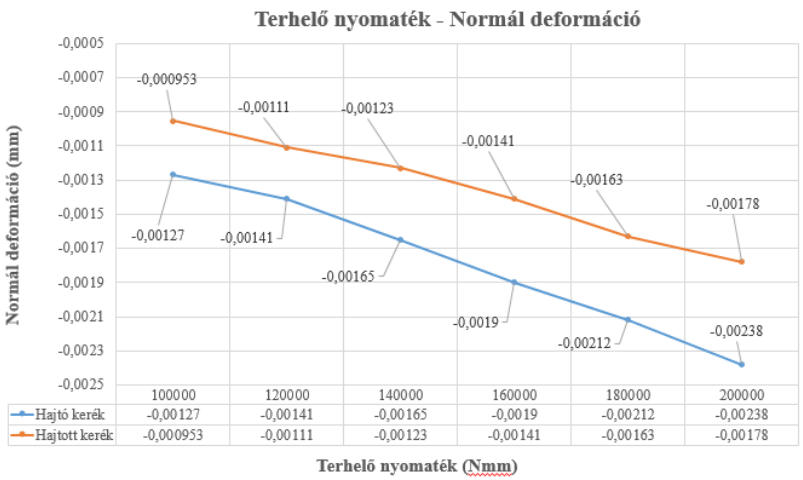
Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00238 mm



Hajtott kerék, $\overline{u_x}$ =-0,00178 mm

f) M= 200 Nm

16. ábra. A terhelő nyomaték hatására kialakuló normál deformáció értékek



17. ábra. Terhelő nyomaték – normál deformáció diagram

A terhelő nyomatékok hatására a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén az alábbi normál deformáció eloszlások és átlagos normál deformáció értékek jöttek létre (16. ábra).

A kapott eredményeket diagramon ábrázoltuk (17. ábra). Látható hogy abszolult értékben értelmezve a nyomaték növelésének hatására a normál deformáció értékek növekednek a hajtó és a hajtott kerék fogfelületén.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A ferde fogazatú fogaskerékpárokat a gépiparban széles körben alkalmazzák (pl. gépjárművek sebességváltói).

A fogaskerék tervezési szakirodalmakat felhasználva számítógépes programot fejlesztettünk ki, mely alkalmazásával tetszőleges geometriájú ferde fogazatú hengeres fogaskerékpár tervezhető és modellezhető. A számított kerékpár paraméterek kimenthetőek, tetszőleges geometriai paraméter módosítható és előkészíthetőek a CAD modellek TCA vizsgálatokhoz.

TCA vizsgálatokat végeztünk egy adott geometriájú elemi hengeres ferde fogazatú fogaskerékpár esetére. Vizsgáltuk a terhelő nyomaték változásának hatására ébredő normálfeszültség, normál nyúlás és normál deformáció értékeket. A kapott vizsgálati eredményeket diagramon ábrázoltuk a nyomaték függvényében.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatási eredmény **a Magyar Tudományos Akadémia Bolyai János Kutatási Ösztöndíj** támogatásával készült.

A kutatási eredmények elkészítését részben az **EFOP-3.6.1-16-2016-00022** számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BODZÁS, S.:** *Computer aided designing and modelling of x-zero gear drive,* International Review of Applied Sciences and Engineering, Volume 8, Number 1, Akadémiai Kiadó, 2017, pp. 93-97, ISSN 2062-0810, DOI 10.1556/1848.2017.8.1.13

[2] **BODZÁS, S.:** *Computer aided designing and modelling of spur gear pairs having normal and modified straight teeth,* International Review of Applied Sciences and Engineering (megjelenés alatt)

[3] **DUDÁS, I.:** *Gépgyártástechnológia III., A. Megmunkáló eljárások és szerszámaik, B. Fogazott alkatrészek gyártása és szerszámaik*, Műszaki Kiadó, Budapest, 2011.

[4] **DUDÁS L.:** *Kapcsolódó felületpárok gyártásgeometriai feladatainak megoldása az elérés modell alapján,* Kandidátusi értekezés, Budapest, TMB, 1991., p.144., 2005. 06. 29.

[5] **ERNEY GY.:** *Fogaskerekek,* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983., p. 460.

[6] **JUHÁSZ, I.:** *Számítógépi geometria és grafika,* Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 1993., 1995., p. 220

[7] **LITVIN, F. L., FUENTES, A.:** *Gear Geometry and Applied Theory*, Cambridge University Press, 2004., ISBN 978 0 521 81517 8

[8] **TERPLÁN Z.:** *Gépelemek IV.,* Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1975., p. 220.

[9] **PÁCZELT, I., SZABÓ, T., BAKSA, A.:** *A végeselem módszer alapjai,* Miskolci Egyetem, p. 243.

[10] **LITVIN, F. L., FUENTES, A., GONZALEZ-PEREZ, I., CARNEVALI, L., SEP, T. M.:** *New version of Novikov-Wildhaber, helical gears: computerized design, simulation of meshing*

and stress analysis, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2002, Elsevier, pp. 5707 – 5740

[11] **FUENTES, A., RUIZ-ORZAEZ, R., GONZALEZ PEREZ, I.:** *Computerized design, simulation of meshing and finite element analysis of two types of geometry of curvilinear cylindrical gears*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2014, Elsevier, pp. 321 – 339.

A GEOTERMIKUS POTENCIÁL MEGHATÁROZÁSÁNAK GYAKORLATI PROBLÉMÁI A KÖZÉP-TISZÁNTÚLI FELSŐ-PANNÓNIAI VÍZADÓK ESETÉBEN

PRACTICAL ISSUES OF DETERMINATION OF GEOTHERMAL POTENTIAL OF UPPER PANNONIAN WATER RESERVOIRS IN MIDDLE TRANS TISZA REGION

BUDAYNÉ BÓDI Erika[1], BUDAY Tamás [2]

[1]doktorjelölt, bodi.erika.geo@gmail.com
[1]Ásvány- és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]adjunktus, buday.tamas@science.unideb.hu
[2]Ásvány- és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A geotermikus energia potenciál meghatározási sajátosságai merőben eltérnek a többi megújuló energiafajta potenciál meghatározási módszereitől. Ennek legfőbb okai annak földtani jellegéből adódnak, illetve onnan, hogy sok esetben még az egy összletbe sorolható rezervoárok is változatosak lokálisan. Jelen cikkben bemutatjuk, hogy a geotermikus potenciál meghatározás folyamata (kőzetvázmodellezés, statikus hőkészlet-meghatározás, ill. hidrodinamikai- és hőtranszport modellezés) során melyek azok problémák, amik felmerültek közép-tiszántúli felső-pannónai termálvíz rezervoárok példáján, amelyek figyelembe vételével jobb megközelítéseket kaphatunk.*

Kulcsszavak: *geotermikus potenciál, felső-pannóniai, Közép-Tiszántúl*

Abstract: *The specificities of determining the geothermal energy potential differ significantly from other renewable energy potential determination methods. The main reasons for this are due to its geological nature, or origin from the fact that, in many cases, reservoirs of the same geological unit (greater than formation) can also be varied locally. In this paper, the problems of geothermal potential determination (solid model, static heat calculations, hydrodynamic and heat transport modeling) are presented focusing on Upper Pannonain porous thermal water reservoirs located in Middle Trans Tisza Region, Hungary, by which better approaches can be resulted.*

Keywords: *geothermal potential, Upper Pannonian, Trans Tisza Region*

1. BEVEZETÉS

A lakosság és az ipar részéről felmerülő igények, a tapasztalható gazdasági, geopolitikai és környezeti-éghajlati folyamatok miatt a várható trendek 2035-re a mostani energiafelhasználáshoz képest 40%-os növekedést, továbbá a megújulók felé történő elmozdulást mutatnak [1]. A megújuló és/vagy helyi energia minél nagyobb arányban történő hasznosítása valamint az energetikai rendszerek diverzifikálása sok előnnyel jár, például nő az energia ellátás biztonsága, az energiatermelés egységárai kiszámíthatóbbakká válnak, segítik a fenntartható fejlődés szempontjait nagyobb arányban megvalósulni, kevesebb károsanyag-kibocsátással járnak együtt stb. Ennek részét képezi a geotermikus energia hasznosítása, amely világszinten és sok esetben regionális szinten is változatos képet mutat. Az adott rezervoár-tulajdonságoktól függően speciális tervezési kihívásokat jelent, komplex geológiai-hidrogeológiai megközelítést igényel. Ráadásul a fenntarthatóság biztosítása is megkívánja a gondos modellezést.

Zilahi-Sebess és munkatársai [2] számításai alapján Magyarországon a 0–10 km mélységtartományra nézve a geotermikus földtani vagyon számolt értéke 375.000 EJ. Ha csak

a 0–5 km mélységtartományra szűkítjük a becslést, ez az érték 105.500 EJ. A pannóniai s.l. összletek, amelyek az Alföld nagy részén megjelennek a földfelszín alatti térrészekben, jellemzően ebben a sávban találhatóak. Számításaik szerint ennek felső, homokosabb kifejlődésű egységei, az ú.n. felső-pannóniai termálvízadók (porózus üledékek) hőtartalma 164 EJ-nak adódik. Továbbá arra a következtetésekre jutottak, hogy a porózus üledékekből a kitermelhető geotermikus potenciált értéke 60 PJ/év [2].

Ha a geotermikus energia potenciálját kisebb területegységre kívánjuk meghatározni, nagyobb felbontású modellezést és számításokat kell végeznünk. Ebben a tanulmányban közép-tiszántúli felső-pannóniai termálvízadók geotermikus potenciál-meghatározásának gyakorlati, a modellezés során felmerülő problémái kerülnek bemutatásra.

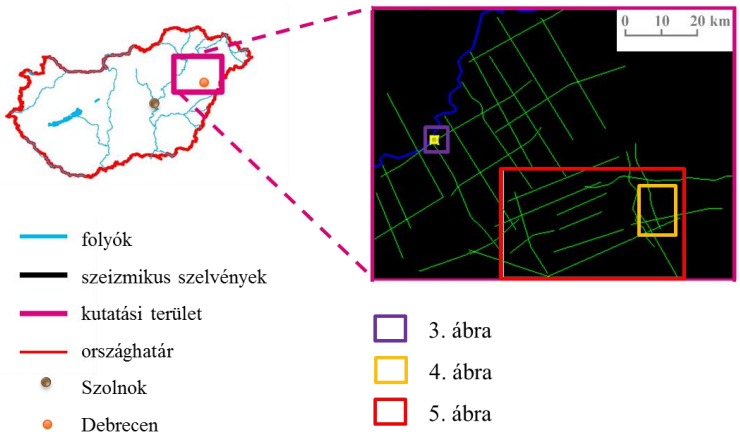
2. ADATOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. A terület bemutatása és az adatok

A hazai termálvíz-hasznosítás jelentős része az úgynevezett felső-pannóniai rezervoárokból származik. E besorolás korábban kronosztratigráfiai értelmű volt, mára inkább több kronosztratigráfiai egységen (így a felső-pannóniain) is átívelő litosztratigráfiai fogalomként használhatjuk. Ezek az összletek a Pannon-tó feltöltődése során a parti sávban rakódtak le, elsősorban deltafront környezetben. A közeli kiemelkedő hegységkeretből származó üledékek felhalmozódása a medence süllyedésének ütemével megegyezett, így a part előrenyomulása lassú volt, a parti üledékek is nagy vastagságban halmozódtak fel, és a legtöbb helyen meg is őrződtek. A delták kifejlődéséből adódóan a homoktestek között horizontálisan és vertikálisan is megjelenhetnek szigetelő hatású finomabb szemű üledékek, de ezek általában lokális kiterjedésűek [3, 4].

Ezeket a rétegeket alulról a deltalejtő alapvetően agyagos üledékei harántolják, melyek regionális szinten vízzárónak tekinthetők. Fedőjük a deltasíkon és alluviális síkon települt fluviális rétegsor, mely tartalmaz a mederüledékekhez kapcsolódva homokosabb, az ártéri környezetekhez kapcsolódva finomabb szemű üledékeket. Hidrológiai értelemben ez az összlet sok szempontból hasonlít a felső-pannóniai üledékekhez, de a kisebb mélységből adódó kisebb hőmérséklet és a kevésbé jó transzmisszivitású rétegek miatt ritkábban alkalmazzák e rezervoárokat termálvíz kitermelésre a vizsgálati területen.

A kutatásban a következő fő adatcsoportok fordulnak elő: szeizmikus szelvények, fúrási naplók adatai, rétegsorleírások, fúrási geofizikai görbék, ezekről korábbi kutatásaink adnak részletesebb képet [5; 6]. A kutatási terület az Alföldön helyezkedik el, azon belül a 2D szeizmikus szelvények futásvonalainak hálóját mutatja be az 1. ábra.



1. ábra. A kutatási terület és a felhasznált 2D szeizmikus szelvények nyomvonalai

2.2. Geotermikus potenciál számítása

Geotermikus energia potenciál meghatározása három fő fázisból áll: kőzetvázmodellezés, statikus hőkészlet-meghatározás, ill. hidrodinamikai- és hőtranszport modellezés.

A geotermikus energia térfogati energiasűrűsége (1) és összes mennyisége analitikus (2) és numerikus (3) megközelítéssel is számítható a következőképpen [7]:

$$u = \left[\phi c_f \rho_f + (1-\phi) c_m \rho_m\right](T_r T_o) \tag{1}$$

$$H = \int_V u\, dv \tag{2}$$

$$H = \sum_i u_i \Delta V_i \tag{3}$$

ahol:

u – belsőenergia-sűrűség [J/m^3];
ϕ – porozitás [–];
c_f – fluidum fajhője [J/(kg·K)];
c_m – kőzetmátrix fajhője [J/(kg·K)];
ρ_f – fluidum sűrűség [kg/m^3];
ρ_m – kőzetmátrix sűrűsége [kg/m^3];
T_r – rezervoár hőmérséklete [K];
T_0 – felszíni átlaghőmérséklet [K];
H – belsőenergia [J];
V, v – térfogat [m^3].

Ezek közül az összes paraméter mélységfüggő és függvények csak korlátozottan ismerhetőek csak meg. Az összefüggést a rezervoár össztérfogatára kell kiintegrálni amely numerikus modellezéssel történhet.

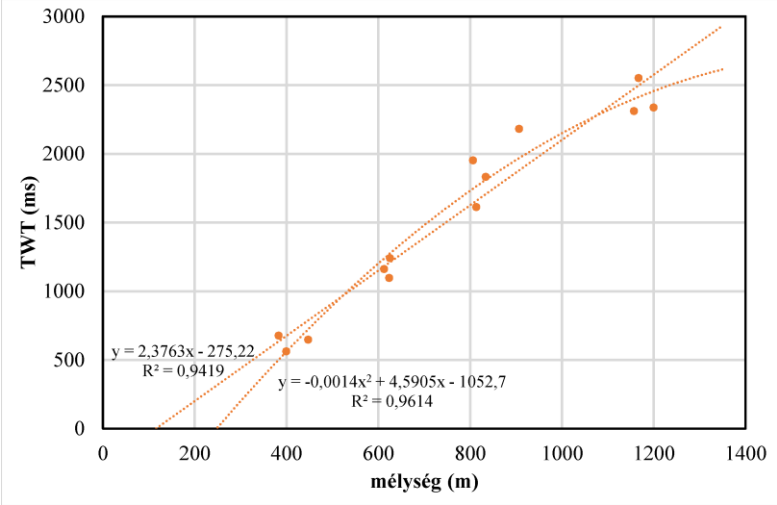
3. AZONOSÍTOTT GYAKORLATI PROBLÉMÁK

3.1. Mélység-idő transzformáció, adatharmonizáció, vonatkoztatási szint

A kutatás során két fő adattípussal dolgoztunk: mélyfúrási geofizikai adatokkal (karotázs adatok): spontán potenciál (SP), ellenállás, természetes gamma görbe, stb., és 2D migrált szeizmikus adatokkal. Ezek eltérő mérési módszertani alapokon nyugszanak, felbontásuk, térbeli kiterjedésük is eltér egymástól, mégis jól ki tudják egymást egészíteni, viszont ehhez komplex mélység-idő transzformációs eljárások szükségesek [8, 9].

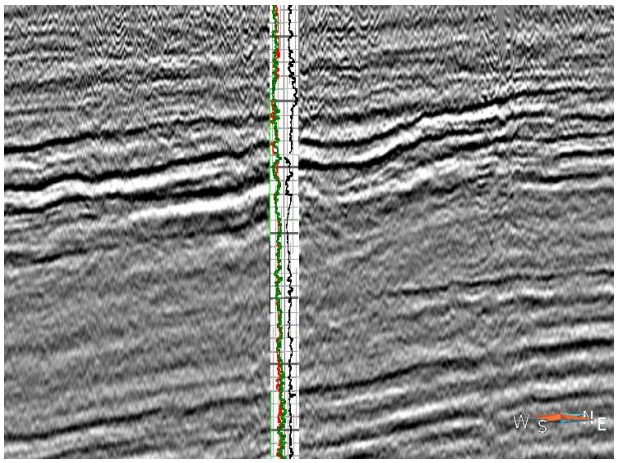
A szeimikus szelvény Z tengelye nem méterben értendő mélységi adatokat mutat (measured depth, azaz MD), hanem a rezgések keltett hullámok kétutas visszaérkezési idejét (two way travel time, azaz TWT) másodpercben vagy annak ezredrészében megadva (s vagy ms). Az MD és a TWT közti összefüggés a Z teljes tartományában ugyan leírható egy összefüggéssel, de mivel a mélység-idő összefüggés regionálisan más és más illetve Z mentén is pontról pontra változik, kijelölhetőek olyan Z intervallumok, ahol más és más összefüggés adja a „jobb” korrelációs együtthatójú megközelítést. A megadott regionális átlagsebesség

függvények használata mellett, saját, a szelvényekhez közel eső, karotázs beosztások (markerek) alapján validált mélység-idő összefüggések használata is javasolt lehet (2. ábra). Fontos kiemelni, hogy egy adott ponton így is csak megközelítőleg lehet meghatározni a MD értéket.



2. ábra. Mélység-idő összefüggés-vizsgálatok mélyfúrási markerekkel

A mélyfúrások karotázs görbéin a nagyobb egységek meghatározásán túl (fent említett markerek) részletesebb beosztás is elvégezhető. A kutatás során ezt a szeizmikus adatok figyelembe vételével együtt kívántuk megtenni, amihez a többféle vizsgált megközelítés (lineáris, exponenciális, stb.) közül a példában a lineárist választottuk, és a vizsgált intervallumban jó megközelítéssel segítette a két adat egymást a felosztásban (3. ábra).



3. ábra. A po-16 2D szeizmikus szelvény és a ráeső Tiszacsege k-119 jelű fúrás geofizikai karotázs-szelvénye (részletek)

A szeizmikus szelvények referencia szintje (SRD) 50 m (ASL) az Alföldön, azaz a kutatási területen is, ahol a legalacsonyabb és legmagasabb pont közti különbség több tízméteres, ugyanakkor a nyírségi területeket leszámítva a vertikális különbségek nem hirtelen következnek be a kutatási területen. A mérések során, amelyek jelei felszíni robbantással indikálódnak és annak egy része ugyancsak feszíni mérőegységekbe érkeznek vissza a geofizikus szakemberek különös figyelmet szentelek annak, hogy lehetőleg szintben maradjanak az adott mérés során, illetve, a korrekciók során ezek kompenzálásra kerüljenek.

Megnézve a terület DEM-jét, a legváltozatosabb felszíni morfológiája a kutatási területen a keleti részeken, a nyírségi területeken vannak, ahol éppen ezért „kanyargós" nyomvonallal rendelkeznek a szelvények. Ha nagyon kiugró vertikális értékek jellemzik a szűkebb kutatási területet, érdemes lehet további korrekciós módszereket alkalmazni, ill. másfajta adatok integrálása során figyelembe venni ezt.

A mélyfúrások esetében is kérdéses lehet, hogy mit tekintünk kiinduló, vonatkoztatási szintnek: a fúrás pontjának tengerszint feletti magassági értékét egymagában vesszük annak, vagy a forgatóasztal magasságának beszámításával. Érdemes egységesen, az összes fúrásnál ugyanazt az eljárást alkalmazni. A fúrási naplókban ezeket fel szokták jegyezni, viszont előfordul, hogy a régi fúrások dokumentációin nem szerepel egyértelműen ilyen adat, ami megnehezíti, hogy a bekerülő összes fúrásnál ugyanúgy járjunk el.

3.2. A homoktestek elkülöníthetősége a modellezés során

A geotermikus potenciálok meghatározásában illetve a hidrodinamikai modellezésben egyaránt fontos a homoktestek megfelelő geometriai elhatárolása. E térbeli elhatárolás általában kevés számú, gyakran pontszerű adatok alapján történik (fúrásrétegsor és fúrásgeofizika). Ezt a gyakorlatot bővíteni lehet szeizmikus szelvények értelmezésével, illetve optimális esetben 3D szeizmikus blokkok vizsgálatával. Ez utóbbiak azonban egy átlagos geotermikus kutatás során nem állnak rendelkezésre, így ez utóbbi ismertetéséről ebben a tanulmányban eltekintünk.

A szeizmikus szelvényeken megjelenő követhető reflexiók izokronnak tekinthetők. Az alkalmazott föltani modellben e vonalak a legtöbb fáciest tartalmazzák (heteropikus fáciesek), azaz litológiailag nagyon változatosak. A homoktestek határai így a szeizmikus reflexiókon általában metsződnek és a szeizmikus mintázat segíthet meghatározásukban (izopikus fáciesek). Ez azonban nem annyira egzakt, mint a reflexiók követése, illetve a szeizmikus szelvény vertikális felbontása a kisebb homoktesteket ebből a szempontból nem megfelelően ábrázolja (lásd 3. ábra középső és alsó része).

Mind a deltakörnyezetek változatossága, mind pedig az esetlegesen bekövetkező relatív vízszintcsökkenés a homoktestek és finomabb üledékek összefogazódását eredményezte. Ez modellezési szempontból azért lényeges, mert egy adott határfelület egy adott földrajzi koordinátájú ponton többször jelentkezik. Számos, széles körben használt szoftver ezt nem képes kezelni.

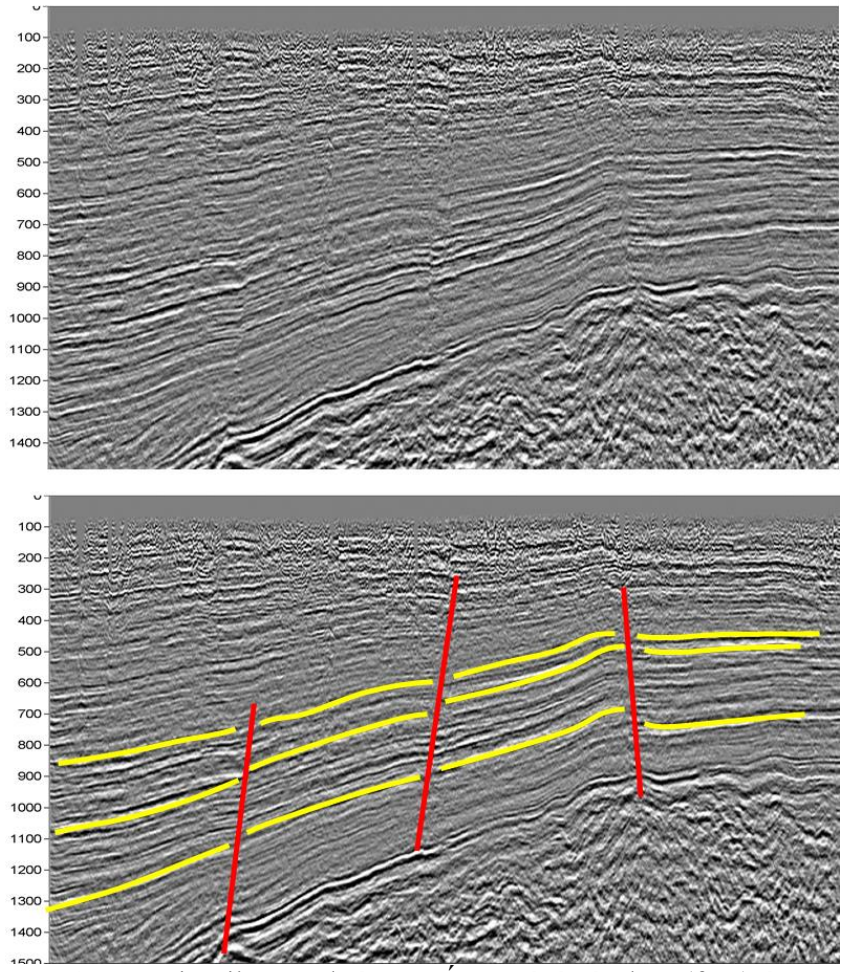
Tovább nehezíti a homoktestek elhatárolását, ha az általános földtani modellhez képest jelentős eltérések adódtak a kifejlődésben. Ezek közül a közel vízszintes paleoeróziós felszínek viszonylag jól követhetőek és kimutathatóak, és a modellezésben nem jelentenek interpolációs kihívást, szemben az egykori szubmarin kanyonbevágódásokkal – amik több tíz, esetenként száz méteresek is lehetnek, – illetve mederbevágódásokkal. Ez utóbbi kettő azonosítása csak fúrásadatokból nem lehet egyértelmű, térbeli kiterjedése 2D szeizmikus szelvényháló használata mellet is csak megközelítően adható meg.

Összességében elmondható, hogy a homoktestek pontos elkülönítése számos modellezési nehézséget tartalmaz. Ezek az elméleti potenciál számításában kisebb mértékben jelenik meg, de egy kitermelhető vízkészleten alapuló potenciálszámításnál pedig alapvetőek lehetnek.

3.3. Tektonikai hatások

A felső-pannóniai rezervoárt az aljzatban végbemenő geodinamikai mozgások, esetenként a szedimentáció körülményei vetőkkel, nyíródásokkal tagolták, gyűrődésesen deformálták (4. ábra).

A kutatási területen mind minőségét, mind korát tekintve változatos tektonikai elemek jellemzőek: töréses (normálvető, feltolódás, virágszerkezetek, stb.) és gyűrődéses. Ezek eltérő jelleget adhatnak egy-egy kisebb régiónak, ami megmutatkozik annak a területnek a geotermikus potenciáljában és a kitermelhetőségében. A nagyobb vetők miatti elvetések modellbe való integrálása megtöri az adott felületek folytonosságát és blokkokat alakítanak ki. A gyűrődéses elemek megléte a potenciál meghatározásban közvetlenül nem érződnek, inkább a geometriára vannak hatással.



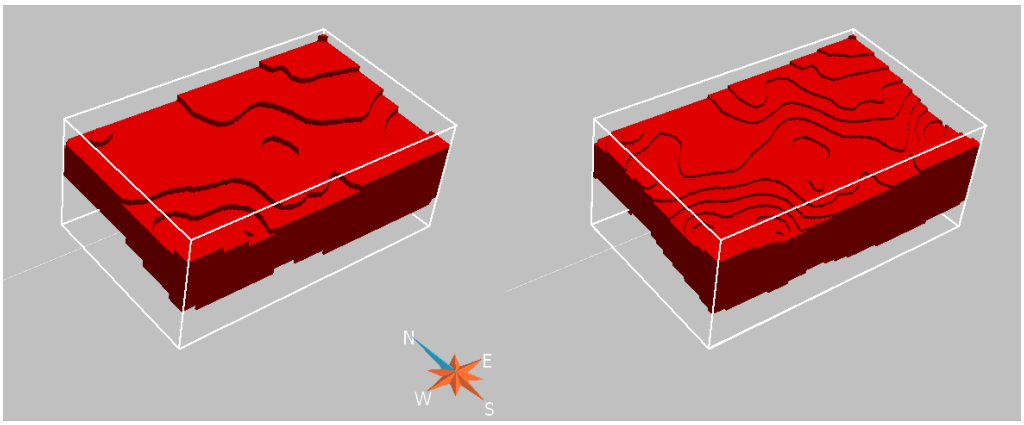
4. ábra. A ny6 2D szeizmikus szelvény D-É csapású részlete (fent) és annak egy interpretációja (lent) (piros: vető, sárga: pannónai s.l. homoktestjeinek jellemző reflexiói)

3.4. A 3D modell felbontása

Az elméleti potenciál meghatározása az (1), (2), (3) egyenletek segítségével jellemzően numerikus megközelítéssel történik. Ennek alapja a tér felosztása olyan térrészekre, amelyekben a vizsgált paraméterek állandónak tekinthetők. Ezt a mélységfüggő paraméterek miatt (elsősorban hőmérséklet és porozitás) csak korlátozottan lehet megtenni. Ideális esetben a felosztás képes a fentebb bemutatott problémákat kezelni (pl.: az összefogazódásból következő réteghatár ismétlődés vagy a 3D tektonikai elemek mint valós 3D határfelületek). Azonban ehhez olyan informatikai algoritmusok lehetnek szükségesek, amelyeket a geológiai modellező szoftverek, illetve a hidrodinamikai és hőtranszport modellező szoftverek csak az elmúlt időszakokban kezdtek el alkalmazni, például a hagyományos rétegek koncepciójának

elhagyása vagy a tér tetraéder alapú felosztása. Azonban ezek az eljárások jelenleg a geotermikus energiapotenciál meghatározásának gyakorlatába még nem épülhettek be, elsősorban a véges differenciás vagy véges elemes felosztás a jellemző.

A felosztás horizontális és vertikális felbontásának igazodnia kell az elérhető adatokhoz, a vizsgált terület méretéhez, az elérni kívánt pontossághoz (5. ábra). Ha a mélységfüggő paraméterek a vizsgált tartományban linearizálhatók, akkor a vertikális felbontás csökkenthető az eredmények pontosságának csökkenése nélkül. Lényeges szempont az is, hogy több szoftver használata esetén megtörténhessen az adatátvitel. Ehhez a véges differenciás felosztás tűnik a legkedvezőbbnek.



5. ábra. Azonos határfelületek közötti eltérő felbontással készült rezervoármodell
A bal oldali modell vertikális felbontása 100 m, horizontális felbontása 250 m.
A jobb oldali modell vertikális felbontása 50 m, horizontális 200 m.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A geotermikus potenciál meghatározás összetett feladat, több fázisból áll, illetve nem egyforma fajtájú, minőségű és mennyiségű bemenő adatot jelent. Egyetlen célszoftver, amellyel a teljes meghatározási folyamat elvégezhető nincs. Igaz elérhetőek már 3D-s geofizikai adatok, a zömmel pontszerű, lineáris és 2D adatok mellett, a modellépítést és a számításokat 3D-s környezetben javasolt végezni. A folyamatban más-más szerep jut a 2D és a pontszerű adatoknak, előbbinek a geometria jobb megismerésében, míg utóbbinak a validálásban van nagy szerepe. Ki kell hangsúlyozni a tektonikai elemek szerepét, szerkezetföldtani értelmezés nélkül ma már egy térrész geotermikus energia potenciál meghatározása nem reális. A cikkben közölt gyakorlati problémák részben általánosak, részben területspecifikusak.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BRITISH PETROL:** BP Energy Outlook 2018.

[2] **ZILAHI-SEBESS, L., MERÉNYI, L., PASZERA, Gy., TÓTH, Gy., BODA, E., BUDAI, T.:** *Nyersanyag készletek, A hazai ásványi nyersanyagpotenciál, 5. Geotermikus energia, (Háttértanulmány) - Kézirat,* Nemzeti Energiastratégia, Készletgazdálkodási és hasznosítási cselekvési terv, 2012., 84 p.

[3] **JUHÁSZ GY.:** *A panóniai (s.l.) formációk térképezése az Alföldön: elterjedés, fácies és üledékes környezet.* Földtani Közlöny 122/2-4, Budapest, 1992., pp. 133-165.

[4] **MAGYAR, I.:** *A Pannon-medence ősföldrajza és környezeti viszonyai a késő miocénben.* Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2010., 140 p. ISBN 978 963 3060 74 2

[5] **BUDAYNÉ BÓDI, E., BUDAY, T.:** *Geofizikai adatok fáciensanalitikai vizsgálata porózus termálvízadók tulajdonságainak meghatározása céljából a Közép-Tiszántúlon* In: Lázár István (szerk.) Környezet és energia a mindennapokban. 283 p. Debrecen: MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, 2016., pp. 133-138. ISBN 978 963 7064 34 0

[6] **BÓDI, E., BUDAY, T., KUBIK, L., KOVÁCS, R. L.:** *Kelet-magyarországi pannóniai hévízrezervoárok megjelenése szeizmikus és mélyfúrási geofizikai adatok alapján és ennek hidrogeológiai-víztermelési vonatkozásai.* In: Bodzás Sándor (szerk.) Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016. 799 p. Konferencia helye, ideje: Miskolc, Magyarország, 2016.05.25 Debrecen: Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki Szakbizottsága, 2016., pp. 758-765. ISBN 978 963 7064 33 3

[7] **MUFFLER, L. J. P., CATALDI, R.:** *Methods for Regional Assessment of Geothermal Resources.* Geothermics, 7, 53-89. 1978.

[8] **BUDAY, T., BUDAYNÉ BÓDI, E.:** *A geotermikus potenciál meghatározásának elvi problémái a közép-tisztántúli felső-pannóniai vízadók esetében.* In: Lázár István (szerk.) Környezet és energia: Hatékony termelés, tudatos felhasználás. 281 p. Debrecen: MTA DAB Földtudományi Szakbizottság, 2018., pp. 81-86. ISBN 978 963 7064 36 4

[9] **BUDAY, T., BÓDI, E., MCINTOSH, R. W., KOZÁK, M.:** *Geoinformatic background of geothermal energy utilisation and its applications in East Hungary* ACTA GEOGRAPHICA DEBRECINA LANDSCAPE AND ENVIRONMENT 10/3-4, 2016., pp. 145-152. ISSN 1789-4921

ANTIK ZSINAGÓGÁK TÉRSTRUKTÚRÁI IZRAELBEN

SPACE-STRUCTURES OF ANTIQUES SYNAGOGUES IN ISRAEL

CSANÁDY Gábor Mátyás

DLA főiskolai tanár, csanady.matyas.gabor@ybl.szie.hu

Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Szent István Egyetem

Kivonat: *A korábbi időrendi besorolás és az ahhoz társuló területi szempontok után az Izrael területén feltárt antik zsinagógákat új szempont szerint, a téri felépítése alapján vizsgálja a szerző, amely új szempontot jelenthet a zsinagógák datálása és működése szempontjából. Az elemzés formai felépítéseket vesz alapul, és a térhasználat belső logikájára alapoz. Az elemzés végkövetkeztetése az, hogy a korábban általánosan elfogadott időpontnál alighanem korábbi az ismert zsinagógák építési ideje.*

Kulcsszavak: *zsinagóga antik Izrael térstruktúra*

Abstract: *After the earlier chronological classification and related territorial aspects, ancient synagogues discovered in Israel are examined by a new aspect based on space-construction, which is a new feature for the synagogue's use and functioning. The analysis is based on formal constructions and is based on the internal logic of space use. The conclusion of the analysis is that the synagogues were built probably earlier, before the generally accepted time.*

Keywords: *synagogue antique Israel space-structure*

„Hallgasd meg könyörgő szavamat, amikor hozzád kiáltok, * kezemet szent templomod felé tárom.” 27 zsoltár 3.

1. TÉMA LEHATÁROLÁSA

Területi lehatárolás: „Izraelben”. Az a terület, amelyet hagyományosan Izrael területének szokás tekinteni nem politikai alapú lehatárolás, hanem inkább egyfajta kulturális terület. Ezen belül sem foglalkozik a tanulmány a teljes területtel, hanem elsősorban Galilea és a Golán fennsík tágan értelmezett területével, amiből a szamaritánus zsinagógák és a Dél-Júdeai hegyek zsinagógái kimaradnak, azok talán egy későbbi tanulmánynak lehetnek tárgyai.
Időben a legelső épületektől a 6. századig terjed a vizsgált időszak, vagy a moszlim inváziói, de az érdeklődés homlokterében a korai épületek állnak, a keresztény templomokkal való hatás, kölcsönhatás miatt.
A zsinagóga fogalma:

„A zsidó templom nemzetközi neve, a zsinagóga (szünagógé) a héber bét-hakneszet (a gyülekezés háza) görög fordítása. Több mint kétezer évvel ezelőtt az alexandriai zsidók nevezték így először templomaikat. A zsinagóga tehát már akkor is több feladatot látott el: az

imádság hajléka mellett tanházként szolgált, egyszersmind a közösség egymásra találásának otthona is volt.” [1]

2. BEVEZETÉS

A zsinagóga ‚bet hakneszet’ a gyülekezet háza a korai időkben több közösségi funkciót betölt,[2] nem is csak épület, hanem intézmény is, egyfajta községháza, amely elöljáróság is, de a közösség egyéb funkcióit is szolgálja, ide értve az oktatást is.
A zsinagóga:

- Tóraiskola, ahol a nebulók a hitigazságokat, a Törvényt tanulják és értelmezik.
- Bíróság, ahol a Törvény ellen vétőket elítélik, bíráskodnak felettük, ide értve a végrehajtást is.
- Szállás távolabbról jött hittestvérek, elöljárók számára.
- Szociális központ (pl. árvák, özvegyek támogatása).
- Közösségi találkozóhely, a nyilvánosság helye, politikai központ is.
- A közösségi hivatalok központja. Itt gyűjtik pl. a templomi adót.
- Imahely. (Egyes kutatók szerint csak a II. templom pusztulása után.)
- Egyéb: pl. közösségi étkezés helye különleges esetekben.

Egyes iskolák szerint a zsinagóga építése nem előzi meg a II. Templom építését, ugyanakkor ismertek antik zsinagógákról ókori irodalmi beszámolók:
Az első zsinagógákról az újszövetségi Evangéliumok is beszámolnak, pl. a Kafarnaumi zsinagóga közismert, de Korozain és Názáret neve is előkerül.
Hasonló módon az Apostolok Cselekedetei fejezet szerint Szent Pál is a zsinagógában kezdi a missziót.[3] Pl. Efezus, Antiochia, Szalamisz, Pisidia, Ikónium, Thessalonika, Bérea, zsinagógája konkrétan megemlítésre kerül, néhol a „zsidók zsinagógája” megnevezéssel. (Amiből az következne, hogy mások közösségeknek is volt hasonló épületük.)
A zsinagóga ugyanakkor nem csak intézmény, hanem épület is, amely néha az egész együttest, máskor csak a zsinagógai nagyobb terét befogadó épületet jelenti.

3. KUTATÁSI ELŐZMÉNYEK

„Az antik zsinagógák modern kutatása a tizenkilencedik században kezdődött. A kutatók, többek között Claude Conder és Herbert Kitchener a Brit Palesztina Kutatási Alaptól és Victor Guérin francia kutató elkezdték tanulmányozni az antik zsinagógákat és azok hasonlóságát a Szír és Libanoni pogány templomokhoz. Ezen kutatások úttörői Heinrich Kohl és Carl Watzinger német építészek voltak, akik számos zsinagógát vizsgáltak Galileában és kisebb ásatásokat vezettek Bar'am -ban, Nabratein -ben, és Korazinban a huszadik század elején, amikor a régészet még fiatal tudomány volt. A kutatásaik eredményét egy német nyelvű könyvben publikálták Antik Zsinagógák Galileában címmel.”[4]
A zsinagógák kutatása Izrael állam létrehozásával új lendületet kapott, és a hatnapos háború után komolyabb figyelmet kapott, és a régészeti feltárások ma is folynak több helyszínen (Pl. Huqoq-ban). Kb. 70 zsidó zsinagóga ismert, és kb. 10 un. szamaritánus zsinagóga.

---

[1] Raj Tamás: A zsidó vallás liturgikus tárgyaiból, A Hit Asztala Bp. 1990 Officina Nova

[2] Zeev Safrai: „The communal functions of the synagogue in the land of Israel in the rabbinic period.” In: Ancient Synagogues: Historical Analisis and Archeological Discovery szerk. Dar Urman, Paul V. M. Flescher Brill, Leiden, Boston, Köln 1998 ISSN 0169 – 9717 ISBN 90 04 11254 5

[3] Chad Spigel, "First Century Synagogues", n.p. [cited 4 Nov 2017]. Online: http://www.bibleodyssey.org/en/places/related-articles/first-century-synagogues

[4] Mordechai Aviam: Ókori Zsinagógák Izraelben

„Nahman Avigdad a 60 -as években három típusba sorolta a zsinagógákat: korai, a Kr.u. 2.-3. századi; átmeneti, a 4.-századi; és késői, a 6.-7- századból valók.[4].” - írja M. Aviam. azután regionális alapon próbáltak különbségeket, helyi jellegzetességeket felfedezni amerikai kutatók, és a „római” típustól megkülönböztetni a „bizánci-keresztény”, a Golán típusú, vagy a Dél-Júdeai zsinagógákat.

4. TÉR-STRUKTÚRA VIZSGÁLAT

Ezen írásban mi egy tér elemzéssel, az adottságok vizsgálatával próbálunk meg egy új szempontrendszert behozni a feltárt zsinagóga struktúrák elemzésébe.

4.1 Általában

Ezen zsinagóga struktúrák, romok téglány alaprajzúak, szigorú tájolással Jeruzsálem felé. A bejárat nyílik Jeruzsálem felé, és a téren belül oszlopsor választ el egy belső teret. Tekintettel arra, hogy az épületek föld alól kerülnek kiásásra, rendszerint a függőleges szerkezetek bizonytalanok, de pl. Kafarnaumban a fehér márvány zsinagóga (2.-3. század) egyik ablaka második szintet igazolhat (karzat). Az oszlopok jelenléte Galileában általános, a Dél-Júdeai hegyekben úgy tűnik hiányzik. Az oszlopok három oldalt követik a falat, de a bejárati oldalra, úgy tűnik, nem fordul rá. A falakat általában egy vagy két sor pad követi. Ez a tér a három oszloppal és a bejárattal a negyedik oldalon egy U alakú teret jelöl ki, amely tér egy határozott tengellyel rendelkezik. Ez a tengely az ajtóra irányul, sőt azon túlra mutat. Ha figyelembe vesszük, hogy a bejárat Jeruzsálemre tájolt, nem nehéz észre venni, hogy a tengely a Jeruzsálemi templomra mutat. A közösség használatában is ez az irány meghatározó, az ima iránya is Jeruzsálem.

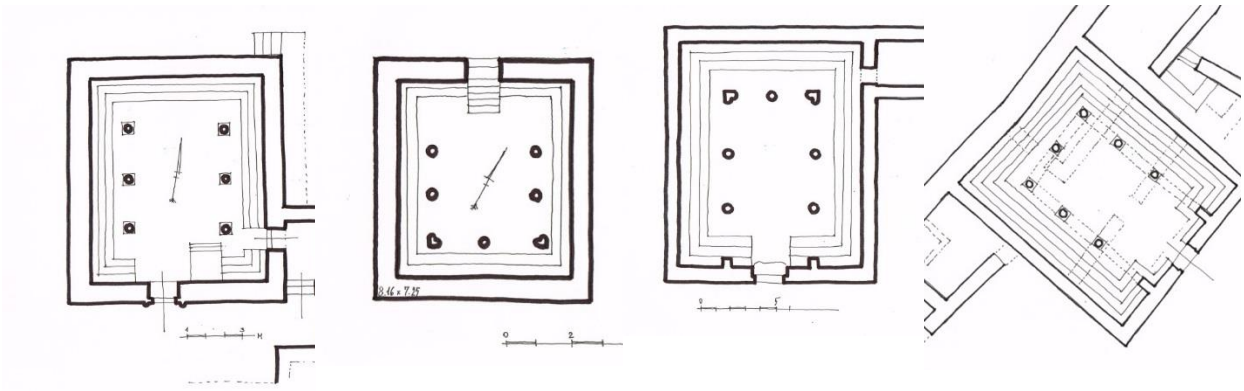
Ez a helyzet a második templom idején. Később a bejáratba kerül a frigyszekrény a templom pusztulása után, amikor a Tóra mint a Templom egyfajta pótlásaként kerül ebbe a tengelybe és új bejárat épül. Kérdés az oszlopsor szerepe. A téglány alapforma és a három falat követő oszlopsor a legtöbb Galileai zsinagógánál kimutatható. Pl. Bar'am, Korazin, Kafarnaum, Beth Alpha, Bet She'arim, Merom, Gush Halav Arbel. Kivétel pl. A Szefforisz-i, ahol az egyik oldalhajó hiányzik. Hasonló szerkezeti rendet mutatnak a Golán fennsík zsinagógái is (pl. Katzrin, Umm el Qanatir Umm el Umdan, Gamla) de ilyen a Herodeum és Ein Gedi zsinagógájának szerkezete is. A Júdeai hegyek déli oldalán (Pl. Esthemoa, Merom, Susya, Maon) ez a szerkezet nem mutatható ki.

Az oszlopsor a falak mentén kisebb és nagyobb zsinagógáknál egyaránt megtalálható, amiből az is igazolható, hogy az oszlopok elhelyezésére nem tartószerkezeti okok miatt került sor. Az egyik lehetséges és reális magyarázat, hogy az oszlopok födémeket, azaz galériát hordanak.Ez a magyarázat különösen ott lehet vonzó, ahol a magasabb építést ablak igazolja. Kő építésű födém elemeket eddig nem találtak. A fa gerendák természetesen nem maradtak fenn, de lépcsőre utaló szerkezet sem. (Bár az idő természetes magyarázatul szolgálhat a faszerkezetek elmúlására, érdekes összevetni azzal, hogy nem csak ógörög templomokban, egyiptomi pilonokban ismertek lépcsők, hanem Megiddóban és Hazorban is maradtak fenn olyan épített struktúrák, amelyek alighanem lépcsőket hordtak, pedig ezek csaknem dupla olyan idősek.) Milyen más magyarázat adható? Elég kézenfekvőnek látszik egyfajta liturgikus magyarázatot keresni. Pl. A szélső folyosószerű terekben helyezkedhettek el a nők a gyermekekkel, vagy azok, akik le akartak ülni. A dolog konkrétsága még felvetésnek is gyenge, de a liturgia nagyon is valószínű ok. A másik, és nem kevésbé józan felvetés, hogy a tér bevilágítása miatt volt ez szükséges. Az egyiptomi templomok hüposztil csarnokában már előfordul a bazilikális kiemelés, de a Heródes féle "Királyi csarnok" a templomhegy déli

oldalán, a haram szélén, nyilván minden rendes, Jeruzsálembe járó zsidó előtt ismert volt. Ennek középső hajója is kiemelt volt. A Tóra és a profetikus könyvek olvasásához fényre volt szükség.

4.2 Korai típus

Az épületek falai nagyon kevés helyen maradtak meg egy-két méternél magasabban, így sok helyen szinte csak alaprajzról beszélhetünk. A belső struktúra szerint úgy tűnik volt egy egyszerűbb forma, ahol az alaprajzi téglalap két oldala között kicsi volt az eltérés, azaz négyzethez közeli volt az alapforma, az ülések, vagy padok a falak mentén több sorban futottak egymás felett, négy-öt sorban is. Ettől függetlenül meg volt a belső oszlopsor is, így a padok lényegében kitöltötték az oszlopokon kívüli teret. Ha ezt összevetjük egy görög buleterionnal, a hasonlóság egészen nyilvánvaló. Ilyen geometriájú épület a Maszada-i zsinagóga korai formája a Názáreti, Magdalai zsinagóga, Gamala vagy En Nashut zsinagógája.



Nashut Magdala Názáret Maszada

1. ábra Korai zsinagóga alaprajzok

Az alaprajzok téri elemzésével az látható, hogy a falak mentén futó padok a bejárati oldalra is ráfordulnak, így a padokon ülő emberek figyelme egy belső pontra irányul a teret határoló oszlopokon belül. A tér egy központot jelöl ki, amely az oszlopok közti térben van.

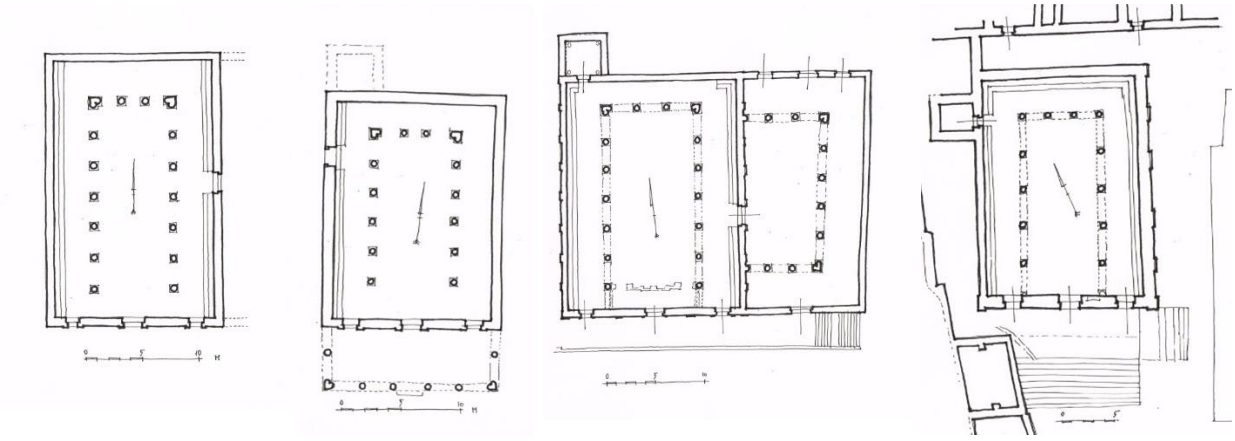


2. ábra Gamala,a zsinagóga alaprajza és fotója

Gamala zsinagógájának esetében jól érzékelhető, hogy a sarkokon való átfordulás szív profilú oszlopai mind a négy sarkon megtalálhatóak, az oszlopsor befordításának szándéka teljesen nyilvánvaló. A padok körben futnak, de a sorok száma már nem állapítható meg: az északkeleti oldalon 4-5 sor legalább volt, de 8-10 sor is elképzelhető. A délnyugati fal szinte teljesen elpusztult.
A zsinagógát Gamalában elég sokat vizsgálták és egyértelműen az I. századra datálják, azaz a II. Templom kortársa.[5]

4.3 A klasszikus galileai rabbinikus zsinagóga

Az U alakú oszlopsoron kívül csak egy- két sor épített ülőhely, pad van a legtöbb klasszikus galileai zsinagógában. Ezek épített jellege és magassága kizárja a mobil padokkal való kiegészítést, vagy lepusztulást. Az oszlopsor sarkában karakteresen megjelenik a szív profilú oszlop, mintegy átfordító oszlop. Ez annyira tipikusnak mondható, hogy inkább az ettől való eltérés kíván magyarázatot. Ez az átfordítás azonban csak a bejárattal átellenes oldalon jelenik meg, azaz a belső oldalon. A zsinagóga negyedik oldalán a bejárat van, mégpedig rendszerint három, középen egy reprezentatív ajtó a tér tengelyében, és két oldalsó bejárat az U alakú mellékfolyosó folytatásában.



Amudim Bar'am Kafarnaum Korozain

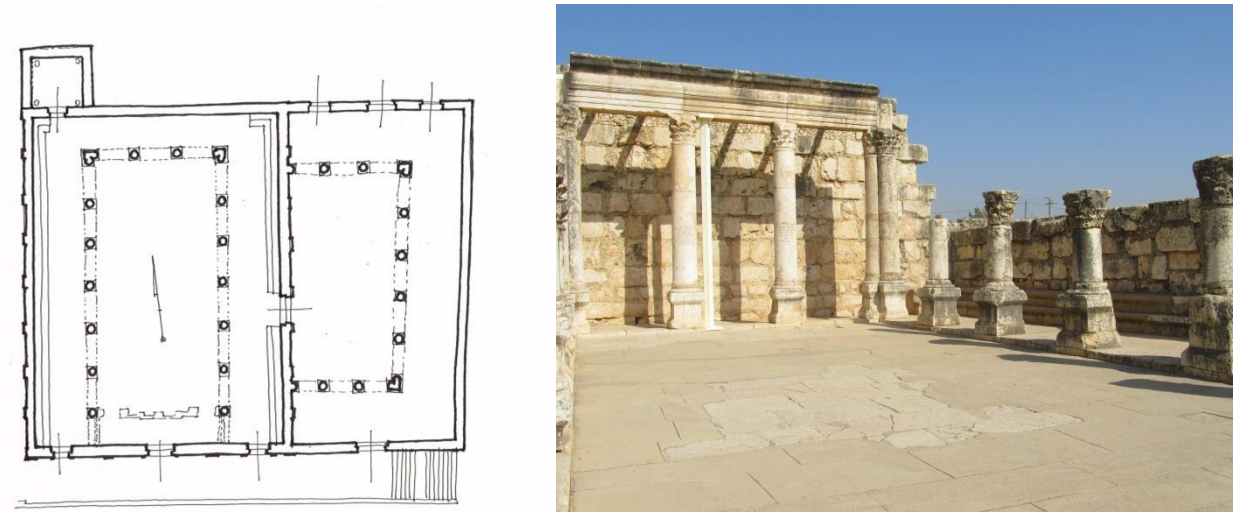
3. ábra klasszikus „római" galileai zsinagóga a rabbinikus időkből

Ez a térforma a középső ajtóra fókuszál. Az oszlopsor alárendeltebb teret választ le a főtérből, amely így befelé, közép felé irányítaná a figyelmünket, de a negyedik oldalon ez a jelleg a bejárati oldalon megváltozik, az ajtónál nincs ez az alárendelés, a figyelem az ajtóra fókuszálódik, vagy, ha az ajtó nyitott erre a nyílásra, nyitottságra.
Érdemes arra is figyelni, hogy ez az ajtó a két melléktéri ajtót is tekintve nem gyakorlati szempontokat követ, hiszen a két oldalsó ajtón keresztül is lebonyolódik a szükséges forgalom. A középső ajtó kultikus szerepe nehezen volna vitatható. Ez a kultusz egyaránt lehetne ettől még akár civil kultusz eszköze is, pl. ünnepi bejárat, de szerintem nem erről van szó. Érdemes megjegyezni, hogy a bejárat iránya alap esetben Jeruzsálem iránya. A tér Jeruzsálemre, a kultusz központjára nyílik. A kultusz központ ezen terek esetében Jeruzsálemben van.

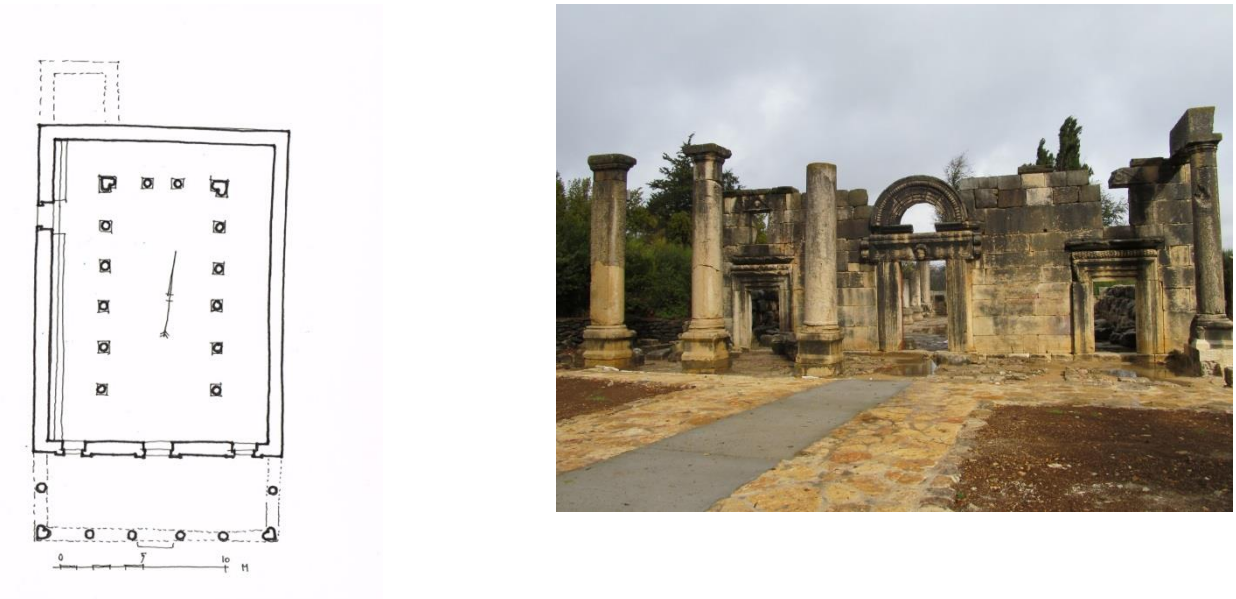
[5] Gamla Excavations, http://www.antiquities.org.il/article_Item_ido.asp?sec_id=17&sub_subj_id=311&id=489 Faina Milstein 1997. Gamla: Survey, Analysis and Planning of the Synagogue. Israel Antiquities Authority (internal report). http://www.iaa-conservation.org.il/article_Item_eng.asp?[subject_id=40&id=135 cited 2016 nov

Ha a Jeruzsálemre nyíló kultuszt összevetjük a mottóként idézett zsoltár szövegével: „Hallgasd meg könyörgő szavamat, amikor hozzád kiáltok, *
kezemet szent templomod felé tárom.”[6] A zsoltár azt állítja, hogy imádkozás közben a templom felé fordulva tárja ki a kezét, arra felé fordulva imádkozik. Innentől nem túlzás arra gondolni, hogy az ajtónak pontosan az a szerepe, hogy a teret megnyissa Jeruzsálem felé, hogy az imádkozó közösség kapcsolatba kerüljön általa a kultuszközponttal. Talán a Templomi áldozatbemutatás, kultusz idején a helyi közösség is imádsággal kíséri a cselekményt, távolról maga is részt vesz benne.

A tóraszekrény ebben a térben nem kap állandó helyet, azt egy csatlakozó külső térben, vagy falfülkében tárolják, ami főleg a későbbi fejlemények fényében válik karakteressé.
Ezen zsinagógák némelyike igen gazdag külső-belső díszítést kap, pl. a Kafarnaumi, vagy a Bar’am zsinagóga, de említhetnénk Korozain zsinagógáját is.



5. *ábra* Kafarnaum zsinagóga belső elrendezés a szív profilú sarokoszloppal



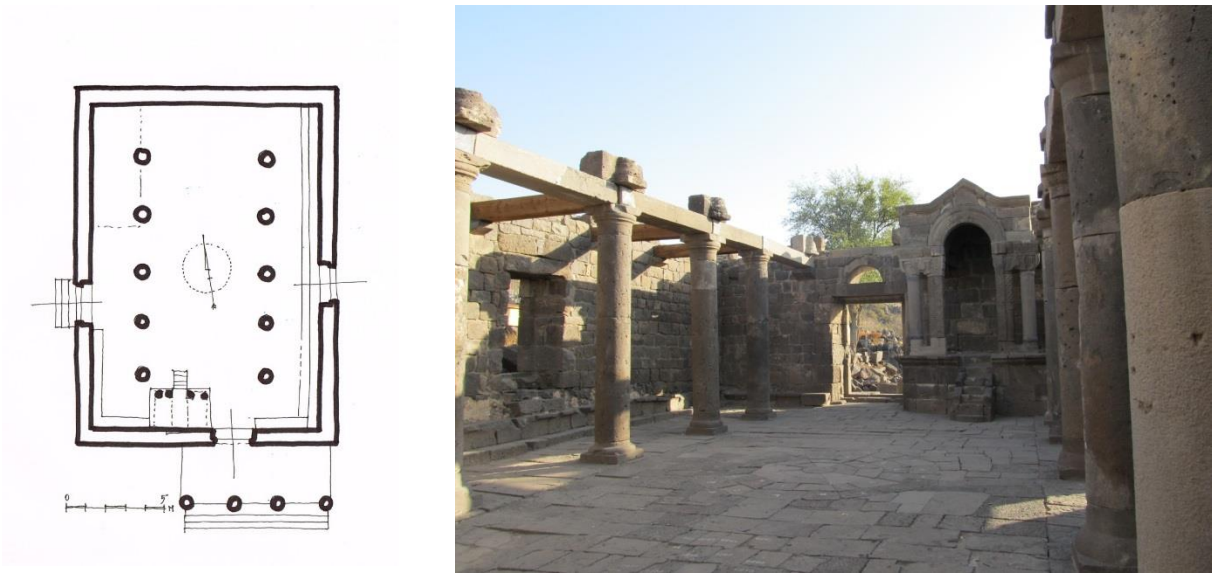
5. ábra Bar’am zsinagóga díszítése, a főbejárat

[6] 27 zsoltár 3.

4.4 Umm el Qanatír zsinagóga

A Jeruzsálemi Templom pusztulásával egy új helyzet áll elő. A kultusz irányába beleáll a Tóraszekrény, melynek tartalmán át kvázi látni lehet a templomot, vagy azt, amit a templom jelentett, amikor még állt. A kultuszközpont szerepét, amely korábban a Templom volt, átveszi a Tóraszekrény.

Később a bejárat átkerül a szemközti oldalra. Ebből a szempontból különösen érdekes a Golán Fennsíkon Umm el Qanatír zsinagógája, ahol Jeruzsálem felé egymás mellett jelenik meg a bejárat és a Tóraszekrény, egymás mellett, azonos súllyal. A jelenség kétség kívül jelen van, de biztos magyarázattal nem tudok szolgálni. Személyes véleményem szerint ez az átmeneti időszak egyik szép példája lehet.

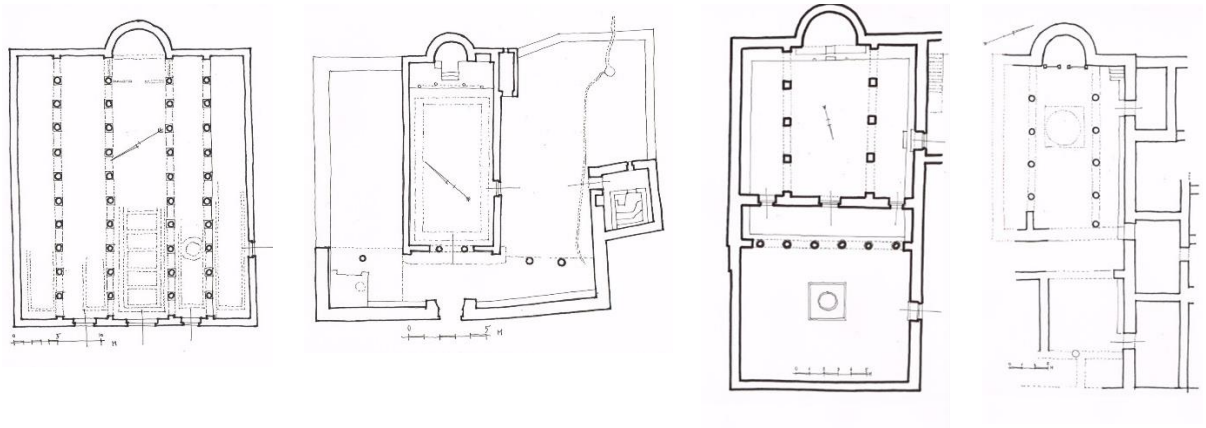


6. ábra Umm el Qanatir

A kompozíció kiegyensúlyozatlansága, feszültsége minden költőisége mellett is átmeneti állapotra utal. A belső térrend, kultusz középpont kétségkívül a bejárat-Tóraszekrény együttes, még akkor is, ha a tér geometriai középpontjában a padlón a burkolati kövek által kirajzolt kör alak is egy tudatosan kijelölt pont (talán a tóraolvasás helye).

4.5 Bizánci vagy keresztény típus

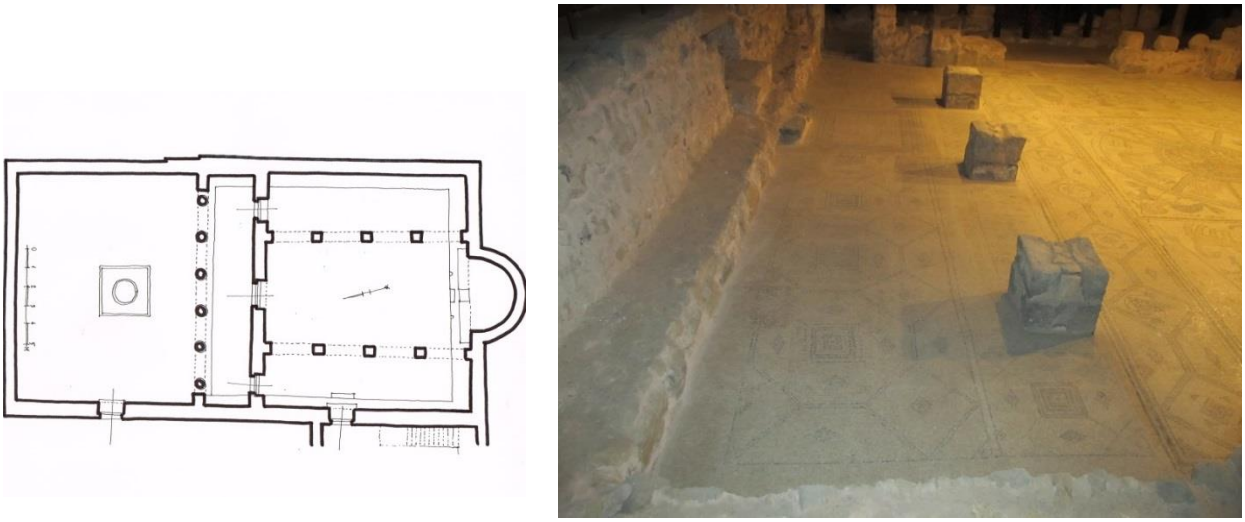
A Jeruzsálemi Templom pusztulásával a bejárat helyére kerülő Tóra szekrény idővel a téralakításban is megjelenik, és a korábbi bejárat helyén egy apszis jelenik meg. Ebben a típusban a Tóraszekrény helyéről kiszoruló bejárat helye az apszissal átellenes oldalon rögzül. Ez a tér, amely így létrejön hosszanti hajóival, egyik oldalon az apszissal, másikon a bejárattal kimondottan tengelyes szerkesztésű.



Gáza Ma'on Nirim Beit Alpha Beit Shean

7. ábra Bizánci vagy keresztény típusú zsinagóga

Ez a forma nagyon hasonlít a korai keresztény templomokhoz, talán innen is kapta a nevét. Ez a forma a klasszikus helyébe lép több helyen. (Pl. Hamat Tibériásban.) Ez a forma a tengelybe helyezett apszisra fókuszál, amely áttételesen, a Tóra tekercsek által, azon át mutat továbbra is a Templomra.



8. ábra Beit Alpha zsinagógája

A Beit Alpha kibbutz közelében feltárt zsinagóga szinte egy román templom formáját követi a rekonstrukciókban. Nem csak exonarthexe (külső előcsarnoka) van előtte négyszögletes udvarral (átrium), közepén kúttal, nem csak a három hajós középapszisos forma hasonló, de a rekonstrukció szerint két oldalhajó feletti karzat is (Pinkersfeld[7]). Sajátosság a körbe futó pad a falak mentén.

6. KÖVETKEZTETÉS

Az eddigiek alapján arra gondolhatunk, hogy volt egy korai, kissé tétova, magába forduló korai fázisa a zsinagógáknak, (bár természetesen ennek lehet ettől eltérő oka is). A következő

[7] http://cojs.org/alpha-pinkersfeld/ cited 2018. június 17.

fázisban a Jeruzsálemre való tájolás kimondottan fontos. Tekintve, hogy a 70-ben lerombolt II. Templom után a Tóra szekrény áthelyeződik az ajtó helyére, egy apszisba, nem alaptalan arra gondolnunk, hogy a tipikusnak tekinthető U térformájú zsinagógák építésének tipikus ideje nem a II. Templom lerombolása utánra tehető, hanem annak fennállása idejére, azaz az I. század vége előtti időre. Minden ilyen hipotézis további megerősítést igényel, de az írott forrásokat tekintve talán nem is annyira meglepő a következtetés.

TEJELŐ TEHENÉSZETEK ENERGIAHATÉKONYSÁGA HAJDÚ-BIHAR MEGYÉBEN

ENERGY EFFICIENCY OF DAIRY FARMS IN HAJDÚ-BIHAR COUNTY

CSATÁRI Nándor[1], HAGYMÁSSY Zoltán[2], VÁNTUS András[3]

[1]Ph.D., tudományos segédmunkatárs, csatarin@agr.unideb.com
[1]Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]Ph.D., egyetemi docens, hagymassy@agr.unideb.hu
[2]Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

[3]Ph.D., egyetemi adjunktus, vantus@agr.unideb.hu
[3]Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A szerzők 25 tejelő tehenészetet vizsgáltak Hajdú-Bihar megyében a energiafelhasználás, energiaköltségek, a megújuló energia használat és az energiatakarékos műszaki megoldások szempontjából.*
Az adatokat módszeres megfigyeléssel, szóbeli interjúval és dokumentum-elemzéssel gyűjtötték. A vizsgálatok azt mutatták, tejtermelés közvetlen energiaigénye átlagosan 0,7 MJ/liter, az energiaköltsége pedig 2,5 és 7,5 Ft között változik az egyes üzemekben. A vizsgált 25 gazdaságból 10 esetben használnak valamilyen megújuló energiát és 23 esetben pedig valamilyen energiatakarékos műszaki megoldást.

Kulcsszavak: *tehenészet, energia, hatékonyság, megújuló*

Abstract: *In this study the authors examined 25 dairy farms in Hajdú-Bihar county in terms of energy usage, energy cost, renewable energy application, and energy saving techniques. The data were collected by methodical observation, oral interviews and document analysis. Studies have shown that, the direct energy demand for milk production is 0.7 MJ/litre, the energy cost varies between 2.5 and 7.5 HUF/litre. From the 25 examined dairies 10 uses any kind of renewable energy, and 23 uses any kind on energy saving technology.*

Keywords: *dairy farm, energy, efficiency, renewable*

1. BEVEZETÉS

A szarvasmarhatenyésztés az egyik legjelentősebb hazai mezőgazdasági ágazat. Ennek része a tejtermelés; Hazánkban az éves termelés 1,87 milliárd liter volt a 2016-os évben [1].

A tehenészeti telepeken az energia számos formájára van szükség, egy energiaigényes ágazat, melyet gyakran az „*állattenyésztés nehéziparának"* nevezek. Ezt a magas energiaigény a mai trendeknek megfelelően, részben megújuló forrásból is lehetne fedezni. Ennek előnyei a klímavédelem mellett a helyben maradó jövedelem (megtakarított energiaköltségek) és a munkahelyteremtés / megőrzés. Továbbá célszerű a versenyképesség megőrzése miatt fejlesztéseket végrehajtani, a költségeket lehetőség szerint csökkenteni és a hatékonyságot növelni.

A kutatás célkitűzései:

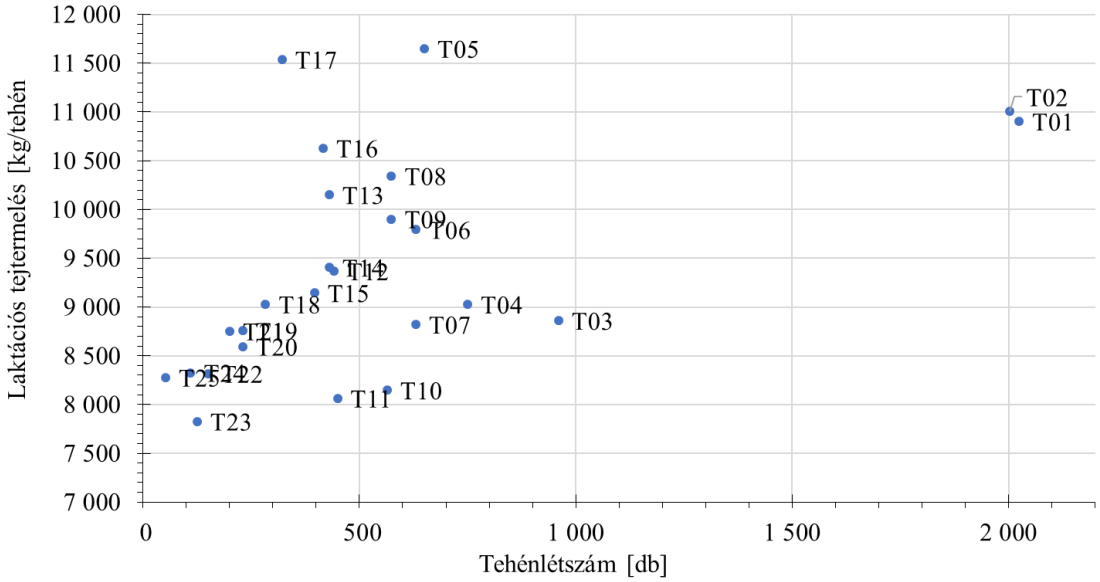
- A tejtermelés energiafelhasználásának vizsgálata, valamint az említett adatok révén az egyes energiahordozók arányának a meghatározása.
- A megújuló energiafelhasználás alkalmazásának és az energiatakarékos megoldások elterjedtségének vizsgálata.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatáshoz az adatokat a telepek bejárásával, módszeres megfigyelés alapján, illetőleg a telepvezetőkkel folytatott interjú alkalmával, adatfelvételi lap kitöltése révén gyűjtöttük 2017-ben és 2018-ban. Összesen 25 db tehenészetet kerestünk fel Hajdú-Bihar megyében. A vizsgált üzemek a Hajdú-Bihar megyei termelésellenőrzött tehénlétszám 64%-át és a tejtermelés 58%-át, valamint az országos termelésellenőrzött tehénlétszám 7,2 %-át adják.

A telepek kiválasztásánál törekedtünk a közepes- és nagyobb üzemek felkeresésére, továbbá a közepes és magas termelési színvonalon üzemelő tehenészetek vizsgálatára; ezért az 50 tehén feletti gazdaságokat, illetve 7 500 liter/év laktációs termelés feletti üzemeket vizsgálatuk.

A vizsgált tehenészetek méret és termelési intenzitás szerinti megoszlását mutatja az *1. ábra*. A névtelenség miatt a tehenészetek jelölése kóddal történik, méret szerinti csökkenő sorrendben: T01 -T02 … T25.



1. ábra. A tehénlétszám és a laktációs tejtermelés megoszlása a vizsgált tehenészetekben

Az energia felhasználási adatokat nem minden tehenészetben tartották pontosan nyilván, így csak 16 adatsort lehetett összehasonlítani. Ahol nem állt rendelkezésre adat az összes energiatípusról, azokat a tehenészeteket ezeket kihagytuk 3.1. fejezetből. A telepi adatfelvételezésnél az energia adatok begyűjtése okozta a legnagyobb problémát, mivel a nagyobb vállalatok vagy vállalatcsoport ágazatai közötti költségfelosztás nem mindenütt mérésen, hanem egyes helyeken arányosításon és becslésen alapult. Ez érintette a villamos energia és a földgáz felhasználást, például olyan esetekben, ha a telep közvetlen szomszédságában egy szárító vagy több ágazatot is ellátó irodaépület állt. A gázolaj felosztása is gyakran nehézséget okozott, itt az üzemek a becsült szántóföldi gázolajfogyasztást levonva adták meg az értéket. Az előbb felvázolt körülményekhez képest a legnagyobb gondosságra törekedve, az üzemek hivatalos könyvelésében szereplő energiaköltség felosztást vettük alapul, továbbá igyekeztünk szakirodalmi adatokkal is ellenőrizni – validálni a kapott számokat. A telepi gépi munkák esetén a tömeg- és abraktakarmány keverését, etetését belső munkának tekintettük, azonban a takarmány és alomanyag beszállítását, kazlazását, és a silótér feltöltését viszont nem. Nem számoltunk a benzin fogyasztással, amit a tehenészeteken

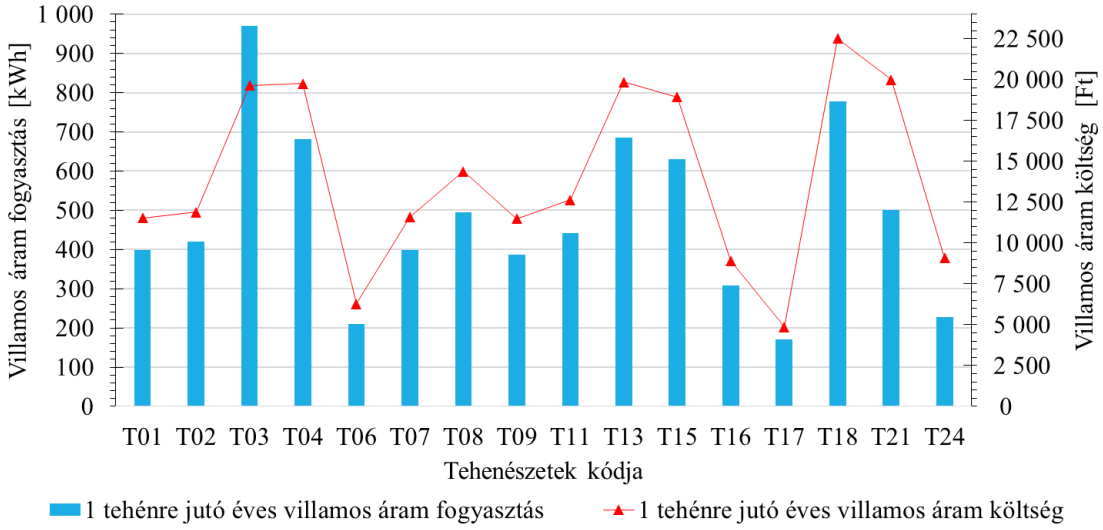
a zöldterület ápoláshoz, valamint időszakosan a szivattyú működtetéséhez használnak, mivel a mennyisége elhanyagolható.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A tehenészetek energiafelhasználása és energiaköltségei

A telepek energiahasználatára vonatkozóan a villamos áram, a földgáz, propán-bután gáz (továbbiakban: PB-gáz), gázolaj és a biomassza felhasználás 2016. évi mennyiségét lett felmérve naturális mértékegységben, illetve forintban.

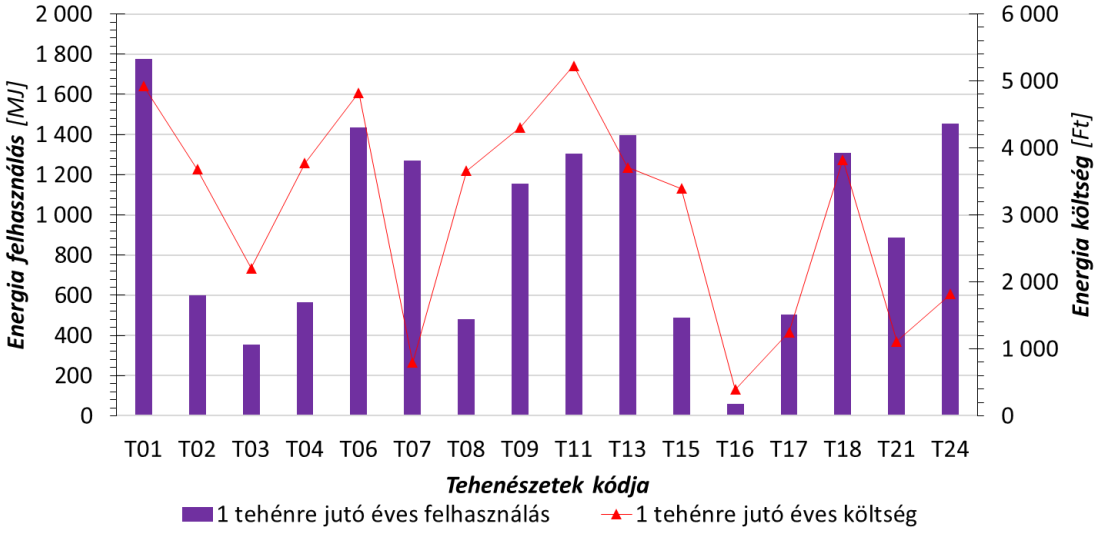
Az üzemek villamos energia felhasználását elemezve megállapítható, hogy az egy tehénre vetített éves villamos áram fogyasztás átlaga 481 kWh, a relatív szórás (variációs együttható) értéke 44%; az áramköltség átlaga 13 959 Ft, a relatív szórás 38% *(2. ábra*). Az értékekben nagy eltérések voltak, amelyeknek az okai az eltérő hatékonyság, technológiai korszerűség mellett az eltérő energia mix, a megújuló energia használat és az energiatakarékos technológiák voltak. Szakirodalmi adattal összevetve, [2] 100 tehén és szaporulata esetén 50 70 ezer kWh éves fogyasztással számol. A vizsgált tehenészetek esetén átlagosan 48,1 ezer kWh a 100 tehénre jutó villamos energia felhasználás, a konfidencia intervallum p=95% esetén pedig 36,4 és 59,8 ezer kWh közötti.



2. ábra. A tehenészetek éves villamos áram felhasználása és költsége

A földgáz, PB-gáz és a biomassza (jelen esetben tűzifa) gyakran egymás helyettesítői, amelyeket a vízmelegítés vagy fűtés céljára használnak fel. Ezért alábbi 3 energiahordozó egyben került ábrázolásra, a naturális mennyiségek közös nevezőjének a MJ-ban.

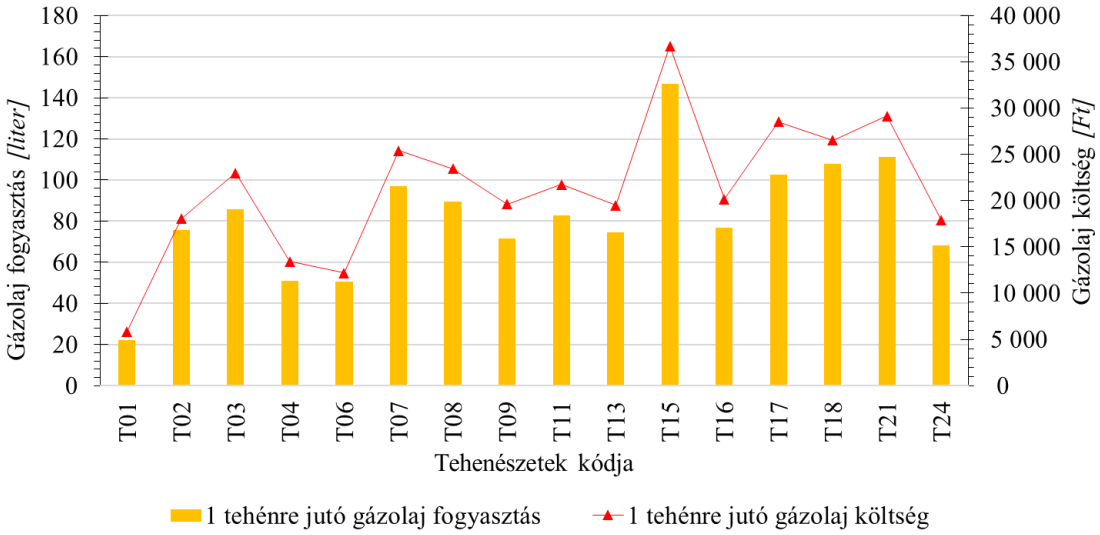
A vizsgált telepek 1 tehénre vetített éves PB-gáz, földgáz és tűzifa felhasználását a *3. ábra* szemlélteti. A kapott adatok között igen jelentős eltérés figyelhető meg. Az egy tehénre vetített éves felhasználás átlaga, 940 MJ, a relatív szórás értéke 54%; a költség átlaga 3 056 Ft, a relatív szórás 50%. A T16 telep esetén a rendkívül alacsony értékek nem számolási hibának köszönhetők, hanem a telep számos energiatakarékos megoldást használ, valamint napkollektort, és a fűtés energiaigénye is minimális.



3. ábra. A tehenészetek éves PB-gáz, földgáz és tűzifa felhasználása és költsége

A gázolaj felhasználás megoszlása a *3. ábrán* látható. Az adatok között jelentős eltérés látható. Az egy tehénre vetített éves gázolaj felhasználás átlaga 82 liter, a relatív szórás értéke 34%; költség átlaga 21 322 Ft, a relatív szórás 33%. A T01 telep esetén látható rendkívül alacsony érték részben annak tudható be, hogy a trágyakezelés a legtöbb istállóban szárnylapátos trágyakihúzóval működik, így a trágyakitolás esetén nem szükséges gépi munka. A másik szélső érték a T15 telep, ahol az etetési technológia és az istállók korszerűtlen állapota miatt a gépi munkák jóval kisebb hatásfokúak.

A gázolaj árából a jövedéki adó 80 %-a visszaigényelhető a mezőgazdaságban, abból a megfontolásból, hogy a mezőgazdasági gépek elsősorban nem a közutakat használják. A 2008-tól érvényes aktuális szabályozás szerint 1 hektár mezőgazdasági terület után 97 liter gázolaj jövedéki adójának 80%-át lehet visszaigényelni. A módosítás előtt 2007-ig egy összetettebb számítási rendszer volt életben, ahol 1 tehén után is lehetett 85 liter gázolaj jövedéki adójából visszaigényelni [3, 4]. A telepi felmérésben kapott 82,13 liter/tehén/év átlagot összehasonlítva a jogi szabályozással (85 liter/tehén/év), a konfidencia intervallum p=95% esetén 66,82 liter/tehén/év és 97,45 liter/tehén/év közötti.



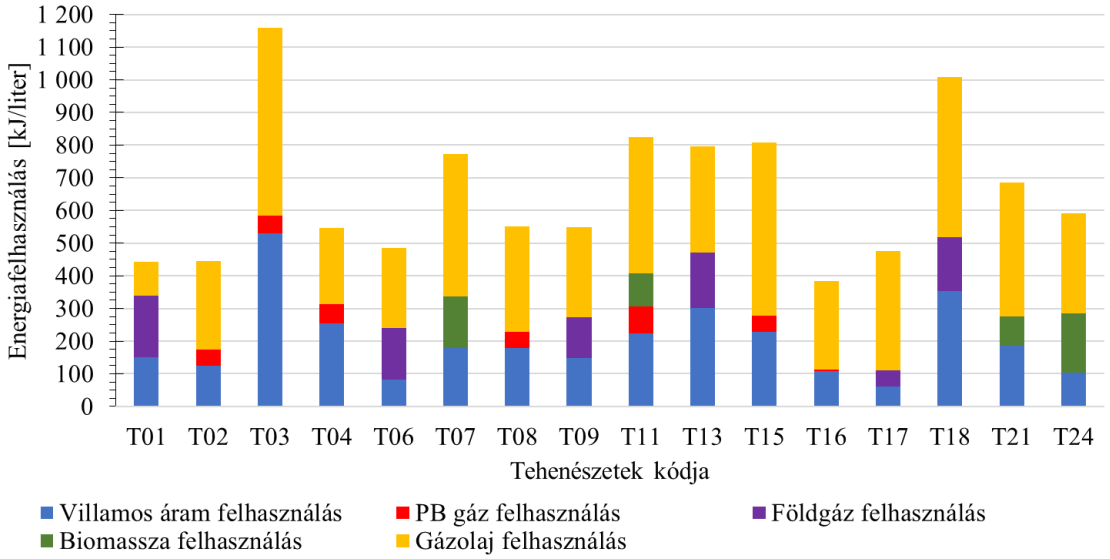
4. ábra. A tehenészetek éves gázolaj felhasználása és költsége

Az összes éves energiafelhasználás a *4. ábrán* látható, egy liter megtermelt tejre vetítve energiahordozók szerint. A közvetlen energiaigény 414 és 1 159 kJ/ liter között változik átlagosan 703 kJ/liter, relatív szórás 31%. Összehasonlításképpen a tehéntej energiatartalma takarmányozási szempontból 3 040 kJ/kg [5].

A tehenészetek összes energia felhasználásának a megoszlása energiahordozók szerint (súlyozott átlag alapján) az alábbi:

- Villamos áram: 31,9%
- PB-gáz: 4,4%
- Földgáz: 11,0%
- Biomassza: 2,5%
- Gázolaj: 50,2%

A gázolaj teszi ki átlagosan a felhasználás felét, egyes telepek esetén még nagyobb arányát. A legkevesebb a gázolaj megoszlása a T01-es telepen, ahol a már említett okok miatt alacsonyabb.

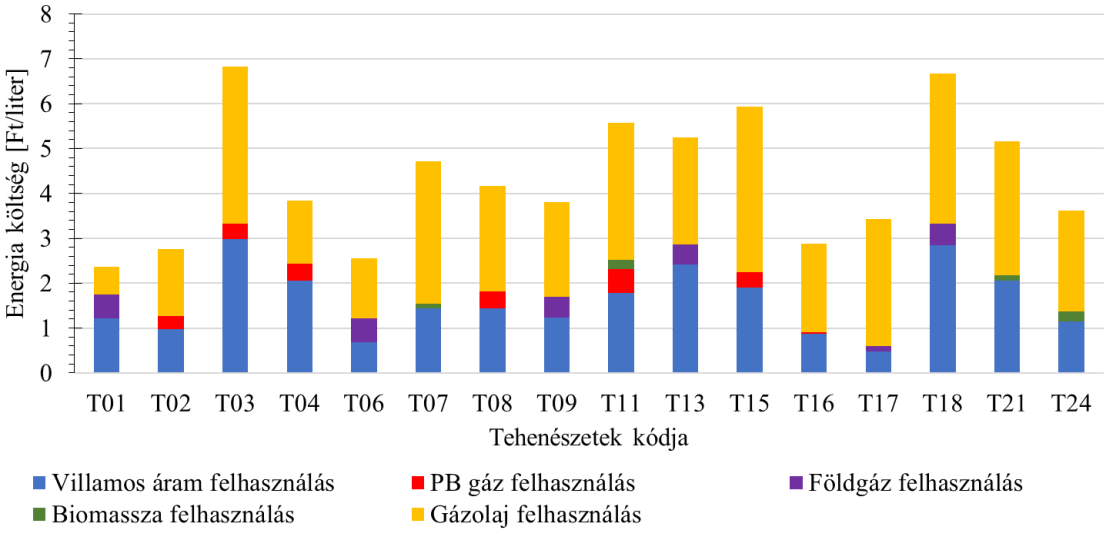


5. ábra. Az energiafelhasználás típusainak megoszlása 1 liter tejre vetítve

Az egy liter megtermelt tejre jutó energiaköltség a 22. ábrán látható, energiahordozók szerint. Egy liter tej közvetlen energiaköltsége 2,5 és 7,5 Ft/liter között változik átlagosan 4,7 Ft/liter, relatív szórás 32%. A tehenészetek összes energiaköltségének megoszlása energiahordozók szerint (súlyozott átlag alapján) az alábbi:

- Villamos áram: 38,5%
- PB-gáz: 4,5%
- Földgáz: 5,1%
- Biomassza: 0,4%
- Gázolaj: 51,5%

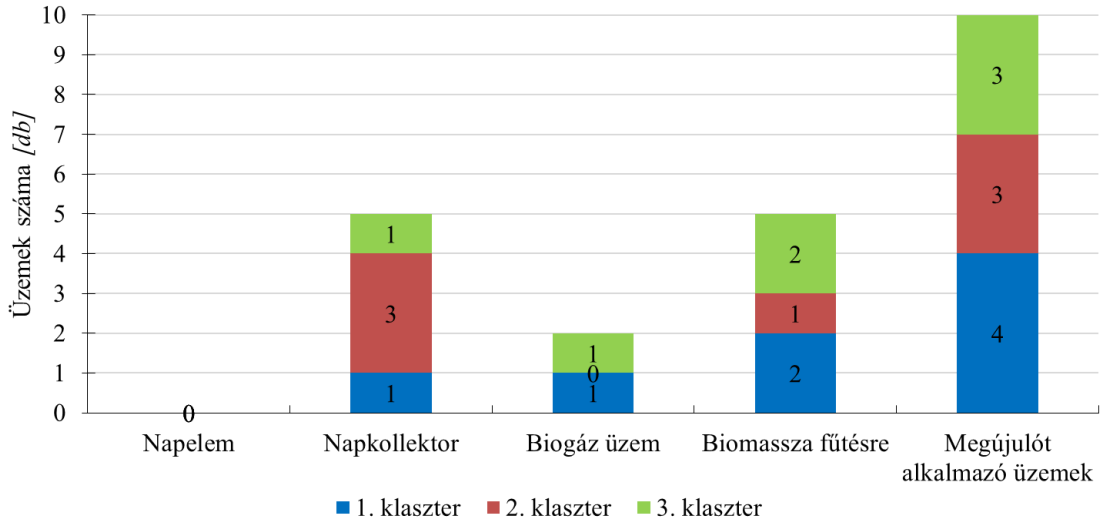
A biomassza ár aránya jóval elmarad az energia aránytól, ennek az az oka, hogy – az egyébként is relatíve olcsóbb – tűzifát a telepek egy részénél a saját termelés miatt önköltségi áron számolják el.



6. ábra. Az energiafelhasználás költsége típus szerint 1 liter tejre vetítve

3.2. Megújuló energia használat és energiatakarékosság

A tehenészetekben a megújuló energiatermelés egyes típusainak elterjedését szemlélteti, klaszterenkénti bontásban a 7. ábra. Az alábbi ábrán csak a már megvalósult, és üzemelő megújuló energia megoldások láthatók, a tervezett beruházások nem. Napelem egyetlen üzemben sem volt, napkollektor 5 esetben, biogáz üzem 2 esetben, biomassza tüzelés 5 üzemben. Összesen 10 tehenészet használt valamilyen megújuló energiát, mert 2 telepnél mind napkollektor, mind biomassza tüzelés is volt.



7. ábra. A megújuló energia alkalmazása a vizsgált tehenészetekben

Számos technikai megoldás játszik szerepet a tehenészetek esetében az energiamegtakarításban, azonban a legtöbb ilyen elem egyaránt hatással van más tényezőkre is, mint a hatékonyabb tejtermelés vagy a munkaerő megtakarítás, ezért a beruházást elsősorban nem az energiamegtakarítás indokolja. A tehenészetekben – más iparágakhoz hasonlóan – a korszerű technológiák alkalmazása a fajlagos termelési és munkatermelékenységi mutatók javításán túl a környezetterhelés csökkenését is okozza; például az automata fejőkehely levétel, beépített trágyakihúzók alkalmazása a traktoros megoldás helyett stb. Jelen tanulmányban 5 db olyan műszaki megoldást vizsgáltunk, melyek

hatása kiemelten jelentős a telepek energiamegtakarításában, ezeknek a megoldásoknak az elterjedését foglalja össze a *1. táblázat*.

A hővisszanyerős tejhűtési rendszer 17 vizsgált tehenészetben üzemel. Az 1. klaszterben a telepek 45%-a, a 2. és 3. klaszter esetén 86%-a alkalmazza ezt az energiatakarékos megoldást.

A hűtőaggregátorok hulladékhőjét 5 telepen vezetik át a fejőházba nagy átmérőjű szigetelt cső/csövek és ventilátorok segítségével, az ottani légtér fűtésére. A T11 és T12 telepeken ez a folyamat kétirányú, ugyanis nyáron a ventilátorok forgási irányának megfordításával hűvösebb levegővel lehet ellátni a fejőházból a hűtőkompresszoroknak kialakított helyiséget.

1. táblázat. Az energiatakarékos műszaki megoldások elterjedése a vizsgált tehenészetekben

Klaszterek	1. klaszter		2. klaszter		3. klaszter		Összesen	
Telepek száma *[db]*	11		7		7		25	
Átlagos tehénlétszám *[db]*	228		495		1 092		545	
Technológiai elem elterjedése	*[%]*	*[db]*	*[%]*	*[db]*	*[%]*	*[db]*	*[%]*	*[db]*
Hővisszanyerő tejhűtési rendszer	45%	5	86%	6	86%	6	68%	17
Hűtő hulladékhő visszavezetés fejőház légfűtésére	9%	1	29%	2	29%	2	20%	5
Frekvenciavezérelt vákuum előállító rendszer	27%	3	71%	5	81%	6	55%	14
Energiatakarékos lámpatestek (fénycső, LED, nátrium lámpa)	91%	10	100%	7	86%	6	92%	23
Energiatakarékos világítás vezérlés (mozgásérzékelő, alkonykapcsoló)	64%	7	86%	6	71%	5	72%	18

Frekvenciavezérléssel ellátott vákuumszivattyú 14 telepen volt. Az 1. klaszterben a telepek 27%-a, a 2. klaszternél 71%-a és a 3. klaszter esetén 81%-a alkalmazza ezt az energiatakarékos megoldást. A frekvencia vezérléses rendszer még hatékonyabb akkor, ha a fejőállások fel vannak szerelve fejőkehely levevő automatával, mert így minden tehénnél a megfelelő időben ér véget a fejés, és a vákuum rendszer sem dolgozik feleslegesen. Ez mind a 14 telepnél, ahol frekvenciavezérléssel ellátott vákuumszivattyút használtak, igaz volt.

A világítás korszerűséggel kapcsolatos kérdéseknél nem differenciáltunk a telepen belüli elterjedés tekintetében, hanem csak igen-nem (0-100%) típusú elterjedést mértünk fel. Meglátásunk szerint irreális lett volna az egyes energiatakarékos égők/ lámpatestek százalékos elterjedését vizsgálni a telepen belül, ráadásul a pontos válasz érdekében még a napi használt óraszámot is szükséges lett volna felmérni. Abban az estben, ha volt számottevő arányban energiatakarékos lámpatest vagy világítás vezérlés, akkor az értéket igennek tekintettük. A 25 telepből 23 esetén találkoztam ezekkel a megoldásokkal. A LED világítást elsősorban a kültéri reflektoroknál alkalmazták, a hagyományos foglalatú izzóknál kevésbé. *Az energiatakarékos világítás vezérlés*t a mozgásérzékelővel vezérelt világítás kapcsolók és az alkonykapcsolók jelentették. Esősorban ez utóbbit használták a tehenészetek az istálló világítás, valamint a térvilágítás szabályozására. A 25 tehenészet közül 18-ben alkalmaztak valamilyen energiatakarékos vezérlési megoldást.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

- A tejtermelés energia költsége a vizsgált telepeken 2,5 – 7,5 Ft/liter között változott. A különbség 5 Ft/liter, ami a tej önköltségének kis részét képezi. Más területeken sokkal több a tartalék a hatékonyság és az eredményesség növelésére.

- Az egyes energiahordozók használatának arányába, az ún. energiamixben a vizsgálat tehenészetek között jelentős különbségek vannak, de jellemző a gázolaj meghatározó szerepe, mintegy 50%-os arány mellett.
- A vizsgált tehenészetek ismerik a különböző megújuló energia hasznosítási lehetőségeket, és igyekeznek alkalmazni azokat. Tíz gazdaságban használnak megújuló energiát, elsősorban napkollektort és biomassza tüzelést. Több telepen érdeklődnek a napenergia jövőbeni hasznosítása iránt.
- A tehenészetek vezetőségének elsődleges érdeke az energiafelhasználás tekintetében nem a megújuló részarány növelése, hanem a költségek, így az energiaköltségek csökkentése. A vizsgált üzemekben ezért jóval gyakoribbak az energiaköltségek csökkentésére irányuló energiahatékony vagy energiavisszanyerő megoldások, mint a megújuló energiatermelési rendszerek.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **KSH,** 2018. A fontosabb állati termékek termelése (1990–) STADAT tábla 4.1.23,

[2] https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_oma002.html, *letöltve: 2018.06.15*

[3] **POSTA L.:** 2007. Vállalati tervezés, Debreceni Egyetem-AVK, Debrecen

[4] **216/1997. (XII. 1.) KORM. RENDELET***:* mezőgazdaságban felhasznált gázolaj utáni jövedéki adó visszatérítés feltételeiről és szabályairól, *nem hatályos*

[5] **341/2007. (XII. 15.) KORM. RENDELET:** a mezőgazdaságban felhasznált gázolaj utáni jövedékiadó-visszatérítés feltételeiről és szabályairól

[6] **SCHMIDT J.:** 2015. A takarmányozás alapjai, Mezőgazda Kiadó, ISBN: 978-963-286-715-1, 451p.

A FAN-COIL-OS HŰTÉSI FOGYASZTÓI RENDSZER VIZSGÁLATA ELTÉRŐ MUNKAKÖZEGEK ESETÉN

THE INVESTIGATION OF COOLING CONSUMER SYSTEMS BASED ON VARIANT REFRIGERANTS

DEÁK Dávid Péter[1], L. SZABÓ Gábor [2], BODÓ Béla[3]

[1]hallgató, deakdavid22@gmail.com
[1]Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]tanársegéd, l.szabo.gabor@eng.unideb.com
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[3]mesteroktató, bela.bodo@eng.unideb.com
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *Jelen cikkben vizsgáljuk több szempont alapján a hűtési fogyasztói rendszert. Mivel a hűtési „hidegenergiát" drágább elállítani, mint a hőenergiát, ezért fontos vizsgálni, minden olyan szempontot, mely az igények csökkentése felé mutat. Ezért vizsgáltuk a hűtési fogyasztói rendszer igényeinek alakulását egy referenciarendszerhez képest. A vizsgálat során változtattuk a hűtési víz középhőmérsékletét, a hűtési hőfoklépcsőt és a hűtővíz etilén-glikol tartalmát. Ennek hatására változnak az érezhető, a teljes hűtőteljesítményigények. Valamint természetesen megváltozik a szekunder rendszer exergiaigénye is.*

Kulcsszavak: *érezhető hűtőteljesítmény, teljes hűtőteljesítmény, exergia*

Abstract: *In this article we are reviewing the cooling consumer systems on several points of view. As the energy for cooling costs more to produce than thermal energy, it is important to analyze all aspects that point to the reduction of demand. For this reason we surveyed the development of the needs compared to reference system. During the research we modified the mid-temperature of the refrigerant, the temperature differential and the ethylene glycol content of refrigerant. This influences the change of perceptible and total cooling capacity requirements. It also changes the exergy requirements for the secondary system.*

Keywords: *sensible cooling capacity, total cooling capacity, exergy*

1. BEVEZETÉS

Az Európai Unió alapvető célkitűzése az energiaigény és fogyasztás csökkentése a fenntartható fejlődéshez. Ezt a célt aktív és passzív módon lehet elérni. [1]

A legismertebb passzív megoldás az épületek szigetelése. Ennek segítségével csökkentjük a felmerülő igényeket. Ezzel a témával számos cikk és munka foglalkozik, arra jutva, hogy a különböző éghajlaton lévő épületeknél eltérő mértékben, de csökken a fűtési energiafelhasználás. Az épület kialakítása nem csak téli állapotban, hanem nyáron is fontos. Mivel általános tendencia az üvegezett felületek növekedése, emiatt a megfelelő komfort légállapotot csak hűtéssel tudjuk fedezni. A hűtési rendszer hatékony választása és használatához viszont szükséges a hőterhelést csökkenteni, erre pedig a legjobb módszer a természetes filtráció növelése. A teljes hőszigetelés, és a légcsereszám növelése, akár 50%-os hűtési energiaigény csökkentést is eredményezhet. [2-4]

Az aktív megoldások a rendszerek hatékonyságát célozzák. Ennél elengedhetetlen az exergia szemléletű megközelítés. Az exergia nem más, mint az energia más energiaformába átalakítható része; vizsgálata megmutatja, hogy az energia mekkora része használható aktívan. Készültek vizsgálatok mind az energiatermelő, mind az energia leadók szempontjából. [5-10]

A kapcsolódó irodalom inkább fűtési oldalról vizsgálódik, és elhanyagolva a hűtést. Magyarországon, a „hidegenergiát" akár háromszor drágább előállítani, mint a hőenergiát. Emiatt fontos vizsgálódni. Jelen cikkben Egy 7/12 °C-os fan-coil referencia rendszernél vizsgáljuk, hogy milyen hatással van az igényekre a hőmérséklet és a közegváltoztatás.

2. ELMÉLETI ÁTTEKINTÉS

2.1 A REFERENCIA RENDSZER

A referencia rendszer egy kétszintes irodaépületben került tervezésre. Az épület hasznos alapterülete 529 m^2, szerkezeti megfelelnek a 7/2006-os TNM rendelet jelenleg érvényben lévő előírásainak. Az épület hőveszteségе 23,04 [kW], a nyári hőterhelése 31,45 [kW]. Azokban a helyiségekben ahol hűtünk, ott a fűtést is fan-coil készülékekkel oldjuk meg, míg ahol nem, ott radiátorral. A mintarendszer energialeadói a hűtött-fűtött helyiségekbe 30 darab Daikin parapetes négycsöves fan-coil készülék. Annak érdekében, hogy a zajszintet a lehető legkisebbre csökkentsük, a legalacsonyabb motorfokozatra választottuk ki a készülékeket. A csak fűtött helységekbe 12 darab Vogel & Noot lapradiátor lett tervezve. A fan-coil készülékek PIBVC szelepekkel, a radiátorok termosztatikus radiátorszelepekkel ellátottak. A 7/12 °C hűtési és a 35/30°C fűtési víz „T"-idomokkal szabadon szerelt és utólag elburkolt hálózaton keresztül jut el a fogyasztókig. A kicsi téli hőfoklépcső megakadályozza, hogy a fan-coil készülékek fűtési oldalon túlméretezettek legyenek, de a radiátorok felület igényét növeli. A referencia rendszerben a tájolásnak megfelelően 4 zóna került kialakításra.

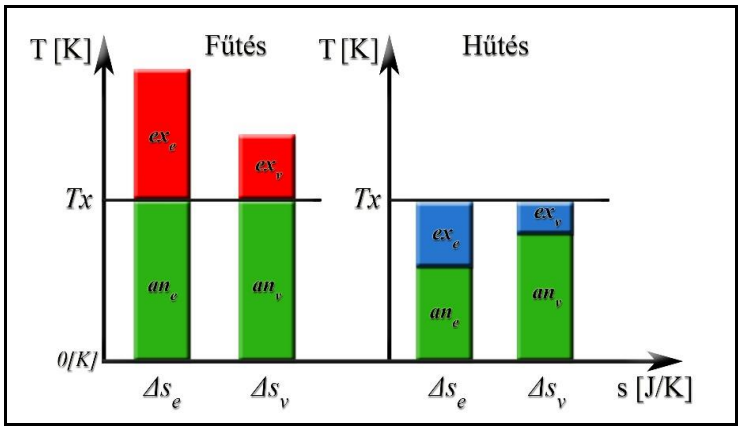
A hűtési igényt egy Daikin EWAQ-BAWN 050 típusú, 51 kW-os hűtőteljesítményű kompakt folyadékhűtőre fedezi. A készülék EER értéke 2,76, míg ESEER 3,96. A fűtést egy 28 kW-os, Ariston Genus Premium evo 30 típusú kondenzációs fali gázkazánról oldjuk meg.

2.2 A FOGYASZTÓI RENDSZER EXERGIA IGÉNYÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Minden energiamennyiség felosztható két részenergia mennyiségre. Az egyik az exergia *(„E_x")*, amely az energia más energia fajtába való átalakítható része, a másik pedig az anergia *(„E_A")*, amely nem képes ezen átalakulásra. Az anergia a környezeti hőmérséklet *(„T_x")* és a adott elem entrópiatartalmának *(„S_i")* szorzata. Azaz az exergia (fűtésnél „+", hűtésnél „-"):

$$E_x = E \mp S_i \cdot T_x \tag{1}$$

Érdekes összehasonlítani, hogy hűtő és fűtővíz esetén mit értünk exergia alatt. Ezt mutatja be az *1. ábra*, az előremenő és visszatérő víz esetén is.



1. ábra Az anergia és az exergia alakulása fűtési, illetve hűtési esetben

A fogyasztói alrendszernek meghatározhatjuk az energia és ebből következően az exergia szükségletét. Egy hőelvonón (illetve hőleadón) bekövetkező exergia változás megegyezik a felület *(„Ex_{rf}”)* és a hűtővíz *(„ΔEx_r”)* exergia változásának összegével. Az előbbi az adott készülék teljes hűtőteljesítményének *(„Q_{total}”)* és a fan-coil felület minőségi tényezőjének *(„F_{rf}”)* szorzata. Utóbbit az alábbi összefüggéssel tudjuk meghatározni:

$$F_{rf} = \frac{t_x - t_{rf}}{t_{rf} + 273{,}15} = \frac{T_x}{T_{rf}} - 1 \qquad (2)$$

Ahol:

T_x – Az exergia számítás referencia hőmérséklete, értéke 293,15 [K].

T_{rf} – A fan-coil felületi hőmérséklete, [K]-ben.

Egy hőelvonón bekövetkező exergia változás tehát a következő összefüggéssel írható fel:

$$E_{Xr,i} = F_{rf,i} \cdot \dot{Q}_{total,i} + \Delta E_{Xr,i} \qquad (3)$$

A hűtővíz exergia változása *(„ΔEx_r”)* egy adott fan-coilon megegyezik az előremenő *(„Ex_e”)* és a visszatérő *(„Ex_v”)* hűtővíz exergia tartalmának különbségével. Egy adott hőmérsékletű folyadék exergia tartalma felírható az (1)-es összefüggést felhasználva. Általánosan és egységnyi időre vonatkoztatva:

$$ex_i = c_p \cdot m \cdot (T_i - T_0) - \left[c_p \cdot m \cdot \ln \frac{T_i}{T_0} \right] \cdot T_x \qquad (4a)$$

$$Ex_i = c_p \cdot \dot{m} \cdot (T_i - T_0) - \left[c_p \cdot \dot{m} \cdot \ln \frac{T_i}{T_0} \right] \cdot T_x \qquad (4b)$$

Ahol:

c_p – A víz állandó nyomáson vett fajhője, J/kg·K-ben

m – A víz tömege a fan-coilban, kg-ban,

T_i – A víz hőmérséklete, K-ben.

T_0 – Az abszolút nullánál nagyobb viszonyítási hőmérséklet, K-ben.

A (4)-es összefüggéssel felírható a hűtővíz szükséges változását a fan-coil készülékben:

$$\Delta E_{Xr,i} = E_{Xe,i} - E_{Xv,i} = c_p \cdot \dot{m}_i \cdot \left[T_e - T_0 - T_x \cdot \ln\left(\frac{T_e}{T_0}\right)\right] - c_p \cdot \dot{m}_i \cdot \left[T_v - T_0 - T_x \cdot \ln\left(\frac{T_v}{T_0}\right)\right] \quad (5)$$

Mivel a fajhő és a tömegáram szorzata megegyezik a fan-coil teljes hűtőteljesítményének és az előremenő *(„T_E”)* és visszatérő *(„T_V”)* hűtővíz különbségének arányával, ezért felírható:

$$\Delta Ex_{r,i} = \frac{\dot{Q}_{total,i}}{T_v - T_e} \cdot \left[(T_e - T_v) + T_x \cdot \ln\frac{T_v}{T_e} \right] \quad (6)$$

A fogyasztói rendszer exergia szükséglete *(„Ex_{sec}”)* az *„n”* darab fogyasztó és az elosztó hálózat *(„Ex_{elo}”)* exergia igényével egyenlő. A hűtési rendszereknél az elosztó hálózatot mindig párazáró hőszigeteléssel látjuk el, így ennek a veszteségnek elhanyagolható.

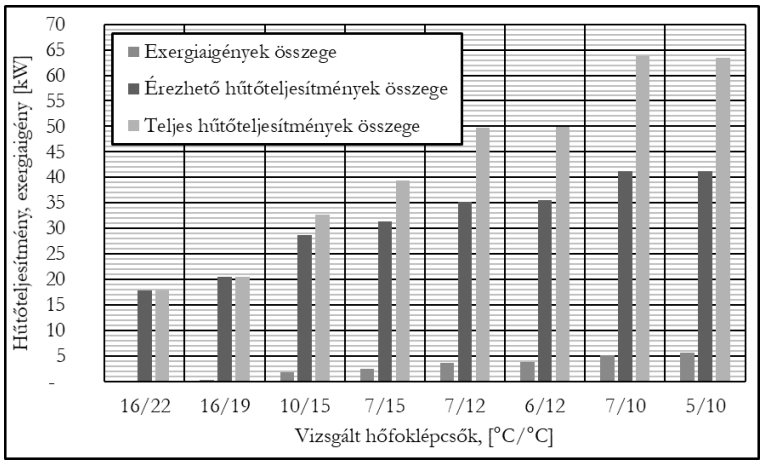
$$Ex_{\text{sec}} = \sum_{i=1}^{n} (F_{rf,i} \cdot \dot{Q}_{total,i} + \Delta Ex_{r,i}) + Ex_{elo} \cong \sum_{i=1}^{n} (F_{rf,i} \cdot \dot{Q}_{total,i} + \Delta Ex_{r,i}) \quad (7)$$

2.3 A VIZSGÁLAT LEÍRÁSA

A vizsgálatokat három szint és négy jellemző alapján végeztük. A négy vizsgált jellemző az érezhető-, a teljes hűtőteljesítmény, az exergia szükséglet és a referencia rendszerhez képesti megfelelőség. Az első szinten a referencia rendszerben alkalmazott előremenő illetve visszatérő hőmérsékletét változtattuk. Ezen belül vizsgáltuk a rendszer viselkedését alacsony (5/10; 6/12; 5/15 °C) illetve magas (16/19; 16/22 °C) hőmérsékletű hűtési hőfoklépcsőknél. A második szinten csak a visszatérő vízhőmérsékletet változtattuk 10-17 °C között. A harmadik szinten pedig a közeget cseréltük ki, 0-20 térfogatszázalékos etilén-glikolra.

3. EREDMÉNYEK

A *2. ábrán* láthatjuk, hogy az első vizsgálódási szinten, a gyakorlatban elterjedten használt hőfoklépcsőknél hogyan alakul az érezhető-, a teljes hűtőteljesítmény és az exergiaigény összege a vizsgált rendszerben. Megfigyelhető, hogy minél magasabb közepes vízhőmérséklet, a két hűtőteljesítmény közötti különbség egyre kisebb (vagyis a rejtett hőveszteség csökken). Mikor pedig a hűtővíz közepes hőmérséklete nagyobb, mint a levegő harmatponti hőmérséklete (≈17°C), azt tapasztaljuk, hogy a két hűtőteljesítmény közötti különbség eltűnik. Ennek következtében mindkét hűtőteljesítmény, valamint a felhasználható exergia mennyisége számottevően csökken.



2. ábra Gyakori hőfoklépcsőknél az érezhető-, a teljes hűtőteljesítmény és az exergia-igény

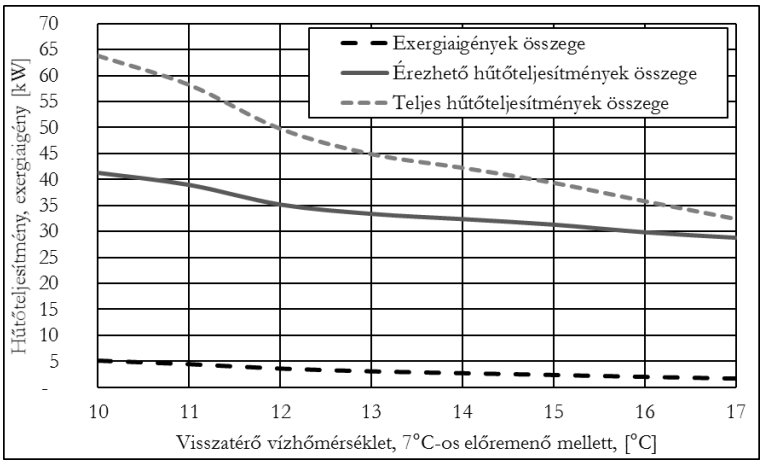
A hűtőteljesítmények és az exergia vizsgálata fontos, de gyakorlati szempontból az is hogy megvizsgáljuk, hogy mennyi készülék esetén használható a hűtővíz hőfokváltás anélkül, hogy a fogyasztónál be kellene avatkoznunk. Az *1. táblázat*ból kitűnik, hogy a vizsgált eseteknél a legjobban a 6/12-esre (22 jó) állítható át, míg a 16 [°C] előremenőnél ez nem lehetséges.
A kékkel jelölt értékek esetén 200W-nál több míg a pirossal jelölteknél kevesebb hőenergiát tudunk elvonni időegység alatt.

1. Táblázat Adott ventilátorfokozaton, a változtatott hőfoklépcső mellett a helységből elvont hőáram és a hőterhelés különbsége

Helyiség	**5/10**	**6/12**	**10/15**	**16/19**	**16/22**
016	*-153*	*7*	*117*	*367*	*477*
017 (2db)	*-520*	*-160*	*300*	*840*	*1000*
010 (8db)	*-1980*	*-540*	*1300*	*3460*	*4100*
006	*-168*	*-8*	*102*	*352*	*462*
007	*-168*	*12*	*242*	*512*	*592*
008 (4db)	*-1198*	*-158*	*802*	*2002*	*2442*
115	*-340*	*-160*	*70*	*340*	*420*
114	*-162*	*18*	*248*	*518*	*598*
113	*-248*	*-68*	*162*	*432*	*512*
112	*-248*	*-68*	*162*	*432*	*512*
111	*-249*	*-69*	*161*	*431*	*511*
110	*-241*	*-61*	*169*	*439*	*519*
109	*-271*	*-91*	*139*	*409*	*489*
108	*-221*	*-41*	*189*	*459*	*539*
106	*-360*	*-180*	*50*	*320*	*400*
105	*-371*	*-191*	*39*	*309*	*389*
101	*-445*	*-165*	*155*	*535*	*655*
102	*-342*	*-162*	*68*	*338*	*418*
103	*-309*	*-129*	*101*	*371*	*451*

A második vizsgálódási szinten, rögzített 7°C-os előremenő vízhőmérséklet mellett és 10-

17 °C visszatérő vízhőmérséklet mellett vizsgáltuk a hűtőteljesítmények és az exergiaigény alakulását. Ezt mutatja a *3. ábra*. Az ábráról látható, hogy növekvő visszatérő hőmérséklet mellett az érezhető és a teljes hűtőteljesítmény is hatványosan (R^2 értéke 0,983 illetve 0,993) csökken. Az exergiaigény csökkenése ezzel szemben exponenciális (R^2=0,9967).



3. ábra Az érezhető-, a teljes hűtőteljesítmény és az exergia-igény alakulása, 7 °C-os előremenő hűtővíz, és eltérő visszatérő vízhőmérésékletek esetén

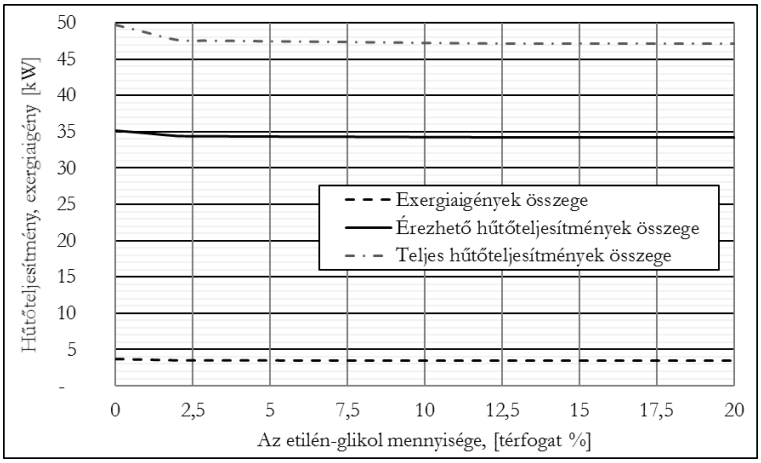
A második szint megfelelőségi vizsgálatának eredményeit az *2. táblázat* tartalmazza. A vizsgálat kimutatta, hogy a tervezett rendszer hasonlóan működik 12-15 °C-os hőmérsékletű visszatérő hűtővíznél, de a legjobban az igényeket 7/13 °C hűtővízrendszerrel sikerült elérni.

2. Táblázat Adott ventilátorfokozaton, 7°C-os előremenő és eltérő hőmérsékletű visszatérő hűtővíz mellett a helységből elvont hőáram és a hőterhelés különbsége

Helyiség	**Visszatérő hűtővíz hőmérséklete, [°C]**							
	17	**16**	**15**	**14**	**13**	**12**	**11**	**10**
016	*107*	*97*	*87*	*127*	*77*	*-23*	*-103*	*-173*
017 (2db)	*340*	*220*	*120*	*40*	*-20*	*-120*	*-360*	*-500*
010 (8db)	*1460*	*980*	*580*	*260*	*20*	*-380*	*-1340*	*-1900*
006	*92*	*82*	*72*	*112*	*62*	*-38*	*-118*	*-188*
007	*262*	*202*	*152*	*112*	*82*	*32*	*-88*	*-158*
008 (4db)	*242*	*682*	*442*	*282*	*122*	*-238*	*-918*	*-1358*
115	*90*	*30*	*-20*	*-60*	*-90*	*-140*	*-260*	*-330*
114	*268*	*208*	*158*	*118*	*88*	*38*	*-82*	*-152*
113	*182*	*122*	*72*	*32*	*2*	*-48*	*-168*	*-238*
112	*182*	*122*	*72*	*32*	*2*	*-48*	*-168*	*-238*
111	*181*	*121*	*71*	*31*	*1*	*-49*	*-169*	*-239*
110	*189*	*129*	*79*	*39*	*9*	*-41*	*-161*	*-231*
109	*159*	*99*	*49*	*9*	*-21*	*-71*	*-191*	*-261*
108	*209*	*149*	*99*	*59*	*29*	*-21*	*-141*	*-211*
106	*70*	*10*	*-40*	*-80*	*-110*	*-160*	*-280*	*-350*
105	*59*	*-1*	*-51*	*-91*	*-121*	*-171*	*-291*	*-361*
101	*185*	*95*	*35*	*-25*	*-75*	*-155*	*-335*	*-455*

102	*88*	*28*	*-22*	*-62*	*-92*	*-142*	*-262*	*-332*
103	*121*	*61*	*11*	*-29*	*-59*	*-109*	*-229*	*-299*

A harmadik vizsgálati szinten 7/12 °C hőfoklépcső mellett vizsgáltuk a fagyálló hatását. A *4. ábrán* látható, hogy a hűtőteljesítmények és az exergia alakulása eltérő glikol tartalmú munkaközeg esetén. A diagram megmutatja, hogy 3 térfogatszázaléknál több etilénglikol hozzáadása alig befolyásolja a hűtőteljesítmények alakulását.



4. ábra Az érezhető-, a teljes hűtőteljesítmény és az exergia-igény alakulása eltérő etilén glikol mennyiség esetén

A *3. táblázat* a fan-coil hatásosságát mutatja különböző etilénglikol mennyiség esetén. Jól látszik, hogy a „010”-es helyiség 8 db fan-coil-ját kivéve az érezhető hűtőteljesítmény megfelel a követelményének, változtatás nélkül a vizsgált etilénglikol térfogaszázalékoknál.

3. Táblázat Adott ventilátorfokozaton, 7/12 °C-os hőfoklépcsőnél, de eltérő etilénglikol tartalom mellett a helységből elvont hőáram és a hőterhelés különbsége

	Etilén glikol tartalom, [térfogat%]					
Helyiség	**0 tf%**	**4 tf%**	**8 tf%**	**12 tf%**	**16 tf%**	**20 tf%**
016	*-23*	*7*	*37*	*67*	*77*	*77*
017 (2db)	*-120*	*-80*	*-80*	*-80*	*-80*	*-80*
010 (8db)	*-380*	*-220*	*-220*	*-220*	*-220*	*-220*
006	*-38*	*-8*	*22*	*52*	*62*	*62*
007	*32*	*52*	*52*	*52*	*52*	*52*
008 (4db)	*-238*	*2*	*2*	*2*	*2*	*2*
115	*-140*	*-120*	*-120*	*-120*	*-120*	*-120*
114	*38*	*58*	*58*	*58*	*58*	*58*
113	*-48*	*-28*	*-28*	*-28*	*-28*	*-28*
112	*-48*	*-28*	*-28*	*-28*	*-28*	*-28*
111	*-49*	*-29*	*-29*	*-29*	*-29*	*-29*
110	*-41*	*-21*	*-21*	*-21*	*-21*	*-21*
109	*-71*	*-51*	*-51*	*-51*	*-51*	*-51*
108	*-21*	*-1*	*-1*	*-1*	*-1*	*-1*

106	*-160*	*-140*	*-140*	*-140*	*-140*	*-140*
105	*-171*	*-151*	*-151*	*-151*	*-151*	*-151*
101	*-155*	*-115*	*-115*	*-115*	*-115*	*-115*
102	*-142*	*-122*	*-122*	*-122*	*-122*	*-122*
103	*-109*	*-89*	*-89*	*-89*	*-89*	*-89*

4. KIÉRTÉKELÉS

A vizsgált esetekben, az érezhető és a teljes hűtőteljesítmény arányát mutatja az *5. táblázat* 2. oszlopa. Látható, hogy minél kisebb a hűtővíz közepes hőmérséklete, annál kisebb az arány, ha pedig a levegő harmatponti hőmérsékleténél nagyobb, értéke 100%. Az érezhető hűtőteljesítményből az energia átalakítható része 0,53-13,65% között változik. Ez az érték a fogyasztói rendszerrel bevitt teljes hűtőteljesítményben 0,53-8,87% között változik.

4. Táblázat A vizsgált esetekben, a helyiség hűtésére fordítható érezhető hűtőteljesítmény aránya a teljes hűtőteljesítményben, valamint az exergia aránya az érezhető hűtőteljesítményben és a teljes hűtőteljesítményben

Vizsgálati esetek	Érezhető/ Teljes hűtőteljesítmény	Exergiaigény/ Érezhető hűtő-teljesítmény	Exergia/ Teljes hűtő-teljesítmény
16/22 [°C]	100,00%	0,53%	0,53%
16/19 [°C]	100,00%	1,69%	1,69%
10/15 [°C]	87,98%	5,91%	5,20%
6/12 [°C]	71,18%	10,87%	7,74%
5/10 [°C]	64,99%	13,65%	8,87%
7/10 [°C]	64,73%	12,59%	8,15%
7/11 [°C]	66,96%	11,60%	7,77%
7/12 [°C]	70,73%	10,44%	7,39%
7/13 [°C]	74,42%	9,40%	7,00%
7/14 [°C]	76,69%	8,61%	6,61%
7/15 [°C]	79,65%	7,80%	6,21%
7/16 [°C]	83,40%	6,96%	5,81%
7/17 [°C]	88,94%	6,07%	5,40%
4 [tf%]	72,29%	10,22%	7,39%
8 [tf%]	72,41%	10,20%	7,39%
12 [tf%]	72,56%	10,18%	7,39%
16 [tf%]	72,52%	10,19%	7,39%
20 [tf%]	72,55%	10,18%	7,39%

A *5. táblázat*ban látható, hogy a referencia rendszerhez képest mekkora mértékben tér el a létrehozható érezhető hűtőteljesítmény, a fogyasztói rendszer exergiaigénye, illetve az ezek létrehozásához szükséges teljes hűtőteljesítmény. Látható, hogy a vizsgált esetekben 2,6-153,4% között változhat a referencia rendszer exergiaigénye. A hőterhelés fedezésére fordítható érezhető hűtőteljesítmény 50,6-117,4% között változhat, míg ennek létrehozásához szükséges teljes hűtőteljesítmény 35,8-128,2% között. Megállapítható, hogy jelentős változást tud okozni, ha nem megfelelő közeget, illetve közeg hőfoklépcsőt választunk.

5. Táblázat A vizsgált esetekben, a referencia rendszertől való eltérés

Vizsgálati esetek	Exergia-igény	Érezhető hűtő-teljesítmény	Teljes hűtő-teljesítmény
16/22 [°C]	*2,58%*	*50,60%*	*35,79%*
16/19 [°C]	*9,40%*	*58,05%*	*41,06%*
10/15 [°C]	*46,18%*	*81,63%*	*65,62%*
6/12 [°C]	*105,05%*	*100,94%*	*100,30%*
5/10 [°C]	*153,39%*	*117,38%*	*127,74%*
7/10 [°C]	*141,49%*	*117,32%*	*128,20%*
7/11 [°C]	*123,06%*	*110,75%*	*116,98%*
7/12 [°C]	Referencia rendszer		
7/13 [°C]	*85,47%*	*94,91%*	*90,20%*
7/14 [°C]	*75,95%*	*92,06%*	*84,91%*
7/15 [°C]	*66,49%*	*89,05%*	*79,08%*
7/16 [°C]	*56,60%*	*84,87%*	*71,98%*
7/17 [°C]	*47,61%*	*81,88%*	*65,12%*
4 [tf%]	*95,61%*	*97,72%*	*95,61%*
8 [tf%]	*95,29%*	*97,55%*	*95,29%*
12 [tf%]	*94,93%*	*97,38%*	*94,93%*
16 [tf%]	*94,93%*	*97,33%*	*94,93%*
20 [tf%]	*94,89%*	*97,33%*	*94,89%*

A *6. táblázat*ban azt vizsgáltuk, hogy a megváltoztatott munkaközeg hatását hogyan lehet kompenzálni. A táblázat *„Megfelelő”* oszlopa azt mutatja, hogy az adott esetben a fan-coil-ok mekkora esetében nincs szükség beavatkozásra. A ventilátor *„Motorfokozat váltás”* oszlopai azt mutatják, hogy az esetek mekkora részében elég csak a fokozatot változtatni, hogy a referencia rendszer fan-coil készüléke továbbra is használható legyen. A kimaradó fan-coil készülékeket ki kell cserélni, ha megfelelő hatást kívánunk a helyiségben.

Mint a táblázatból látható a vizsgált esetekben nem szükséges a közeg vagy annak hőmérsékletének változtatásakor cserélni mindegyik készüléket.

6. Táblázat A vizsgált esetekben a lehetséges beavatkozás és ennek hatásossága

Eset	Megfelelő		Motorfokozat váltás		Teljes csere	
	db	%	db	%	db	%
16/22 [°C]	*0*	-	*5*	*16,67*	*25*	*83,33*
16/19 [°C]	*0*	-	*30*	*100,00*	*0*	-
10/15 [°C]	*14*	*46,67*	*12*	*40,00*	*4*	*13,33*
6/12 [°C]	*22*	*73,33*	*0*	-	*8*	*26,67*
5/10 [°C]	*4*	*13,33*	*0*	-	*26*	*86,67*
7/10 [°C]	*4*	*13,33*	*0*	-	*26*	*86,67*
7/11 [°C]	*10*	*33,33*	*0*	-	*20*	*66,67*
7/12 [°C]	*18*	*60,00*	*0*	-	*12*	*40,00*
7/13 [°C]	*30*	*100,00*	*0*	-	*0*	-
7/14 [°C]	*18*	*60,00*	*0*	-	*12*	*40,00*
7/15 [°C]	*18*	*60,00*	*0*	-	*12*	*40,00*
7/16 [°C]	*14*	*46,67*	*2*	*6,67*	*14*	*46,67*

7/17 [°C]	*13*	*43,33*	*3*	*10,00*	*14*	*46,67*
4 [tf%]	*22*	*73,33*	*0*	-	*8*	*26,67*
8 [tf%]	*22*	*73,33*	*0*	-	*8*	*26,67*
12 [tf%]	*22*	*73,33*	*0*	-	*8*	*26,67*
16 [tf%]	*22*	*73,33*	*0*	-	*8*	*26,67*
20 [tf%]	*22*	*73,33*	*0*	-	*8*	*26,67*

5. ÖSSZEGZÉS

Jelen cikkben megvizsgáltuk azt, hogy milyen hatást fejt ki a szekunder rendszerre a hűtővíz hőmérsékletének és etilén-glikol tartalmának változása. Eredményül azt kaptuk, hogy az etilén-glikol tartalom alig változtatja meg a rendszer hűtőteljesítmény és exergia-igényét. Nagyobb változást okoz a hőmérsékletviszonyok változtatása.

Az épületgépészeti klimatizálás terén használt hőfoklépcsők esetén a rendszerrel bevitt hűtőteljesítménynek kevesebb, mint 10%-a az exergia, és csak ezt tudjuk hűtésre használni. A közeg hőmérséklet viszonyainak változtatása akár 153% exergiaigény változtatást is eredményezhet, mely maga után vonja az érezhető (51-117%) és a teljes (36-128%) hűtőteljesítményigény változtatását is. Ez alapján kijelenthető, hogy jelentős „túl” és „alul” hűtést tud okozni a nem megfelelő közeg hőmérsékleteket választunk.

Vizsgáltuk azt is, hogy ha utólagosan kell a hőmérsékletviszonyokat illetve közeget változtatni a hatékonyság érdekében, akkor mekkora beavatkozás szükséges. Az eredmények ebben az esetben jelentős szórást mutatnak, de kijelenthető, hogy nem feltétlenül kell a teljes szekunder rendszert cserélni.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció/prezentáció/poszter elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] 2010/31-es EU irányelv

[2] **SZODRAI, F.; LAKATOS, Á.:** *Különböző éghajlati viszonyoknak kitett épületek fűtési energiafelhasználásának csökkentése hőszigeteléssel*, 2016, Energiagazdálkodás 57:3-4, p.26-29. ISSN: 0021-0757

[3] **CSÁKY, I.:** *Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata*, egyetemi doktori értekezés, 2015 Debreceni Egyetem

[4] **CSÁKY, I.; KALMÁR, T., K.:** A*nalysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings*, 2014, Environmental Engineering and Management Journal 13:11, p.2765-2770, print ISSN:1582-9596, elISSN: 1843-3707

[5] **KALMÁR, F.:** *Központi fűtési rendszerek exergetikai elemzése*, 2006. Debreceni Műszaki Közlemények 5:2, p.23-31., ISSN: 1587-9801

[6] **HALÁSZ, GY.; KALMÁR, T.:** *Különböző hőtermelővel ellátott fűtési rendszerek exergetikai összehasonlítása : I. rész*, Magyar épületgépészet 56:12 (2007), p. 3-7. ISSN: 1215-9913

[7] **HALÁSZ, GY.; KALMÁR, T.:** *Különböző hőtermelővel ellátott fűtési rendszerek exergetikai összehasonlítása : II. rész*, Magyar épületgépészet, 57:1-2 (2008), p. 3-8. ISSN: 1215-9913

[8] **KALMÁR, T. K.:** *Alacsony exergiaigényű fűtési-szellőzési rendszerek hőérzeti vizsgálata változó üzemállapotok során*, egyetemi doktori értekezés, 2013 Debreceni Egyetem

[9] **WU, X. Y.; ZMEURENU, R.:** *Exergy analysis of residential heating systems: performance of whole system vs performance of major equipment*, Building Simulation Conference 2011, Sydney, Australia, p. 390-397

[10] **SCHMIDT, D.; ALA-JUUSELA, M.:** *Low Exergy Systems for Heating and Cooling of Buildings*, Plea2004, The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 19 – 22 September 2004, p. 1-6

KOMPLEX KAPCSOLÓDÓ FELÜLETPÁROK GYÁRTÁSTECHNOLÓGIAI ELEMZÉSE

MANUFACTURING ANALYSIS OF COMPLEX CONNECTING SURFACES

DUDÁS László[1], KAPITÁNY Pálma[2], BENOTSMANE Rabab[3]

[1] PhD, egyetemi docens, iitdl@uni-miskolc.hu
[1] Alkalmazott Informatikai Tanszék, Miskolci Egyetem

[2] kutató, kapitanypalma@gmail.com
[2] Alkalmazott Informatikai Tanszék, Miskolci Egyetem

[3]doktorandusz, benrabab1@gmail.com
[3] Alkalmazott Informatikai Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A cikk egy szabadalmaztatott forgódugattyús belsőégésű motor két fő alkatrészének, a rotornak és a forgókamrának, mint egymást kölcsönösen burkoló felületű gépelemeknek a gyártástechnológiai elemzését mutatja be. Előtte röviden ismerteti a motorkonstrukciót és a konstrukciós és a technológiai tervezésben egyaránt használt Surface Constructor kinematikai felületek modellezésére és mozgásszimulációra kidolgozott szoftvert. A végső fejezet a javasolt gyártástechnológiákat foglalja össze.*

Kulcsszavak: *forgódugattyús belsőégésű motor, rotor, forgókamra, gyártástechnológia, Surface Constructor*

Abstract: *The paper introduces the manufacturing analysis of the two main parts of a patented rotary internal combustion engine, the rotor and the rotary chamber as machine elements that have reciprocally enveloping surfaces. Previously shortly describes the engine construction and the Surface Constructor software application that is equally used in the engine design and in the technological process planning, as a software that is developed for modelling of kinematic surfaces and for motion simulation. The final section summarizes the suggested technologies.*

Keywords: *rotary internal combustion engine, rotor, rotary chamber, manufacturing technology, Surface Constructor*

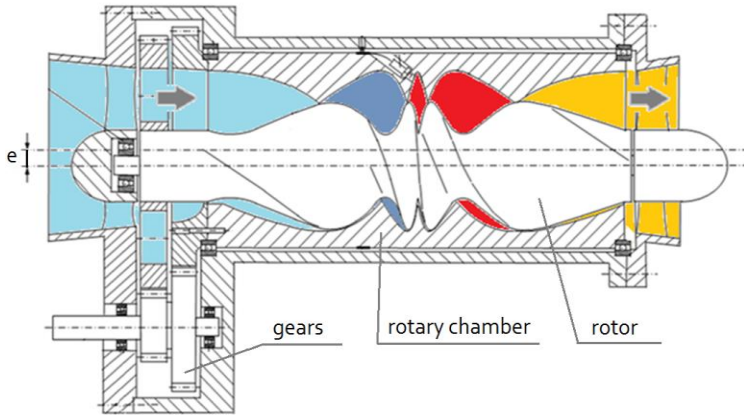
1. BEVEZETÉS

Bár a jövőt az elektromos autók jelentik [1], mind autók és egyéb gépek fognak belsőégésű motorokat használni speciális környezetekben [2]. Ezek a csak forgó alkatrészeket tartalmazó nagy fordulatszámú motorok melyek alapvetően ipari kerámiából fognak készülni [3], mint az első szerző szabadalmaztatott találmánya [4], olyan új tulajdonságokkal bírnak, melyek indokolják az ilyen gépek mélyebb elemzését. Az 1. ábra mutatja ezen előremutató konstrukció vázlatát. A motor csak három forgó alkatrészt tartalmaz, melyek az ábrán is jelölve vannak. A forgástengelyek között az e excentricitás van alkalmazva.

A rotor és a forgókamra között kialakított zárt üregek balról jobbra mozognak, és a menetek változó emelkedésének köszönhetően megvalósítják a belső égésű motor négy ciklusát: beszívás, sűrítés, robbanás és kipufogás. Ezeket a munkaciklusokat az ábrán különböző színek jellemzik. A következőket említhetjük az előnyök közül:

- A keverék és a kipufogógáz tökéletesen elszigetelt.
- Csak jól kiegyensúlyozott forgó alkatrészek vannak - nincs rezgés.

- A változó emelkedés a csavarfelületeknél a sűrítési és kitágulási igényeknek megfelelően állítható be.
- A kerámia anyagok miatt nagyon magas hőmérséklet alkalmazható.
- Vízhűtés nem szükséges.
- A rotor és a forgókamra közötti súrlódás drasztikusan csökken, mivel közöttük nagyon kis hézag van.
- Nagyon nagy forgási sebesség érhető el: 40 000 fordulat / perc.



1. ábra. Forgódugattyús belsőégésű motor

2. A MOTOR PROTOTÍPUSÁNAK MEGTERVEZÉSE

A fejlesztés végső célja kerámia prototípus készítése. Azonban a valós lehetőségek figyelembevételével az első cél egy alumínium verzió létrehozása. A tervezési folyamat figyelembe vette a fém alkatrészek későbbi cseréjét kerámia alkatrészekre. A konstrukciós fejlesztés lépései a következők voltak:

- A rotor és a forgókamra felületének meghatározása megfelelő keresztmetszetekkel és emelkedési függvényekkel.
- A mozgó üregek kialakulásának modellezése és elemzése, valamint a mozgás szimulálása.
- A prototípus 3D CAD modelljének létrehozása.

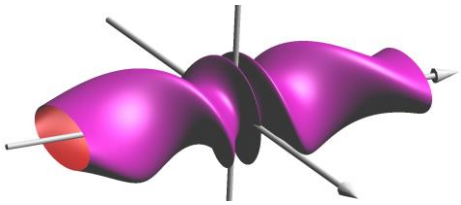
A két első lépésben a Surface Constructor (SC) kinematikai modellező eszközt használtuk, míg a harmadik lépésben az Autodesk Inventor CAD szoftver segítette a munkát.

2.1. A rotor felületének megtervezése

A rotor felülete súrolt felület, a generáló görbe ellipszis a forgórész tengelyére merőleges síkban. Spirális mozgatással, ahol az állandó emelkedés függvényt egy köbös funkcióval módosítottuk, a felületet könnyen megkaphatjuk az SC szoftverben. Az előállított felületet a 2. ábrán mutatjuk be.

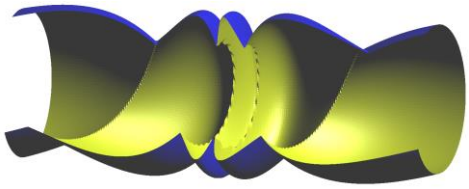
2.2. A forgókamra felületének megtervezése

A forgókamra belső felületének kialakítása az SC szoftver speciális képességét igényli.



2. ábra. A rotor felülete

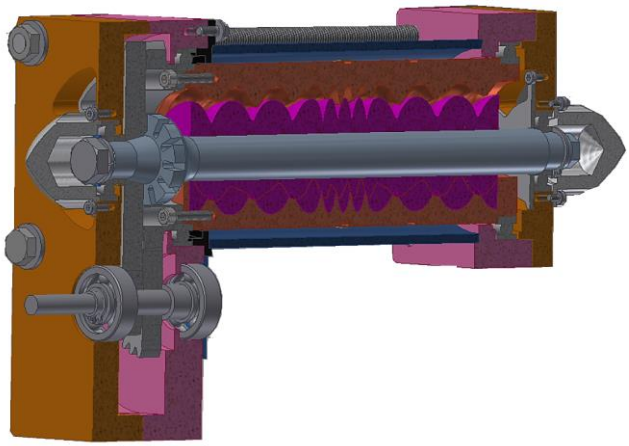
Ebben a generálási folyamatban a rotor felülete a viszonylagos mozgásban burkolja a kamrafelületet. A kamra forgásának és a rotor forgásának aránya 2:1. A 3. ábra a létrehozott kamrafelület nyitott alakját mutatja.



3. ábra. A forgókamra nyitott felülete

2.3. A prototípus CAD modelljének létrehozása

A tervezési folyamat következő lépése egy 3D CAD-modell kialakítása volt. Több változat került kidolgozásra és elemzésre ebben a fázisban, az egyik lehetséges konstrukciót a 4. ábrán mutatjuk be.



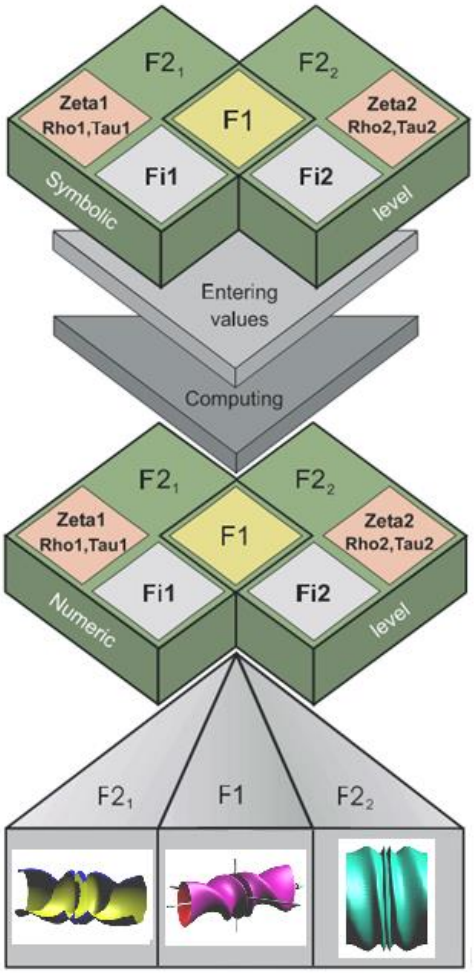
4. ábra. A motorprototípus egyik lehetséges variánsa

A CAD modell lehetővé teszi a kinematikai elemzést, a dinamikai modellezést és az áramlási szimulációkat, továbbá alapot ad a gyártás megtervezéséhez.

3. A MODELLEZÉSHEZ ÉS TERVEZÉSHEZ HASZNÁLT ALKALMAZÁSOK

A prototípus-motor tervezéséhez az Autodesk Inventor® CAD szoftverrendszert alkalmaztuk. A rotor és a forgókamra komplex 3D csavarfelületeinek modellezésére, valamint

mozgásuk szimulációjára az első szerző által kidolgozott Surface Constructor (SC) számítógépes programot használtuk. Ezt a szoftvert előnyösen a rotor felületének modellezésére és a forgókamra belső felületének előállítására használhatjuk fel, mivel képes meghatározni a más felülettel burkolt felületeket (lásd [5, 6]). Ez a szoftver segített továbbá a belső üregek kialakulási folyamatának és a motoralkatrészek mozgásszimulációjának elemzésével a motor munkaciklusai sajátosságainak meghatározásához. Mivel ez a szoftveralkalmazás központi szerepet játszott a jelen tanulmányban leírt kutatásban, adunk róla egy rövid ismertetést. Az SC elsősorban egy adott felület által létrehozott ismeretlen felület meghatározására szolgál. Ez a feladat általában a fogaskerekek fejlesztése és tökéletesítése során merül fel. A szoftver funkcionális szintjeit az 5. ábrán mutatjuk be, ahol a felső szint szimbolikus kifejezésekkel ábrázolja az adott F1 felületet és a relatív mozgásokat (Fi1, Fi2) az F1 és F21 felületek, illetve az F1 és F22 felületek között. A Zeta, Rho és Tau változókat a burkolási folyamatok használják, melyekben az F21 és F22 felületek generálásra kerülnek. Az animációkban megjeleníthető modellezett 3D objektumok valós formájának eléréséhez az értékbeviteli és számítási lépések szükségesek. Az alsó szinten láthatók a kijelölt 3D objektumok, animálható és megvizsgálható a mozgásuk. Esetünkben az F1 a rotor felülete, az F21 a forgókamra felülete és az F22 a köszörűkorong felülete a rotor köszörüléséhez. A köszörülést itt nem elemezzük, mert a prototípus esetében elmarad. Az SC részletesebb magyarázata a [7]-ben található meg.



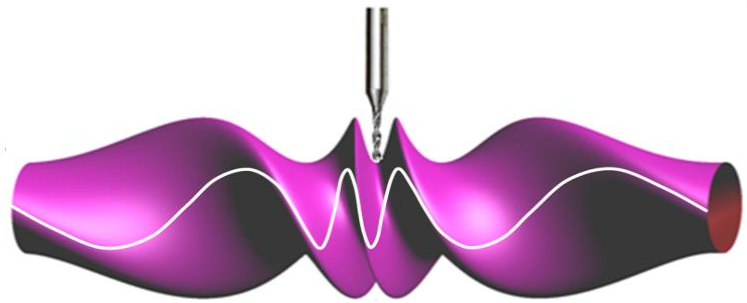
5. ábra. Az SC szerkezete

4. GYÁRTHATÓSÁGI ELEMZÉS

A konstrukciós tervezési folyamathoz hasonlóan a motor gyártástervezése szintén érdekes problémákat vet fel. A technikailag legösszetettebb kérdés a rotor és a forgókamra megmunkálása a változó emelkedésű csavarfelületek miatt. A gyártási lehetőségeket elemeztük figyelembe véve a lehetséges összeszerelési és szétszerelési követelményeket is, melyeket korábban a [8]-ban részletesen vizsgáltunk. Az elvégzett vizsgálatok összegzése az alábbiakban olvasható.

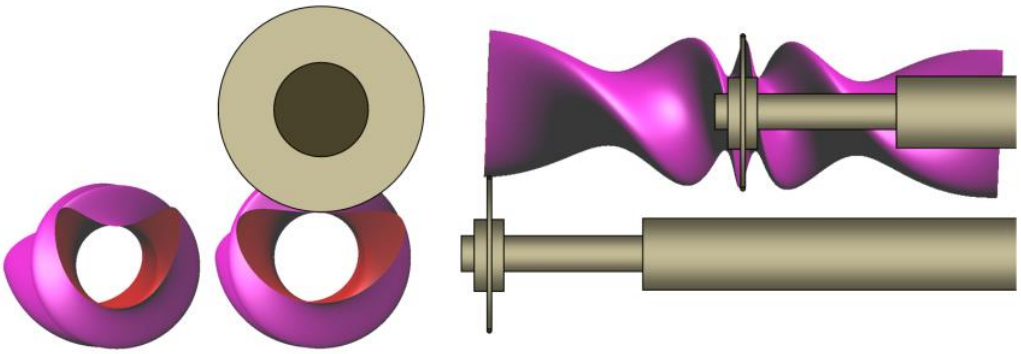
4.1. A rotor megmunkálása

A rotor gyártásához két technológiát elemeztünk. A technológiákhoz CNC marógépet használunk és CAM szoftverre van szükségünk a CNC vezérlőegység pontos NC-kódjának létrehozásához. Az első megmunkálási technológia a szabad formájú marás félgömbvégű maróval. Ez a technológia elsősorban a nagyoláshoz előnyös, de az elemzés bizonyította, hogy 1 mm átmérőjű félgömbvégű maróval a legkritikusabb legmélyebb és legszűkebb völgyekben is a rotor pontosan megmunkálható. A nagyoláshoz és a precíz simításhoz csökkenő sugarú marószerszámok sorozatát tervezzük alkalmazni. A legnehezebb probléma, amely felmerült, az alámetszés megoldása. A rotort két felfogásban kell előállítani, és elengedhetetlen a megfelelő osztófelület meghatározása az alámetszett felületrészek elkerülése érdekében. Az osztófelület megadható a vízszintes normálvektorokkal rendelkező rotorfelületi pontok meghatározásával. A 6. ábrán látható a rotor ezzel az elméleti osztófelülettel, amely korlátozza az egy felfogásban megmunkálható rotorfelületet. Továbbá ez az ábra mutatja a legszűkebb völgyben lévő 1 mm átmérőjű félgömbvégű ujjmarót is.



6. ábra. A rotor az egy felfogásban alámetszés nélkül megmunkálható terület határvonalával valamint a félgömbvégű maró

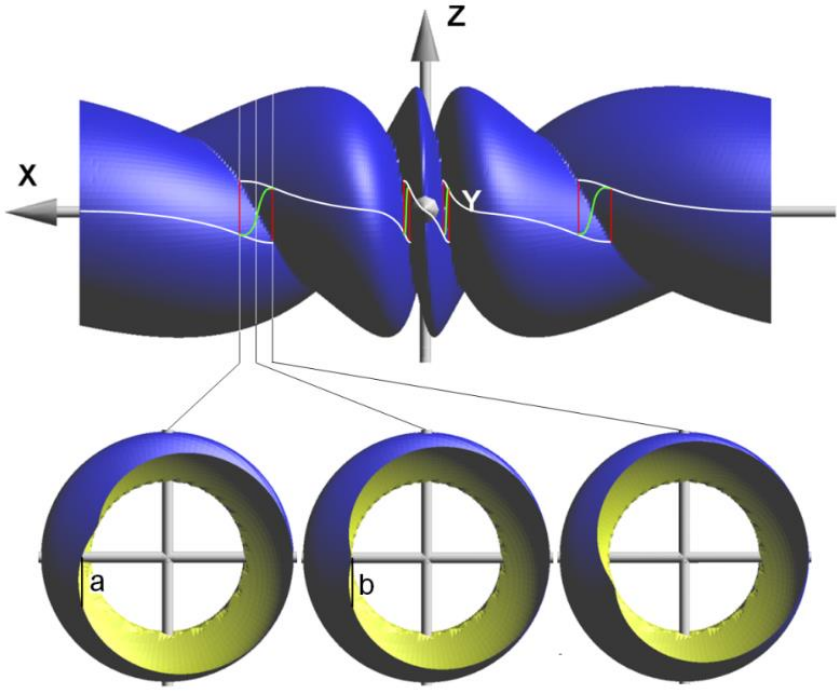
A második vizsgált marási technológia tárcsa alakú marószerszámot alkalmaz. Ez a technológia elsősorban a befejező simításhoz előnyös, főleg azért, mert elkerülhető a két felfogás, és a kisebb erők a simítás során nem okoznak problémás elhajlást a csak az egyik végén befogott rotornál. A simításhoz használt domború tárcsa alakú szerszám toroid alakú. Ez a forgácsolási módszer két problémát vet fel: a rotor vízszintes síkbeli elfordítását a tárcsa alakú szerszám külső átmérője korlátozza. Előnyös lenne, ha a rotort a legmélyebb és legszűkebb völgy spirális emelkedési szögére döntenénk be, de ez problémás metszeti görbét eredményez (a 7. ábra bal oldalán látható) a tárcsa alakú szerszám adott minimális külső átmérője miatt. A bedöntés szögét 2,5 fokosra csökkentve a metszeti görbe (az ábrán középen látható) megfelelő formájú a helyes gyártáshoz. Az ábra jobb oldala a szerszámot a kritikus helyeken mutatja. A vizsgálatok igazolják, hogy a pontos simítás megvalósítható.



7. ábra. Balra: 5 fokos bedöntésnél adódott metszet. Középen: 2,5 fokos bedöntésnél adódott metszet a szerszámmal. Jobbra: A megmunkálás felülnézetben.

4.2. A forgókamra megmunkálása

A forgókamra belső csavarfelületének gyártása összetettebb problémákat vet fel. A változó emelkedésű belső csavarfelület felszínén a tárcsa alakú szerszámmal végzett megmunkálás gyakorlatilag lehetetlen, csak simítási műveletként képzelhető el, amikor a ráhagyások és következésképpen a vágóerők nagyon kicsik. Ezért a kamrának két összeszerelt félből kell állnia. A kérdés az elválasztó felület formája. Az elvégzett vizsgálatok azt bizonyították, hogy a kamrát nem lehet két félre osztani alámetszett régiók nélkül. Ezt a 8. ábrán követhetjük, ahol az a és b betűk az alámetszett területeket jelölik. Mivel a kamra hossza mentén olyan intervallumok vannak, ahol a vízszintes normálvektorokkal rendelkező felületek megduplázódnak, egyértelmű elválasztófelület nem határozható meg. A lehetséges megoldás egy átvezető kontúr alkalmazása az intervallumokban és az alámetszés mélységének minimalizálása. De szerencsére az alámetszéses félfelületet pontosan meg lehet munkálni, ha a technológia vékonyított szárral rendelkező gömbvégű marószerszámot alkalmaz.



8. ábra. Az osztófelület optimálása az alámetszés minimalizálásával

5. ÖSSZEGZÉS

A tanulmány bemutatta egy hosszabb fejlesztési folyamat eredményeit, amelyek egy új forgódugattyús belsőégésű motor prototípusát kívánják megteremteni. Az áttekintés ismertette a szabadalmaztatott konstrukció főbb jellemzőit, vázolta a tervezési folyamat lépéseit, amelyek egy 3D CAD modellt eredményeztek. A CAD modell lehetővé teszi a mechanikai és áramlási elemzéseket FEM szoftverekkel. Ezután a megvalósítás technológiai vonatkozásait tárgyaltuk, főként a forgórész és a forgókamra gyártását CNC marás segítségével. A fejlesztési folyamat minden fázisát az innovatív SC kinematikai modellezési és szimulációs eszköz segítette. A végső cél a motor prototípusának legyártása és tesztek elvégzése a motoron.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ez a kutatás részben a Miskolci Egyetemen működő Mechatronikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében került kivitelezésre. A tanulmány elkészítését támogatta továbbá az EFOP-3.6.1-16-00011 projekt. A pénzügyi támogatást köszönjük.

A szerzők köszönik Biró Máté és Novák László segítségét is, akik hozzájárultak a 4. ábrán bemutatott konstrukció kialakításához.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **MUNEER, T., KOHLE, M., DOYLE, A.:** *Electric vehicles: prospects and challenges.* Elsevier, 2017.

[2] **KALGHATGI, G. T.:** *Developments in internal combustion engines and implications for combustion science and future transport fuels,* in Proceedings of the Combustion Institute, vol. 35, issue 1, Elsevier, 2015, pp. 101–115.

[3] **BALENDRA, R., HENSHALL, J. L., THURAISINGHAM, T. S., WALKER, R. J. J.:** *Rotary engine comprising a ceramic material,* United States patent US20140230776A1, 2014.

[4] **DUDÁS, L.:** *Rotary piston internal combustion engine,* Hungarian patent HU230082, 2015.

[5] **DUDÁS, L.:** *Modelling and simulation of a new worm gear drive having point-like contact,* Engineering with Computers, vol. 29, issue 3, 2013, pp. 251–272.

[6] **DUDÁS, L.:** *New way for the innovation of gear types,* Engineering the Future, L. Dudás (Ed.), chapt. 6, Sciyo, Croatia, pp.111–140 , 2010.

[7] **DUDÁS, L.:** *Advanced software tool for modelling and simulation of new gearings,* Int. J. Des. Eng, vol. 3, no.3, 2010, pp. 289–310.

[8] **DUDÁS, L., BIRÓ, M., NOVÁK, L. L.:** *Construction modeling and manufacturing analysis of a new rotary combustion engine,* 20th Jubilee IEEE Int. Conf. Intell. Eng. Syst. INES2016, Budapest, pp. 89–94.

SZERZŐDÉSTÍPUSOKKAL TÖRTÉNŐ ELLÁTÁSILÁNC-KOORDINÁCIÓ ÖSSZEHASONÍTÓ ELEMZÉSE

COMPARATIVE ANALYSIS OF SUPPLY CHAIN COORDINATION BY CONTRACT TYPES

FALUDI Tamás

PhD hallgató, szvft@uni-miskolc.hu
Vezetéstudományi Intézet, Gazdaságtudományi Kar, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A cikk az ellátásilánc-koordinációt elősegítő szerződéstípusokat mutatja be, illetve hasonlítja őket össze egymással koordinációs készségük alapján. A szakirodalmi áttekintést követően az egyes szerződéstípusok definiálására kerül sor. A szerződéstípusok összehasonlításának alapjául szolgáló értékek kiszámítási módjainak meghatározása után egy konkrét számpéldán keresztül mutatja be a cikk a szerződéstípusok egzakt értékeken alapuló rangsorát illusztratív jelleggel.*

Kulcsszavak: *ellátásilánc-menedzsment, SCM, ellátásilánc-koordináció, szerződéstípusok*

Abstract: *In this paper the coordination of the supply chain with the help of contract types is collected and it also incorporates a comparative analysis of the contracts according to their power of coordination. After the literature review some typical contract types are defined. After determining the calculation methods of the values which form the basis of comparison of contract types, a concrete example provides an order for the contracts on the basis of exact values.*

Keywords: *supply chain management, SCM, supply chain coordination, contracts, contract types*

1. BEVEZETÉS

Az ellátási láncok kiterjedt hálózatokat jelentenek. A lánc megnevezést tulajdonképpen csak az egyszerűsítés kedvéért használjuk, de valamennyi ellátási lánc egy hálózat. A vevői igények gyorsan történő változásához rugalmasan kell alkalmazkodni az egyes lánctagoknak, hogy a lánc végén elhelyezkedő fogyasztó igényeit mind időbeli, mind mennyiségi és minőségi szempontból maximális mértékben ki tudják elégíteni. Mindemellett figyelembe kell venni az egyes szervezetek belső költségstruktúráját, folyamatainak eredményes működését is [1] [2], mivel ezek erősen kihatnak a közvetlenül vagy közvetetten kapcsolódó lánctagokra is [3].

Ezen okokból vált az ellátásilánc-menedzsment egyik legfontosabb feladatává az ellátási láncok koordinációja. A koordináció jelen esetben együttműködést jelent, egy olyan információ-megosztáson alapuló munkafolyamatot, mely magába foglalja az összes lánctag folyamatainak közösen történő tudatos és célirányos megtervezését [4]. Koordináció szempontjából talán az egyik legalapvetőbb kitétel, hogy az információáramlás zavartalan és hiánytalan működése, ezértfigyelembe kell venni a logisztika működési elvének alapját, vagyis a 7M megközelítést. Ennek segítségével a lánctagok mindig naprakész információkkal vannak ellátva, gyorsan tudnak reagálni a változásokra – egy szóval eredményesebben (magasabb profit) tudnak egymással együttműködni. Ez a feltétele annak, hogy a saját és az egész ellátási lánc profitját maximalizálni tudják.

Nemzetközi és magyar kutatók egyaránt foglalkoznak a koordinációs kérdéskörrel. A kutatások alapján kiderült, hogy sokféle lehetőség áll a rendelkezésre koordináció megkönnyítése érdekében. Viselkedéstudományi megközelítés szerint a különböző puha tényezőkkel (pl.: tagok motivációja, érzelmi intelligencia) történő koordináció is eredményre vezethet [5], de a szakirodalom inkább a különféle kemény tényezőket preferálja (pl.: IT

támogatottság, projektek), ezek közül is leginkább a szerződéstípusokat [6], [7], [8], [9]. Ennek okán ez a cikk különféle szerződéstípusokkal történő koordinációval foglalkozik.

2. SZERZŐDÉSTÍPUSOKKAL TÖRTÉNŐ KOORDINÁCIÓ JELLEMZŐI

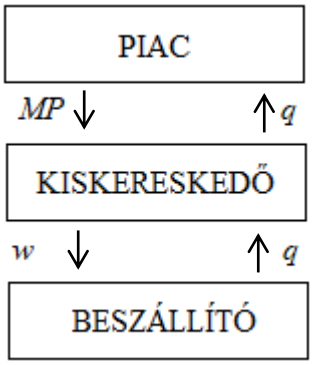
A szerződések egyfajta keretet adnak a tagok együttműködésének. Egyértelműen meghatározzák a lánctagok felelősségi- és hatásköreit, definiálják az egymásnak fizetendő árakat, kalkulálhatóvá teszik a profitot. Így elkerülhetőek az alaptalan követelések, illetve a tagok közötti konfliktusok száma is minimalizálható, hiszen van egy megállapodás, mely bizonyítja a tagok felelősségeit [10].

Profit szempontjából fontos kérdés az, hogy ne csak az egyes tagok saját profitjuk maximálását tekintsék elsődlegesnek, hanem a teljes ellátási lánc összprofitját. Ez az egyik alapvető feltétele az eredményes működésnek. Bizonyos szerződéstípusok ezt is szem előtt tartva próbálnak mindenki számára kedvező és elfogadható kondíciókat szabni. A szerződéstípusok területe többtényezős döntési szituációkat eredményez, melyek során hasonlóan lean szemléletben működő vállalatokhoz, a döntéshozóknak a partnerek számára értékteremtő megoldásokat kell kínálniuk a hosszútávú együttműködés céljából [11].

Napjainkban több szerző foglalkozik azzal, hogy a különböző hagyományos szerződéstípusokat vegyíti, ezzel egy kevert, akár szélsőségesen komplex típusokat létrehozva [10]. Vannak újabban megjelenő típusok is, melyeket a kutatók releváns megoldásnak tekintenek a koordinációs kérdés szempontjából [12], [13].

3. A MODELLBEN ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK

Az alábbiakban az összehasonlító elemzésben alkalmazott jelölésrendszert tisztázom. Az ellátási lánc modell ebben a vizsgálatban egy alaptípus, mely két lánctaggal rendelkezik, egy beszállítóval és egy kiskereskedővel, ők szolgálják ki a piacot, a fogyasztót (1. ábra).



1. ábra. Általános ellátási lánc modell

A modellben alkalmazott jelöléseket foglalja össze az 1. számú táblázat.

1. táblázat: Az ellátási lánc modell által használt jelölések

w	a tagok értékesítési ára; nagykereskedelmi árszabás esetén decentralizált helyzet
q	értékesített mennyiség; nagykereskedelmi árszabás esetén decentralizált helyzet
w_c	ár; nagykereskedelmi árszabás esetén centralizált helyzet
q_c	értékesített mennyiség; nagykereskedelmi árszabás esetén centralizált helyzet
π	összprofit
π_C	összprofit, centralizált eset
π_R	kiskereskedő profitja
π_S	beszállító profitja
C_S	beszállító önköltsége
C_R	kiskereskedő önköltsége
$\sum C$	összes önköltség
MP	piaci ár
MP_c	piaci ár; centralizált eset
a; e	konstansok
α_i	i-edik tag árbevétel aránya

A modell egyik alapösszefüggése, hogy az összes önköltség a beszállító és a kiskereskedő önköltségének az összege. Szükséges ismerni az inverz keresleti függvény egyenletét (*MP*) is azért, hogy a modellt teljes körűen elemezni tudjuk.

$$MP = a - e \cdot q$$

Ezt a függvényt lineárisnak feltételezem a modellben.

4. A NAGYKERESKEDELMI ÁRSZABÁS

Nagykereskedelmi árszabás esetén fontos kérdés, hogy az ellátási lánc összprofitját, illetve egyenként a lánctagok a saját profitjukat hogyan realizálják. Amennyiben minden lánctag a saját profitját maximalizálja elsősorban, akkor decentralizált esetről beszélünk. Ha viszont van egy döntéshozó a láncban, aki az egész lánc összprofitját maximalizálja, és így a tagok együttesen törekednek a maximum profit elérésére, akkor ezt centralizált helyzetként definiáljuk [13].

A centralizált és decentralizált eset profitmennyiségeit eltérő módon szükséges megállapítani. Ehhez mindenképpen szükségünk van a w árra és az értékesítendő mennyiségre is.

Centralizált esetben az (1) számú egyenlet mutatja meg a nagykereskedelmi árszabás szerinti összprofit értékét.

$$\pi_C = (a - eq_C - c)q_c \qquad (1)$$

Az (1) első számú egyenlet felírható más összefüggés alkalmazásával is, konstansokkal felírva, illetve a szorzótényezőket változtatva is ugyanazt a végeredményt kapjuk – ezt mutatja a (2) egyenlet.

$$\pi_{\mathrm{C}} = \frac{(a - \sum C)^2}{4e} = \frac{4(a - \sum C)^2}{16e} \tag{2}$$

Ha ezt az egyenletet deriváljuk mennyiség szerint és azt egyenlővé tesszük a (2) egyenlettel, majd ezt rendezzük q_c-re, akkor kiszámíthatóvá válik a centralizált esetben értékesített mennyiség (3).

$$q_{\mathrm{C}} = \frac{a - \sum C}{2e} \tag{3}$$

Az ár kiszámítása esetén, ha egyenlő osztozkodást feltételezünk, akkor a két tag profitegyenlete segítségével, azok egymással egyenlővé tétele és az egyenlet rendezése után, megkapjuk az elszámolási ár képletét (4).

$$w_{\mathrm{C}} = \frac{MP_{\mathrm{C}} - C_{\mathrm{R}} + C_{\mathrm{S}}}{2} \tag{4}$$

Így már minden szükséges elem megvan ahhoz, hogy a tagonkénti profitot is ki lehessen számolni. Az (5) képlet beszállító profitját, míg a (6) képelt a kiskereskedő profitját mutatja.

$$\pi_{\mathrm{S}} = (w_{\mathrm{C}} - C_{\mathrm{S}})q_{\mathrm{C}} \tag{5}$$

$$\pi_{\mathrm{R}} = (MP_{\mathrm{C}} - w_{\mathrm{C}} - C_{\mathrm{R}})q_{\mathrm{C}} \tag{6}$$

Decentralizált esetben a kiskereskedő az eladott mennyiség alapján maximalizálja a profitot, a többi tag az ár alapján maximalizál. Így tulajdonképpen a jelöléseken kívül jelentéktelen mennyiségű differencia adódik a centralizált helyzettel szemben. Az összprofit és az ár kiszámítási módja fog különbözni a profitmaximalizálás eltéréséből adódóan (7), (8).

$$\pi = \frac{3(a - \sum C)^2}{16e} \tag{7}$$

$$w = \frac{a + \sum C}{2} \tag{8}$$

Az ár ismerete szükséges ahhoz, hogy decentralizált esetben értékesített mennyiséget meg lehessen állapítani (9).

$$q = \frac{a - w}{2e} \tag{9}$$

5. ÁRBEVÉTEL-MEGOSZTÁSI SZERZŐDÉS

E szerződéstípus szerint a tagok egy előre meghatározott mértékben megosztják a kiskereskedő árbevételét. Ezt az értéket az α arány fogja megmutatni. Jelen esetben az egyes

tagok profitja a centralizált profit függvényében lesz megállapítva. Az α arány és a centralizált profit szorzata fogja megadni az egyes tagok profitját (10).

$$\pi_{\mathrm{i}} = \alpha_{\mathrm{i}} \cdot \pi_{\mathrm{C}} \tag{10}$$

Tehát árbevétel-megosztási szerződés alkalmazása esetén a tagok profitját az előre megállapított nyereségarány és a centralizált helyzetben realizált profit fogja alakítani. A centralizált profit kiszámítását mutatja az (1) vagy a (2) egyenlet. Ezek az egyenletek konstansokkal vannak felírva, mely az összehasonlítást is könnyebbé teszi. Ebben az esetben a következőképpen fog alakulni az egyes tagok profitja:

$$\pi_{\mathrm{i}} = \alpha_{\mathrm{i}} \cdot \frac{(a - C_{\mathrm{SR}})^2}{4e} \tag{11}$$

Az ellátási lánc összprofitja megegyezik a centralizált helyzetben realizált összprofittal, melyet az (1) és (2) egyenlet mutat meg. Ez a profit lesz felosztva a tagok között. Az ár tagonként eltérő lesz.

A beszállító által definiált árat a kiskereskedő profit egyenletéből lehet levezetni. Értékét befolyásolni fogja a kiskereskedő részesedése, illetve az összes önköltség és szintén a kiskereskedő önköltsége. A kiskereskedői árat pedig a beszállító részesedése és annak önköltsége, valamint az összes önköltség fogja befolyásolni. A beszállító ára a (12) egyenlet, míg a kiskereskedői árat a (13) egyenlet mutatja.

$$w_{\mathrm{S}} = \alpha_{\mathrm{R}} \sum C - C_{\mathrm{R}} \tag{12}$$

$$w_{\mathrm{R}} = C_{\mathrm{S}} - \alpha_{\mathrm{S}} \sum C \tag{13}$$

6. MENNYISÉGI KEDVEZMÉNY

Ha a lánctagok a szerződéstípusok közül a mennyiségi kedvezményt választják, akkor ez a szerződés arra fogja ösztönözni a vevőt, hogy minél nagyobb tételszámban vásároljon. Ez esetben nagyobb kedvezményt érhet el. Következésképp ennél a szerződéstípusnál az ár nem lesz állandó, értéke az értékesített mennyiségtől fog függeni. Fordított arányos a kapcsolat az ár és az értékesített mennyiség között, vagyis az értékesített mennyiség növekedésével csökkeni fog az ár értéke. Az értékesített mennyiség jelen esetben a centralizált ellátási láncban realizált optimális mennyiség, mely azt is jelenti, hogy a kiskereskedő profit egyenlete megegyezik az árbevétel-megosztási szerződésben megismert (9) számú profitegyenlettel, illetve az értékesített mennyiség kiszámításához is a (3) számú egyenletet szükséges használni.

Az ár kiszámítását mutatja a (14) számú egyenlet, ehhez az árbevétel-megosztási szerződésnél alkalmazott α elosztási arányt is fel kell használni.

$$w = \frac{(1 - \alpha) MP \cdot q}{q} + \alpha \sum C \tag{14}$$

A mennyiségi kedvezmény alkalmazása esetén, ha a centralizált esetben értékesített mennyiséget vesszük alapul, akkor a centralizált profit, illetve – az árbevétel-megosztási szerződéshez hasonlóan – az előre megállapított nyereségarány adja a számítások alapját. Ennek megfelelően a beszállító profitja a centralizált nyereség (1-α) szerinti hányadát fogja kapni.

$$\pi_S = (1 - \alpha)\pi_C \tag{15}$$

A kiskereskedő profitegyenlete az inverz keresleti függvény értékesített mennyiségtől függő értéke és a megállapított ár különbsége adja, melyet a (16) számú egyenlet mutat.

$$\pi_R = \alpha\pi_C \tag{16}$$

Ha a mennyiségi kedvezmény nem a centralizált esetben realizált mennyiség alapján működik, akkor egy előre megállapított mennyiséggel érhetik el a kért kedvezményt. Ilyenkor a tagok profitegyenletét máshogyan szükséges kiszámítani. A beszállító profitegyenlete megegyezik az (5) számú egyenlettel, azzal a különbséggel, hogy el kell hagyni a centralizált helyzetet jelölő „C" betűket, míg a kiskereskedő profitegyenletét a (17) számú egyenlet mutatja.

$$\pi_R = (MP \cdot q) - w(q) \tag{17}$$

7. ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS

Az üzleti életben a döntéshozók nagyrészt rövidtávon gondolkoznak, a rövidtávon realizált profitot preferálják, illetve kizárólag saját érdekeiket szokták figyelembe venni. Szakirodalmi cikkek szerint ezért is választják az ellátási láncon belül is a tagok a saját profitjuk maximalizálását a teljes lánc nyereségmaximalizálása helyett [14]. Pedig bizonyított tény, hogy ha a lánc egy tagja lesz az a döntéshozó, aki maximalizálja a teljes lánc profitját, akkor sokkal magasabb lehet ez az érték és természetesen egyéb versenyelőny is kovácsolható belőle [6], [14]. Tehát az ideális állapot a centralizáltan működő ellátási lánc elérése lenne.

A centralizált helyzethez viszonylag közel áll az árbevétel-megosztási szerződés, hiszen ennek alapja a centralizált profit. A koordinációhoz egy potenciális megoldást jelent ez a fajta szerződéstípus, a probléma az α arány megállapítása okozhat. Sok tényezőt figyelembe kell venni, hogy ez az arány valóban megfelelő legyen mindenki számára. Ha ezt sikerül elérni, akkor a centralizált helyzet után az árbevétel-megosztási szerződés lehet a második legjobb megoldás a koordináció szempontjából.

A mennyiségi kedvezmény által kínált keret az árbevétel-megosztási szerződéssel hasonlóan alkalmasnak tűnik a koordináció eredményességének növeléséhez. Itt is megjelenhet a centralizált profit – hogy ha az értékesített mennyiséget a centralizált helyzetben megállapított optimális mennyiséggel azonosítjuk –, és az α szerinti nyereség aránya. Az ár itt nem állandó, az értékesített mennyiségtől függ. Ez azt jelenti, hogy ebben az esetben minél nagyobb az értékesített mennyiség, annál kisebb ár érhető el.

Ezek alapján a szerződéstípusok elméleti rangsora a következőképpen alakul:

$$\mathrm{CSC} \succ \mathrm{RSC} \succ \mathrm{QD} \succ \mathrm{DCS}$$

ahol a CSC a centralizált ellátási láncot jelöli, az RSC az árbevétel-megosztási szerződést, a QD a mennyiségi kedvezményt, a DSC pedig a decentralizált helyzetet.

8. ÖSSZEHASONLÍTÓ ELEMZÉS EGY SZÁMSZERŰ PÉLDÁN KERESZTÜL

A következő példa alapját az *1. ábra* által reprezentált általános ellátási lánc modell adja. Célom, hogy egy számszerű példán keresztül illusztráljam az elméletben felállított szerződéstípusokra vonatkozó sorrendet.

A számításhoz szükséges alapadatok legyenek a következőek:

$MP = 100 - 1{,}5q$ $C_S = 15$ $C_R = 2$ $\alpha_R = 0{,}7$

A számításnál, ahol nem volt megadva a profit elosztási arány, egyenlő megosztást feltételeztem és ez alapján számoltam.

Az egyenletek felhasználásával kapott eredményeket szerződéstípustól függően a 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat: Az összehasonlító elemzés eredménye

	CSC	**DSC**	**RSC**	**QD**
$\boldsymbol{q}$ (db)	20	10	20	30
$\boldsymbol{MP}$ (Ft)	70	85	70	55
$\boldsymbol{w}$ (Ft)	30	37,5	3	44,5
$\boldsymbol{\pi_S}$ (*m*Ft)	300	225	180	885
$\boldsymbol{\pi_R}$ (mFt)	300	225	420	315
$\boldsymbol{\pi}$ (mFt)	600	450	600	1200

Az eredmények alapján az látszik, hogy a legelőnytelenebb megoldás a koordináció javítására az, ha az ellátási lánc decentralizált módon működik (DSC). Ez alátámasztja, hogy az előzetes preferencia sorrendben miért helyeztük el az utolsó helyre ezt a megoldást. A piaci ár ebben a helyzetben a legmagasabb az összes közül, összességében a kiskereskedő és a beszállító profitja is itt a legalacsonyabb, így az ellátási lánc összprofitja is decentralizált esetben a legkisebb értéket éri el.

Hasonló kondíciókkal rendelkezik a centralizált helyzetben (CSC) és az árbevétel-megosztási szerződéssel (RSC) működő ellátási lánc. Szembetűnő különbség, hogy az árbevétel-megosztási szerződés esetén nagyon alacsony az ár. A tagok profitját befolyásolja az α arány, ez jelen esetben egy viszonylag nagyobb arány volt – 30-70 arányban osztozott a két tag a profiton.

Összprofit szempontjából a mennyiségi kedvezményt (QD) alkalmazó lánc érte el a legmagasabb értéket, ellenben az ár is itt volt a legnagyobb. Az α arány ugyanazt az értéket képviselte, mégis itt az árbevétel-megosztási szerződéshez képest egy egyenlőtlenebbül eloszló profitot láthatunk a két tag között.

9. ÖSSZEGZÉS

A cikkben vizsgált szerződéstípusok előnyei és hátrányai alapján felállított sorrendet a számítások is alátámasztják. A döntéshozó preferencia rendszerétől függ, hogy az árbevétel-megosztási szerződés kerül preferáltabb helyre vagy a mennyiségi kedvezmény szerinti szerződés. Ha az összprofit maximalizálása az elsődleges cél, akkor mindenképpen a mennyiségi kedvezményt kell előnyben részesíteni. Viszont ebben az esetben felmerül az egyenlőtlenül elosztott profit, mely elégedetlenségre ad okot a rosszabbul járt fél részéről. Ezért jobb megoldás lehet az árbevétel-megosztási szerződés, ahol kicsit árnyaltabb a tagok közötti profit különbség. Érdemes megjegyezni, hogy bármilyen nyereség elosztási esetnél optimális esetben a tagok által kapott arány nem random módon kapott arányok, hanem annak valamilyen módon reprezentálnia kell a lánc hierarchiájában elfoglalt helyét, ekkor lehet ugyanis a tagok számára kielégítő és igazságos árbevétel megosztást kialakítani.

A számításokkal alátámasztott preferencia sorrend így megegyezik az előzetesen felállított sorrenddel, ahol a legfontosabb cél, hogy az ellátási láncok működését a centralizált irányítás felé tereljük.

10. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, Az intelligens,fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi,technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitálisgazdaságban című projekt támogatta. A projekt az Európai Uniótámogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

11. IRODALOMJEGYZÉK

[1] **MOLNÁR V., TUMIK Á.:** *Várakozási veszteségből adódó költségek Lean Six Sigma megközelítésben: egy ABC-alapú döntési modell,* Controller Info (ISSN: 2063-9309) 5: (1), 2017, pp. 35-40

[2] **KUNDRÁK, J., MOLNÁR, V., DESZPOTH, I.:** *Analysis of Machining Time and Material Removal Performance as Factors Influencing Efficiency and Profitability,* Proceedings of the 2nd VAE2018, Miskolc, Hungary, 2018, pp. 268-279

[3] **BÁNYAI, T., VERES, P., ILLÉS, B.:** *Heiristic supply chain optimization of networked maintenance companies,* Procedia Engineering. 100, 2015, pp. 46-55

[4] **LOURENÇO, H., R.:** *Supply Chain Management: An oppurtinity fo Metaheuristics, Department of Economic and Business,* Universitat Pompeu Fabra, Barcelona Series, Economics Working Papers, Nr. 538., 2001, pp. 1-25

[5] **SINGH, R.K., BENYOUCEF, L.:** *A consensus based group decision making methodology for strategic selection problems of supply chain coordination,* Engineering Applications of Artificial Intelligence 26, 2013, pp.122–134

[6] **SLUIS, S., DE GIOVANNI, P.:** *A selection of contracts in supply chains: An empirical analysis,* Journal Of Operation Management Volume 41, January 2016, pp. 1-11

[7] **VAN DER RHEE, B., SCHMIDT, G., A. A. VAN DER VEEN, J., V. VENUGOPAL:** *Revenue-sharing contracts across an extended supply chain,* Business Horizons, Volume 57, Issue 4, 2014, pp. 473-482

[8] **A. GOMET PADILLA, T. MISHINA:** *Supply contract with options,* International Journal Of Production Economics, Volume 122, Issue 1, 2009, pp. 312-318

[9] **KATOK, E., PAVLOV, V.:** *Fairness In Supply Chain contracts: A laboratory study,* Journal Of Operations Management, Volume 31, Issue 3, 2013, pp. 129-137

[10] **XIONG, H., CHEN, B., XIE, J.:** *A composite contract based on buy back and quantity flexibility contracts,* European Journal of Operational Research, Volume 210, Issue 3, 2011, pp. 559-567

[11] **MOLNÁR, V.:** *Indirect Impacts of Drastic Scrap Rate Reduction on Costs of Production Process in Precision Machining,* Solid State Phenomena 261, 2017, pp. 487-494

[12] **LEE, C. H., RHEE, B-D.:** *Trade credit for supply chain coordination,* European Journal of Operational Research, Volume 214, Issue 1, 2011, pp. 136-146

[13] **ZHANG, Q., DONG, M., LUO, J., SERGERSTEDT, A.:** *Supply chain coordination with trade credit and quantity discount incorporating default risk,* International Journal of Production Economics, Volume 153, 2013, pp. 352-360

[14] **GIANNOCCARO, I.:** *Centralized vs. decentralized supply chains: The importance of decision maker's cognitive ability and resistance to change,* Industrial Marketing Management, available online 3 February 2018 (letöltve: 2018. 05. 28.)

HOMOKMINTÁK KAPILLÁRIS VÍZEMELÉSÉNEK, VÍZTARTALMÁNAK ÉS HŐVEZETÉSI TÉNYEZŐJÉNEK VIZSGÁLATA

EXAMINING THE CAPILLARY RISE, WATER CONTENT, AND THERMAL CONDUCTIVITY OF SAND SAMPLES

FARAGÓ Enikő[1], BUDAY Tamás[2], MAKAI Levente[3]

[1]PhD hallgató, lisanie@freemail.hu
[1] Ásvány- és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]Ph.D., egyetemi adjunktus, buday.tamas@science.unideb.hu
[2]Ásvány- és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

[3]Hallgató, leventemakai@yahoo.com
[3]Ásvány- és Földtani Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *Az energia szektorban egyre nagyobb szerepet kapó geotermikus rendszerek telepíthetőségének szempontjából az egyik leglényegesebb tényező a hőleadó közeg tulajdonságainak ismerete. Tanulmányunkban homokminták kapilláris vízemelését, víztartalmát, és hővezető képességét vizsgáljuk, egy kutatási sorozat rész eként. Egy adott közeg vízfelvevő, vízleadó képessége, illetve minimális vízkapacitása alapvetően befolyásolja annak hővezető képességet. Az elvégzett mérések alapján megállapítottuk, hogy a homokok esetében a talajvízszint változásból következő víztartalom változás jelentősen kihat a hővezetési tényezőre, így a hőleadó-képességre is, amit a rendszerek telepítésekor is fontos figyelembe venni.*

Kulcsszavak: *hővezetési tényező, kapilláris vízemelés, víztartalom, homok*

Abstract: *Geothermal systems have an increasing significance in the energy sector. One of the most important factors regarding the installation of geothermal systems is knowing the properties of the heat source. In the present paper the capillary rise, water content, and thermal conductivity of sand samples are studied as part of a research project. Water uptake and release capacity of a given medium fundamentally have influence on its thermal conductivity. On the basis of the results water content changes caused by ground water undulations in the case of sands significantly influence thermal conductivity and thus heat supply capacity as well that has to be considered when geothermal systems are installed.*

Keywords: *thermal conductivity, capillary rise, water content, sand*

1. BEVEZETÉS

A 21. században egyre növekvő jelentősége van a megújuló energiaforrások hasznosításának. Hazánkra nézve az Európai Parlament és Tanács RED irányelve 2020-ra minimum 13 százalékban határozta meg a megújuló energiaforrásból előállított energia bruttó végső energiafogyasztásban képviselt részarányát [1].

Magyarország kedvező földtani adottságokkal rendelkezik a geotermikus energia rendelkezésre állásának szempontjából, ami segítheti az azóta már növelt célérték elérését. A hagyományos termálvíz használat mellett azonban egyre nagyobb a jelentősége a sekély geotermikus hőszivattyús rendszereknek is. Ezek telepíthetőségét és hatékonyságát az adott terület tulajdonságai befolyásolják. A telepítés során érintett közegek igen változatosak, hazánkban figyelembe kell venni az adott talaj- és üledéktípus fizikai tulajdonságait, vízháztartását, tehát a talajvízszintet, a kapilláris zónák méreteit, valamint az adott terület klímáját, mely befolyásolhatja akár napi szinten is a talajvíz mozgását.

Jelen cikkünkben egy PhD kutatássorozat részeként a homok, mint hőleadó közeg tulajdonságainak vizsgálatát tűztük ki, elsősorban a vertikális vízmozgás dinamikáján – a

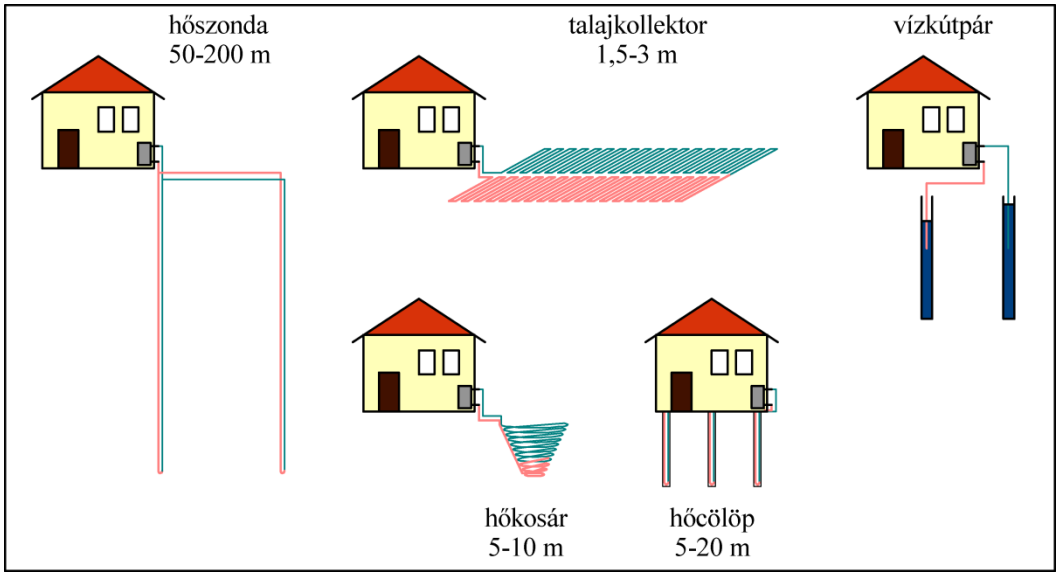
kapilláris vízemelésen valamint a gravitációs vízvesztésen – és a hővezetési tényező változásán keresztül.

2. ELMÉLETI HÁTTÉR

2.1. Geotermikus hőszivattyús rendszerek primeroldali kiépítésének lehetőségei

A hőszivattyús rendszerek telepíthetősége, illetve méretezése erősen függ a környezet anyagától és a pórusterek víztartalmától. A felszín alatti vizek közül elsősorban a talajvíz az, melynek közvetlen kapcsolata van a légkörben lejátszódó jelenségekkel. Ebből adódnak a talajvízszint és a kapilláris zóna elhelyezkedésének rövidebb, hosszabb ciklusú változásai, utóbbi a talaj tulajdonságainak függvényében követi a változásokat. A rétegvizes szintek ehhez képest folyamatosan teljes víztelítettségűnek tekinthetők.

A zárt hőszivattyús rendszerek telepítési mélység szerint három kategóriába sorolhatóak [2], [3]: vízszintes elrendezésű talajkollektorok (1,5–3 m), függőleges kialakítású hőszondák (50–200 m), valamint a kettő közötti átmeneti rendszerek, a hőkosarak (5–10 m) és hőcölöpök (5–20 m) (1. ábra). A közepesen mély és sekély rendszerek nagy része vagy egésze a talajvizes zónában található, így e rendszerek a legérzékenyebbek a talajvízszint változásai miatt bekövetkező hővezetési tényező változásra, ezen rendszereknek ingadozhat a teljesítménye leginkább.

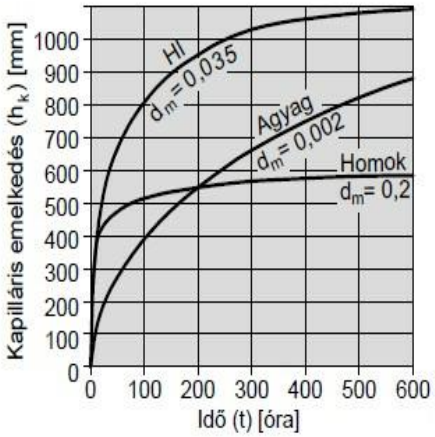


1 ábra. Geotermikus hőszivattyús rendszerek jellemző kialakításai [3]

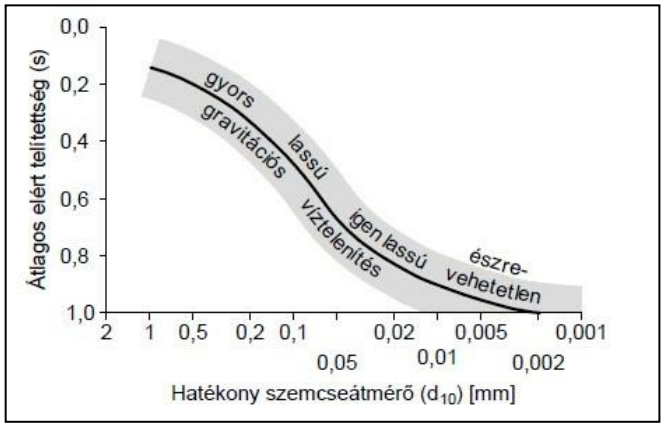
2.2. A földtani közeg víztartalma és hővezetési tényezője

A talajvíztükör felett, a zárt kapilláris zónában a vízszintmagasságot a kapilláris erő befolyásolja elsősorban, melynek nagysága az adott közeg pórusméretétől, azaz szemcseösszetételétől és porozitásától függ. A szakirodalom [4], [5] szerint a kapilláris vízemelés homokok esetében a leggyorsabb, homokos agyagokban valamivel lassabb, azonban nagyobb magasságba emelkedik a víz (2. ábra). Agyagos talajokban jóval lassabb az emelkedés figyelhető meg, de itt emelkedik legmagasabbra a víz, ugyanis ebben az esetben a legkisebb a pórusok átmérője [5].

A szabad víztartalom leürülése a kapilláris vízemeléshez hasonlóan a talaj szemcseösszetételétől, a részecskék nagyságától és anyagától függ. A minimális vízkapacitás alatt azt a vízmennyiséget értjük, mely a gravitációs erő hatása ellenében a porózus kőzetrétegben marad. A gravitációs vízleürülés folyamata hasonlít a kapilláris vízemeléshez, dinamikájában tér el attól – jóval több időt vesz igénybe. Durvább szemcséjű kőzet esetén nagyobb a leürülés sebessége és kevesebb a minimális vízkapacitás, míg finom szemcsés kőzet esetén igen lassú a víztelenedés, és nagy a minimális vízkapacitás (3. ábra) [4].



2. ábra. Elméleti görbék a különböző talajok kapilláris vízemelésére [4]



3. ábra. Gravitációs víztelenedés a hatékony szemátmérő és a telítettség függvényében [4].

A hőszivattyús rendszerek hatékonyságát elsősorban a telepítő közeg határozza meg. Esetünkben a telepítő közeg több fázisú rendszert alkot; a talaj, a talajnedvesség, és a talajban lévő levegő összességeként. Többfázisú rendszerek hővezetési tényezőjének meghatározására több modell létezik, melyek a pórusteret kitöltő komponensek tulajdonságait is figyelembe veszik.

Az egyik ilyen modell JOHANSEN 1975-ös modellje [6], mely durva szemű üledékekre:

$$\lambda_{sat} = \lambda^{1-n} \cdot \lambda_w^n \quad (1)$$

$$\lambda = (1 + 0{,}7 \cdot lgS_w) \cdot (\lambda_{sat} - \lambda_d) + \lambda_d \quad (2)$$

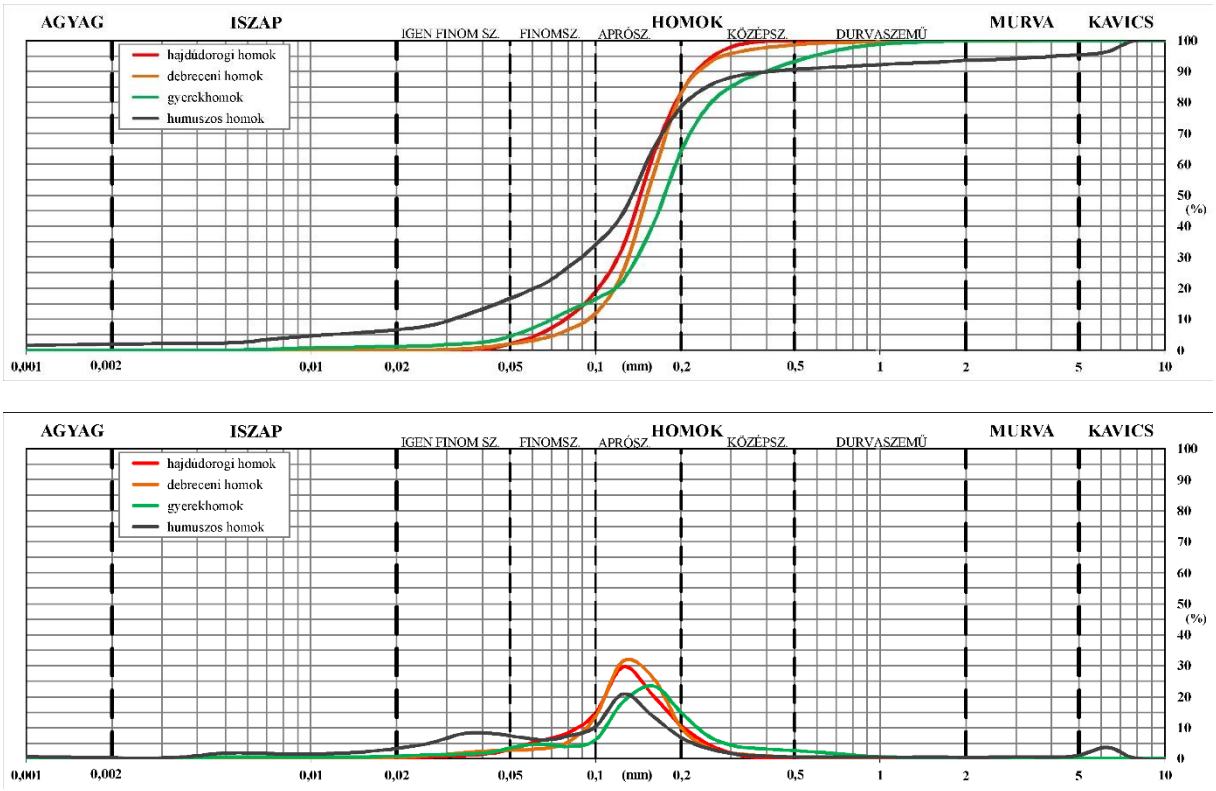
Ahol: λ – az eredő hővezetési tényező [W/(m·K)]; λ_{sat} – a telített üledék hővezetési tényezője [W/(m·K)]; λ_s – a szilárd fázis hővezetési tényezője [W/(m·K)]; λ_w – a víz hővezetési tényezője [W/(m·K)]; λ_d – a száraz üledék hővezetési tényezője [W/(m·K)]; n – a minta teljes porozitása [–]; S_w – a minta víztelítettsége [–].

3. MÓDSZEREK

3.1. Minták

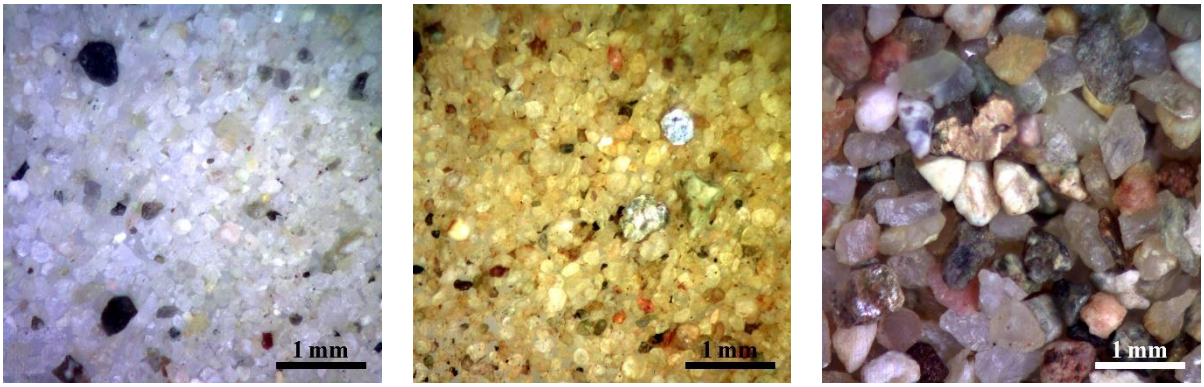
Vizsgálataink során kivétel nélkül homokokkal dolgoztunk. Négy mintánk homokbányából származó szétszitált üledékes anyag (nagykereki homok 0,200–0,250 mm, nagykereki homok 0,315–0,400 mm, nagykereki homok 0,400–0,500 mm, napkori homok <0,125mm). Ezeken kívül rendelkezésünkre állt debreceni, illetve hajdúdorogi építési homok, humuszos homok, valamint kereskedelmi forgalomban kapható úgynevezett „gyerekhomok”.

Az utóbbi négy mintából szemeloszlás vizsgálat készült, szitálásos és hidrometrálásos módszerrel, abban az esetben, ha ez utóbbi szükséges és kivitelezhető volt (4. ábra).



4. ábra. A vizsgált üledékek kumulatív és differenciális szemeloszlás görbéi

A mintákról készült mikroszkópos felvétel is. A 4. és 5. ábrán látható, hogy a gyerekhomok, és a hajdúdorogi építési homok nagyjából azonos szemcseméretű, mérsékleten osztályozott. A gyerekhomok a legvilágosabb mindközül, melynek oka a kvarcok nagy aránya és a vasas-agyagos felületi bevonatok hiánya. A másik végletként bemutatott nagykereki 0,400-0,500 mm-es homok a legdurvább szemcseátmérőjű vizsgált anyag, benne kis kőzet- és ásványszemcsék figyelhetők meg a közeli lehordási terület miatt.



5. ábra. A gyerekhomok, a hajdúdorogi építési homok és a nagykereki 0,400-0,500 mm-es homok mikroszkópi képe

3.2. Alkalmazott módszerek

A kapilláris vízemelést a talajvizsgálati gyakorlatban megszokott módon végeztük el. A mintákat alulról szitaszövettel ellátott üvegcsőben helyeztük el, majd alulról telítettük őket vízzel. A vízemelés mértékét a minta elszíneződése alapján tudtuk követni, melyet meghatározott időközönként mérési jegyzőkönyvbe vettünk. A legtöbb esetben a mérés öt órán keresztül tartott.

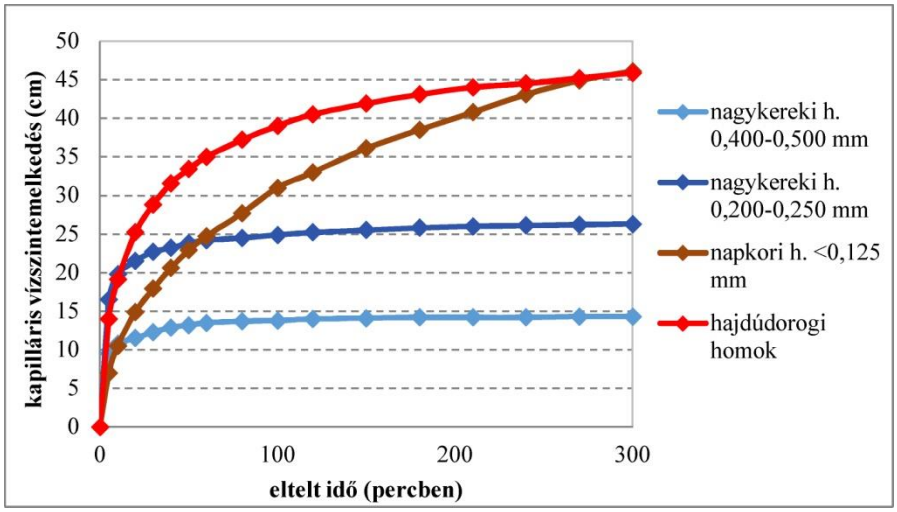
A gravitációs leürülés és minimális vízkapacitás meghatározása több hetes mérési folyamat volt. Első lépésként alulról telítettük a mintáinkat vízzel. (A telítés Ejkelkamp, szitaszövettel és kupakkal ellátott kiszúró hengerekben történt). Ezután a mintákat úgy helyeztük el, hogy biztosítsuk a gravitációs víztelenedést, és meghatározott időközönként lemértük a tömegét. A mérést tömegállandóságig folytattuk, végül 105 °C-ra beállított szárítószekrényben kiszárítottuk, és ismét lemértük a tömegét. Az így kapott számadatokból kiszámítható a minimális vízkapacitás, valamint meghatározható a leürülés dinamikája is.

A hővezetési tényező méréseket a Hukseflux által gyártott hővezetési tényező rendszerrel kiviteleztük. A méréseknél tűszenzort használtunk, mely hengerszimmetrikus hőmérsékleti teret alakít ki maga körül, éppen ezért a méréseinket is henger alakú mintatárolókban végeztük [7]. Különböző víztelítettségi értékekkel dolgoztunk, hogy vizsgálhassuk a víztelítettség és a hővezető képesség kapcsolatát. Egy homokmintából adott víztelítettséggel legalább három mintán készült mérés.

Meghatároztuk mintáink sűrűségét is piknométeres eljárással, az így kapott adatokat felhasználtuk a minták porozitásának és víztelítettségének meghatározásakor is.

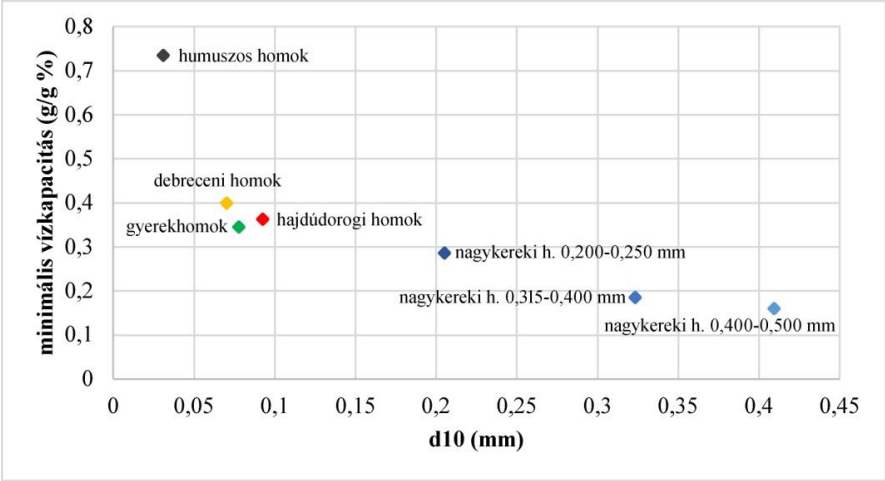
4. EREDMÉNYEK

A kapilláris vízemelés az irodalmi összefüggéseknek megfelelő eredményeket hozott: a nagyobb szemátmérőjű mintáknál volt a legalacsonyabb a maximális vízemelés, de itt volt a leggyorsabb az emelkedés. Ezzel szemben a finom szemű mintáknál volt a legmagasabb a vízemelési érték az öt órás mérési ciklus alatt (6. ábra). A mérés időtartama alatt csak a legnagyobb szemátmérővel rendelkező minták érték el a maximális vízemelési értékét. A szemeloszlási adatok és a vízemelés egyes paramétereinek elemzése rámutatott arra, hogy az egyszerű összefüggések csak korlátozottan alkalmazhatók. A nyílt kapilláris zóna vastagságát más jellegű vizsgálatokkal szükséges meghatározni a közeljövőben.

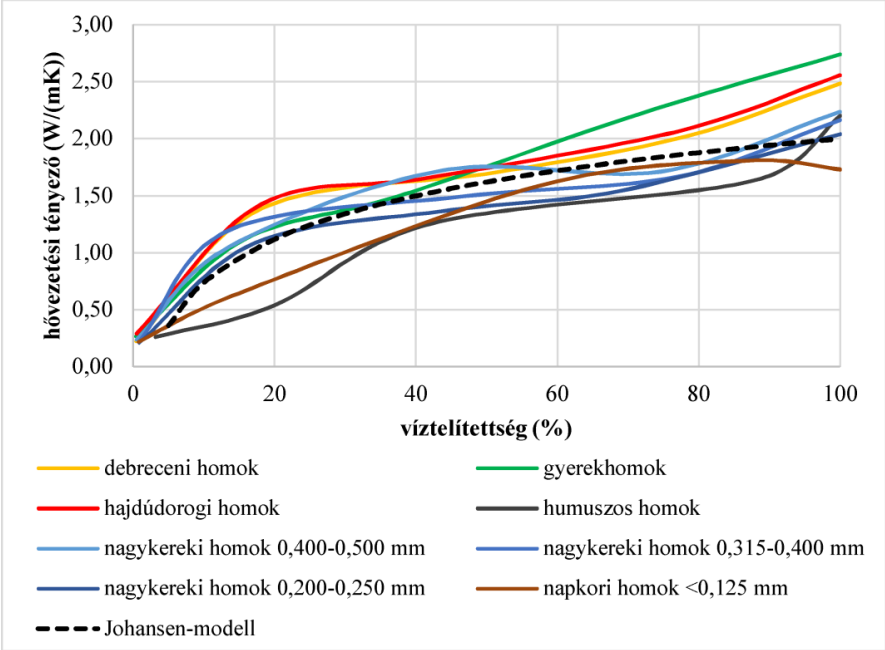


6. ábra. A vizsgált homokminták jellegzetes kapilláris vízemelési görbéi

A gravitációs leürülés és minimális vízkapacitással kapcsolatos mérési eredményeink alapján megállapítható, hogy a durvább szemű, osztályozott minták gyorsabban veszítik el víztartalmukat, valamint a minimális vízkapacitásuk is alacsonyabb, mint a finomszemű üledékek (7. ábra). A vizsgált homokminták 1 g/g% alatti minimális vízkapacitással rendelkeznek, ami a durva szemű homokok esetében 1 % alatti víztelítettséget, míg a humuszos homok esetében 2–3 %-os víztelítettséget jelent. A leürülés dinamikája sok környezeti feltételtől függ, de a homokok esetében nagyságrendekkel kisebb a kapilláris vízemelés sebességénél.



7. ábra. A vizsgált homokminták minimális vízkapacitása



8. ábra. A vizsgált homokminták hővezetési tényező értékei a víztelítettség függvényében

A hővezetési tényező a kőzetmátrixon túl a porozitástól és a víztartalomtól is függ. Vizsgálataink során igyekeztünk egy adott minta esetén azonos porozitású mintát létrehozni, de ez csak korlátozottan sikerült. Általános hibaként jelentkezett a teljesen telített minták kissé csökkenő porozitása, mely a várthoz képest nagyobb hővezetési tényezőben is megnyilvánul. A mintánként és víztartalmanként átlagolt eredményekből látható, hogy a víztelítettség növekedésével nő a minták hővezető képessége (8. ábra). A legtöbb esetben már

10–20 %-os víztelítettség is számottevő hővezetési tényező növekedést jelent, a fent bemutatott összefüggésnek megfelelően (az ábrán szereplő Johansen-modellben λ_{dry}=0,2 W/(m·K), λ_{sat}=2 W/(m·K)). Ugyanakkor a napkori <0,125 mm valamint a humuszos homok minták hővezetési tényezőjének víztelítettség-függése eltér többi függvénytől, melynek oka a nagyobb fajlagos felület és eltérő összetétel lehet. A nagykereki homokok, valamint az építési homokok hasonló ásványos összetételük és az építési homokok esetén a hasonló szemeloszlás miatt hasonló összefüggéssel rendelkeznek, az érettebb homokok estében kimutatható a nagyobb maximális hővezetési tényező.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Vizsgálataink alapján elmondható, hogy a homokok, különösen a középszemű és durvább szemcseméretű homokokban a talajvízszint emelkedését a kapilláris zóna felső határának emelkedése gyorsan követi, a kapilláris zóna vastagsága néhány 10 cm. A vízszint csökkenés ezekben az üledékekben is lassú, ugyanakkor szinte a teljes víztartalom leüríthető gravitációs úton.

A hővezetési tényező vizsgálata során meghatároztuk, hogy a teljesen telített állapothoz tarozó hővezetési tényező értékek 1,7-2,8 W/mK közé esnek, míg a minimális vízkapacitáshoz tartozó értékek 0,2-0,3 W/mK között alakulnak.

Megállapítható, hogy azok a geotermikus hőszivattyús rendszer egységek, melyek a talajvízszint felett vagy annak közelében vannak durva homok üledékbe telepítve, nagyon ki vannak téve a víztartalom változása miatti hővezetési-tényező változásnak. Elsősorban a talajkollektoros és hőkosaras rendszerek lehetnek érintettek, melyek érintettsége a klímaváltozás miatt bekövetkező szárazodás fokozódni fog.

A továbbiak folyamán tervezzük a homokoknál finomabb szemcseösszetételű frakciók átfogó vizsgálatát is, mellyel az eredmények több földrajzi területre általánosíthatók.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **NEMZETI FEJLESZTÉSI MINISZTÉRIUM:** *Magyarország megújuló energia hasznosításának cselekvési terve 2010-2020ig.* p. 224.

[2] **OCHSNER, K.:** *Geothermal heat pumps. A Guide for Planning and Installing,* Earthscan, London, 2007, p. 146.

[3] **KOVÁCS, R. L., – BUDAY, T.:** *A telítetlen zóna hatása a geotermikus hőszivattyúk zárt primeroldali körének telepítésére és üzemelésére,* IV. Környezet- és Energia Konferencia – II. Energia a mindennapokban konferencia és verseny, Debrecen. 2016.

[4] **PÉTERFALVI, J.:** *Talajmechanika,* Oktatási segédlet, Sopron, 2005, p. 63.

[5] **STEFANOVITS, P**. – **FILEP, GY. – FÜLEKY, GY.:** *Talajtan,* Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999, p. 470.

[6] **JOHNASEN, O.:** *Thermal Conductivity of Soils,* Ph.D. thesis, Trondheim, Norway, (CRREL Draft Translation 637, 1977) 1975, ADA 044002.

[7] **HUKSEFLUX:** *TP08 manual v. 1009.* 2010, p. 47.

PRECÍZIÓS TÁPANYAGVISSZAPÓTLÁS MŰSZAKI VETÜLETEI

TECHNICAL ASPECTS OF PRECISION FERTILIZER APPLICATION

HAGYMÁSSY Zoltán [1], VÁNTUS András[2], CSATÁRI Nándor [3]

[1]egyetemi docens, hagymassy@agr.unideb.hu
[1]Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem
[2] egyetemi adjunktus, vantus@agr.unideb.hu
[2]Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem
[3] tudományos segédmunkatárs, csatari@agr.unideb.hu
[3]Agrár-műszaki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A Debreceni Egyetem, Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézetében, az Agrár-műszaki Tanszéken a precíziós gazdálkodás keretében, különböző műtrágyák és műtrágyaszóró gépek vizsgálata történt. A vizsgálatok szántóföldi körülmények között folytak. A munkaminőségi méréseket a műtrágyaszemcsék ellenőrzése előzi meg, amely alapvetően befolyásolja a gép beállításait. Az adagolás egyenlőtlenség a kijuttatás mennyisége és annak időbeli lefolyását elemzi, míg a keresztirányú szórásegyenlőtlenség a területen az egyenletes műtrágya eloszlás szempontjából lényeges. Méréseik alapján megállapítható, hogy a műtrágyaszóró gépek adagolás egyenlőtlensége és keresztirányú szórásegyenlőtlensége a munka minőséget jelentősen befolyásolja.*

Kulcsszavak: *műtrágyaszóró gép, keresztirányú szórásegyenlőtlenség, adagolás egyenlőtlenség*

Abstract: *In University of Debrecen, Department of Agricultural Machinery different type's of fertilizer, and fertilizer distributor were examined by authors within the framework of precision farming. The examinations were conducted in the field conditions. The examinations are preceded by control measurements of the fertilizer granules which basically affected the machine settings. The unevenness of fertilizer dosage quantity is an important aspect due to the application analyzes, while the transversal unevenness of spreading is an important aspect due to the even fertilizer distribution. Based on our measurements we concluded that the fertilizer spreaders dosage quantity and the transversal unevenness of spreading significantly influence the work. quality.*

Keywords: *fertilizer distributor, transversal unevenness of spreading, unevenness of fertilizer dosage*

1. BEVEZETÉS

1.1. A kutatási téma aktualitása

A fejlesztés, a mezőgazdaságban is egy folyamatos innováció. Az ipar és a kutatás is érintettek ebben a fejlődési folyamatban. Napjainkban a high-tech berendezések kezeléséhez a mezőgazdasági cégek és vállalkozók egyre jobban megkövetelik a magasan specializált munkaerőt is. A változó környezethez a mezőgazdaságnak is alkalmazkodnia kell, ehhez pedig adaptációs készségre van szükség. Az informatikai technológia fejlődése következtében jelentős változások történtek a mezőgazdaságban is, melyek egyik folyománya a precíziós gazdálkodás. A precíziós gazdálkodás olyan műszaki, informatikai, információs technológiai és termesztéstechnológiai alkalmazások összessége, amelyek hatékonyabbá teszik a szántóföldi növénytermesztést. [1]

A precíziós mezőgazdálkodás célja a minőségi növényi termékek előállítása, a költségek csökkentése, és a gazdasági hatékonyság növelése, a termőföldek és a környezetvédelme mellett. A termesztett növény közvetlen környezetében meglévő optimális életfeltételek határozzák meg a termés nagyságát. A hely specifikus gazdálkodás lényege, hogy a

termesztett növény közvetlen környezetében mérje, a terméskialakító tényezőket és ezeknek megfelelően végezze el a műveleteket, vagy kezeléseket. A térinformatikai eszközök már biztosítják a centiméteres pontosságot és a másodperc szintű adatfeldolgozási időt.

1.2. A vizsgálatok előzményei

Vizsgálataink alapját képezte egy kutatási program, amely a Debreceni Egyetem kutatói, mezőgazdasági üzemek illetve vállalkozók bevonásával valósul meg. A Program neve: a GINOP-2.2.1-15-2016-00001 azonosító számú, „Üzemmérettől független komplex precíziós szaktanácsadási rendszer kialakítása” c. projekt. A program megvalósulási helyszíne a Debreceni Egyetem MÉK Földhasznosítás, Műszaki és Területfejlesztési Intézete. A program célja: a precíziós mezőgazdaság, a GPS párhuzamvezetők és automata kormányzás használata, a berendezések beüzemelése, kalibrálása, különböző tesztviszonyok és szántóföldi körülmények között.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A vizsgálatok körülményei, és a vizsgált műtrágyák típusai

A vizsgálatok helyszíne: a Balogfarm Kft. Tépe és a DE MÉK Földhasznosítás, Műszaki és Területfejlesztési Intézete. A tábla neve, mérete: A6, 44 ha Vizsgálatainkhoz a következő műtrágyát használtuk fel:

- YaraMila 16-27-7 (NPK komplex műtrágya)

2.2. A keresztirányú szórásegyenlőtlenség és az adagolás egyenlőtlenség

A keresztirányú szórásegyenlőtlenség meghatározását mérőtálcák segítségével végeztük. A tálcákat a mérőpályára merőlegesen helyezik el. Annak érdekében, hogy a műtrágya a talajról ne pattogjon a tálcákba, a tálcasor a pálya szintjéhez képest kiemelten (500-900 mm magasságban) helyezkedik el. Biztosítani kell, hogy a műtrágyaszóró gép az emelt tálcasor felett a kívánt beállítási magasságban áthaladhasson. Annak érdekében, hogy megakadályozzuk a műtrágyaszemcsék kipattogását a felfogó tálcákból, az 500x500 mm méretű felfogó tálcák 50x50 mm osztású pattogás gátló ráccsal vannak ellátva. A kívánt paraméterekre beállított műtrágyaszóró gép a felfogó tálcasor felett üzemi sebességgel áthalad. A mérés során a műtrágya a mérőtálcák tartalmát 0,1 g pontossággal megmérik, és a mért adatokat számítógépbe táplálják.

A szétosztási egyenlőtlenség meghatározására egyik legjellemzőbb összefüggés a variációs tényező. [2] [3]

$$CV = \frac{100}{\bar{x}} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \bar{x} \right)^2}{n-1}} \tag{1}$$

Ahol:

- xi – 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

CV megengedett értéke 15 %.

Az adagolás egyenlőtlenség jellemzésére a közepes eltérés (ek) értékét használtuk.

$$e_k = \frac{100}{\bar{x}_i} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n} |x_i - \bar{x}_i|}{n} \quad (2)$$

Ahol:

x_i - a háromszori ismétlés során, egy mérőhelyen felfogott műtrágya mennyiségek átlaga,

$\bar{x}$ - a háromszori ismétlés során, az összes mérőhelyen felfogott műtrágya mennyiségek átlaga,

n - a mérőhelyek száma, .

e_k megengedett értéke 10 %.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A keresztirányú szórásegyenlőtlenség vizsgálata szántóföldi körülmények között történt. A vizsgálatok a BaloghFarm Kft. Tépe sík parcelláján végeztük el. A traktor és a műtrágyaszóró gép (1. ábra) beállítási adatai:

Erőgép: John Deere 6230

Munkagép: RAUCH AXIS H

A szántóföldi tábla neve, mérete: A6, 44 ha

A tábla hosszúsága: 750 méter

A műtrágya: YaraMila 16-27-7 (NPK komplex műtrágya)

A kijuttatott műtrágya dózis: 500 kg/ha

Munkasebesség: 11 km/h

Munkaszélesség: 30,48 méter

Limiter: Műtrágya szórás



1. ábra. A műtrágya YaraMila 16-27-7 (NPK komplex műtrágya) töltése a tartályba.

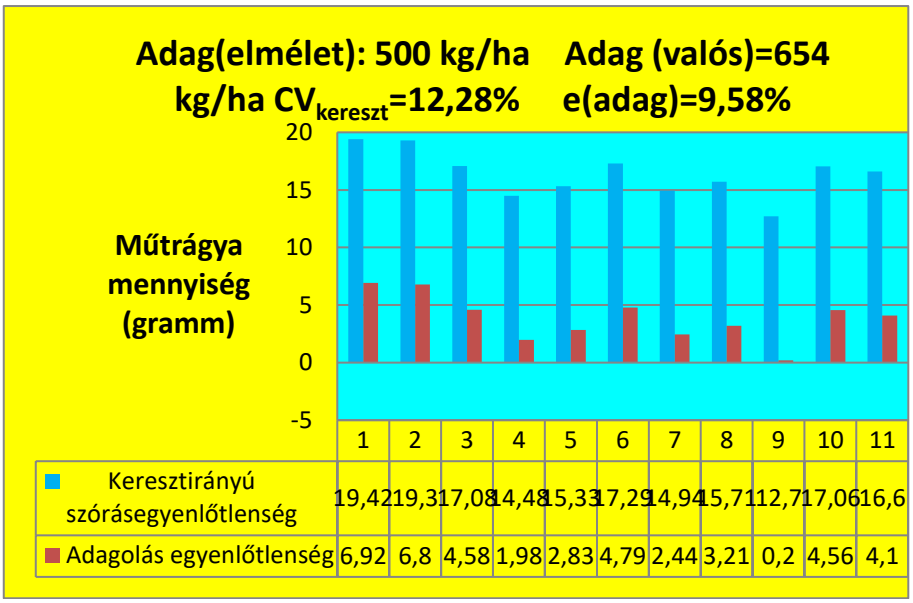
A szabványos méretű és kialakítású mérőtálcákat a parcella szélétől 100 m–re keresztirányban raktuk le. A mérőtálcák méretei: 500*500 mm, pattogásgátló ráccsal vannak felszerelve, a tálcából kipattanó szemcsék megakadályozása érdekében. (2. ábra) A

munkaszélesség B=30,4 m. A szórásszélesség háromszög alakú szórásképet beállítva W=60,8 m. A mérőtálcák kiosztása: 3,04 m x (11 tálca -1)=30,4 m



2. ábra. A mérőtálcák a parcellán

Elsőként a tábla szélétől 100 m - re végeztünk próbaszórást. A 30,4 m munkaszélességen belül elhelyezett tálcákat a tálcák előtti a tálcák utáni sorban is oda vissza végigszórtuk. A mérőtálcákban összegyűjtött műtrágyát digitális mérlegen lemértük – melynek pontossága 0,1 g – majd a kapott értékeket diagramban ábrázoltuk. (3. ábra)



3. ábra. A keresztirányú szórásegyenlőtlenség és az adagolás egyenlőtlenség eredménye az első mérés után

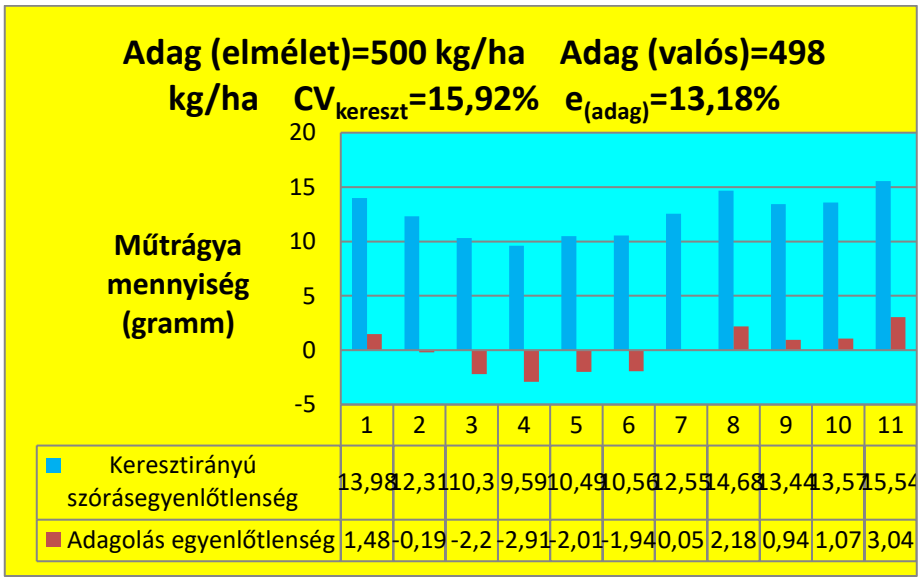
Megállapítható, hogy a keresztirányú szórásegyenlőtlenség variációs tényezője CV=12,28%. ami kisebb mint a szabványban előírt CV>15%, így a szórás egyenletessége kielégítő. Megállapítható továbbá, hogy az adagolás egyenlőtlenség közepes eltérése szintén

kielégítő e= 9,58%. Viszont a kijuttatott adagmennyiség jóval több volt, mint a tervezett mennyiség, ezért leállítottuk a szórást, és korrigáltunk a résállító szerkezet beállításán. A vizsgálat kimutatta továbbá, hogy a munkaszélesség bal oldalán több a kiszórt szemcse mennyiség, ezért a műtrágyaszóró beállításában is korrekció szükséges. (3. ábra)



4. ábra. A beállított értékek a traktorban lévő monitoron

Második lépésként a tábla közepén helyeztük el a mérőtálcákat (4. ábra). A mérőtálcákban összegyűjtött műtrágyát most is digitális mérleggel mértük le. A kapott műtrágya mennyiségeket az 5. ábra diagramjában ábrázoltuk.



5. ábra. A keresztirányú szórásegyenlőtlenség és az adagolás egyenlőtlenség eredménye az második mérés után. A mért értékek a tábla közepén.

Megállapítható, hogy a keresztirányú szórásegyenlőtlenség variációs tényezője CV=15,92%, ami a szabványos érték felett van valamivel, kisebb korrekcióval, javítva a beállítási paramétereken, a szórás egyenletessége kielégítő lesz. (5. ábra). A kiszórt adagmennyiség nagyon pontos lett 498 kg/ha. Az adagolás egyenletessége viszont meghaladta a szabványban előírt mértéket, ezért korrekció szükséges a beállítási paraméterekben. Állítva a szórótárcsára jutó műtrágya feladási helyén, lehet változtatni a szórásképen.



6. ábra. A mérőtálcák a parcellán

Változtattunk a műtrágyaszóró gép beállítási paraméterein. A mérőtálcákban lévő műtrágyát összegyűjtöttük, majd digitális mérlegen lemértük (6. ábra). Megállapítottuk, hogy az elvégzett beállítások módosításaival javult a szórás minősége és az adagolás pontosabb lett. Ezért a szórás egyenletessége kielégítő.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **HAGYMÁSSY, Z. – ANCZA, E.:** 2011 *Experience of an Intensive Program Course on Utilization of High Technology Equipment*, Agrárinformatika 2011, Agricultural Informatics Debrecen, Hungary. 2011. p. 80-86.

[2] **CSIZMAZIA, Z.:** 1993 *Technical Conditions Of Equalized Fertilizer Applications*. Hungarian Agricultural Research, 1993/12. p. 16-22

[3] https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_06_Muszaki_ismeretek/ch04s02.html

SZUPERPARAMÁGNESES NANORÉSZECSKÉK SZINTÉZISE ÉS ALKALMAZÁSA NANOKOMPOZITOK FEJLESZTÉSE SORÁN

SYNTHESIS AND APPLICATION OF SUPERPARAMAGNETIC NANOPARTICLES DURING OF DEVELOPMENT NANOCOMPOSITES

ILOSVAI Mária Ágnes[1], PEKKER Péter[2], KRISTÁLY Ferenc[3], VANYOREK László[4]

[1]egyetemi hallgató, ilosvaiagnes001@gmail.com
[1]Kémiai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

[2]tudományos munkatárs, pekkerpeter@gmail.com
[2]Ásványtani és Földtani Intézet, Miskolci Egyetem

[3]tudományos munkatárs, askkf@uni-miskolc.hu
[3]MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem

[4]adjunktus, vanyorekl@gmail.com
[4]Kémiai Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: *Munkánk során előállítottunk magnetit nanorészecskéket, amelyeket két kompozit anyag elkészítése során használtunk fel. Az egyik kompozitanyag olyan poliuretán hab volt, amely mágneses tulajdonsággal rendelkezik a benne eloszlatott magnetit nanorészecskéknek köszönhetően. A mágneses poliuretán alkalmas lehet árnyékoló tulajdonságú csomagolóanyagok gyártására, elektromágneses zajcsökkentés céljából. A magnetit további felhasználási lehetősége olyan adszorbensek előállítása, amelyek a szennyező komponensek eltávolítása után mágneses tér segítségével szeparálhatók a tisztított vízmintától. Ilyen adszorbens az általunk előállított nitrogén dópolt bambuszszerkezetű szén nanocső (BCNT), amely a rajta kialakított magnetit részecskék miatt mágnesezhető, vizes közegben hatékonyan diszpergálható. Az előállított nanokompozitokat jellemeztük SEM, TEM, EDX, valamint FTIR módszerekkel.*

Kulcsszavak: *nanorészecskék, magnetit, PUR, SEM*

Abstract: *In our work, we prepared magnetite nanoparticles, which used for synthesis of two kind composites. One of the composite is so polyurethane foam, which have magnetic behavior owing to the dispersed magnetite nanoparticles. The magnetic polyurethane can be suitable as electromagnetic interference (EMI) shielding materials. Further possible application of magnetite during production of adsorbents which removable along with adsorbed pollutants from purified water by using magnetic field. Such an adsorbent is the nitrogen doped bamboo like carbon nanotube by magnetite nanoparticles on their surface, this are easily removable, and well dispersible in water. The as synthetized nanocomposites were characterized by SEM, TEM, EDX and FTIR techniques.*

Keywords: *nanoparticles, magnetite, PUR, SEM*

1. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A nanorészecskék kicsiny méretű, környezetüktől jól elkülönülő objektumok. Általánosan elfogadott definíció szerint nanorészecskéknek azokat az anyagokat szokás nevezni, amelyeknek mérete legalább két dimenzióban az 1 és 100 nm közötti tartományba esik [1].

A vas a természetben széles körben megtalálható, II-es és III-as oxidációs formája számos vas-oxidot, vas-hidroxidot és vas-oxid-hidroxidot képez, ilyen például a ferromágneses tulajdonságú magnetit (Fe_3O_4) és a maghemit (γ-Fe_3O_4) [2], II-es és III-as oxidációs állapotú vasionokat is tartalmaz. Rácsát az oxigénre vonatkoztatva tetraéderes (Fe^{2+}) és oktaéderes (Fe^{3+}) szimmetriájú vasionok alkotják. A magnetit oxidáció hatására maghemitté alakul [3-5].

A vas-oxidokat számos területeken felhasználják. Ilyen például a gyógyszeripar, biológiai-, geokémiai-, (környezeti) kémiai-, ipari kémiai technológiai stb. területek [2].

A nanoméretű részecskéket főleg az orvosbiológia és a vegyipar használja fel. A nanorészecskékből azok a fontosak, amelyeknek vagy nincs, vagy csak minimális a toxikus hatásuk (ilyen anyag például a magnetit) [6].

A magnetit nanorészecskéket számos módszerrel elő lehet állítani, például: mikroemulziós módszerrel, precipitációs (kicsapásos) módszerrel (fajtái: ko-, oxidációs- és redukciós-precipitáció), szonokémiai módszerrel. Ezek közül a precipitációs szintézis kedvelt, mert egyszerű eszközökkel, vizes közegben nagyobb mennyiségű magnetitet lehet előállítani [7].

A legáltalánosabb módszer a bevonatmentes magnetit szintézisére a ko-precipitációs módszer [8]. Tóth és munkatársai ezzel a módszerrel állítottak elő magnetit nanorészecskéket, $FeCl_2 \times 4H_2O$ és $FeCl_3 \times 6H_2O$ tömény oldatából NaOH-dal történő kicsapással [7].

Kuzmann és munkatársai a magnetit előállításához egy korábbi módszert módosítottak, mellyel 30-50 nm átmérőjű részecskéket állítottak elő. A FeO(OH)-t olajsavval elegyítették, majd néhány cikluson át etanolos kicsapással szeparálták, ezután pedig egy szilícium-dioxid burkot alakítottak ki a vasmag felületén. A kapott magnetitek jó mágneses tulajdonságokkal rendelkeztek (felhasználásnál nem volt toxikus hatásuk) [9].

Lee és csapata a szonokémiai módszert alkalmazták a magnetit előállítására. Az eljárás során $FeCl_2 \times 4H_2O$ és $FeCl_3 \times 6H_2O$ kevertek össze, ultrahangfürdőben kezelték, majd NH_4OH-t adtak a rendszerhez, mely során fekete részecskék jelentek meg. A részecskéket anionmentesre mosták, megszárították, majd ecetsav-kitozán oldattal elegyítették, ezt követően ismét ultrahangfürdős kezelés következett. A kezelés után lecentrifugálták az elegyet. A ferrofluidot ezután az alkáli oldat (NaOH/etanol/víz) felületére porlasztották, ahol mikro-gömbök keletkeztek. A kapott magnetit átlagosan 15 nm-es átmérőjűek lettek, a mikro-gömb komplex jó mágneses tulajdonságokkal rendelkezett, mely lehetővé teszi a jobb képalkotást [10].

Munkánk során mágneses tulajdonságú polimerek előállításával, illetve magnetit és szén nanocsövek komplex rendszerével is foglalkoztunk. Az irodalomban ezek előállítására is találunk módszereket.

Kutatók Fe_3O_4/poliuretán (PUR) kompozitot hoztak létre, valamint ezeket adalékolták egyéb töltőanyagokkal, mint pl. talkum, az előállított nanokompozitok mágneses tulajdonsággal rendelkeztek [11-13]. Ezek a mágneses tulajdonságú polimerek árnyékolásra, elektromágneses zajcsökkentésre használhatók.

A mágneses nanorészecskék egy másik felhasználási területe a mágneses elven működő elválasztás, amely jól használható veszélyes szennyezőket megkötő adszorbensek, vizes diszperzióikból történő eltávolítására. A szén nanocsövek jó adszorpciós tulajdonságokkal rendelkeznek, ezért alkalmasak lehetnek mágnesezhető adszorbensek előállítására, erre találunk példát a szakirodalomban [14].

2. A MAGNETIT TARTALMÚ KOMPOZITOK ELŐÁLLÍTÁSA

2.1. Felhasznált anyagok és módszerek

A magnetit előállításához vas (II)-szulfát ($FeSO_4 \times 7H_2O$) és vas (III)-klorid ($FeCl_3 \times 6H_2O$) sókat használtunk (Reanal), a lecsapószerként nátrium-hidroxid oldatot alkalmaztunk (Merck). A poliuretán hab előállításához Ongronat XP-1003 metilén-difenil-diizocianátot (Wanhua Borsodchem Zrt.) és BCTH 1001 poliolt (Wanhua Borsodchem Zrt.) használtunk. Nitrogén dópolt bambusz szerkezetű szén nanocsövet (BCNT) használtunk, amely CCVD eljárással (katalitikus kémiai gőzfázisú leválasztás), butilaminból kiindulva készült, Ni/MgO katalizátoron 700 °C szintézis hőmérsékleten.

Az előállított anyagok vizsgálatára pásztázó elektronmikroszkópiát (SEM) használtunk, segítségével megvizsgálhattuk az anyagok morfológiai jellemzőit, részecskeméretét, utóbbit transzmissziós üzemmódban végeztük, meghatároztuk a termék elemösszetételét energiadiszperzív röntgenspektroszkópiával (EDX). A SEM vizsgálatok és az elemanalízis EDAX DX4 spektrométerrel felszerelt, AMRAY 1830I típusú, elektronmikroszkóp segítségével történtek.

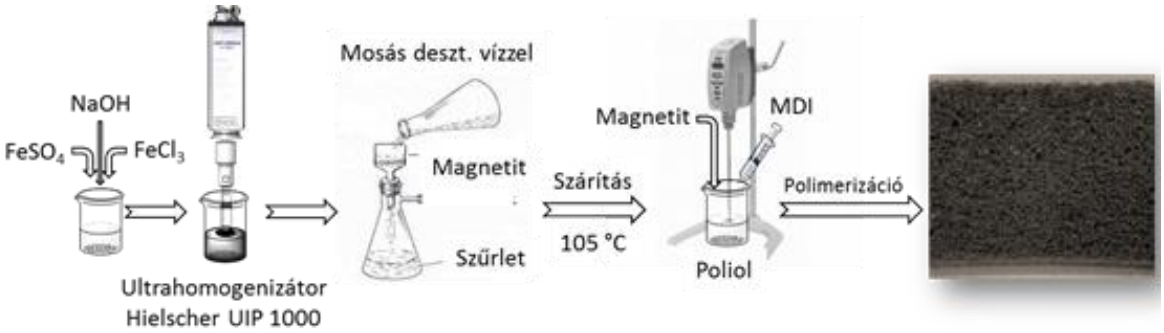
Fourier Transzformációs Infravörös (FTIR) spektroszkópiával is megvizsgáltuk mintáinkat. Az FTIR spektrumok alapján tudtuk alátámasztani az egyes kompozitokban felhasznált adalékok jelenlétét. A mérésekhez Bruker Vertex 70 spektrométert használtunk. A spektrumokat ATR (gyengített teljes reflexiós) feltét alkalmazásával, 600-4000 cm^{-1} hullámszám tartományban vettük fel, 4 cm^{-1} felbontás mellett, 16 s^{-1} pásztázási sebességgel.

2.2. Magnetit/PUR kompozit előállítása

A magnetit előállítását úgy végeztük, hogy 76,5 g $FeSO_4 \times 7H_2O$ és 135,5 g $FeCl_3 \times 6H_2O$ vizes oldatához nátrium-hidroxid oldatot (100 g NaOH/200 ml deszt. víz) adagoltunk állandó keverés mellett, majd ezt ultrahomogenizátor segítségével homogenizáltuk, 10 percen keresztül (*1. ábra*). Az előállított magnetit diszperziót vákuumszűrőn szűrtük, és desztillált vízzel mostuk, az el nem reagált lúg, valamint a melléktermékként keletkezett nátriumsók eltávolítása céljából. A reakció az alábbi reakcióegyenlet alapján játszódott le.

$$Fe^{2+} + 2\ Fe^{3+} + 8\ OH^- \Rightarrow Fe_3O_4 + 4\ H_2O$$

A terméket egy éjszakán keresztül szárítószekrényben szárítottuk 105 °C hőmérsékleten. A száraz magnetitet dörzsmozsárban porítottuk. A magnetitből 12 g-ot adagoltunk 75 g poliolhoz, majd el diszpergáltattunk keverőmotor segítségével, nagy keverési sebesség mellett 42 g metil-difenil-diizocianátot (MDI), majd 10 s ideig kevertettük, ezt követően azonnal kiöntöttük a reakcióelegyet egy alacsony falú polietilén (PE) tálcára, ahol lejátszódott a polimerizáció. Egy nap elteltével a mágneses tulajdonságú PUR habot leválasztottuk az öntőformaként használt tálcáról.

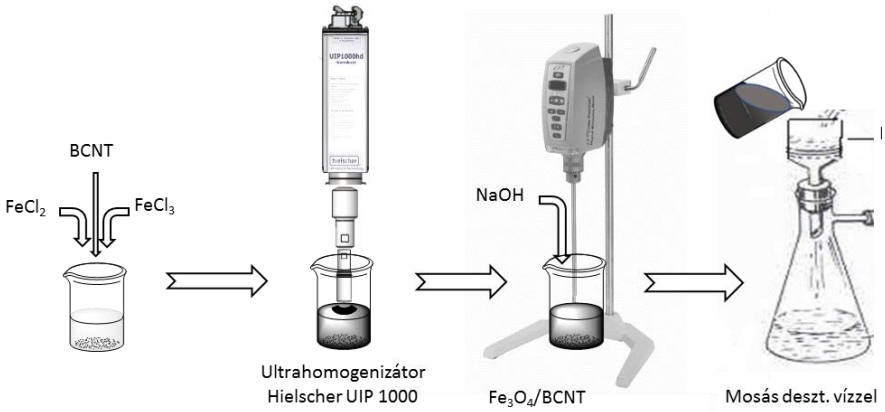


1. *ábra.* A magnetit/PUR kompozit előállításának folyamata

2.3. Magnetit/BCNT kompozit előállítása

A magnetit nanorészecskéket a szén nanocsövek felületén állítottuk elő, oly módon, hogy 7,65 g $FeSO_4 \times 7H_2O$ és 13,55 g $FeCl_3 \times 6H_2O$ vizes oldatában 5g szén nanocsövet oszlattunk szét ultrahomogenizátor segítségével (*2. ábra*). A 10 perc ultrahangos kezelést követően nátrium-hidroxid oldatot (9,9 g NaOH/100 ml deszt. víz) adtunk az elegyhez állandó, intenzív kevertetés mellett. A kevertetést 30 perc elteltével leállítottuk, majd a terméket vákuumszűrőn

leszűrtük és a desztillált vizes mosást követően szárító szekrénybe helyeztük egy éjszakára, 105 °C-ra. A száraz nanokompozitot FTIR és SEM módszerekkel jellemeztük.

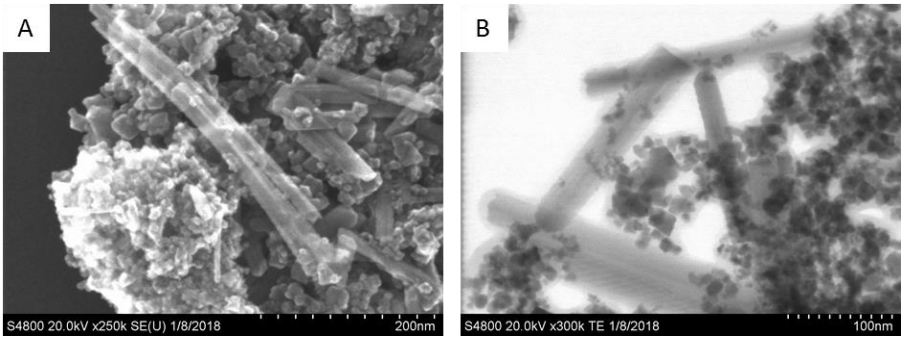


2. ábra. A magnetit/BCNT kompozit előállításának folyamata

3. A MAGNETIT TARTALMÚ KOMPOZITOK JELLEMZÉSE

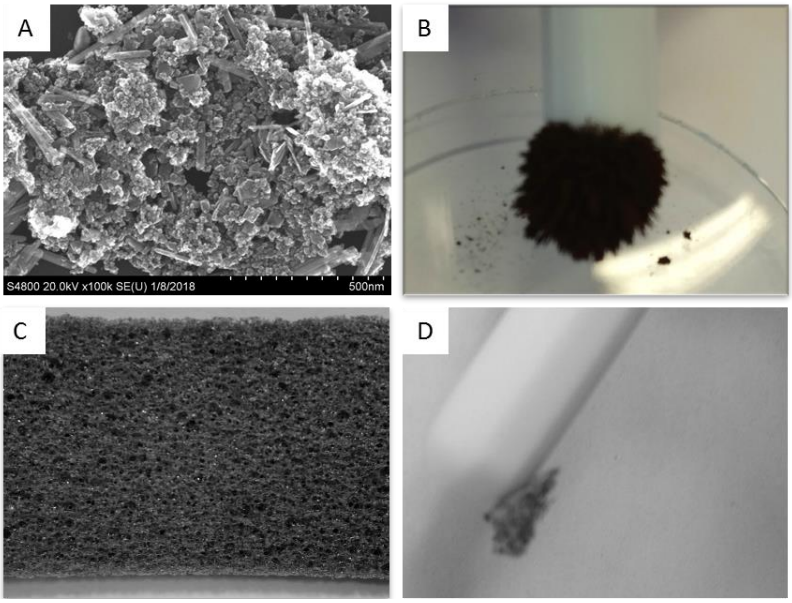
3.1. Magnetit/PUR hab jellemzése

A PUR alapú nanokompozit előállításához készített magnetit nanorészecskék jellemzésére pásztázó elektronmikroszkópiát alkalmaztunk (SEM), amely vizsgálatok során transzmissziós üzemmódban is lehetőség volt felvételeket készíteni (TEM). A SEM és TEM felvételeken jól láthatók a szemcsés megjelenésű részecskék mellett rúd formájú objektumok is, amelyek szintén jellemző kristályformái a magnetitnek (*3. ábra*). A rudak hossza meghaladja a 100 nm-t, míg a magnetit részecskék átmérői 5-40 nm közé tehetők, a TEM felvételek méretskálája alapján.



3. ábra. A magnetit részecskék SEM (A) és TEM (B) felvétele

A magnetit nanorészecskék (*4/A ábra*), mint az elvárható rendelkeznek mágneses tulajdonsággal (*4/B ábra*). A felhasználásukkal készített poliuretán lágyhab, barna színű, a polimerizációs folyamat teljesen végbement, a cellaméretek viszonylag egyenletes eloszlásúak (*4/C ábra*), a hab szintén mágneses tulajdonságokkal rendelkezik (*4/D ábra*).

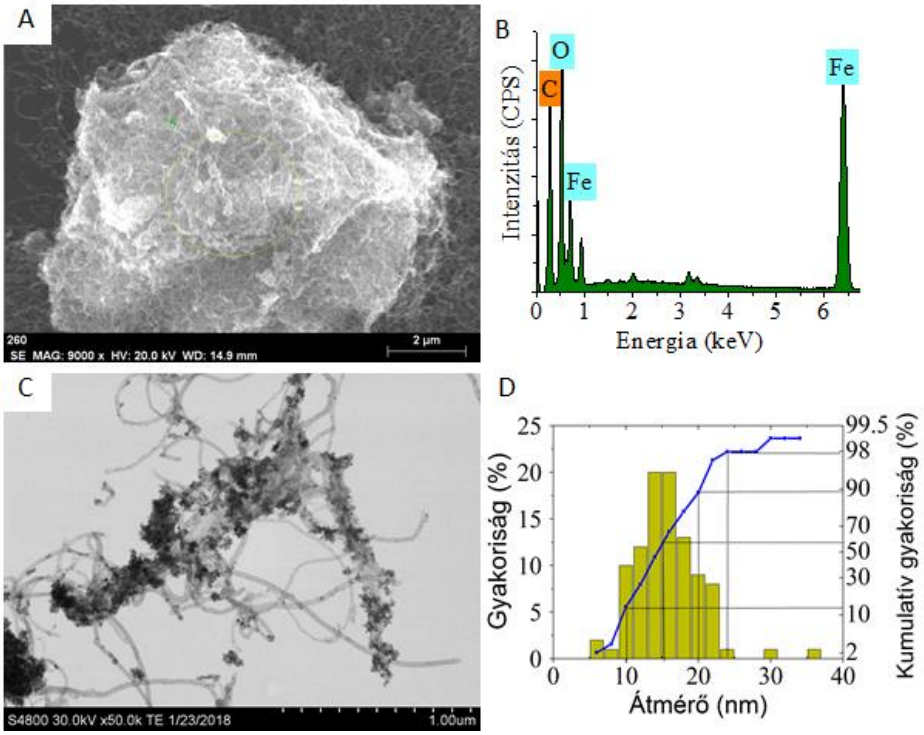


4. ábra. A magnetit részecskék SEM felvétele (A) és mágnesezhetősége (B), a magnetit/PUR hab felvétele (C) és mágnesezhetősége (D)

3.2. Magnetit/BCNT kompozit jellemzése

A kompozitról készült SEM felvételen is látható, a szén nanocsövek szálas szerkezete (*5/A ábra*). A pásztázó elektronmikroszkóp energiadiszperzív röntgenspektrométere lehetővé tette számunkra, hogy a mintáról készült röntgenspektrum segítségével elemösszetétel vizsgálatot végezzünk (*5/B ábra*). Az EDS spektrumon megjelenik nagy intenzitással a vas és az oxigén sáv, amely a vas-oxid jelenlétére utal, a szénre jellemző csúcs a szén nanocsövektől származtatható.

Image J program segítségével méreteloszlás vizsgálatot végeztünk az előállított magnetit nanorészecskéken. A mérések során transzmissziós elektronmikroszkópiás felvételeket használtunk, a méretek kiszámítása pixelarányok alapján történt, a mikrográfon látható méretskálát alapul véve (*5/C ábra*). Az eloszlás diagramon jól látható, hogy a minta heterodiszperz eloszlást mutat (*5/D ábra*). A részecskék jelentős hányada 4 és 25 nm közötti átmérővel rendelkezik. Az átlagos részecskeméret 15,4 nm volt, legkisebb méretű részecske 4,7 nm, a legnagyobb részecskeméret 35,1 nm átmérőt mutatott. A kumulatív eloszlás függvény elemzését követően megállapítható, hogy a részecskék 13 %-a 4-10 nm közötti méretű, a 10-15 nm közötti tartomány a részecskék mennyiségének 45 %-át teszi ki. A részecskék 31 %-a 15-20 nm átmérővel rendelkezik, a 20 és 25 nm közötti frakció a részecskék számának csupán 10 %-a. A mintában megtalálhatók voltak, kis számban (3 %) 30-37 nm közötti mérettel rendelkező részecskék is.

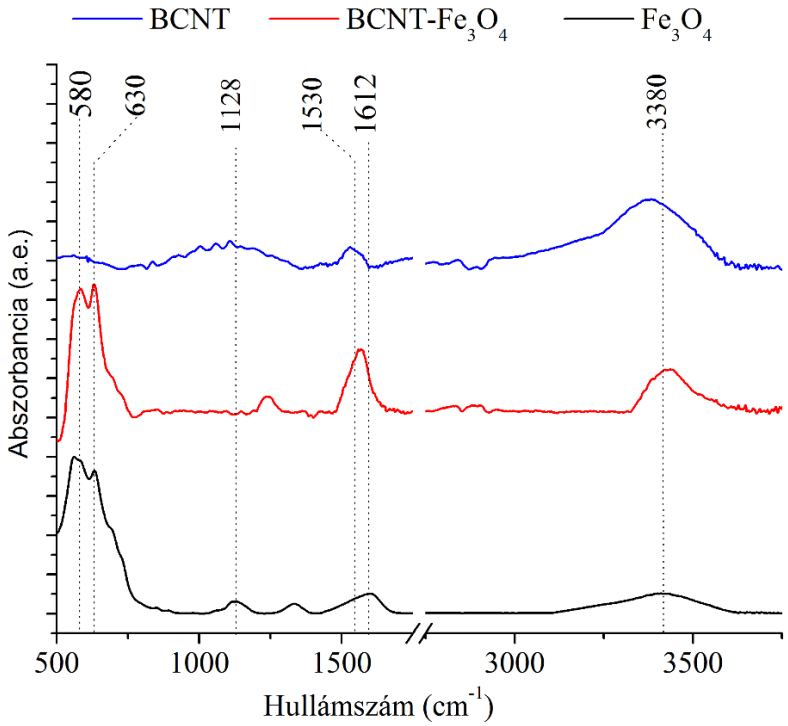


5. ábra. A magnetit/BCNT SEM felvétele (A) és EDX spektruma (B), a magnetit/BCNT TEM felvétele (C) a részecskék méreteloszlása (D)

A nanokompoziton végeztünk infravörös spektroszkópiai vizsgálatokat azért, hogy bizonyítsuk a vas-oxid részecskék jelenlétét a mintában (*6. ábra*). A magnetit spektrumán beazonosítható Fe-O közötti vegyértékrezgés jellemző sávja 630 cm^{-1} hullámszám értéknél. Az 580 inverz centiméternél megjelenő sáv a vas-hidroxid jelenlétére utal. 1128 cm^{-1} hullámszámnál jelentkező sáv a vas-oxid-hidroxid (FeO(OH)) hidroxil csoportjának vegyértékrezgésétől származik. Megtalálható az adszorbeált víz βOH rezgése 1620 cm^{-1} hullámszámnál, az OH csoport deformációs rezgése 3380 cm^{-1} értéknél mutat abszorpciós maximumot.

A BCNT jellemző elnyelési sávjait megtaláljuk 1530 cm^{-1} értéknél, ez a szén nanocsövek vázrezgése (νC=C). A nanocsövek szerkezete bizonyos mértékben oxidálódik a savas tisztítási eljárás során, ezért tartalmaznak hidroxil vagy karboxil csoportokat is. A νC=O rezgés 1107 cm^{-1}-nél mutat elnyelést, a νO-H 3382 cm^{-1} hullámszámnál abszorbeál.

A magnetit-BCNT kompozit spektrumán megtalálhatók a magnetitre és a nanocsőre jellemző sávok. Az 1580 cm^{-1} értéknél látható sáv maximuma nem egyezik meg sem a magnetit, sem a BCNT esetében meghatározott értékekkel. A sávok ilyen jellegű eltolódása a magnetit részecskék és a szén nanocsövek közötti adszorpciós kölcsönhatásokra utal.



6. ábra. A BCNT-Fe_3O_4 kompozit és az összetevők FTIR spektruma

4. ÖSSZEGZÉS

Munkánk során előállítottunk nagy diszperzitásfokú szuperparamágneses nanorészecskéket nagy hatékonyságú ultrahangos kezeléssel kombinált ko-precipitációs eljárással. Az előállított nanorészecskék morfológiai vizsgálatára elektronmikroszkópiát használtunk, és a TEM felvételek jól mutatják, hogy sikerült magnetit nanorudakat is előállítanunk a nanorészecskék mellett. Felhasználva a magnetit nanorészecskéket előállítottunk PUR alapú mágneses nanokompozitokat, illetve szén nanocsöveket kombináltunk magnetittel. A PUR alapú nanokompozitokat elektromágneses zajcsökkentésre lehet felhasználni. A szén nanocsöveken kialakított mágneses nanorészecskékkel olyan mágneses adszorbenst alakítottunk ki, ami alkalmas lehet szerves vegyületek, nehézfémionok eltávolítására. A mágneses tulajdonságú adszorbenst jellemeztük FTIR módszerrel, és megállapítottuk, hogy a szén nanocsövekre jellemző C=C vegyérték rezgési sáv maximumának eltolódása, a magnetit és a szén nanocső közötti kölcsönhatásra utal.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **EUROPEAN COMMISSION HEALTH & CONSUMER PROTECTION DIRECTORATE-GENERAL**: *Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, (SCENIHR),* Directorate C - Public Health and Risk Assessment C7 - Risk assessment. 2006.

[2] **TÓTH, I-Y., VERESS, G., SZEKERES, M., ILLÉS, E., TOMBÁCZ, E.:** *Magnetic hyaluronate hydrogels: preparation and characterization.* Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 380, p. 175-180, 15 April 2015, DOI 10:1016/2014.10.139

[3] **CORNELL, R.M., SCHWERTMANN, U.:** *The Iron Oxides. Structure, Properties, Reactions, Occurrence and Uses.* VCH, Weinheim, 2003, ISBN 3-527-30274-3

[4] **BIGHAM, J.M., FRITZPATRICK, R.W., SCHULZE D.G. IN DIXON, J.B., SCHULZE, D.G. (EDS.):** *Soil Mineralogy with Environmental Applications.* SSSA, Madison, Wisconsin, 2002

[5] **PÁPAY, L.:** *Kristálytani, ásványtani, kőzettani ismeretek.* JATEPress, Szeged,1994, ISBN: 9789634827900

[6] **JUHÁSZNÉ, SZ-A., BAUMLI, P.:** *Vas-oxid nanorészecskék előállítási lehetőségei kloridokból*, Anyagmérnöki tudományok, Volume 37, p.157-164, 2012, ISSN 2063-6784, Támop-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001

[7] **TÓTH, I.:** *Méretvariált magnetit nanorészecskék előállítása és felületmódosítása polianionos védőrétegekkel*, Doktori (Ph.D.) értekezés, Szegedi Tudományegyetem, 2013, Doktori témavezetők: Dr. Tombácz Etelka, Dr. Illés Erzsébet

[8] **FIGUEROLA, A., DI CORATOB, R., MANNAA, L., PELLEGRINO, T**.: *From iron oxide nanoparticles towards advanced iron-based inorganic materials designed for biomedical applications.* Pharmacological Research, Volume 62, p. 126–143, 2010, doi:10.1016/j.phrs.2009.12.012

[9] **KUNZMANN, A., ANDERSSON, B., VOGT C., FELIU, N., YE, F., GABRIELSSO, S., TOPRAK, M. S., BUERKI-THURNHERR, T., LAURENT, S., VAHTER, M., KRUG, H., MUHAMMED, M., SCHEYNIUS, A., FADEEL, B.:** *Efficient internalization of silica-coated iron oxide nanoparticles of different sizes by primary human macrophages and dendritic cells.* Toxicology and Applied Pharmacology, Volume 253, p. 81–93., 2011, DOI: 10.1016/j.taap.2011.03.011

[10] **LEE, H. S., KIM, E. H., SHAO, H., KWAK, B. K.:** *Synthesis of SPIO-chitosan microspheres for MRI-detectable embolotherapy*. Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Volume 293, p. 102–105., 2005, ISSN 2063-2142

[11] **MEIORIN, C., MURACA, D., PIROTA, K., ARANGUREN, M., MOSIEWICKI, M.:** *Nanocomposites with superparamagnetic behavior based on a vegetable oil and magnetite nanoparticles,* European Polymer Journal, Volume 53, p. 90-99., 2014. DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2014.01.018

[12] **SANTOS, L.M., LIGABUE, R., DUMAS, A., LE ROUX, CH., MICOUD, P., MEUNIER, J-F., MARTIN, F., Einloft, S.:** *New magnetic nanocomposites: Polyurethane/ Fe3O4-synthetic talc*, European Polymer Journal, Volume 69, p. 38–49., 2015, DOI 10:1016/j.eurpolymj 2015.05.026

[13] **KARAT, P., ANUVAT, S**.: *Magneto-electro-responsive material based on magnetite nanoparticles/polyurethane composites*, Materials Science and Engineering, Volume 61, p. 312–323., 2016, DOI: 10.1016/j.msec.2015.12.014.

[14] **ABDALLA, A. M., GHOSH, S. AND PURI, I. K.:** *Decorating Carbon Nanotubes with Co-precipitated Magnetite Nanocrystals,* Diamond and Related Materials, Volume 66, p. 90–97, 2016, DOI: 10.1016/j.diamond.2016.04.003.

A GYÖMBÉR KÉT KOMPONENSÉNEK ÚJ SZINTÉZIS LEHETŐSÉGEI

CHEMICAL AND ELECTROCHEMICAL SYNTHESES OF TWO ORGANIC COMPONENTS OF GINGER

KISS Adrienn[1], ZAUER Károly [2]

[1]egyetemi hallgató, adrienn9624@gmail.com
[1]Szerves Kémia és Technológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

[2]egyetemi tanár, szktt-admin@mail.bme.hu
[2]Szerves Kémia és Technológia Tanszék, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Kivonat: *A gyömbérben található két fahéjsav-származék, a zingeron [4-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-2-butanon] és a ferulasav [(E)-3-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-prop-2-énsav] számos kedvező élettani hatással bír. Kísérleteim célja az volt, hogy e két vegyületet új módszerekkel próbáljam szintetizálni. A megtervezett reakciók egy része arra irányult, hogy a dehidrozingeron hidrogénezésével előállítsam a zingeront. A dehidrozingeron viszonylag egyszerűen és jó termeléssel szintetizálható (80%) acetonból és vanillinból. A hidrogénezés történhet vegyszeresen, például cink és ecetsav, vagy magnézium és alkohol reakciójával, valamint elektrokémiai úton és katalitikusan is. A transzfer hidrogénezés ciklohexént hidrogén donorként alkalmazva biztonságosan és kielégítő konverzióval kivitelezhető. A felsorolt reakciókban keletkező termékeknek felvettem az infravörös spektrumát, valamint vékonyréteg kromatográfiával és olvadáspont méréssel vizsgáltam őket.*

Kulcsszavak: *gyömbér, zingeron, ferulasav, transzfer hidrogénezése*

Abstract: *The aim of this work was to synthesize zingerone [4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone] and ferulic acid [(E)-3-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-prop-2-enoic acid], two components of ginger with many beneficial effects. A few of the reactions were based on the hydrogenation of dehydrozingerone [4-(4-Hydroxy-3-methoxyphenyl)-3-buten-2-one] to zingerone. Dehydrozingerone can be synthesized by a relatively simple method from acetone and vanillin with good yield (80%). Hydrogenation can be carried out chemically, for example by the reaction of zinc and acetic acid, or magnesium and ethyl alcohol, or in the presence of cyclohexene, used as hydrogen donor. Another way to complete the reduction is the electrochemical pathway. The electrolysis of dehydrozingerone without diaphragm in aqueous media was attempted to produce ferulic acid in the presence of sodium carbonate and potassium iodide using platinum electrodes. The products of the reactions described above were characterized by infrared spectral data, thin layer chromatography and melting points.*

Keywords: *ginger, zingerone, ferulic acid, transfer hydrogenation*

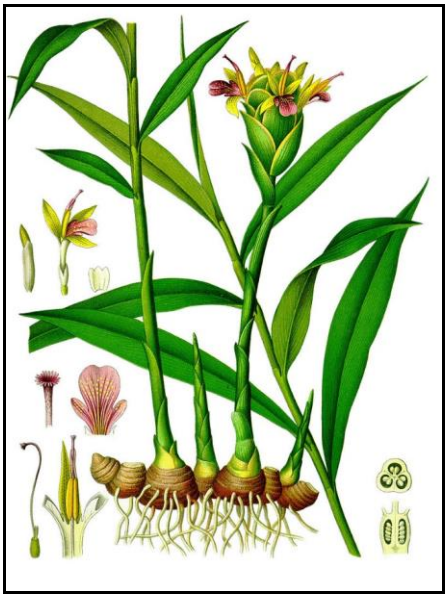
1. BEVEZETÉS

A gyömbér (*Zingiber officinale*) Dél-Kelet Ázsiából származó egyszikű, évelő növény, amelyet világszerte használnak fűszerként, antioxidánsként és gyógyszerként számtalan betegségre. Már évezredekkel ezelőtt megfigyelték és leírták kedvező élettani hatásait.

A gyömbér a középkorban jelentős szerepet játszott a népek közötti fűszerkereskedelemben és népszerűsége a mai napig töretlen. Az Amerikai Egyesült Államokban a húsz leginkább keresett növény közé tartozik, Ausztráliában pedig a második legkelendőbb gyógyhatású növény (becsült éves fogyasztása 550 tonna). [1] [2]

A gyömbérben található számtalan vegyület közül kiemelkedő figyelmet érdemel a zingeron *(4-hidroxi-3-metoxifenil-2-butanon)*, amelyről az utóbbi évek kutatásai során bebizonyosodott, hogy sok kedvező tulajdonsággal rendelkezik. Gyulladáscsökkentő, görcsoldó és hasmenéses betegségek esetén is kiválóan alkalmazható, továbbá szorongásoldó, segít megakadályozni a vérrögök képződését, antimikrobiális tulajdonságokkal rendelkezik és

az Alzheimer kór kialakulásának megelőzésében is szerepet játszhat. [3] A zingeron minimalizálja a lipidek oxidációját, amit alátámaszt az a tény, hogy a vas-aszkorbát által kiváltott lipid peroxidációt gátolja a patkányok agyában [4]. További kísérleti eredmények alapján bizonyították, hogy megvédi a DNS-t az ón-klorid és a hidrogén-peroxid által kiváltott oxidatív károsodástól. [3]



1. ábra. Virágzó gyömbér növény

A ferulasav *((E)-3-(4-hidroxi-3-metoxi-fenil)-prop-2-énsav)* egy másik olyan vegyület a gyömbérben, amely ígéretes tulajdonságokkal bír. Mint számos fenol-származék, a ferulasav is antioxidáns. Állatkísérletek és in vitro kísérletek eredményei alapján feltételezik, hogy közvetlen antitumorális hatása van tüdő- és májrák esetén. [5] [6] Ezen felül hatástalanítja a szabad gyököket, melyek károsíthatják a sejthártyát és a DNS-t, valamint segít védekezni az ibolyántúli sugárzással szemben. Az élelmiszeriparban az oxidáció okozta elszíneződések ellen használják, például a banán barnulásának megakadályozására. Gyakori alkotórésze öregedést lassító, koleszterin- és vérzsír csökkentő étrend-kiegészítő tablettáknak, továbbá menopauza okozta hőhullám elleni készítmények is tartalmazzák. [7]

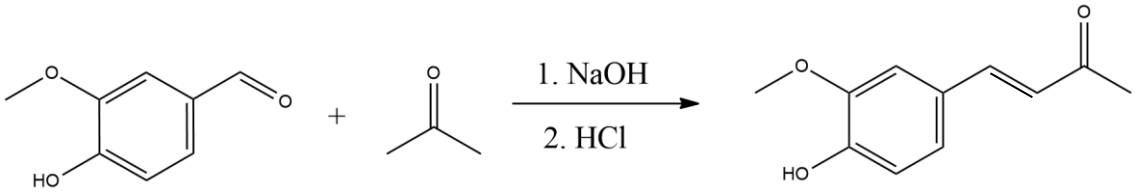
2. CÉLKITŰZÉS

Zingeron előállítása dehidrozingeronból in situ fejlesztett hidrogéngázzal, valamint transzfer hidrogénezéssel. Ferulasav szintézise dehidrozingeronból elektrokémiai úton.

3. AZ ELVÉGZETT KÍSÉRLETEK LEÍRÁSA

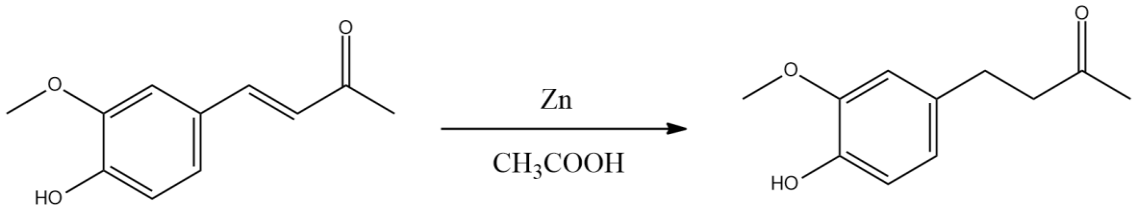
A kísérletekben kiindulási anyagként dehidrozingeront használtunk, amelynek szintézise az alábbi módon történt. *(1. ábra)*

4 g (26,3 mmol) vanillint oldottunk 20 cm^3 (15,7 g, 270 mmol) acetonban, majd hozzáadtunk 1,2 g (30 mmol) mikroszemcsés nátrium-hidroxidot és 12 cm^3 desztillált vizet. Az elegyet szobahőmérsékleten 1 hétig állni hagytuk dugóval lezárt lombikban. Ezután 2 cm^3 (2,1 g, 35 mmol) ecetsavval megsavanyítottuk, 50 cm^3 vízzel hígítottuk. A kivált szilárd anyagot kevés vízzel mostuk, szárítottuk. Termelés: 4,0 g (80%), Op. 129°C.



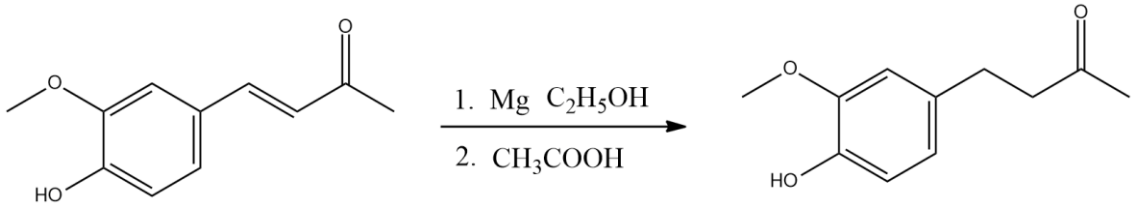
1. ábra. Vanillin és aceton reakciója

Először a szintetizált dehidrozingeront fém és sav reakciójával fejlesztett hidrogén gázzal hidrogéneztük *(2. ábra)*. Bemértünk egy 30 cm^3-es Erlenmeyer-lombikba 1 g (15,3 mmol) cink port, és hozzáadtunk egy-két apró réz-szulfát kristályt, 0,2 g (1,04 mmol) dehidrozingeront, majd 5 cm^3 (5,25 g, 87,4 mmol) 100%-os ecetsavat töltöttünk az elegyhez és kevertetéssel megindítottuk a reakciót. A lombikban apró buborékok képződtek, a gázfejlődés órákkal később is hallható volt. A reakció lejátszódását követően a kristályos cink-acetátot kiszűrtük, a lombik tartalmát bepároltunk, a keletkező termék olvadáspontját megmértük és infravörös spektrumát felvettük. Az eredmények igazolták, hogy a bemért dehidrozingeron (op. 129°C) hidrogénezése sikeres volt, átalakult zingeronná (op. 41°C).



2. ábra. Dehidrozingeron hidrogénezése cink és ecetsav jelenlétében

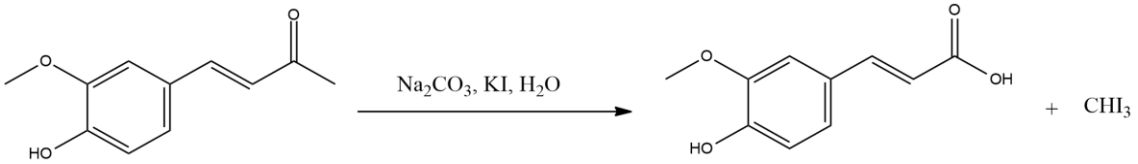
Hasonló módon, in situ állítottunk elő hidrogént magnézium és etanol reakciójával, így átalakítva a dehidrozingeront zingeronná. (3. *ábra)* Egy 30 cm^3-es csiszolatos gömblombikba bemértünk 1 g (41,2 mmol) magnéziumot és hozzáadtunk néhány apró jód kristályt, majd gyengén melegítettük a lombikot, így aktiválva a magnéziumot a jód gőzével. A lombik tartalmához hozzáadtunk még 10 cm^3 (7,89 g, 171,3 mmol) vízmentes etil-alkoholt és 0,33 g (1,7 mmol) dehidrozingeront. Vízfürdőben visszafolyáson forraltuk. A barnás színű elegy fél óra elteltével citromsárga színű lett. További 2 és ½ óra forralás után bepároltuk. A maradékot etil-acetáttal (3x5 cm^3) extraháltuk. Ennek bepárlási maradékának IR-spektruma megegyezett a zingeron spektrumával.



3. ábra. Dehidrozingeron hidrogénezése magnézium és etanol jelenlétében

A dehidrozingeron ferulasavvá alakítását elektrokémiai úton kíséreltük meg *(4. ábra)*. Bemértünk 0,5 g (2,6 mmol) dehidrozingeront, 5 cm^3 5%-os nátrium-karbonát oldatot és 1,3 g (7,8 mmol) kálium-jodidot egy U-alakú üvegcsőbe, amelybe két platina elektród merült. Pici vasmagot tettünk a csőbe, hogy biztosítsuk a reagensek keveredését. A csövet 70-80°C-os meleg vízbe helyeztük, és 3 órán át elektrolizáltunk 6 V feszültséggel. Bepároltuk. Másnap kevés sárga, szilárd anyagot sikerült ebből elkülönítenünk, ami jodoform (op.120 °C) volt.

Savanyítást követően sem sikerült ferulasavat izolálni. Elképzelhető, hogy ennek térszerkezeti okai lehettek.

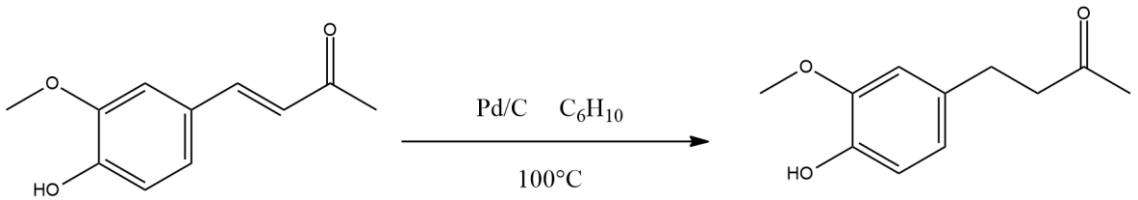


4. ábra. Dehidrozingeron ferulasavvá alakítása elektrokémiai úton

A dehidrozingeron oldalláncán található szén-szén kettős kötés transzfer hidrogénezéssel is telíthető. A katalitikus transzfer hidrogénezés a szerves vegyületek szintézisének egyik legdinamikusabban fejlődő ága. A palackos hidrogén gáz használatával összehasonlítva ez a módszer számtalan előnnyel rendelkezik: kevésbé veszélyes, egyszerűbb eszközök szükségesek hozzá, kivitelezhető atmoszférikus nyomáson és alacsony hőmérsékleten, illetve az alkalmazott katalizátor regenerálható, újra felhasználható. [8]

Egy csiszolatos gömblombikba bemértünk 0,5 g (2,6 mmol) dehidrozingeront, 5 cm^3 (3,95 g, 85,8 mmol) etanolt, 5 cm^3 (4,06 g, 49,4 mmol) ciklohexént, illetve 0,1 g aktív szenes palládiumot (5%). A megtervezett reakcióban a ciklohexén hidrogénforrásként szolgált. *(5. ábra)*

A bemért anyagokat vízfürdőben nyolc órán át visszafolyáson forraltuk. Ezt követően zsugorított üvegszűrőn szűrtük az aktív szenes palládiumot, majd vákuumban bepároltuk a szűrletet.

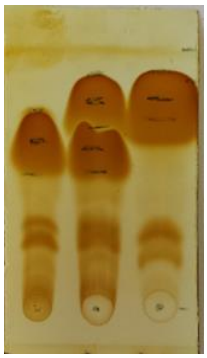


5. ábra. Dehidrozingeron transzfer hidrogénezése ciklohexénnel

Az olajos maradékot vékonyréteg kromatográfiával vizsgáltuk TLC Silica gel $60F_{254}$ (Merck) típusú lapon. A legjobb futtató elegy kloroform és diklórmetán 1:1 arányú elegye volt (*1. táblázat*).

1. táblázat. Retenciós faktorok 1:1 arányú kloroform, diklórmetán elegyben

	R_f dehidrozingeron	R_f 1:1 dehidrozingeron: zingeron	R_f zingeron
Első futtatás	0,59	0,59; 0,83	0,83
Második futtatás	0,74	0,74; 0,91	0,91
Harmadik futtatás	0,77	0,77; 0,92	0,92



6. ábra: Bal oldalon a dehidrozingeron, középen a vizsgált termék, jobb oldalon a zingeron látható (jódgőzben előhívva)

A ciklohexénnel végzett transzfer hidrogénezés termékének vizsgálatakor két folt jelent meg a kromatográfiás lapon, vagyis a dehidrozingeron egy része átalakult zingeronná. A reakciókörülmények optimalizálásával várhatóan jobb átalakítási hatásfok érhető el.

4. AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

(1) Vanillin és aceton kondenzációs reakciójával előállított dehidrozingeront háromféle módon zingeronná alakítottunk.
(2) Ezek cink és ecetsav, valamint magnézium és alkohol reakciójával 'in situ' előállított hidrogén segítségével történtek.
(3) A harmadik módszer transzfer hidrogénezés volt. Ekkor ciklohexént hidrogén donorként alkalmaztunk, aktív szenes palládium katalizátor jelenlétében.
(4) Megkíséreltük elektrokémiai úton a dehidrozingeront ferulasavvá alakítani. E savat nem sikerült izolálnunk, valószínűleg térszerkezeti okok miatt. E reakciót nem írták le eddig.
(5) Terveink között szerepel a transzfer hidrogénezés optimalizált vizsgálata.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **J.-C. CHEN, L.-J. HUANG, S.-L. WU, S.-C. KUO, T.-Y. HO, C.-Y. HSIANG:** *Ginger and its bioactive component inhibit enterotoxigenic Escherichia coli heat-labile enterotoxin-induced diarrhea in mice*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, vol. 55, no. 21, pp. 8390-8397, 2007
[2] **SALVIN, S., BOURKE, M., BYRNE, T., EDS:** *The New Crop Industries Handbook;* Rural Industries Research and Development Corporation, Canberra, Australia, pp 236–243. 2004
[3] **B. AHMAD, M. U. REHMAN, I. AMIN, A. ARIF, S. RASOOL, S. A. BHAT, I. AFZAL, I. HUSSAIN, S. BILAL, M. UR R. MIR:** *A review on pharmacological properties of Zingerone (4-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)-2-butanone,* The Sci. World Journal, Article ID 816364, 6 pages, 2015
[4] **D. V. RAJAKUMAR, M. N. A. RAO:** *Dehydrozingerone and its analogues as inhibitors of nonenzymatic lipid peroxidation*, Pharmazie, vol. 49, no. 7, pp. 516-519, 1994
[5] **L. SAULNIER, J. F. THIBAULT:** *Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxylans*, Journal of the Science of Food and Agriculture. 79 (3): 396–402., 1999
[6] **P. GELINAS, C. MCKINNON:** *Effect of wheat variety, farming site, and bread-baking on total phenolics*, International Journal of Food Science and Technology. 41 (3): 329–332, 2006
[7] **C. ORESAJO, T. STEPHENS, P.D. HINO:** *Protective effects of a topical antioxidant mixture containing vitamin C, ferulic acid, and phloretin against ultraviolet-induced photodamage in human skin*. J Cosmet Dermatol. Dec;7(4):290-7., 2008
[8] **D. WANG, D. ASTRUC:** *The Golden Age of Transfer Hydrogenation*, Chem. Rev., 115 (13), pp. 6621-6686, 2015

KERÉKBEPATTOGÁSI JELENSÉG KIALAKULÁSÁNAK VIZSGÁLATA MEZŐGAZDASÁGI ERŐGÉPEKEN

INVESTIGATION OF WHEEL HOP ON AGRICULTURAL POWER MACHINES

KOVÁCS Zoltán [1], SZEGEDI Attila [2]

[1]PhD, főiskolai docens, zoltan.kovacs@nye.hu
[1]Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

[2] főiskolai adjunktus, szegedi.attila@nye.hu
[2]Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

Kivonat: *Az elmúlt időszakban a gyártók a mezőgazdasági erőgépeken számos új fejlesztést valósítottak meg. Ezek közül ergonómiailag kiemelkedő az aktív rugózású első tengelyek megjelenése. A rugózás ugyanakkor nemcsak a traktor lengéstani viselkedésére van hatással, hanem befolyásolja annak energetikáját is. Nagy vonóerőt igénylő szántóföldi munkák esetén a segédelsőkerék-hajtású traktoroknál gyakran előforduló jelenség a kerékpattogás. Szántóföldi vizsgálatunkban azt tanulmányoztuk, hogy a rugózott első tengely milyen hatással van a jelenség kialakulására. Megállapítottuk, hogy a rugózott első tengelynek köszönhetően a kerékpattogás nem alakul ki, melynek köszönhetően a traktor szerkezetét kisebb lengésgyorsulások érik. Emellett egyenletesebb vonóerőkifejtés és vontatási teljesítmény leadás jellemzi a traktorüzemet.*

Kulcsszavak: *mezőgazdasági erőgép, traktor, rugózott elsőtengely, kerékpattogás*

Abstract: *Over the past few years, manufacturers have implemented many new developments on agricultural machines. Of these, ergonomically prominent are the appearance of front axles with active suspension. Suspension, however, affects not only the swinging behavior of the tractor but also influences its energy. In the case of arable land work requiring high traction power, the phenomenon frequently encountered in mechanical front wheel drive tractors the wheel hop. In our field investigation we have studied how the suspended front axle has an effect on the phenomenon. We have found that due to the suspended front axle, the whhel hop does not develop. Due to this, smaller acceleration are affecting the structure of tractor. In addition, the operation of tractor are characterized by a smooth traction effort and traction power output.*

Keywords: *agricultural power machine, tractor, suspended front axle, wheel hop*

1. ELŐZMÉNYEK

Az utóbbi években a világ meghatározó mezőgazdasági traktorgyártói számos műszaki fejlesztést hajtottak végre erőgépeiken, melyek közé tartozik az első tengely rugózásának megoldása is. Az elsőtengely-rugózás különböző műszaki megoldásait ma már több traktorgyár is alkalmazza a sorozatban gyártott traktorain alapfelszereltségként vagy opcióként. A gyártók szerint a rugózott első híd alkalmazásával nemcsak a vezetés komfortja javul, hanem az első kerekek állandó talajon tartásának köszönhetően a talajmunkáknál megnő az erőgép által kifejthető vonóerő, csökken a szlip, valamint az országúton közlekedve növekszik a traktor stabilitása.

A rugózott első tengely alkalmazása a merev tengelyes megoldáshoz képest megváltoztatja a traktor lengésjelenségeit. Az eddigi kutatások és vizsgálatok elsősorban a komfortfokozat javulásával, a vezetőfülkére és a vezetőre ható lengésgyorsulások és lengések vizsgálatával foglalkoztak. Kevés figyelem hárult a vontatási és energetikai jellemzők tanulmányozására és tisztázására.

A segédelsőkerék-hajtású traktorok további problémája az ún. kerékpattogási (wheel hop) vagy másnéven teljesítmény-ugrálási (power hop) jelenség kialakulása. Ez a jelenség rendszerint nagy vonóerő-kifejtés és adott haladási sebesség esetén alakul ki és jelentős mértékben rontja a traktor vontatási jellemzőit, továbbá növeli az egyes szerkezeti részek dinamikus igénybevételét. A témában eddig megjelent publikációk és elérhető egyéb források nem foglalkoznak elég részletesen a jelenség tanulmányozásával és annak elemzésével.

A traktorok lengésjelenségeinek vizsgálata általában összetett feladatot jelent, mivel a jármű terepen történő mozgásakor bonyolult lengéstani folyamatok játszódnak le. A fellépő lengések – melyeket a talajprofil egyenetlenségei gerjesztenek – befolyásolják a traktor energiamérlegét is. Ezen túlmenően a járművezetőre ható lengésgyorsulások olyan értéket is elérhetnek, amely számára már elviselhetetlenné válik, így – bár szerkezeti szempontból lehetőség lenne az adott sebesség tartására – a kezelő csökkenteni kényszerül a jármű sebességét.

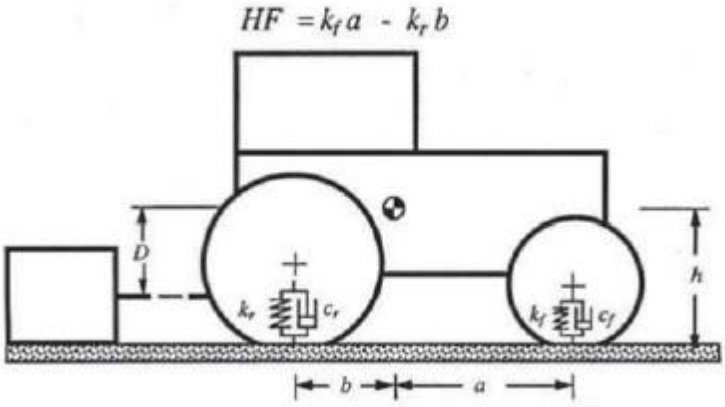
A „power hop” – a nemzetközi szakirodalomban szokás még „wheel hop”-nak is nevezni – vagy a hazai szakirodalomban „teljesítmény-ugrálás”-nak nevezett jelenség a segédelsőkerék- és a négykerék-hajtású traktorok problémája. Először az 1960-as években figyeltek fel rá, amikor a traktorokat radiál abroncsokkal kezdték szerelni. A jelenség lényege, hogy adott talaj- és vontatási viszonyok esetén a traktor első tengelye függőleges lengésbe jön. Majd a lengések egyre erősödnek, végül az egész traktor „pattogni” kezd. Ez mind a komfortérzet, mind a vontatási jellemzők, mind pedig a dinamikus igénybevételek szempontjából kedvezőtlen. A jelenség tehát már ismert volt a kutatók és a felhasználók szempontjából egyaránt, de mélyreható elemzése sokáig nem történt meg. Számos kutató foglalkozott a „power hop” csökkentés lehetőségének vizsgálatával. DESSEVRE [1] megállapította, hogy a jelenség gyakrabban alakul ki abban az esetben, ha a talaj száraz, valamint ha a traktor tárcsát vagy lazítót vontat. Továbbá analitikus modellt dolgozott ki, és gyakorlati mérésekkel igazolta azt.

A kialakulás okának vizsgálatában kiemelkedő szerepet töltött be ZOZ [5], TURNER [3], valamint WILLEY és TURNER [4]. ZOZ elsősorban a kialakulás okát kereste: melyek azok a jellemzők, amelyek a jelenség bekövetkezését eredményezik. Megállapítása szerint a gumiabroncsok merevsége és a súlypont távolsága a tengelyektől döntő hatással van a jelenség kialakulására. WILLEY és TURNER a „power hop” kialakulásával kapcsolatban kétdimenziós modellt és függvénykapcsolatot állapított meg a traktor geometriai súlypontja és a gumiabroncs merevsége között rugalmatlan pályán (pl. beton vagy kövezett út). Ezt szemlélteti az *1. ábra.* Ezek alapján a következő megállapításokat tették: amennyiben a HF értéke nagyobb, mint nulla, a traktor nem jön lengésbe, illetve a létrejövő lengések elnyelődnek. Ez a megállapítás azonban csak merev pálya (pl. beton- vagy kövezett út) esetén áll fenn. Továbbá rámutattak arra is, hogy talajon (pl. tarlón) történő munkavégzés során a jelenség gyakrabban alakul ki nagyobb sebesség és magas teljesítményszinten történő üzemeltetés során.

Ismeretes, hogy terepen történő mozgás során a járműre lengések hatnak. A kialakuló lengések sztochasztikusak és járulékos igénybevételt jelentenek a járműre nézve. A lengési viszonyok az utazás sebességétől és a gerjesztő útprofiltól függenek. A lengések ezen túlmenően a dinamikus keréknyomások változásán keresztül a jármű haladásának biztonságát is csökkentik.

Az univerzális mezőgazdasági traktorok lengésvizsgálatát először ergonómiai szempontból vizsgálták meg az 1960-70-es években. Ennek eredményeként a rugózott traktorülések számos variációját fejlesztették ki és alkalmazzák ma is. A lengések vontatási jellemzőkre gyakorolt hatásának vizsgálata csak később kezdődött meg, és lényegében csak a rugózatlan kerék-felfüggesztésű traktorokat érintette. A rugózott elsőtengellyel rendelkező traktorok

vontatási jellemzőinek mélyreható vizsgálata mindezidáig nem történt meg.



1. ábra. Vázlat a „power hop” jelenség kialakulásának tanulmányozásához
HF – Hop Function; k_r – hátsó gumiabroncs merevsége; k_f – első gumiabroncs merevsége; c_r – hátsó gumiabroncs rugóállandója; c_f – első gumiabroncs rugóállandója; *a* – az első tengely és a súlypont távolsága; *b* – a hátsó tengely és a súlypont távolsága; *h* – a súlypont magassága; *D* – a vontatási pont és a súlypont távolsága
Forrás: TURNER (2008) nyomán

A hazai kutatók közül SZENTE et al. [2] szántóföldi vizsgálataik során megállapították, hogy a New Holland TM165 típusú, rugózott első híddal szerelt traktor vonóképessége 3-5 %-kal javult (ugyanolyan szlipérték mellett) bekapcsolt első híd rugózás esetén. Továbbá kimutatták azt is, hogy a traktor lengései rugózott első híd alkalmazásával csillapítottabbak, javult a vezetés kényelme, és csökkent a traktor igénybevétele is.

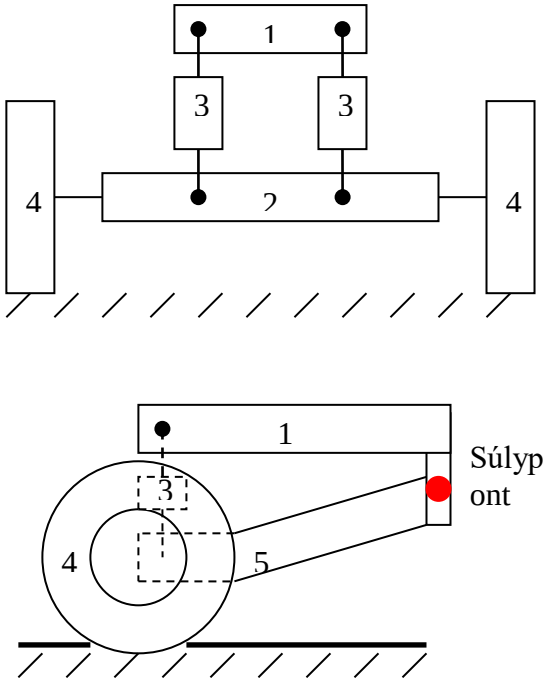
2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálati célok realizálása érdekében szabadföldi vizsgálatokat végeztem. A vizsgálatok bolygatatlan, enyhén (3-5 %) lejtős ugaroltatott területen történtek. A szabadföldi traktorvizsgálatok alapja minden esetben vontatási kísérlet volt. A kísérleteket egy JOHN DEERE 6920S típusú traktorral végeztem el. A traktor elsőkerék kormányzású, segédelsőkerék-hajtású kivitelben készült. Az erőgép főbb műszaki adatai, melyek a vontatási vizsgálat szempontjából figyelembe veendők, az *1. táblázatban* találhatóak. A megfogalmazott célkitűzéseknek megfelelően olyan traktorra volt szükségem, mely rendelkezik elsőtengely-rugózással, de a merev kapcsolódás vizsgálata érdekében az ki is kapcsolható. Ennek megfelelően a kísérleti paraméterek bekapcsolt (aktív) és kikapcsolt (inaktív) rugózás mellett is vizsgálhatóak.

A vizsgált traktort a gyártó rugózott első híddal látta el, mely a TLS (Triple Link Suspension) fantázianevet viseli. A TLS-rendszer felépítésének lényege, hogy a merev kialakítású első híd két hidraulikus működésű munkahenger segítségével kapcsolódik a traktor alvázához. A munkahengerek egy vezérlőtömbön keresztül három darab hidroakkumulátorhoz kapcsolódnak, így egy zárt hidro-pneumatikus rendszert képeznek, mely folyamatosan bekapcsolt (aktív) rugózást biztosít. A rendszer egyszerűsített vázlata a *2. ábrán* látható.

1.táblázat. A JOHN DEERE 6920S típusú erőgép főbb műszaki paraméterei

Műszaki paraméter	**Mértékegység**	**Méret**
Hosszúság	mm	5815 (pótsúlyokkal)
Tengelytávolság	mm	2650
Nyomtáv az első/hátsó tengelyen	mm	1412 – 2087/1319-2311
Vonófej bekötési magassága	mm	850
Saját tömeg (pótsúlyok nélkül)	kg	5600
Saját tömeg megoszlása első/hátsó teng.	%	41/59
Pótsúlyozás elől/hátul	kg	2290/3420
Névleges teljesítmény	[kW/min^{-1}]	110/2100
Nyomatékváltó rendszer	-	elektrohidraulikus vezérlésű, csoportonként terhelés alatt kapcsolható (power shift)
Kerékfelfüggesztés módja	-	Elöl: merev, rugózott híd Hátul: merev, rugózatlan híd
Gumiabroncsok	-	Elöl: TAURUS 14.9 R28 Hátul: TAURUS 520/70 R38



2. ábra. A rugózott első híd kialakításának vázlata
1 – alváz; 2 – merev első híd; 3 – hidro-pneumatikus munkahenger; 4 – első kerék; 5 - hajtásház

A kísérletet állandó traktor össztömeg (7860 kg) mellett két különböző statikus tengelyterhelés-beállítás mellett végeztem el (elsőtengely-terhelés aránya 45,8 % és 38,7 %) három sebességfokozatban (A1=3,8 km/h, B1=5,5 km/h, B2=6,3 km/h). A vonóerő-terhelést egy egyedi kialakítású fékező kocsi segítségével hoztam létre, mely egy átalakított MAZ 537 típusú rakéta- és harckocsi vontató jármű volt.

A vizsgálat módszere a következő volt:

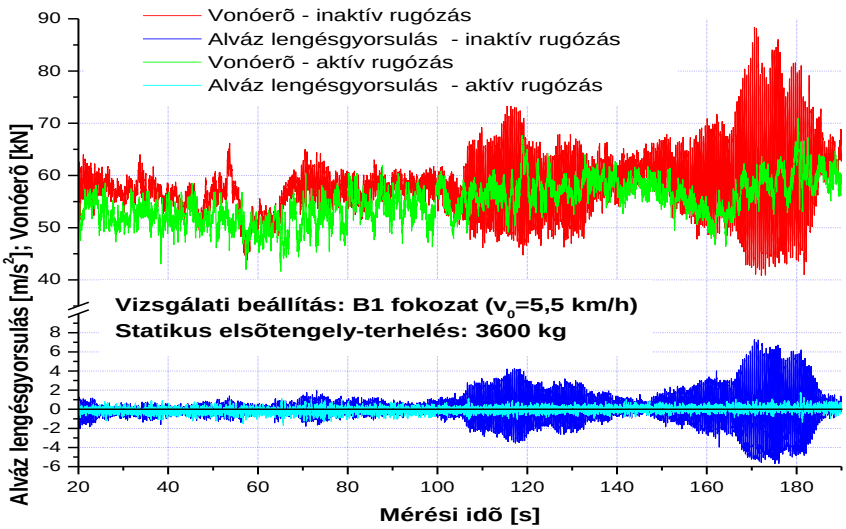
- Beállítottam és ellenőriztem a traktor össztömegét, valamint a gumiabroncs légnyomását, illetve a méréssorozatnak megfelelő tengelyterhelését;

- A méréssorozatnak megfelelő sebességfokozat, illetve az elsőtengely-rugózás kiválasztása (aktív vagy inaktív állapot) után elindultam a traktorral;
- Az indulást követően a gázkart minden kísérleti beállításnál úgy állítottam be, hogy a motor fordulatszáma 2250 min^{-1} legyen;
- A traktor menetsebességének és motorfordulatának stabilizálódása után növelni kezdtem a vonóerő-terhelést;
- A vonóerő-terhelést addig növeltem, amíg vagy létrejött a kerékpattogás (wheel hop) vagy a szlip értéke elérte a 75-80 %-ot;
- A mérés során a mintavételi frekvenciát 100 Hz-re állítottam be, és a teljes mérést rögzítettem (nulla vonóerőtől a mérés befejezéséig);
- Mivel egy adott kísérleti beállításnál mért adatsor hossza 350-500 s között változott (ez 35.000-50.000 adatsort jelentett), ezért az adatfeldolgozás és értékelés során a vonóerő-terhelés felfutását és lecsengését a mérési adatokból kiszűrtem;
- Az egyes vizsgálati beállításoknál a teljes adatsorból négy db 20 s hosszú szakaszt jelöltem ki. A kijelölés alapja az volt, hogy az egyes szakaszokban kialakuló átlagos vonóerők az aktív és inaktív elsőtengely-rugózásnál szakaszonként azonosak vagy közel azonosak legyenek.

3. EREDMÉNYEK

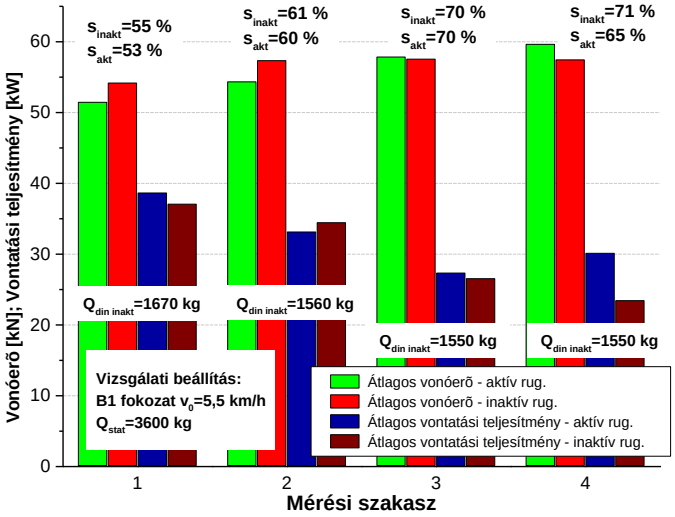
Minden kísérleti beállítás során – a szántóföldi körülmények nyújtotta lehetőségek határán belül – azonos lépcsőkben, fokozatosan terheltem a traktort. A vizsgálat során nyert adatokat az alábbi módon dolgoztam fel:

- az adott mérési beállítás során felvett teljes adatsort ábrázoltam, majd az adatsor elejéről és végéről „levágtam” azt a részt, amelynél a terhelés felfutása és lefutása történt;
- az így kapott adatsorokat megvizsgáltam, majd az aktív és inaktív rugózás során az azonos kísérleti beállításoknál nyert adatokat „egymásra illesztettem” *(3. ábra)*;
- az azonos – illetve közel azonos – átlagos vonóerők alapján a teljes adatsorból négy mérési szakaszt jelöltem ki a részletesebb elemzés céljából;
- meghatároztam az egyes mérési szakaszok átlagos vonóerő- és vontatási teljesítmény-értékeit, majd ezeket oszlopdiagramon ábrázoltam az egyértelműbb összehasonlíthatóság érdekében *(4. ábra)*;



3. ábra. A vonóerő és az alváz-lengésgyorsulások alakulása a mérési időtartam során

A *3. ábrán* jól nyomon követhető, hogy bár látszólag az aktív és inaktív rugózás során kifejtett átlagos vonóerő közel azonos, az ingadozás mértéke azonban jelentősen nagyobb inaktív rugózáskor. Ha az alváz lengésgyorsulás-értékeinek alakulását vizsgáljuk, akkor látható, hogy aktív rugózáskor a teljes mérési szakaszban azonos mértékű lengések alakulnak ki. Ezzel szemben inaktív rugózás esetén jelentős mértékű lengésamplitúdók jönnek létre a vizsgált beállítások mellett a 100-120, illetve 150-170 másodperc intervallumok között. Ezekben a mérési intervallumokban az első kerekek, illetve a traktor is „pattog”, azaz létrejön a teljesítmény-ugrálásnak nevezett jelenség.

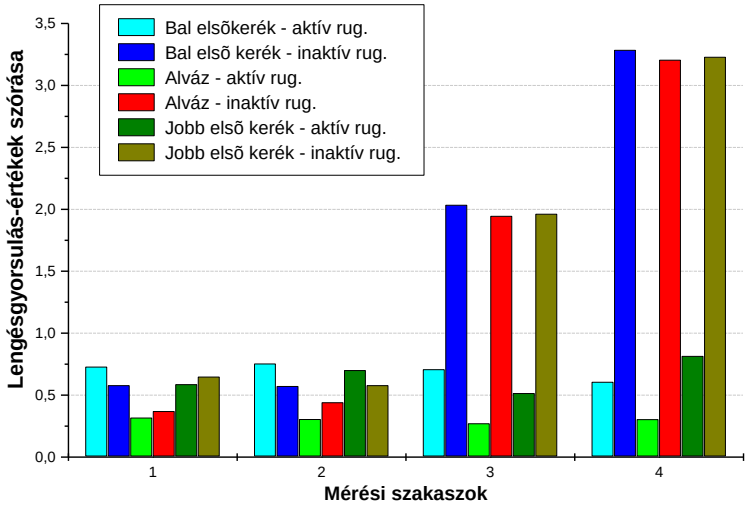


4. ábra. Az egyes szakaszok átlagos vonóerő- és lengésgyorsulás-értékei aktív és inaktív rugózás esetén

Azoknál a vizsgálati beállításoknál, amikor az elsőtengely-rugózás aktív állapotban volt, a szántóföldi kísérletek során nem tudtunk létrehozni olyan vonóerő-terhelést, amelynél a traktor „pattogott” volna. Az első tengely hidro-pneumatikus rugózása elnyelte a talajprofil okozta gerjesztőerők és a szabadlengések által együttesen kialakuló lengéseket, vagyis nem jött létre rezonancia. Ezzel szemben inaktív rugózás során minden vizsgált kísérleti beállítás mellett létre tudtunk hozni olyan terhelést, amelynél kialakult a fent nevezett probléma. Mivel inaktív rugózáskor az alváz és az elsőtengely között lényegében nincs rugózás és csillapítás, így a traktorra ható gerjesztőerők és a szabadlengések felerősítik egymást. Ez adott körülmények között azt eredményezi, hogy kialakul a „teljesítmény-ugrálás”.

A 4. *ábrán* a 3. *ábrán* látható vizsgálati eredményekből kijelölt négy – egyenként 20 másodperc hosszúságú – mérési szakasz átlagos vonóerő és vontatási teljesítmény-értékeit láthatjuk. A négy kijelölt mérési szakasz a következő volt: 1) 40-60 s-ig; 2) 70-90 s-ig; 3) 100-120 s-ig; 4) 150-170 s-ig. A szakaszok kijelölése során a fő alapelv az volt, hogy az egyes szakaszokon belül az átlagos vonóerők egyezzenek meg. Ezek alapján látható, hogy átlagos vonóerők aktív és inaktív elsőtengely-rugózás során közel azonosak, azonban a vontatási teljesítmények – a kialakult különböző szlip-értékek miatt – eltérőek. Az átlagos vonóerő-kifejtés alapján tehát azt mondhatjuk, hogy az egyes mérési szakaszokban az aktív és inaktív rugózás között nem mutatkozik lényegi különbség.

Ez azonban félrevezető lehet, ugyanis az átlagos értékek önmagukban nem érzékeltetik a vonóerő, illetve a vontatási teljesítmény dinamikáját, vagyis az ingadozás mértékét. Az egyes kijelölt szakaszok részletes tanulmányozása alapján megállapítható, hogy az alváz lengésgyorsulás-értékeinek ingadozása aktív elsőtengely-rugózás esetén nem mutat jelentős változást. Ugyanakkor inaktív rugózás esetén – főként a 3. és 4. szakasznál – az ingadozás jelentős mértékű. Ezeknél a szakaszoknál az alváz lengésgyorsulás-értékek és a pillanatnyi vonóerő ingadozása párhuzamosan alakul ki. A 3. és 4. szakasznál létrejött a „kerékpattogás", vagyis a teljesítmény-ugrálás, a vonóerő-értékek ingadozása így jelentőssé válik. Ha mindeközben megvizsgáljuk az alváz, valamint a bal és a jobb első kerekek lengésgyorsulás-értékeinek szórását ezekben a mérési szakaszokban *(5. ábra)*, akkor azt látjuk, hogy a szórásértékek alakulása alátámasztja a fentebb leírtakat.



5. ábra. Az alváz, valamint a bal és a jobb első kerekek lengésgyorsulás-értékeinek szórása a mérési szakaszokban

Az *5. ábra* adatai szerint mind a négy vizsgált szakaszban az alváz lengésgyorsulásainak szórása a kerekekhez képest kisebb. Ezen belül ugyanakkor minden esetben aktív rugózásnál alakul ki a legkisebb szórás-érték az alvázon. Fontos eredmény, hogy bár az 1. szakaszban a bal, a 2. szakaszban pedig mindkét első kerék lengésgyorsulásainak szórása inaktív rugózás esetén kisebb, mint aktív rugózásnál, az alvázon létrejövő lengések mégis csillapítottabbak. Az aktív rugózásnál a keréken mért nagyobb szórás-értékek kialakulása a talaj jelentősebb egyenetlenségeinek köszönhető.

Az alváz lengésgyorsulás-értékeinek szórása aktív rugózás esetén a bal első keréken kialakuló lengésgyorsulások szórás-értékének mintegy 38,5 – 50,3 %-a közötti. Ugyanez az arány a jobb kerék és az alváz lengésgyorsulás-értékeinek szórása között 37,5 – 54,3 %. Ez tehát azt jelenti, hogy a rugózás a keréken kialakuló lengések szórás-értékét mintegy a felére vagy az alá csökkenti. Inaktív elsőtengely-rugózásnál ugyanakkor a csökkenés lényegesen kisebb mértékű: a bal első kerékhez viszonyítva 64,1 – 97,6 % az alváz lengésgyorsulás-értékeinek szórása, míg a jobb első kerékhez képest 57,2 – 99,3 %

Ez pedig számottevően rontja a traktor energiamérlegét, mivel a nagyobb lengések nagyobb veszteséget eredményeznek. A vonóerő-ingadozás növekedése mindezeken túl a traktor egyes szerkezeti részeit, valamint a gépkezelőt is jelentős igénybevételnek teszi ki.

Ezek az eredmények egyértelműen alátámasztják és megerősítik a korábbi fejezetekben

leírtakat, mely szerint az aktív elsőtengely-rugózás alkalmazása csökkenti a lengésgyorsulásokat, azaz kisebb amplitúdójú lengések alakulnak ki a traktor alvázán. Ennek köszönhetően a vonóerő-értékek ingadozása is kisebb mértékű lesz, azaz a traktor egyenletesebb teljesítmény leadására lesz képes.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **DESSEVRE, D.:** Tractor and implement configuration for reducing power hop. *ASABE Annual International Meeting, 2008, Paper No. 084833*

[2] **SZENTE, M. et al.:** A rugózott mellső híd hatása a New Holland TM165 traktor vontatási jellemzőire. *Mezőgazdasági Technika,* 42 (1), 2001, 2-4 p.

[3] **TURNER, R. J.:** Power hop. What else do we need to learn? *Resource.* 2008 July, 10-13. p.

[4] **WILLEY, J. C. – TURNER, R. J.:** Power hop instability of tractors. *Distinguished Lecture # 32 of ASABE,* 2008, 913C0108.

[5] **ZOZ, F. M.:** The cause of power hop. *ASAE Annual Meeting,* 2008, Paper No. 071110

SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG MEGYE ENERGIAFOGYASZTÁSBÓL EREDŐ ÜHG KIBOCSÁTÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

DETERMINATION OF GREENHOUSE GAS VOLUME IN SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG COUNTY CAUSED BY ENERGY CONSUMPTION

KOVÁCS Zoltán [1], KALMÁR Imre [2], LAJTOS István[3], SIKOLYA László[4], SZILÁGYI Attila[5]

[1]főiskolai docens, PhD, zoltan.kovacs@nye.hu
[1]Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, Nyíregyházi Egyetem

[2] főiskolai tanár, kalmar.imre@nye.hu
[2]Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, Nyíregyházi Egyetem

[3] műszaki oktató, lajtos.istvan@nye.hu
[3]Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, Nyíregyházi Egyetem

[4] főiskolai tanár, sikolya.laszlo@nye.hu
[4]Közlekedéstudományi és Infotechnológiai Tanszék, Nyíregyházi Egyetem

[5] tanársegéd, szilagyi.attila@nye.hu
[5]Jármű- és Mezőgazdasági Géptani Tanszék, , Nyíregyházi Egyetem

Kivonat: *A klímakutatók többsége szerint az utóbbi mintegy 200 évben tapasztalható globális felmelegedés okozói az emberi tevékenység által a légkörbe kerülő többlet üvegházhatású gázok (ÜHG). Szabolcs-Szatmár-Bereg Megye Önkormányzata ennek megfelelően már 2012-ben elindította a közép- és hosszútávú tervező-fejlesztő munkát. Ennek célja a megye fenntartható, környezettudatos fejlődésének, a vidéki élet megtartásának, a természeti erőforrások megőrzésének, valamint a táji és építészeti értékek megóvásának biztosítása. Ennek eredményeként 2018 tavaszára elkészült a megye klímastratégiája, melynek fontos lépése volt a megyei ÜHG leltár elkészítése. Az ÜHG leltár készítése során a Klímabarát Települések Szövetségének módszertani útmutatója alapján jártunk el. Ebben a dolgozatban az energiafogyasztásból származó ÜHG kibocsátás megyei értékeit adjuk közre. Összefoglalásképpen megállapítható, hogy az energiafogyasztás felel a megyei ÜHG kibocsátás mintegy 60 %-áért.*

Kulcsszavak: *üvegházhatású gázok;ÜHG; energiafogyasztás; megyei klímastratégia*

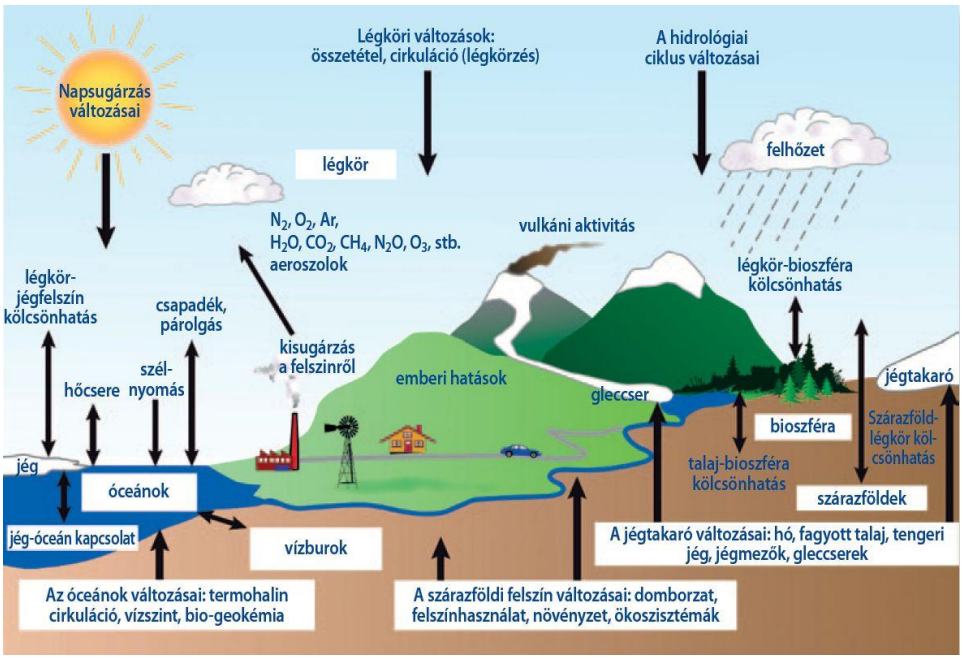
Abstract: *According the majority of climate researchers the global warming of past 200 years is caused by the surplus greenhouse gases (GHG) in the atmosphere. County of Szabolcs-Szatmár-Bereg, accordingly, started mid- and long-term planning and development work in 2012. The purpose of this is to ensure the sustainable, environmentally conscious development of the county, the preservation of rural life, the preservation of natural resources, and the preservation of landscape and architectural values.* As *a result of this the county's Climate Strategy was completed in the spring of 2018. It was an important step to make inventory of county greenhouse gas. During the making the inventory, we used the methodology guide of the Association of Climatefriendly Settlements. This paper includes the county values of GHG emissions from energy consumption. In summary, it can be stated that energy consumption is responsible for about 60 of the GHG emissions in the county.*

Keywords: *greenhouse gas; GHG; energy consumption; county climate strategy*

1. ELŐZMÉNYEK

A hétköznapi szóhasználatban a klímaváltozás ma már mindennapossá vált. Általánosságban a kifejezés alatt az emberi tevékenység következtében a Föld éghajlatában megfigyelhető változást, valamint a gyorsuló ütemű globális felmelegedést értjük. A

klímaváltozás okozta negatív hatások Szabolcs-Szatmár-Bereg megyét az országos átlaghoz képest nagyobb mértékben érik. Az évi középhőmérséklet az ország ezen részében nőtt a legintenzívebben az elmúlt évtizedekben [4]. Az utóbbi mintegy 200 évben tapasztalható globális felmelegedés okozói, - a legtöbb klímakutató szerint, - az emberi tevékenység által a légkörbe kerülő többlet üvegházhatású gázok (ÜHG) [1]. A legjelentősebbek üvegházhatású gázok: a vízgőz, a szén-dioxid, a metán, a dinitrogén-oxid, a troposzférikus ózon [3]. A Föld hőháztartása egy igen bonyolult és sokszorosan összetett rendszeren alapszik, ahol a légkör, a világtengerek, a jégtakarók, a litoszféra és az élővilág folyamatos egymásra hatása alakítja a klímát *(1. ábra)*. A rendszer egyes elemeiben beálló változások pl. ÜHG-k mennyiségének a növekedése a pillanatnyi „egyensúly” felborulásához vezet.



1. ábra. Az éghajlati rendszer elemei és legfontosabb kölcsönhatásai
Forrás: http://www.met.hu, OMSZ Numerikus Modellező és Éghajlat-dinamikai Osztály

2. SZABOLCS-SZATMÁR-BEREG MEGYE ENERGIAELLÁTÁSA

Szabolcs-Szatmár-Bereg megye energiaforrások tekintetében döntően import forrásokból látja el szükségleteit. A fosszilis energiahordozók tekintetében működő kőszén-bányával nem rendelkezik, földgáz és kőolaj-kitermelés nem folyik a megye területén [2]. A földgáz-felhasználás forrása elsődlegesen Oroszországból érkezik.

A megújuló energiaforrásokat tekintve igen változatos a felhasználási források köre. Vízenergia hasznosítás területén kiemelendő az 1959-től üzemelő tiszalöki vízerőmű (12,9 MW). Az erőmű területén napelemes rendszer található. A megye legnagyobb erőműve a Nyíregyházi Kombinált Ciklusú Erőmű (48 MW), mely földgáz-fogyasztású. A megye területén több biogáz előállító telep található. Mezőgazdasági alapú Nyírbátorban, illetve Nyírtelek mellett. Szennyvíz alapú Nyíregyházán a II. szennyvíztelep területén működik. Utóbbi energiatermelése döntően saját felhasználású (mind a hő- és villamos energia). Távhő rendszerek földgáz fogyasztású gázmotorokkal üzemelnek, melyek villamos energiát és hőenergiát (nyáron hűtést is) állítanak elő (Nyíregyházi Egyetem: 2 MW, Nyíregyháza Örökösföld). A LEGO gázturbinás egysége 7,5 MW. Biobrikett és biopellet előállító üzem több helyen működik a megyében. Bioüzemanyag-előállító üzem jelenleg nem működik a

megyében. Szilárd biomassza energiaforrást felhasználó erőmű a szakolyi, mely villamos energiát állít elő kombinált ciklus nélkül.

A geotermikus energia felhasználása elsősorban gyógyászati (balneológiai) célú. A megye területén 38 termálkút található, melyből 12 kút hőmérséklete legalább 50 ^{o}C. A legmagasabb hőmérsékletű termálkút 67 ^{o}C-os, mely Tiszavasváriban található. Az üzemben lévő kutak uszodákat, strandokat és gyógyfürdőket látnak el termálvízzel. A geotermikus energia távhő formájában nem hasznosított. Szélerőmű a megye területén nem található. Kisebb szélerőgépek és vízszivattyúzásra alkalmas szélerőgépek azonban működnek a lakossági és a mezőgazdasági szektorban. Napelemes erőművek száma az utóbbi években megnövekedett. Pl: Nyíregyházi Egyetem (0,367 MW).

Az energia-szállító hálózat két jelentős része a villamos és a földgáz-szállító vezeték rendszer. A villamos energia átviteli hálózat 750, 400 és 220 kV-os vezetéke halad át a megye területén Ukrajna felöl Debrecen, illetve Sajószöged irányába.

Szabolcs-Szatmár-Bereg megye fosszilis tüzelőanyag-felhasználású erőműveinek száma 9, amelyek földgáz alapúak. E mellett 5 biogáz és 1 depóniagáz felhasználású erőmű és 1 vízerőmű működik (megújuló energiaforrású erőművek). A beépített teljesítőképesség földgáz alapú erőműveknél 96,5 MW, biogáz és depóniagáz alapú erőműveknél összesen 6,4 MW. A tiszalöki vízerőmű vízgazdálkodási és víztisztasági szerepe is fontos: a Keleti-főcsatorna révén az öntözés lehetősége biztosított a megye keleti területén, a folyóba bekerült szennyeződések az erőmű előtt kiemelésre kerülnek, ezáltal a folyó alsó szakaszán már ez nem érzékelhető.

3. EREDMÉNYEK

3.1.A megye felhasznált villamos energia mennyisége és CO_2 kibocsátása

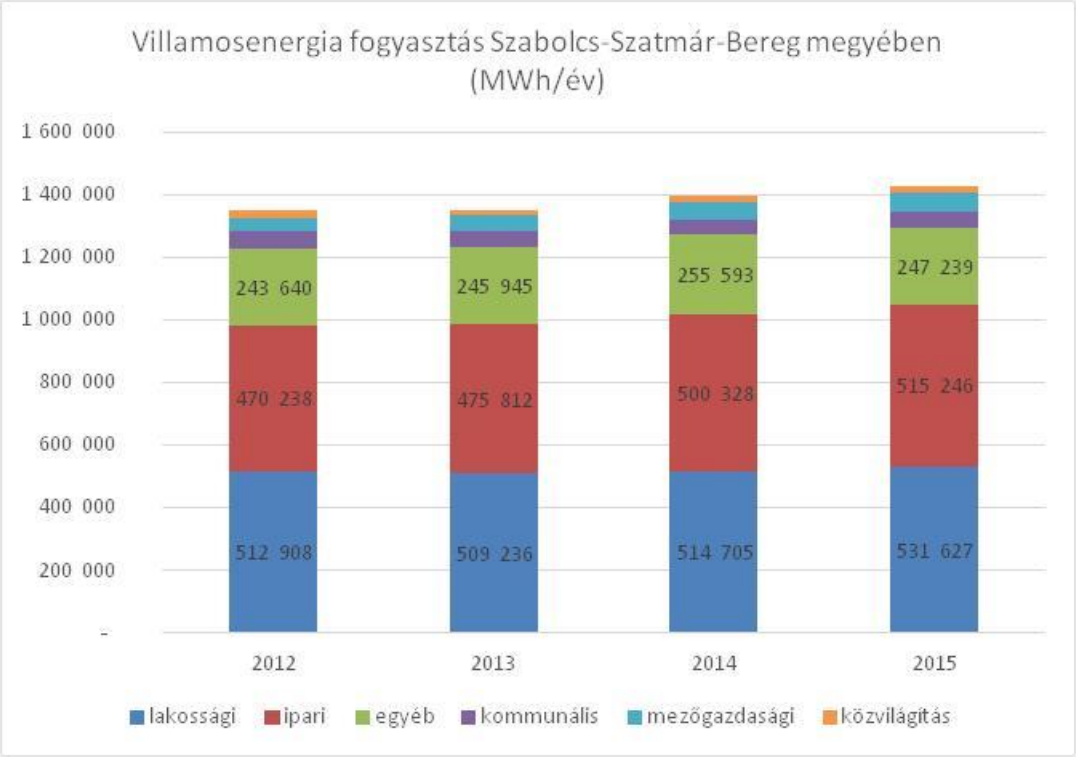
A megye villamos energia fogyasztása 2015-ben 1.424.631 MWh volt, mely kommunális, lakossági, közvilágítási, ipari, mezőgazdasági és egyéb célra történt. A villamos energia fogyasztás legnagyobb hányadát a lakossági és az ipari fogyasztás tette ki, számszerűleg 531.627 MWh és 515.246 MWh. A villamos energia felhasználás összességében növekvő mértéket mutat. A 2012. évi fogyasztási adatokhoz képest 5,7 %-os növekedés jellemzi 2015-ig a villamos energia szektort. A villamos energia fogyasztás növekedési tendenciája a lakossági (+3,6 %) és az ipari (+9,5%) adatokon is látható a vizsgált időszakban. Jelentős mértékű villamos energia fogyasztás növekedés figyelhető meg a mezőgazdasági területen is. 2012-2015 között 31,5 %-kal növekedett az energiafogyasztás mértéke ebben a szegmensben *(2. ábra)*.

Az *1. táblázat* az egyes szektorok konkrét villamos energia felhasználásának mennyiségét mutatja be. A fajlagos adatok jól mutatják, hogy - bár a megye lakossága 2012-2015 között mintegy 3.000 fővel csökkent - az egy főre jutó fogyasztás mindemellett emelkedett.

1. táblázat. A szolgáltatott villamos energia mennyisége Szabolcs-Szatmár-Bereg-megyében 2012-2015 között (MWh)

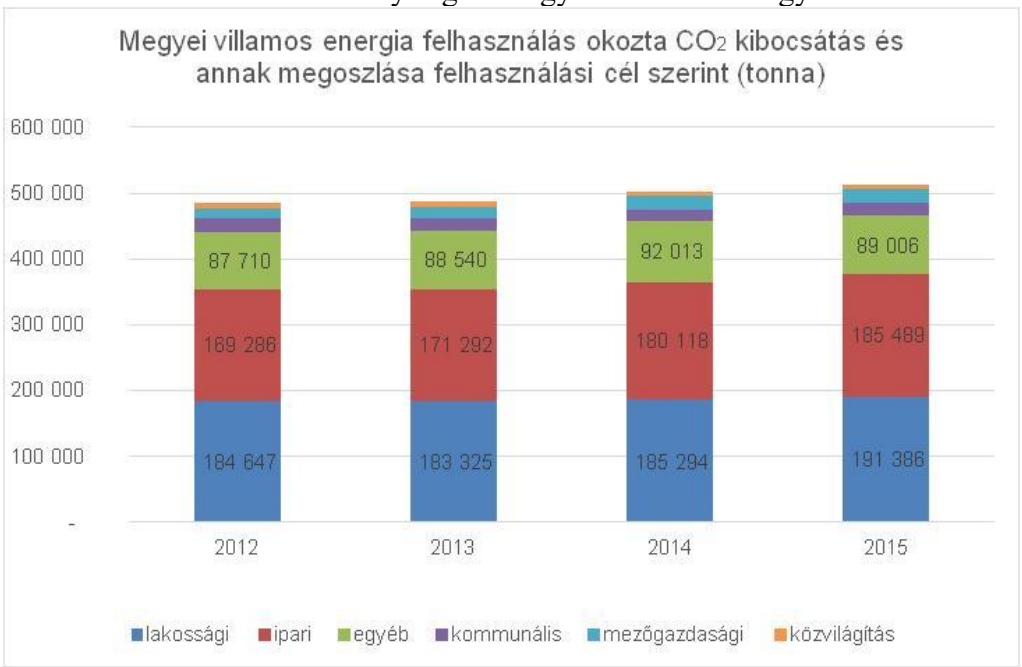
Év	Összesen	Lakosság részére	Egy főre jutó szolgáltatott villamos energia	Kommunális célra	Közvilágítási célra	Ipari célra	Mezőgaz-dasági célra	Egyéb célra
2012	1.347.592	512.908	0,907	54.992	21.284	470.238	44.530	243.640
2013	1.352.015	509.236	0,903	53.132	19.707	475.812	48.183	245.945
2014	1.394.500	514.705	0,916	50.092	19.139	500.328	54.643	255.593
2015	1.424.631	531.627	0,945	51.516	20.411	515.246	58.592	247.239

Forrás: KSH adatszolgáltatás alapján



2. ábra. Szabolcs-Szatmár-Bereg megye villamosenergia felhasználása
Forrás: KSH adatszolgáltatás alapján szerkesztve

A villamos energia előállítása során keletkező szén-dioxid kibocsátása a *3. ábrán* látható. Ezen értékek a fogyasztásnak megfelelően növekvő tendenciát mutatnak. Csökkenés akkor várható, ha az országos villamos energia előállítási forrásoldal részarányában a megújuló energiaforrások és az atomenergia részaránya növekedni fog. A villamos energia-termelés által kibocsátott szén-dioxid mennyiségének egy része nem a megye területéhez kötődik.

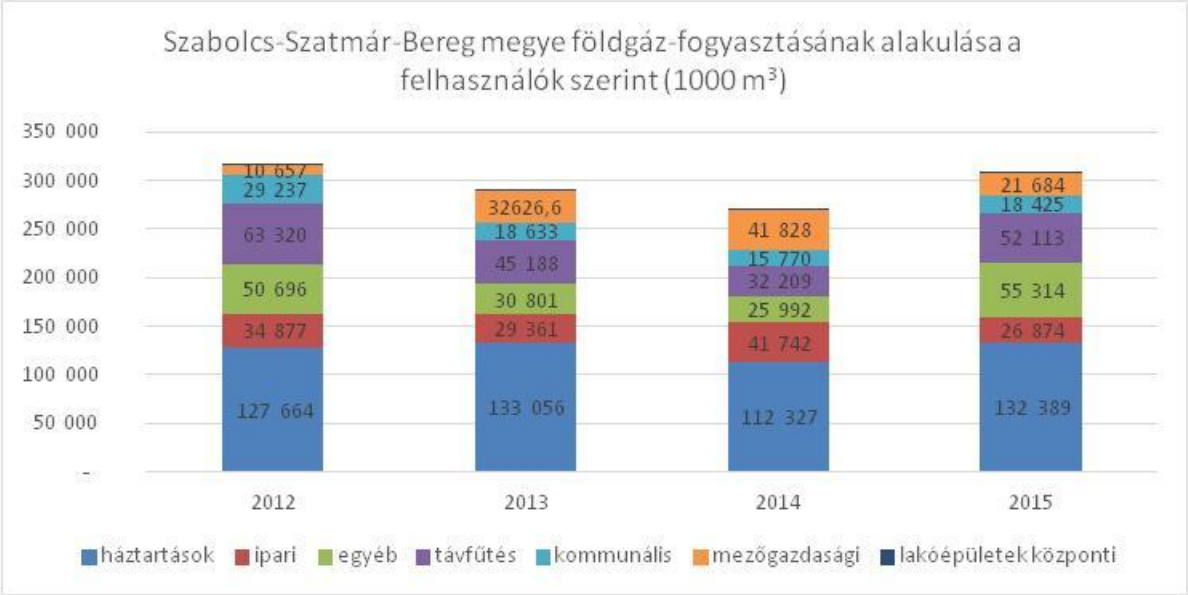


3. ábra. A megyei villamosenergia felhasználás szén-dioxid kibocsátása

Az egyes szektorok hozzájárulása a szén-dioxid kibocsátáshoz egyenesen arányos az általuk felhasznált energia mennyiséggel. Az adatok alapján kijelenthető, hogy a lakossági és az ipari szektor együttesen a kibocsátás közel 3/4-éért felelős (73 %). Az összes többi szektor osztozik a teljes CO_2-kibocsátás 26-27 %-án.

3.2. A földgáz-fogyasztás mennyisége és CO_2 kibocsátása

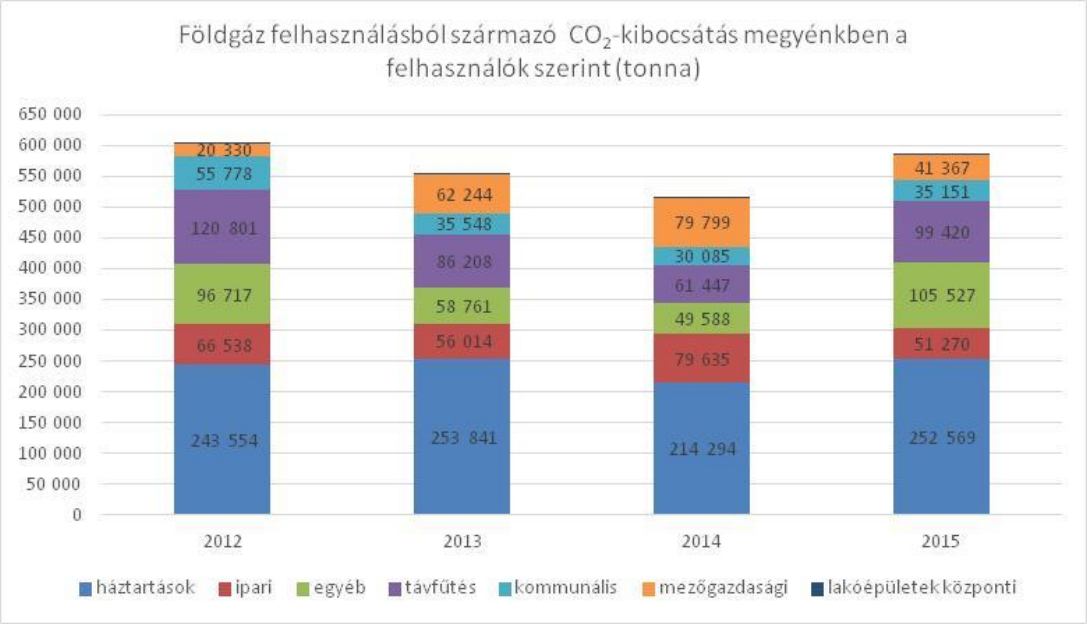
A vezetékes földgáz felhasználásának fogyasztók szerinti megyei megoszlásának alakulását a *4. ábra* szemlélteti. A felhasznált mennyiség megyei szinten a következő fogyasztók közt oszlik meg: háztartások, lakóépületek központi kazánjai, kommunális ellátás, távfűtést ellátó vállalkozások, ipari felhasználás, mezőgazdasági és egyéb célú felhasználás. A lakossági fogyasztás adja a felhasznált mennyiségen belül a legnagyobb arányt. Bár ebben a szegmensben változó tendencia látszik, mely összefüggésben van a külső hőmérséklet változásával. A második legnagyobb felhasználói kör az ipar, amely esetében egy csökkenő tendencia figyelhető meg. Az egyéb felhasználói kör esetében is egy változó fogyasztás figyelhető meg, míg a távfűtési célú fogyasztás változása szintén a téli időszak hőmérséklet-változásával van szinkronban.



4. ábra. Szabolcs-Szatmár-Bereg megye összesített földgáz felhasználása
Forrás: KSH adatok alapján szerkesztve

A felhasznált földgáz mennyisége alapján meghatározható a keletkező szén-dioxid mennyisége, melynek alakulását összesítve évenkénti bontásban az 5. ábra mutatja. A földgáz-felhasználás során keletkező szén-dioxid kibocsátásánál 2012 és 2014 között csökkenés tapasztalható, amely értelemszerűen a fogyasztással arányos. A 2015. évben ugyanakkor egy emelkedés figyelhető meg. A fosszilis energiahordozók közül a földgáz nevezhető a legtisztábbnak, melynek tökéletes égése során szén-dioxid és vízgőz jut a légkörbe.

A villamos energia és földgáz felhasználásból származó szén-dioxid kibocsátás elemzése alapján megállapítható, hogy a két szektor hasonló nagyságrendű ÜHG kibocsátással rendelkezik.



5. ábra. Földgázfelhasználásból származó szén-dioxid kibocsátás megyénkben

3.3. Lakossági tűzifa- és szénfogyasztás mennyisége és CO_2 kibocsátása

A lakossági fűtés két közkedvelt energiaforrása a tűzifa és a szén, melyek döntően a falvakban és a kisvárosokban használatosak. Előbbi megújuló energiaforrásnak számít, hiszen felhasználása karbon semlegesnek minősül, utóbbi fosszilis energiahordozó. Mindkettő előnye, hogy egy biztonságos energiatárolást jelent a fűteni vágyóknak, a betárolt készlet energiabiztonságot jelent a fűtési időszakra. A tűzifa esetén fontos az időben történő tárolás megoldása, ami a fa megfelelő szárazságtartalmát biztosíthatja, mely hatással van a tökéletes égésre és a megfelelő hőérték átadására.

A frissen kivágott fához képest a szárított tűzifa fűtőértéke a kétszerese, szárazságtartalma a negyede lehet. A megfelelően kiszárított szilárd biomassza felhasználása tüzeléstechnikai szempontból is kedvező, mivel könnyen begyújtható, egyenletesen és tökéletesen ég el. Ezáltal a füstgáz emissziós értékei javulnak. 2011-ben Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében a becsült lakossági tűzifa-felhasználás 477.740 tonna, a szén-felhasználás 10.385 tonna volt. Ez energetikailag 2.654.133 MWh és 56.080 MWh hőértéknek felel meg éves szinten. Átlagosan egy lakás évi tűzifa-fogyasztása 5,356 tonna, szén-fogyasztása 3,194 tonna volt. A megyei szén-dioxid kibocsátás értéke 40.478,4 tonna volt.

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **GYETVAI, G.**: *Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz egy példatelepülésen,* 2016

[2] **GÖŐZ, L.**: *Szabolcs-Szatmár-Bereg megye természeti erőforrásai*, Nyíregyháza, 1999

[3] *Módszertani útmutató megyei klímastratégiák kidolgozásához*, Klímabarát Települések Szövetsége

[4] **TAKSZ, L.:** *Módszertani útmutató megyei klímastratégiák kidolgozásához 2017*, Magyar Földtani és Geofizikai Intézet Nemzeti Alkalmazkodási Központ

A NEM ENGEDÉLYKÖTELES, MEGÚJULÓ ENERGIÁT HASZNOSÍTÓ KISERŐMŰVEK TERÜLETI ELHELYEZKEDÉSE MAGYARORSZÁGON

THE TERRITORIAL LOCATION OF THE NON SUBJECT TO AUTHORIZATION, RENEWABLE ENERGY RECOVERY SMALL POWER PLANTS IN HUNGARY

KULCSÁR Balázs

Ph.D., egyetemi docens, kulcsarb@eng.unideb.hu
Műszaki Alaptárgyi Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A magyar villamosenergia-rendszer által megkülönböztetett erőmű kategóriák közül, a 0,5 MW alatti teljesítmény kategóriában 152 erőmű létesült 2016 év végéig, melyek vizsgálatát két szempont szerint végeztük: egyrészt az erőművek elhelyezkedését a földrajzi térben, azaz a megújulóenergia-termelés decentralizáltságának mértékét, másrészt az adott település területén létesített kiserőmű a település villamosenergia-igényének mekkora hányadát képes kielégíteni, azaz mekkora a település energia-önellátási szintje.*

Kulcsszavak: *megújuló energia, önellátó település, kiserőmű, Magyarország*

Abstract: *In the Hungarian electricity system 152 small power plants have been established in the category of under 0.5 MW electric power plants till the end of 2016. More of these power plants operate with renewable energy sources. We made these investigations in two respects: Firstly, we condescended the location and decentralization of the power plants. For the second time, we investigated the degree of self-sufficiency of the settlements, where the small power plants located.*

Keywords: *renewable energy, self-sufficient settlement, small power plant, Hungary*

1. BEVEZETÉS

Az emberiség jelenlegi – vagy az eddigihez hasonló – életmódjának fenntartása érdekében végre kell hajtani az energiaváltás folyamatát, melynek során törekedni kell az energiaigények teljes mértékben megújuló forrásból való kielégítésére. Ennek megvalósítása a földrajzi tér minden szintjén kívánatos, az egyéntől kiindulva a lokális és regionális téren át a globális szintézisig [1]. Az energiaigények 100%-ának megújuló forrásból történő fedezése nemzeti szinten már 1975-ben felmerült Dánia esetében [2], majd ezt további elméletek [3] és szoftveres modellek követték világszerte [4]. Magyarországon az első számítógépes modellezés az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékén készült [5]. Az energiaváltás melletti első kormányzati kötelezettségvállalás 1998-ban Izland részéről történt, majd a „Marakesh Vision”-ban teljesedett ki [6], ahol több – tegyük hozzá, a klímaváltozás negatív hatásainak leginkább kitett – állam vállalta energiarendszerének megújuló alapokra helyezését.

Települési szinten az egyik legkorábbi, de mindenképpen kiemelkedő példa a bajor Wildpoldsried település volt, ahol a német megújuló energia törvény [7] megszületését követően a település a teljes – villamos energia, hőenergia és közlekedési energia – ellátását megújuló alapokra kívánta helyezni, a helyben elérhető erőforrásokra támaszkodva [8]. E példát további települések követték a falvaktól a nagyvárosokig.

Kérdés azonban, hogy a 100%-ban megújuló forrásokat használó település e célt hogyan éri el. Mi számít a település érdemének, például a villamosenergia-igényét a lokális megújuló adottságok kihasználásával, a helyi közösség beruházásában, decentralizáltan valósítja meg, mint a már említett Wildpoldsried, vagy a megújuló energia egy részét megvásárolja, mint a

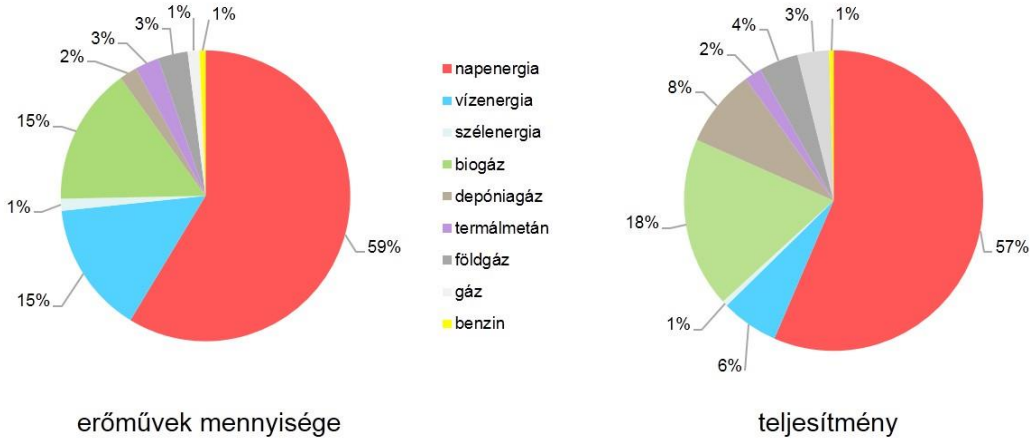
Colorado állambeli Aspen [9]. Az is kérdés, hogy a település területén lévő megújuló energiaforrást használó erőmű mekkora méretig számolható el a település villamosenergia-igényének kielégítésénél. Ide számít e az „idegen" befektetéssel és üzemeltetéssel működő, megújuló energiát használó erőmű, ami regionális vagy országos hálózatra termel, mint például a Las Vegas területén működő Hoover-gát és a Nevada Solar One, vagy Magyarországon a visontai Mátrai Erőmű Zrt. 15 MW-os naperőműve, amely a település éves villamosenergia-igényének 242%-át elégíti így ki.

Mivel a szakirodalom, egyenlőre nem ad e kérdésre egyértelmű választ, a vizsgálataink során önkényesen, a település területén létesített erőművi egység által termelt – jelen esetben – villamos energiát, a település villamosenergia-igényének kielégítésénél figyelembe vettük. A magyarországi villamosenergia-rendszerben megkülönböztetett erőmű kategóriák közül, a 2016. december 31-ig létesített 0,5 MW alatti teljesítményű, nem engedélyköteles, nem háztartási méretű kiserőműveket vizsgáltuk két szempont alapján: egyrészt azok területi elhelyezkedését, másrészt az adott település területén létesített kiserőmű a település villamosenergia-igényének mekkora hányadát képes kielégíteni, azaz mekkora a település energia-önellátási szintje.

2. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

A magyar villamosenergia-rendszerben, az erőművek teljesítőképessége szerint a Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. (MAVIR) az alábbi erőmű kategóriákat különbözteti meg. Alapvetően különbséget tesz az 50 MW alatti kiserőművek, valamint az 50 MW és azt meghaladó teljesítőképességű nagyerőművek között. Az 50 MW alatti kategóriában megkülönböztet 0,5-50 MW közötti, 50 kW-0,5 MW közötti, valamint 50 kW alatti teljesítő képességű kiserőműveket [10]. A villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény [11], valamint annak végrehajtásáról szóló 273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet [12], 2008. január 1-től vezette be a 0,5 MW alatti beépített villamos teljesítőképességű kiserőmű, valamint az 50 kVA (50 kW) alatti teljesítményű háztartási méretű kiserőmű (HMKE) fogalmát.

A nem HMKE kategóriába tartozó, nem engedélyköteles, 50 kW és 0,5 MW közötti beépített teljesítőképességű kiserőművek száma 2016. december 31-ig elérte a 152 db-ot, melyek összes beépített teljesítőképessége 43,67 MW volt. A felhasznált energiahordozók széles spektrumot ölelnek fel, melyek között megújuló és fosszilis energiaforrások is megjelennek. A megújulók termelik e kategóriában a villamos energia többségét, mely áram elsősorban nap-, szél- és vízenergiából, biogázból és depóniagázból származik. A fosszilis energiahordozók csekély mértékben, de megjelennek e kiserőművek között, itt elsősorban a földgáz, termálmetán, egyéb gáz és a benzin üzemű erőművek termelnek [13].



1. ábra. A 0,5 MW alatti, nem engedélyköteles, nem háztartási méretű kiserőművek adatai (2016) [13]

Az erőművek közel 60%-a naperőmű, melyet a biogáz és vízerőművek követnek 15-15%-kal. A teljesítmény vonatkozásában is a naperőművek állnak az élen a kategória beépített teljesítményének 57%-ával, majd ezt a biogáz erőművek követik 18%-os teljesítmény részaránnyal. Jelentős hányadot tesz ki még az energiamixből a depóniagáz (8%), valamint a vízenergia is (6%) (*1. ábra*).

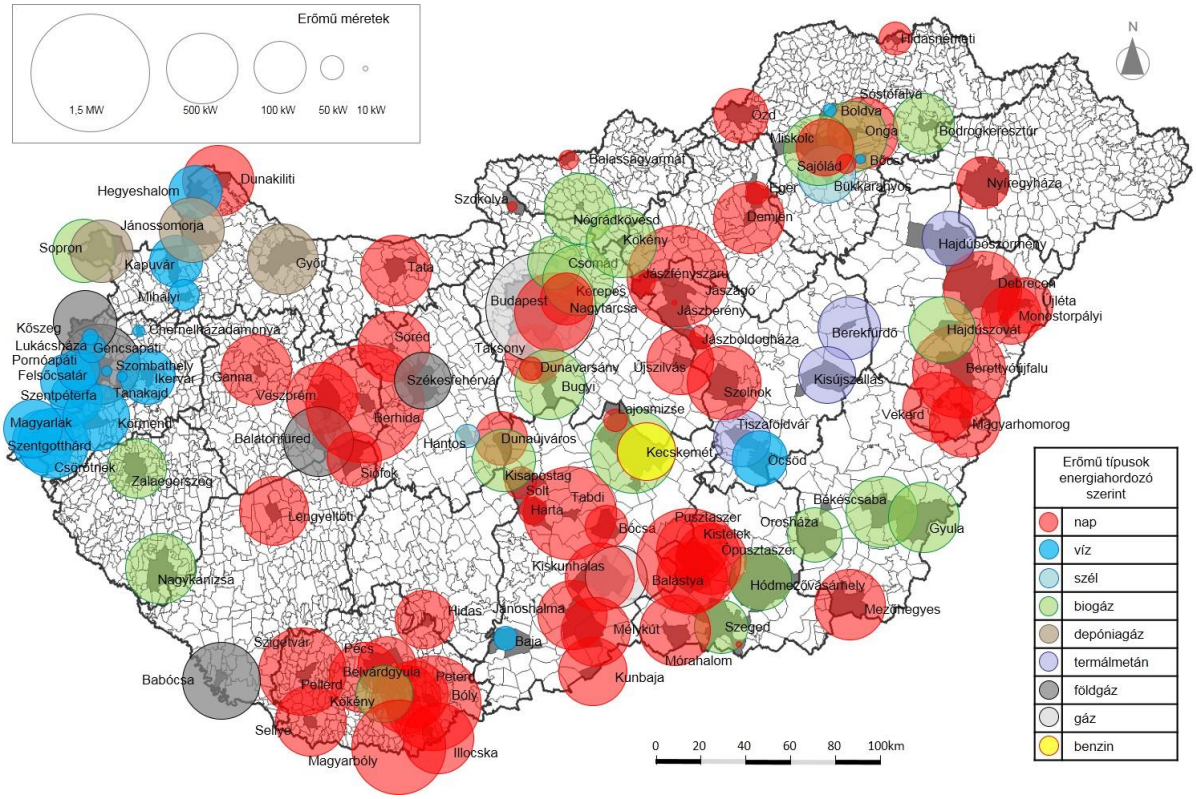
Az adatokat a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal bocsájtotta rendelkezésünkre [15]. A területi elhelyezkedés decentralizáltságának vizsgálatához térképi vizualizációt használtunk, melynek alapjául települési külterülethatáros térképet alkalmaztunk. Az erőművek eltérő színezéssel és a teljesítményüknek megfelelő méretű jelöléssel kerültek ábrázolásra.

A kategória erőműveinek helyet adó település villamosenergia önellátási szintjének meghatározásához, az erőművek által termelt évi villamosenergia mennyiségét összevetettük a helyi település éves villamosenergia fogyasztásával a 2016. évre vonatkozóan. Így megállapíthattuk, hogy ez az erőmű kategória és ezen belül a helyi megújuló energiaforrásokat hasznosító erőművek milyen arányban képesek kielégíteni az adott település villamosenergia-igényét.

3. KISERŐMŰVEK TERÜLETI ELHELYEZKEDÉSE MAGYARORSZÁGON

A 152 kiserőmű, Magyarország 3155 településéből 106 területén helyezkedik el [14]. A naperőművek öt térségben fordulnak elő nagyobb számban, Dél-Baranyában, az Alföld déli részén, Hajdú-Bihar megye keleti, határmenti térségében, a Jászságban és a Dunántúl középső területén. Jól követhető a vízierőművek területi elhelyezkedése is, melyek túlnyomó többségben az Alpokalja kiegyenlített vízhozamú folyóira települtek. A naperőművekéhez hasonló, csoportszerű elhelyezkedést mutatnak a biogáz erőművek is, melyek elsősorban Pest és Nógrád megye egymással határos térségében, Miskolc környékén és az Alföld délkeleti sarkában működnek. Kisebb számban, de hasonló területi koncentráció figyelhető meg a depóniagáz, valamint a termálmetán erőműveknél, ahol a depóniagáz erőművek a Kisalföldön, míg az utóbbiak a Tiszaföldvár Hajdúböszörmény vonalon sorakoznak (*2. ábra*). Megállapítható tehát, hogy a 0,5 MW alatti beépített teljesítményű kiserőművek Magyarország területén egyenletesen helyezkednek el, megvalósítva ezzel a decentralizált, többségében megújuló forrásból származó villamosenergia-termelést. Az egyes energiaforrások, erősebb térségi koncentrációjának magyarázata egyedül a vízerőművek esetében indokolt a kedvező csapadék és orografikus viszonyok, nyugati határmenti

egybeesése miatt. A fent említett térségekbe koncentrálódó napenergia és biogáz erőművek azonban, az energiaforrások dekoncentrált elérhetőségéből következően mutathatnának polarizáltabb területi elhelyezkedést is. A tárgyalt erőmű kategória vonatkozásában erőmű hiányos térségek is megfigyelhetők, mint például a Dunántúl Nagykanizsától Kiskunhalasig, Békés megye északi fele, a Tisza mente Tokajtól Szolnokig, valamint Szabolcs-Szatmár-Bereg megye és Borsod Abaúj-Zemplén megye északi része (*2. ábra*).



2. ábra. A 0,5 MW alatti, nem engedélyköteles, nem háztartási méretű kiserőművek területi elhelyezkedése Magyarországon, 2016. évben

4. KISERŐMŰVEK SZEREPE A TELEPÜLÉSEK VILLAMOSENERGIA IGÉNYÉNEK KIELÉGÍTÉSÉBEN)

A vizsgálatok második részében, összevetettük a kiserőművek által termelt éves villamosenergia-mennyiséget a település éves fogyasztásával. Ezen összevetéssel meg lehetett állapítani, hogy az adott település villamosenergia-igényét milyen mértékben lehet biztosítani a területén működő, megújuló energiát hasznosító, erőművek által termelt villamos energiával. A legfrissebb, és teljes körű adatok 2016-ból származtak, melyek vizsgálata során megállapításra került, hogy elsősorban a vízerőművek, a biogáz erőművek és a naperőművek képesek, a nekik helyet adó település villamosenergia-igényének jelentős részét, egyes településeken annak egészét biztosítani.

Az eredmények között legnagyobb számban a naperőművek szerepelnek, mintegy 27 olyan település van, ahol annak területén álló naperőmű, a település villamosenergia-igényének több mint 5 %-át képes fedezni. Ezen belül hat olyan település, amelyek villamosenergia-igényének több mint 100%-át fedezik a területén épült naperőművek. Vekerd településnél ez az arány 352%, Illocskánál 216%, Sóstófalvánál és Peterd esetében 186-186%, míg Sellyén 130%, Gannán pedig 122% (*1. Táblázat; 3. ábra*).

1. táblázat. Magyarország településeinek listája, amelyek területén működő – 0,5 MW alatti beépített teljesítményű, nem engedélyköteles, nem háztartási méretű – kiserőmű/-vek a település éves villamosenergia-igényének több mint 5%-át biztosítani képes (2016)

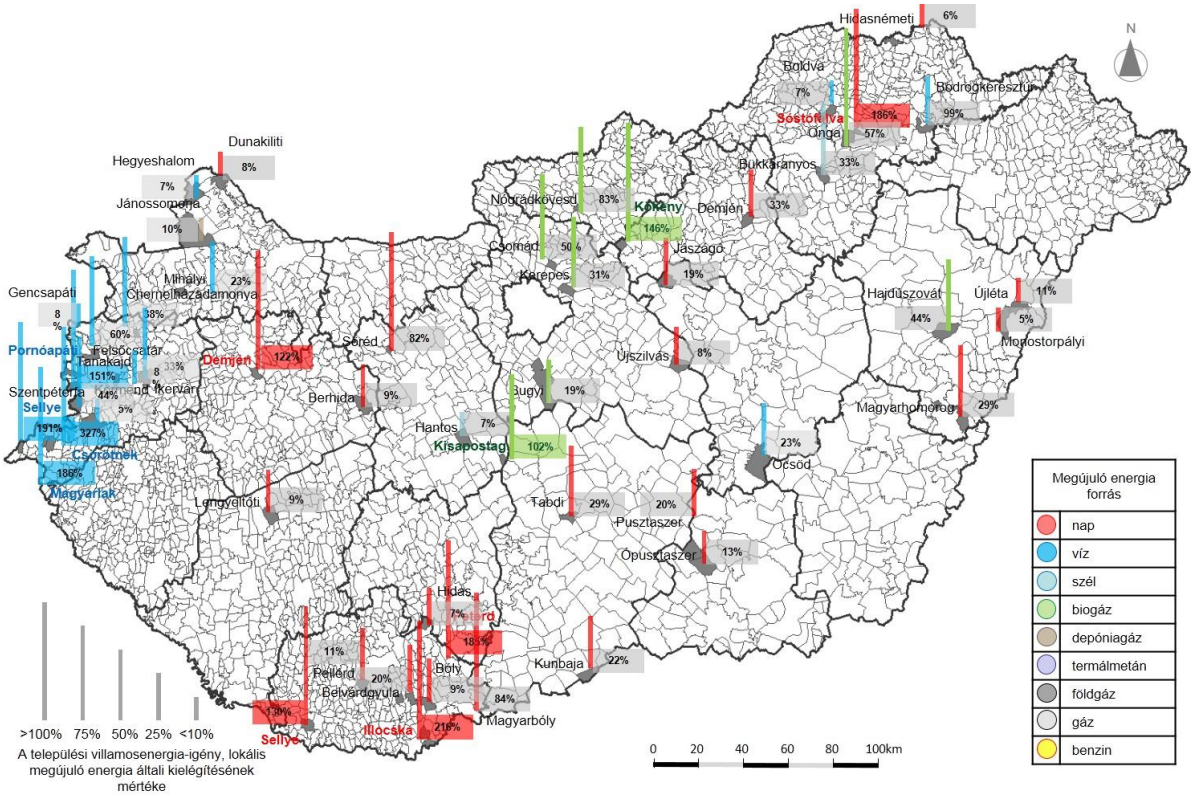
	település	lakosság (fő)	termelt villamos energia aránya (%)		település	lakosság	termelt villamos energia aránya (%)
biogáz				napenergia			
1	Kökény	693	**146**	1	Vekerd	123	**352**
2	Kisapostag	1444	**102**	2	Illocska	277	**216**
3	Bodrogkeresztúr	1117	99	3	Sóstófalva	269	**186**
4	Nógrádkövesd	654	83	4	Peterd	215	**186**
5	Onga	4902	57	5	Sellye	500	**130**
6	Csomád	1599	50	6	Ganna	275	**122**
7	Hajdúszovát	3162	44	7	Magyarbóly	964	84
8	Kerepes	10414	31	8	Söréd	525	82
9	Bugyi	5320	19	9	Demjén	618	33
				10	Magyarhomorog	907	29
vízenergia				11	Tabdi	1095	29
1	Csörötnek	866	**327**	12	Kunbaja	1587	22
2	Alsószölnök	365	**191**	13	Kunbaja	1587	22
3	Magyarlak	749	**186**	14	Belvárdgyula	438	20
4	Pornóapáti	398	**152**	15	Pusztaszer	1423	20
5	Felsőcsatár	493	61	16	Jászágó	707	19
6	Szentpéterfa	998	44	17	Ópusztaszer	2195	13
7	Chernelházadamonya	194	39	18	Újléta	1115	11
8	Ikervár	1743	33	19	Pellérd	2285	11
9	Mihályi	1108	24	20	Berhida	5963	9
10	Öcsöd	3365	23	21	Bóly	3822	9
11	Tanakajd	752	14	22	Lengyeltóti	3083	9
12	Gencsapáti	2727	8	23	Dunakiliti	1934	8
13	Boldva	2447	7	24	Újszilvás	2755	8
14	Hegyeshalom	3602	7	25	Hidas	2132	7
15	Körmend	11300	6	26	Hidasnémeti	1145	6
				27	Monostorpályi	2184	5
szélenergia							
1	Bükkaranyos	1548	33	depóniagáz			
2	Hantos	957	8	1	Jánossomorja	6124	10

A vízenergia esetében a 15 darab, 5% fölötti arányt elérő település közül Csörötnek áramigényének 327%-a származik a helyi vízerőmű által termelt energiából, míg Alsószölnökön ez az arány 191%, Magyarlakon 186%, valamint Pornóapátiban 152%.

A biogáz erőműveknek helyet adó települések közül kilenc áramigényének biztosítja több mint 5%-át a helyi kiserőmű, melyek közül Kökény esetében ez az arány 146%, míg Kisapostagnál 102%, de Bodrogkeresztúr is csak 1%-kal marad el a 100%-tól.

A szélenergia és a depóniagáz is megjelenik a rangsorban, ahol Bükkaranyos és Hantos energiaellátásából a szélenergia vesz ki jelentős részt, míg a depóniagáz hatékony hasznosítását Jánossomorja képviseli.

A fent említett magas arányok érthető módon az erőmű telepítés szempontjából kedvező helyen fekvő, alacsony lélekszámú településeken jelentkeznek. Azonban, ha a település lélekszámát is figyelembe vesszük a 100% fölötti aránnyal rendelkező települések közül kitűnik Kisapostag, az 1444 fős lakosságával, valamint Bodrogkeresztúr (1117 fő), illetve Csörötnek (866 fő). A lakosságszám és megújuló energiából származó villamos energia arányának összevetésével előkelő helyre kerül még a biogáz esetében Onga, ahol a 4902 fős lakosságra 57%-os megújuló arány jut, valamint a 10414 fős Kerepes 31%-os megújuló aránnyal. A vízenergia tekintetében Öcsöd emelendő ki, ahol 3365 fős lakosságra 23%-os megújuló arány jut, valamint a 11300 fős lélekszámú Körmend 6%-os megújuló aránnyal. A napenergiát hasznosító települések között 15 darab 1000 és 6000 fő közötti lakosságú települést találunk, ahol a napenergia aránya 5 és 29% között mozog. Végül a depóniagáz tekintetében a 6124 fős Jánossomorja villamosenergia igényét a helyi alternatív energiaforrás 10%-ban biztosítja (*1. Táblázat; 3. ábra*).



3. ábra. Magyarország településeinek területi elhelyezkedése, amelyek területén működő – 0,5 MW alatti beépített teljesítményű, nem engedélyköteles, nem háztartási méretű – kiserőművek által termelt villamos energia aránya, meghaladja a település igényének 5%-át (2016)

Korábbi vizsgálataink tárgyát képező, 50 kW alatti beépített teljesítményű, háztartási méretű kiserőművek (HMKE) tekintetében a legmagasabb arány a kistelepüléseken, maximum 45%-ot érte el. A 10.000 és 100.000 fő közötti lakosságú településeken a megújuló arány alig haladta meg a 2%-ot, míg a 100.000 fő fölötti nagyvárosokban csak az igények 0,8%-át volt képes megközelíteni [16]. Az elsősorban lakossági szegmensre jellemző, 99%-ban naperőművek terjedését – átvételi támogatás hiányában – alapvetően a megtakarítás hajtotta

és fogja a jövőben is, amennyiben a termékdíjhoz hasonló intézkedésekkel nem fogják vissza a lakosság beruházási kedvét. Az egyenletes és dinamikus növekedés ellenére a HMKE azonban középtávon nem fog jelentős arányt képviselni a települések villamosenergia-igényének kielégítésében. Az 50 kW és 0,5 MW közötti kiserőművek száma azonban ugrásszerű – az eddigi kapacitások többszöröződését jelentő – növekedést fog mutatni, amire a létesítési kérelmek 2016 év végi dömpingszerű beadása enged következtetni. A Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatalhoz 2016 végéig beadott 2400 naperőmű Kötelező Átvételi Rendszerhez (KÁT) való csatlakozási kérelem megvalósulása esetén, mintegy 1000 MW kapacitás épül ki rövid időn belül [13], mely tovább fogja növelni a 100%-os megújuló villamosenergia aránnyal rendelkező települések számát.

5. ÖSSZEGZÉS

Összegzésképpen elmondható, hogy a 0,5 MW alatti beépített teljesítményű kiserőművek Magyarország területén, a megújuló energiaforrások jellegéből adódóan decentralizáltan, helyezkednek el, azonban az egyes energiaforrások elhelyezkedéséből kiolvasható némi területi koncentráció is. Az energiamix tekintetében azonban a decentralizáció az uralkodó jelleg.

Míg az 50 kW alatti teljesítményű HMKE kategóriában, – az erőmű egységek nagy száma ellenére – a megújuló energiahordozók a település igényeinek maximum 45%-át képesek kielégíteni, addig az 50 kW és 0,5 MW közötti kiserőművek több megújuló energiaforrás vonatkozásában is biztosítani tudják a települési villamosenergia-igény 100%-át, egyes esetekben akár 350%-át is. Az alternatív energiaforrások közül legnagyobb számban a napenergia, a vízenergia és a biomassza erőművek képesek nagy mennyiségű villamos energia előállítására, azonban szélenergia és a depóniagáz is jelentős arányban képes hozzájárulni a települési igények kielégítéséhez.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM)

[1] **STERN, N.:** *Stern Review: The Economics of Climate Change,* Government of the United Kingdom (The First Post) 30. October 2006.

[2] **SØRENSEN, B. E.:** *A plan is outlined according to which solar and wind energy would supply Denmark's needs by the year 2050,* Science. 189 (4199) 255-260, 1975., doi: 10.1126/science.189.4199.255

[3] **LOVINS, A. B.:** *Energy Strategy: The road not taken?* 55 Foreign affairs 65 (1976-1977)

[4] **LUND, H.:** *Large-scale integration of optimal combinations of PV, wind and wawe power into the electricity supply.* In: Renewable energy, Volume 31, Issue 4, April pp. 503-515., 2006, https://doi.org /10.1016/j.renene.2005.04.008

[5] **MUNKÁCSY, B. et al:** *Erre van előre!: Egy fenntartható energiarendszer keretei Magyarországon Vision 2040 Hungary 1.0.* Szigetszentmiklós: Környezeti Nevelési Hálózat Országos Egyesület, 2011. 155 p. (ISBN: 9789630820240)

[6] **Marrakech Vision:** *World's Most Climate-Vulnerable Countries Aiming For 100 Percent Green Energy,* United Nations Climate Change Conference, Marrakech, Morocco, on 7-18 November 2016.

[7] **Bundesministerium für Wirtschaft und Energie:** *Erneuerbare-Energie-Gesetz EEG 2000-2017,* Letöltés: 2018.05.15. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Dossier/eeg.html?cms_docId=401818

[8] **RAJGOR, G.:** *Germany grapples with energy plan,* Renewable Energy Focus, Volume 13, Issue 4, pp. 26-29., 2012, https://doi.org/10.1016/S1755-0084(12)70084-4

[9] **Sierra Club: 100% Commitments in Cities, Counties, & States,** *Ready for 100%,* Letöltés: 2018.05.15. https://www.sierraclub.org/ready-for-100/commitments

[10] **Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt. - MAVIR,** *A magyar villamosenergia-rendszer (VER) 2016.- évi statisztikai adatai,* - alapján
[11] *2007. évi LXXXVI. törvény, a villamos energiáról*
[12] *273/2007. (X. 19.) Korm. rendelet a villamos energiáról szóló 2007. évi LXXXVI. törvény végrehajtásáról*
[13] **Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH):** *Összefoglaló a nem engedélyköteles – ezen belül a háztartási méretű – kiserőművek adatairól (2008-2016)* 2017, Letöltés: 2018.05.15. http://www.mekh.hu/download/7/15/40000/nem_engedelykoteles_es_hmke_%20beszamolo_2016.pdf
[14] **Központi Statisztikai Hivatal (KSH):** *Magyarország közigazgatási helységnévkönyve 2017. január 1.*, Budapest, 2017
[15] **Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal (MEKH):** *Magyarországi nem engedélyköteles, nem HMKE kiserőművek adatai 2016.* 12. 31-ig.
[16] **KULCSÁR, B.:** *Települési villamos energia önellátás mértéke a háztartási kiserőmű kategóriában,* In: Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education, 13th October 2017, ISBN 978-963-473-981-4, Az Ipar napjai Debrecenben c. rendezvényhez kapcsolódó Probléma alapú tanulás a mérnökképzésben c. konferencia, Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék, Debrecen, 2017. október 13.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

AZ ÉPÜLET TARTÓSZERKEZETI VÁZÁNAK MODELLEZÉSE CELLÁK SEGÍTSÉGÉVEL

MODELLING OF BUILDING'S FRAMEWORK WITH AID OF CELLS

LÁMER Géza

főiskolai tanár, PhD, glamer@eng.unideb.hu
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A tanulmányban az épület tartószerkezeti vázát cellák és a cellák határait alkotó pont-, vonal- és felületszerű épületszerkezetek segítségével értelmezzük.*

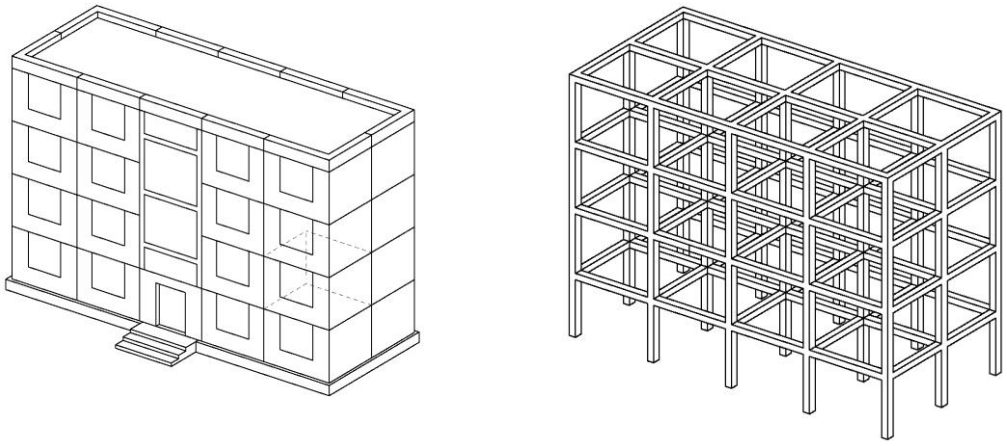
Kulcsszavak: *cella, pont-, vonal- és felületszerű épületszerkezetek, tartószerkezeti váz*

Abstract: *In the paper the building's framework is interpreted by the cells and the boundary of the cells as a point-like, line-like and surface-like building constructions*

Keywords: *cells, point-like, line-like and surface-like building constructions, building's framework*

1. BEVEZETÉS

Az épületek közül a panelépületek rendelkeznek egy szembetűnő sajátossággal. Az épület tekinthető egymás mellé és egymás alá-fölé helyezett cellákból állónak: négy falpanel és két födémpanel által közrezárt cellák összessége alkotja az épületet (lásd az 1.a. ábrát). Hasonlóan ehhez cellának tekinthetők a térbeli kertvázakban a csak pillérekkel és gerendákkal „közrezárt" tér (lásd az 1.b. ábrát).



a) Vasbeton panelépület b) Térbeli keretváz

1. ábra. A cellák értelmezése épületek esetén

A fenti példák alapján egy téglatestet határoló lapok és a téglatest élei, valamint az épület egyes tartószerkezetei, illetve térelhatároló elemei egymásnak megfeleltethetők: a téglatest függőleges lapjai falaknak, vízszintes lapjai födémeknek, továbbá a téglatest függőleges élei pilléreknek, vízszintes élei mestergerendáknak feleltethetők meg.

A tanulmányban az épület tartószerkezeti vázát adó, illetve az épületen belül a térelhatároló épületszerkezetek és a cellák közötti kapcsolatot vizsgáljuk.

A tanulmány épületszerkezeti háttét az épületszerkezettani szakirodalom adja, a teljesség

igénye nélkül lásd pl. [2,3,5-8,11,14,19,20]. Az épületszerkezeteket rendszerint a forma, a szerkezet és a funkció alapján ismertetik, illetve ez alapján adják meg a struktúrákat, lásd pl. [1,9,10,18]. Az épületszerkezetek strukturálhatók anyag és numerikus módszerek szempontjából [12], a térképzéssel és az erőjátékkal jellemezhetők [13]. Az épületszerkezetek tartószerkezeti váz struktúrája alapján egységes rendszer szerint tárgyalhatók [16], a struktúraváltások a tartószerkezeti váz kialakulásában nyomon követhetők [17].

A cellákkal elsősorban a fizikában és kristálytanban foglalkoznak. A tanulmányt a cellák értelmezésével kezdjük. Az egyes fogalmak kapcsán utalunk a Fizikai Kislexikon vonatkozó cikkeire [4].

A cellák esetén megkülönböztetjük a cellát és annak határát. Az épületet alapvetően terek összességének tekintjük. Magát a teret kívánjuk cellákkal, a teret határoló falakat és födémeket a cellák határaival modellezni. A falak és födémek nem matematikai értelemben vett lapok, hanem fizikai értelemben vett felületszerkezetek. A modellt tehát kibővítjük a kétdimenziós cellákkal. A kétdimenziós cella, mint függőleges vagy vízszintes sík lap, tekinthető kétdimenziós térnek, amelynek a határán egy-egy épületben pilléreket, illetve (mester)gerendákat láthatunk. Ezért, a háromdimenziós térhez hasonlóan, a kétdimenziós cella határaiként modelleznénk a pilléreket és a gerendákat. Ahogyan a falakat és a födémeket nem tekinthetjük a háromdimenziós tér matematikai értelemben vett határainak, hanem csak modelljének, úgy a pilléreket és a gerendákat sem matematikai értelemben tekintjük a kétdimenziós terek határainak, hanem csak azok modelljeinek. Hasonlóképpen a pillér lábazatát és fejezetét, a gerendák alatti párnákat, a gerenda×pillér csomópontját a pillérek és/vagy gerendák egydimenziós modellje nulldimenziós határának tekintjük.

A modellezés alapgondolata két elemet foglal magába. Az egyik, hogy a térelhatároló, tartószerkezeti épületszerkezeteket önmagukban pont-, vonal- és felületszerű testekként, épületszerkezetekként értelmezzünk. A másik, hogy a térelhatároló, tartószerkezeti épületszerkezeteket a térhez, mint háromdimenziós cellához viszonyítva, annak kétdimenziós határaként (falak és födémek), a kétdimenziós cellához viszonyítva annak egydimenziós határaként (pillérek és gerendák), valamint az egydimenziós cellához viszonyítva annak nulldimenziós határaként (fejezetek/lábazatok, illetve csomópontok) értelmezzük.

2. A CELLÁK

A cellát alapvetően, mint a tér *egyrétegű* és *hiánytalan* felosztása egységének tekintjük.

A cellát általánosságban kívánjuk értelmezni. Ehhez a tárrács és az elemi cella fogalmához fordulunk (lásd pl. [4] p. 401).

A *térrács* kiterjedés nélküli pontok szabályos rendje a háromdimenziós térben. Például az ortogonális, vagy bármely tetszőleges ferdeszögű koordinátarendszerben az egész számú koordinátájú pontok, $P(i,j,k)$, vagy valamely adott számmal osztható koordinátájú pontok, $P(3i,2j,5k)$ ($i = j$ = k = – 3, – 2, – 1, 0, 1, 2, 3 …), halmaza térrácsot alkot. A szabályos rendben elhelyezkedő pontokat nevezzük *rácspont*oknak. A térrácsban szabályosan ismétlődő térbeli alakzatok jelölhetők ki. Ezeket az alakzatokat nevezzük celláknak. Azt a cellát, amely nem zár közre rácspontot, *elemi cellá*nak nevezzük. Az első példában az {(0,0,0); (1,0,0); (0,1,0); (0,0,1); (1,1,0); (1,0,1); (0,1,1); (1,1,1)} pontok alkotnak elemi cellát. A második példában {(0,0,0); (3,0,0); (0,2,0); (0,0,5); (3,2,0); (3,0,5); (0,2,5); (3,2,5)} pontok alkotnak elemi cellát.

A térrácsot három vektor határozza meg. Ezeket a vektorokat az elemi cella két szomszédos rácspontja jelöli ki, amelyeket *rácsvektorok*nak nevezzük. Az elemi cella rácspontjai által meghatározott rácsvektorokat szokás *elemi rácsvektorok*nak is nevezni. Az első példában a három elemi rácsvektor: {(1,0,0); (0,1,0); (0,0,1)}. A második példában a három elemi rács-

vektor: {(3,0,0); (0,2,0); (0,0,5)}.

Egy kitöltést *egyrétegű*nek neveztünk, ha a szomszédos cellák, mint térbeli tartományok, nem fedik egymást át. Egy kitöltést *hiánytalan*nak nevezünk, ha a szomszédos cellák, mint térbeli tartományok között nincs lefedetlen tartomány. A tér egyrétegű és hiánytalan kitöltését megfogalmazhatjuk úgy is, hogy a szomszédos cellák peremei (határai) egybeesnek. A cellákra nézve a következő állítás tehető: az (egybevágó) elemi cellák *egyrétegűen* és *hiánytalanul* töltik ki a térrács által a térben elfoglalt tartományt.

Az épületszerkezetek értelmezéséhez bevezetjük a háromszög és a négyszög alapú cellákat.

A háromszög alapú cellák a következők.

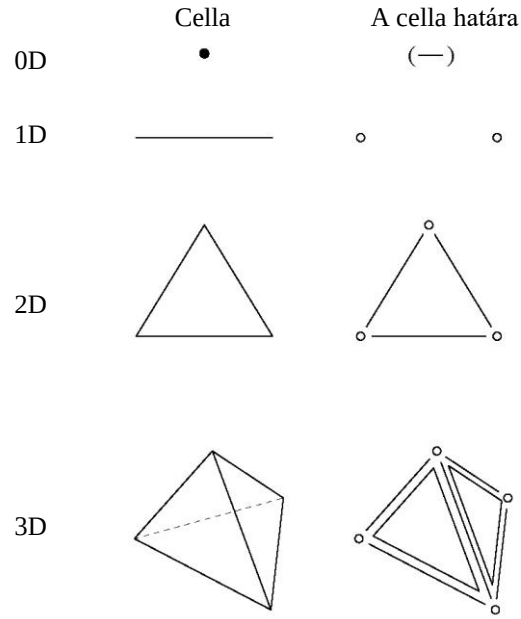
A nulla dimenziós cella a pont. A nulla dimenziós cellának nem értelmezzük a határát.

Az egydimenziós cella a szakasz. A szakasz két végpontja a cella határa.

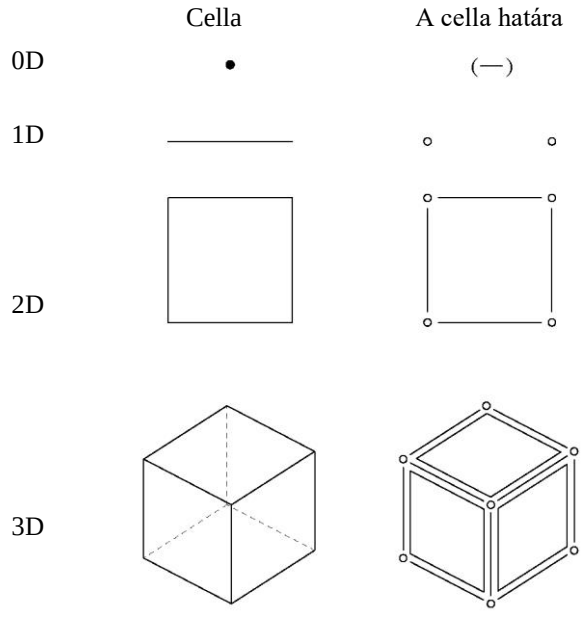
A kétdimenziós cella a háromszög. A háromszög három oldala a háromszög határa. A kétdimenziós cella határához hozzávesszük a háromszög három csúcsát, mint a három él, azaz egydimenziós cella (páronként egybeeső) határát.

A háromdimenziós cella a tetraéder. A tetraéder négy lapja a tetraéder határa. A háromdimenziós cella határához hozzávesszük a négy háromszög, mint lap, azaz kétdimenziós cella (páronként egybeeső) hat élét, valamint a hat él, azaz egydimenziós cella (hármasával egybeeső) négy csúcsát.

A háromszög alapú cellákat lásd a 2. ábrán.



2. ábra. Háromszög alapú cellák



3. ábra. Négyszög alapú cellák

A négyszög alapú cellák a következők.

A nulla dimenziós cella a pont. A nulla dimenziós cellának nem értelmezzük a határát.

Az egydimenziós cella a szakasz. A szakasz két végpontja a cella határa.

A kétdimenziós cella a négyszög. A négyszög négy oldala a négyszög határa. A kétdimenziós cella határához hozzávesszük a négyszög négy csúcsát, mint a négy él, azaz egydimenziós cella (páronként egybeeső) határát.

A háromdimenziós cella a téglatest. A téglatest hat lapja a téglatest határa. A háromdimenziós cella határához hozzávesszük a hat négyszög, mint lap, azaz kétdimenziós cella (páronként egybeeső) tizenkét élét, valamint a tizenkét él, azaz egydimenziós cella (hármasával

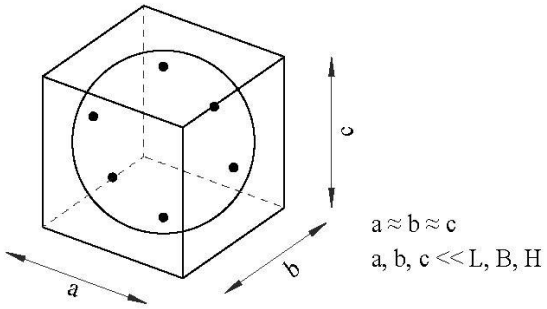
egybeeső) nyolc csúcsát.

A négyszög alapú cellákat lásd a 3. ábrán.

3. A CELLÁK ELEMEI, MINT TESTEK

A cellák elemei pontok, szakaszok, síkidomok és maga a közrezárt tér. Ezek geometriai objektumok. A pontok kiterjedés nélküliek. A szakaszoknak hosszuk van. A síkidomoknak és a felületidomoknak területük van, vagy két átmérővel, vagy két befoglaló mérettel jellemezhetők. Az épületszerkezetek háromdimenziós testek, ezért közvetlenül nem azonosíthatóak ponttal, szakasszal, síkidommal, mint geometriai formákkal. Ugyanakkor az épületszerkezetek többsége egy-egy méretét tekintve közel állhatnak a ponthoz, a vonalhoz vagy a síkidomhoz. Rendszerint arról van szó, hogy az épületszerkezet mindhárom, két, vagy egy kiterjedése (átmérője, vagy befoglaló mérete) elenyészően kicsi. Ebben az esetben pontszerű, vonalszerű és felületszerű testekről vagy szerkezetekről beszélünk.

Az elenyésző méret valamihez viszonyítva lehet elenyésző. Mivel épületszerkezetekkel foglalkozunk, ezért az épület valamely jellegzetes méretét, ezen belül is az előregyártott szerkezet modulméretét, a 6 m-t tekintjük viszonyítási alapnak.

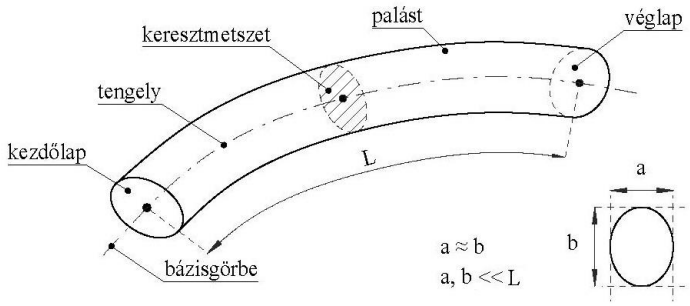


4. ábra. A pontszerű test értelmezése

A pontszerű test értelmezése: pontszerűnek nevezzük azt a testet, amelynek a befoglaló méretei, illetve az átmérő, a másodlagos és a harmadlagos átmérői, *a, b* és *c*, nagyságrendben azonosak, $a \approx b \approx c$, ugyanakkor nagyságrendben kisebbek, mint egy lakóegység hosszúsága (*L*), szélessége (*B*), magassága (*H*), $a, b, c << L, B, H$. (Lásd a 4. ábrát.)

Megjegyzés. A pontszerű csak valamihez viszonyítva lehet pontszerű. A legegyszerűbb viszonyítási alap a már említett előregyártott szerkezet modulmérete, a 6 m.

A vonalszerű test értelmezése: vonalszerűnek nevezzük azt a testet, amely jellemezhető úgy, mint egy bázisgörbén kijelölt görbe szakaszra felfűzött síkidomok összessége, a következő feltételek teljesülése mellett. A síkidomok befoglaló méretei, illetve átmérői és másodlagos átmérői, *a* és *b*, egymáshoz viszonyítva nagyságrendben azonosak, $a \approx b$, ugyanakkor nagyságrendben kisebbek, mint a bázisgörbe hossza (*L*), $a, b << L$. (Lásd az 5. ábrát.)



5. ábra. A vonalszerű test értelmezése

Megjegyzés. Rendszerint a vonalszerű test hossza összemérhető a viszonyítási alapnak választott 6,0 m-rel.

A vonalszerű szerkezet szinonimájaként alkalmazni fogjuk a vonalszerkezet kifejezést is.

A bázisgörbe kezdő-, illetve végpontjához tartozó síkidom a vonalszerű test kezdő-, illetve véglapja. A síkidomok peremeinek az összessége a vonalszerű test palástja. A három felület együttesen adja ki a vonalszerű test peremét (felületét).

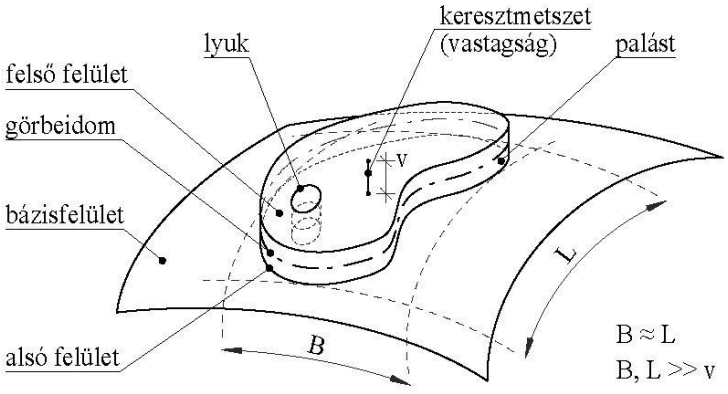
A bázisgörbét szokás a vonalszerű test, illetve szerkezet tengelyének nevezni. A tengelynek a síkidomokhoz viszonyított geometriai helyzetétől függően a tengelyt szokás szimmetria tengelynek, súlyponti tengelynek, vagy csavarási tengelynek nevezni: a tengely a síkidomok szimmetriapontjain, súlypontjain, vagy csavarási középpontjain halad keresztül.

A síkidomok a vonalszerű szerkezet keresztmetszetei.

A felületszerű test értelmezése: felületszerűnek nevezzük azt a testet, amely jellemezhető úgy, mint egy bázisfelületen adott felületidomra felfűzött egyenes szakaszok összessége, a következő feltételek teljesülése mellett. A bázisfelületen adott felületidom befoglaló méretei (vagy a felületidom átmérője és másodlagos átmérője), *L* és *B*, egymáshoz viszonyítva nagyságrendben azonosak, $L \approx B$, ugyanakkor nagyságrendben nagyobbak, mint az egyenes szakasz hossza (*v*), $L, B << v$. (Lásd a 6. ábrát.)

A felületszerű szerkezet szinonimájaként alkalmazni fogjuk a felületszerkezet kifejezést is.

A bázisfelületen adott görbeidom peremhez illeszkedő egyenes szakaszok összessége a felületszerű test palástja. Az egyenes szakaszok kezdő és végpontjainak összessége határozza meg a felületszerű test alsó és felső felületét. A három felület együttesen adja ki a felületszerű test peremét (felületét).



6. ábra. A felületszerű test értelmezése

A bázisfelület rendszerint felezi az egyenes szakaszokat; ekkor a bázisfelületet szokás középfelületnek nevezni.

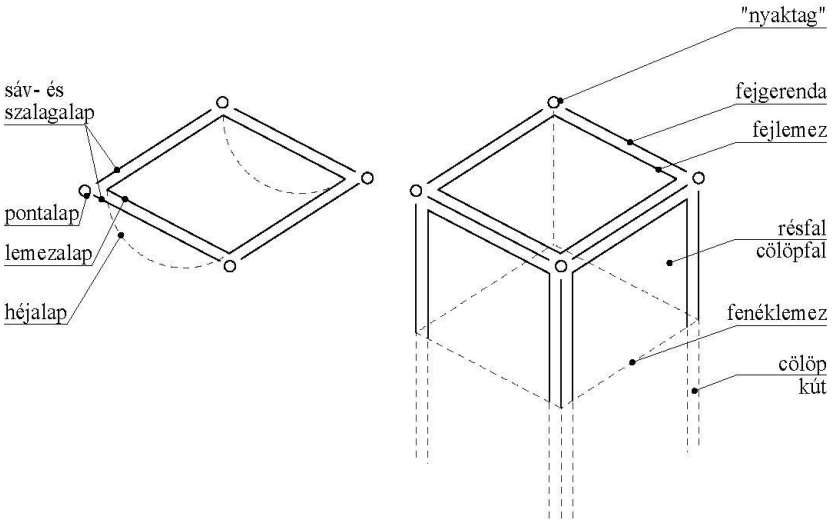
Az egyenes szakaszok a felületszerű test „keresztmetszetei”, csak nem egy, hanem két metsző síkra van szükség. A keresztmetszet hossza a felületszerű test vastagsága.

4. AZ ÉPÜLETSZERKEZETEK ÉS CELLÁK KÖZÖTTI KAPCSOLAT ÉRTELMEZÉSE

Az épületet függőleges irányban három részre osztjuk: az alapra, a törzsre és a tetőre, illetve a térlefedésre.

4.1. A cella és az alapozás

Az alapozások között megkülönböztetjük a síkalapokat és a mélyalapokat. A síkalapokat az épület egészéhez viszonyítva nem túl „magas”, a mélyalapokat viszont egy emelet magasságával összemérhető, vagy azt meghaladó épületszerkezetek összességeként tekintjük. Tehát a síkalapokat egy kétdimenziós, a mélyalapokat egy háromdimenziós cella elemeinek feleltetjük meg. Síkalap esetén a nulldimenziós cellát a pontalapnak, az egydimenziós cellát a sáv- vagy a szalagalapnak, a kétdimenziós cellát a lemezalapnak, illetve görbült felületszerkezetnek, héjalapnak feleltetjük meg. Mélyalap esetén a nulldimenziós cellát pontszerűen elhelyezkedő alaptest (cölöp és kút) és a gerendarács közötti „nyaktaggal”, az egydimenziós függőleges cellát a cölöpökkel vagy kutakkal, az egydimenziós vízszintes cellát a függőleges elemeket összekötő fejgerendával, vagy gerendarács elemeivel, a kétdimenziós függőleges cellát a résfallal (cölöpfallal), a kétdimenziós vízszintes cellát fej-, illetve fenéklemezzel azonosítjuk. A cella és az alapozás kapcsolatát a 7. ábrán mutatjuk be.



a) Síkalap b) Mélyalap

7. ábra. A cella és az alapozás

A cellák és az épületszerkezet közötti kapcsolat a következő.
Síkalap esetén:

- csúcs ⇔ pontalap,
- vízszintes él ⇔ sáv- és szalagalap,
- vízszintes lap ⇔ lemezalap,
- ívelt lap ⇔ héjalap;

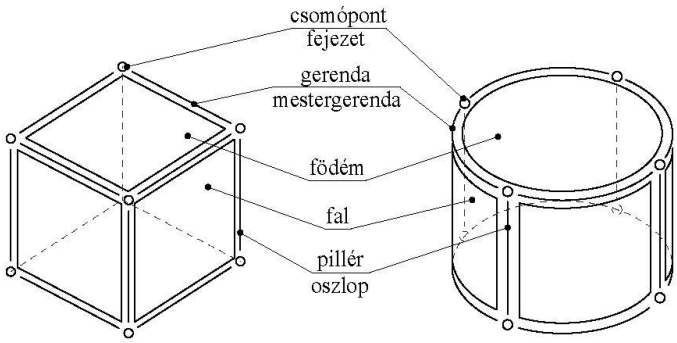
Mélyalap esetén:

- csúcs ⇔ nyaktag (pl. cölöp és fejgerenda között),

- vízszintes él ⇔ fejgerenda (tartórács elemei),
- függőleges él ⇔ cölöp vagy kút,
- vízszintes lap ⇔ cölöp- vagy kútalapozás fejlemeze, illetve szekrény- vagy dobozalap fej- és fenéklemeze,
- függőleges lap ⇔ résfal, illetve szekrény- vagy dobozalap oldalfala,
- ívelt lap ⇔ szekrény- vagy dobozalap „fenékhéja” (az úgynevezett ellenboltozat).

4.2. A cella és az épület törzse

A cella törzse egy egységének – egy cellájának – elemeit a főbb tartószerkezeteknek és térelhatároló szerkezeteknek feleltetjük meg: a nulldimenziós cellát csomópontoknak, illetve fejezeteknek, az egydimenziós függőleges cellát pilléreknek/oszlopoknak, az egydimenziós vízszintes cellát mestergerendáknak, gerendáknak, a kétdimenziós függőleges cellát falaknak, a kétdimenziós vízszintes cellát födémnek. Az épület törzse és a cellák közötti kapcsolatot négyzet és kör alaprajz esetén a 8. ábrán mutatjuk be.



8. ábra. A cella és az épület törzse

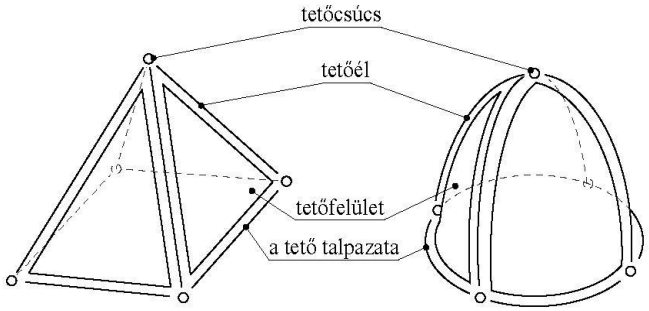
A cellák és az épületszerkezet közötti kapcsolat:

- csúcs ⇔ pillére fejezete, vagy lábazata, illetve tartószerkezeti csomópont,
- vízszintes él ⇔ mestergerenda,
- függőleges él ⇔ pillér (oszlop),
- vízszintes lap ⇔ födémlemez,
- függőleges lap ⇔ fal.

4.3. A cella és a tetőszerkezet/térlefedés

A tetőszerkezetet és térlefedést is cellaként kívánjuk értelmezni. Általánosságban azt mondhatjuk, hogy a tető, vagy térlefedés az épületet (vagy teret) konvex felületként fedi le. Az általánosság megsértése nélkül a tetőszerkezetet/térlefedést felbontjuk tetőfelületekre, tetőélekre és tetőcsúcsokra. A cellákkal való modellezés „alapja” az épület zárófödémjét (vagy annak hiányában a felmenő szerkezet legfelső síkját) visszatükröző vízszintes, síkbeli cella. E síkbeli cella fölött (annak függőleges tengelyén) helyezkedik el a tetőcsúcsot megadó csomópont, amelybe a síkbeli cellák csomópontjaiból az élek (a tető élei) futnak be. A síkbeli cella élei (azaz a tetőélek) által közre zárt kétdimenziós celláknak feleltetjük meg a tetőfelületeket.

A 9. ábrán két, gyakran előforduló tetőidom segítségével mutatjuk be a cella és a tetőszerkezet/térlefedés kapcsolatát.



9. ábra. A cella és a tetőszerkezet/térlefedés

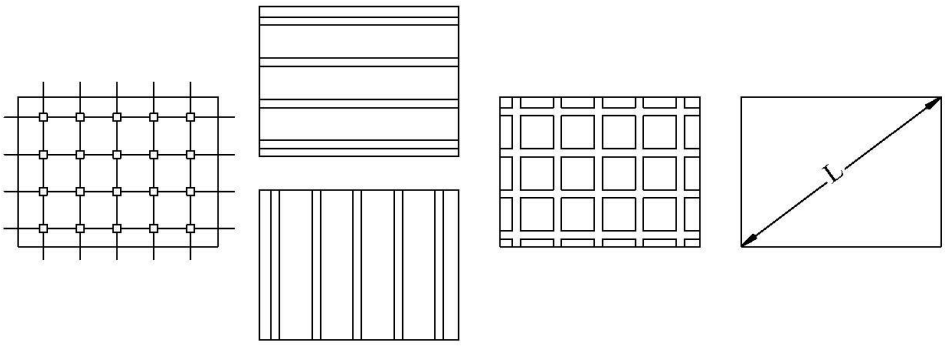
A cellák és az épületszerkezet közötti kapcsolat:
- csúcs ⇔ tetőcsúcs, élek és ereszvonalak metszéspontja,
- vízszintes él ⇔ a tetőszerkezet talpazat (sárgerenda, talpszelemen),
- ferde él ⇔ tetőél (élszarufa),
- [vízszintes lap ⇔ záródödém lemeze],
- ferde lap ⇔ tetősík (szaruzat, vasbeton lemezmű),
- ívelt lap ⇔ tetőfelület (ívelt szaruzat, boltozat, kupola, vasbeton héjmű).

5. AZ ÉPÜLET TARTÓSZERKEZETI VÁZA

Az épület tartószerkezeti vázát az elsődleges tartószerkezetek, az alapok, a falak és a pillérek, a födémek, valamint a tetőszerkezet alkotják. A továbbiakban ezt a négy tartószerkezetet tekintjük át.

5.1. Az alapozás elrendezésének struktúrái

Az alapozás felülnézetből különböző elrendezésű lehet, azaz különböző struktúrával rendelkezhet: az elrendezés lehet pontszerű, vonalszerű, felületszerű, illetve felületi. A vonalszerű elrendezés lehet hossz-, illetve keresztirányú (lásd a 10. ábrát).



a) Pontszerű elrendezés | b) Vonalszerű elrendezés | c) Felületszerű elrendezés | d) Felületi elrendezés

10. ábra. Az alapozás elrendezése felülnézetben

A síkalapok közé soroljuk a tömb- és kehelyalapot (mint pontszerű alapokat) (10.a. ábra), a sáv- és a szalagalapokat (mint vonalszerű alapokat) (10.b. ábra), gerendarács alapot (mint a kétirányú vonalszerű alapot, vagy „felületszerű" alapot) (10.c. ábra), végezetül a sík- és héjalapokat (mint felületi elrendezésű alapokat) (10.d. ábra).

A mélyalapok közé soroljuk cölöpök, kutak, szekrények és résfalak alkalmazásával kialakított alapozásokat. Alaprajzi elrendezésben a cölöpök és a kutak pontszerűen helyezhetők

el vagy egyesével, vagy csoportosan (10.a ábra). Vonalszerűen cölöpöket (ritka és sűrű elrendezésben), illetve résfalakat helyezhetjük el (10.b. ábra). A cölöpök, illetve kutak esetén van példa a „gerendarácsszerű" elhelyezésre (10.c. ábra), résfalak esetén erre nincs példa. A szekrényalap az épület befoglaló méreteit követi. Annak függvényében, hogy készül-e teherelosztó lemez vagy sem, felületszerű, illetve felületi elrendezés a jellemző.

A mélyalapozás egyes alaptestei fogadhatják a pilléreket/falakat önállóan, de az egyes mélyalapozási alaptesteket összefoghatja fejgerendázat, fejgerenda-rácsozat, vagy fejlemez. Ez utóbbi esetben a strukturális elosztást éppen a 10. ábra tükrözi vissza. Amíg síkalapoknál a 10. ábrán maga az alapozási szerkezet látható, addig mélyalapozás esetén a 10. ábra a mélyalapozási alaptesteket összefogó „fejszerkezet" struktúráit tükrözi vissza.

A dobozalapok falakból és lemezekből állnak. A falak alaprajzi elrendezése rácshálózatnak felel meg. Az alapozási szerkezet áll (aluról fölfelé haladva) egy fenéklemezből a rácshálózat csúcspontjait összekötő vonalakra illeszkedő falakból (lásd a 10.c. ábrát), és a falakat összefogó fejlemezből.

Megjegyzés. A dobozalap lehet többszintes lemezmű is („földalatti" épület), amikor közbenső lemezek osztják meg a fenéklemez és fejlemez közötti teret.

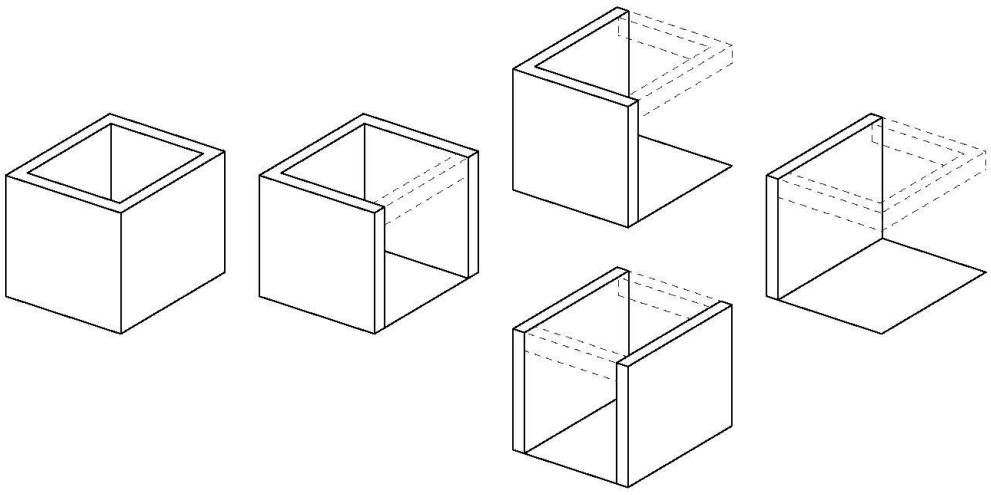
5.2. A falak és/vagy pillérek elrendezésének struktúrái

A fal és a pillér elrendezése alaprajzban a következő lehet. Hossz-, illetve keresztelrendezésű falváz (10.b. ábra), cellás elrendezésű falváz (10.c. ábra), pillérvázak (10.a. ábra). Végül az egyidejű fal és pillér alkalmazása vezet a vegyes vázakhoz.

A függőleges tartószerkezet tehát lehet csak fal, egyidejűleg fal és pillér, vagy csak pillér. Az alaprajzi elrendezés rendszerint egy hálózattal jellemezhető (lásd a 10. ábrát).

A továbbiakban egy téglalap alaprajzú cellát tekintünk, és azt vizsgáljuk, hogy ebben az elemi cellában milyen lehet a falak és/vagy pillérek elrendezése. Önállóan vizsgáljuk a falak, a fal és a pillér, illetve a pillérek esetét.

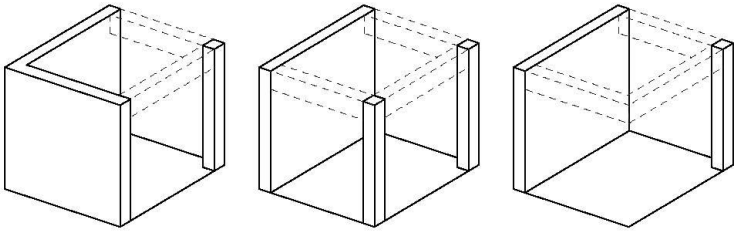
Csak falak esete. Négy eset lehetséges: négy, három, kettő vagy egy fal van. A két fal egymáshoz viszonyított helyzete kétféle lehet (11. ábra).



a) Négy fal b) Három fal c) Két fal d) Egy fal

11. ábra. Csak falak egy cellában

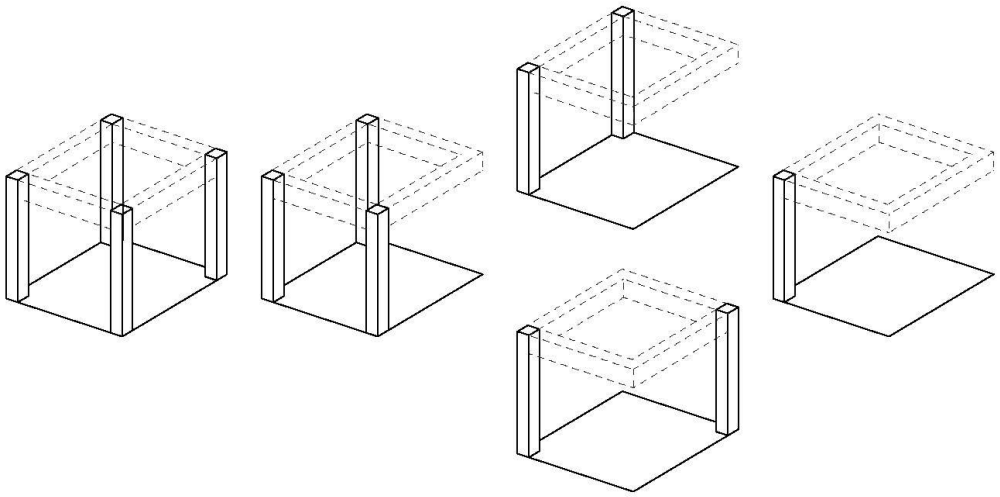
Falak és pillérek esete. Két, élben találkozó fal esetén a negyedik csomóponthoz illeszkedhet egy pillér. Egy fal esetén a váz tartalmazhat két vagy egy pillért (12. ábra).



a) Két fal és egy pillér b) Egy fal és két pillér c) Egy fal és egy pillér

12. ábra. Falak és pillérek egy cellában

Csak pillérek esete. Négy eset lehetséges: négy, három, kettő vagy egy pillér van. A két pillér egymáshoz viszonyított helyzete kétféle lehet (13. ábra).



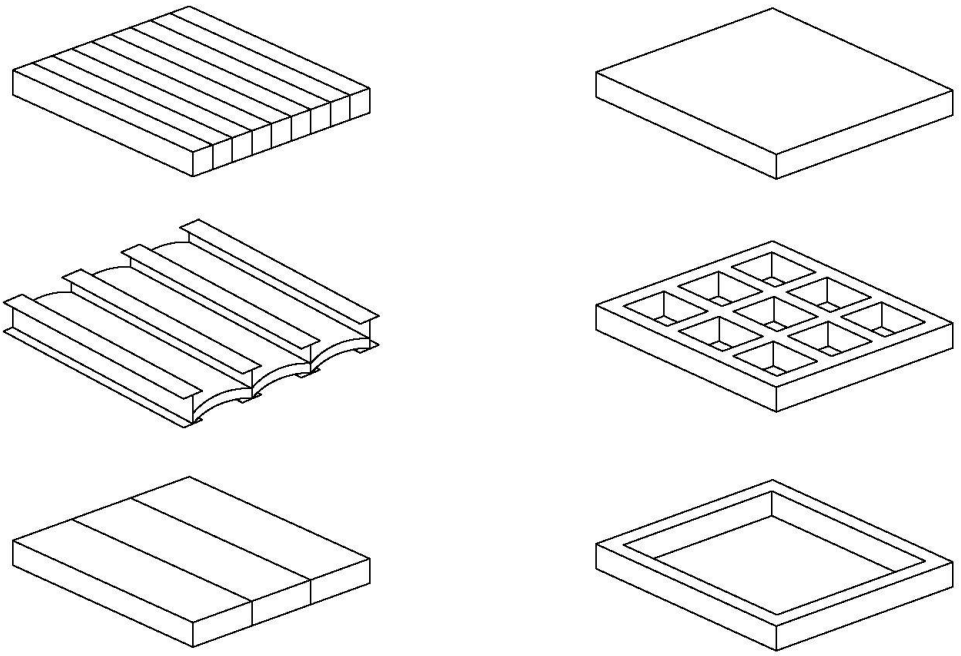
a) Négy pillér b) Három pillér c) Két pillér d) Egy pillér

13. ábra. Csak pillérek egy cellában

Megjegyzés. A 11., a 12. és a 13. ábrákon a födém fogadásához szükséges mestergerendákat, illetve mestergerenda-gyűrűket szaggatva ábrázoltuk.

5.3. A födémek kialakításának, a függőleges tartószerkezethez való kapcsolatának struktúrái

A födémek közvetlenül a falakra, illetve a pillérekre ülnek fel, azaz terhelnek rá. Ennek megfelelően a födém elrendezéseit a falak, illetve a pillérek elrendezése meghatározza. A továbbiakban téglalap alakú elrendezést ábrázolunk.



a) Bekötés nélküli födémek (felfekszenek a falra vagy a mestergerendára)

b) Bekötéses födémek (nyomatékbíróan kapcsolódnak a falhoz, vagy a pillérhez)

14. ábra. Típus födémek bekötés nélkül és bekötéssel

A födém pontszerű, vonalszerű, vagy felületszerű belső struktúrával bírhat. A pontszerű építőanyagokból épített födémszerkezet a boltozat. A falazott szerkezet kötése miatt a hálózat nem mondható szokványosnak, hanem egy-egy sor cellát egymás mellett egy cellánál kisebb egységgel (többnyire fél cellahosszal), eltoljuk. A boltozatos födémszerkezetet egy- vagy kétirányú nyomó igénybevétel jellemzi. A boltozatos födémek struktúráinak ismertetésétől eltekintünk (lásd pl. [11,16]).

A vonalszerű építőanyagokból épített födémszerkezetet rendszerint födémgerendák alkotják, és vagy a födémgerendák csatlakoznak sűrűn egymás mellett (lásd az 14.a/1. ábrát), vagy a födémgerendák között térkitöltő szerkezeti elemek, mint például béléstestek, boltozatok, vagy tálcák, foglalnak helyet (lásd az 14.a/2. ábrát). A vonalszerű építőanyagokhoz soroljuk a keskenyebb pallókat is. A födémgerendákból, illetve pallóból álló födémet az egyirányú hajlító igénybevétel jellemezi (lásd az 14.a/3. ábrát).

A felületszerű építőanyagokból épített födémszerkezet egy lemezből, vagy egy gerendarácsból alkotott födém (lásd az 14.b/1-2. ábrát). A lemez, vagy gerendarács típusú födémet, elviekben, kétirányú hajlító igénybevétel jellemzi (elméletileg, mert kétirányú hajlítás valójában akkor lép fel, ha fennáll az $½ < a/b < 2$ arány, ahol a és b a födém két befoglaló mérete). Ez egyúttal lehetővé teszi, hogy ne csak falak, hanem pillérek is alátámaszthassák a felületszerű födémet.

A födém szerkezeti kialakításából következik, hogy pontszerű, illetve vonalszerű építő anyagokból épített födém esetén elveikben függőleges tartószerkezeti elemként csak falak jöhetnek számításba. Ugyanakkor pillérváz esetén szükség van egy olyan szerkezeti elemre a pillérek és a födémszerkezet között, amely a boltozat, illetve födémgerendák reakcióerőit a pillérekre közvetíti. Ez a szerkezeti elem a két pillér között elhelyezkedő mestergerenda. A vízszintes erők „kiiktatásához”, vagy inkább felvétele céljából a négy mestergerendát egy egységbe, egy mestergerenda-gyűrűbe foghatjuk össze (lásd az 14.b/3. ábrát).

5.4. A tető és a térlefedés struktúrái

A tetőidomok sokszínűsége közismert. A cellákkal való kapcsolat bemutatásához a konvex formákat használjuk föl. *Megjegyzés*. A rúd-, héj-, kötél- és ponyvaszerkezetek esetén a tetőfelület konkáv is lehet. A tetőszerkezet alapját négyszögnek, nyolcszögnek és körnek választjuk, mintegy imitálva, hogy a sokszögek közelítik a kört. Metszetben az egymásnak támasztott gerendától, a sokszögvonalon át jutunk el a félkörhöz.

A (konvex) tetőszerkezetek főbb típusait táblázatba foglaltuk össze (lásd a 15. ábrát).

A táblázat egyes „oszlopai”-ban a tetőszerkezet alapja azonos. Az egymást követő oszlopokban rendre két párhuzamos szakasz, négyzet, nyolcszög és kör a tetőszerkezet alaprajza. Ezt mutatja a táblázat első (= alsó) sora. *Megjegyzés*. Értelemszerűen a nyolcszög és a kör közé illeszthetnénk 16-, 32- stb. szöget. Az alaprajzi elrendezésnek megfelelően az első oszlopban lévő tetőszerkezetek élben (gerincben) végződnek, a második, a harmadik és a negyedik oszlopban lévő tetőszerkezetek csúcsban.

A táblázat első három oszlopában a tetőfelületeket síkokként alakítjuk ki. A negyedik oszlopában a tetőfelületet görbült felületként képezzük.

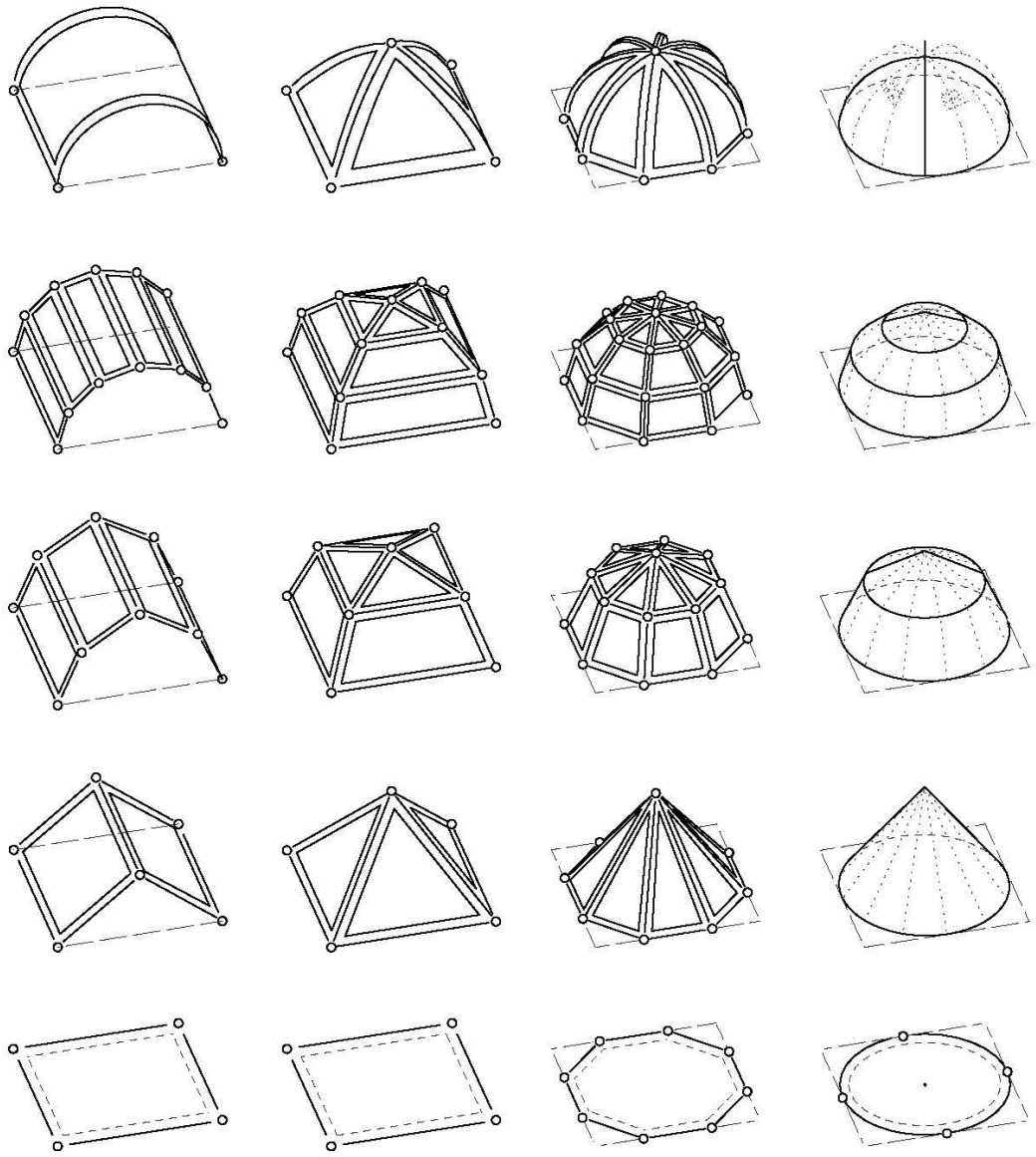
A táblázat (alulról tekintve) első sora a tetők alaprajzi elrendezését mutatja.

A táblázat második sorában a talp és a gerinc/csúcs között oldalanként egy-egy síkot alkalmazunk. Ezek között a tetőszerkezetek között találjuk a nyeregtetőt, a sátortetőt, a nyolcszögletű gúlatetőt és a kúptetőt.

A táblázat harmadik sorában a talp és a gerinc/csúcs között oldalanként két-két síkot alkalmazunk. Ezek vezetnek a manzárdtetőkhöz.

A táblázat negyedik sorában a talp és a gerinc/csúcs között oldalanként három-három síkot alkalmazunk. Ezek vezetnek a különböző lemezművekhez, mint a poligoniális hengerfelülethez, valamint a poligoniális kupolákhoz, illetve a kétszer tört kúpfelülethez.

A táblázat ötödik sorában a talp és a gerinc/csúcs között oldalanként sima (törésmentes) felületet alkalmazunk. Ezek vezetnek hengerfelülethez, a négy- és nyolcszögletű kolostorboltozathoz, valamint a félgömb, vagy forgásfelületű boltozathoz.



15. ábra. A tető struktúrái és a cellák

Megjegyzés. Értelemszerűen a három sík és töréspont nélküli felületek között vizsgálhatnánk négy, öt stb. sík alkalmazásával nyert felületeket is.

6. A CELLÁK ÉS AZ ÉPÜLETEK TÍPUSAI

6.1. Az épületek típusai

Az épület típusait a tartószerkezeti váz alapján alakítottuk ki (lásd pl. [15,16]). Az épület osztályozása a tartószerkezeti váz alapján a következő:

- Falazott fal- és pillérvázas épület boltozatos födémmel, illetve térfedéssel
- Falazott fal- és pillérvázas épület sík (!) födémmel
- Monolit vasbeton falvázas épület
- Előregyártott vasbeton blokkos-paneles épület
- Pillérvázas épület előregyártott vasbeton elemekből

- Pillérvázas épület monolit födémmel
- Térbeli keretként kialakított pillérvázas épület
- Vegyesvázas épület
- Rúdszerkezetű csarnoképület és térlefedés
- Kötélszerkezet
- Héj- és lemezmű
- Sátor- és ponyvaszerkezet

Jelen tanulmányban a boltozott födémmel épült falazott falas épületeket, valamint a vegyesvázas épületeket nem tárgyaljuk. A többi épülettípus és a cellák sorolása közötti kapcsolatot a következőkben ismertetjük.

6.2. Az épületek kialakítása a cellák sorolásával

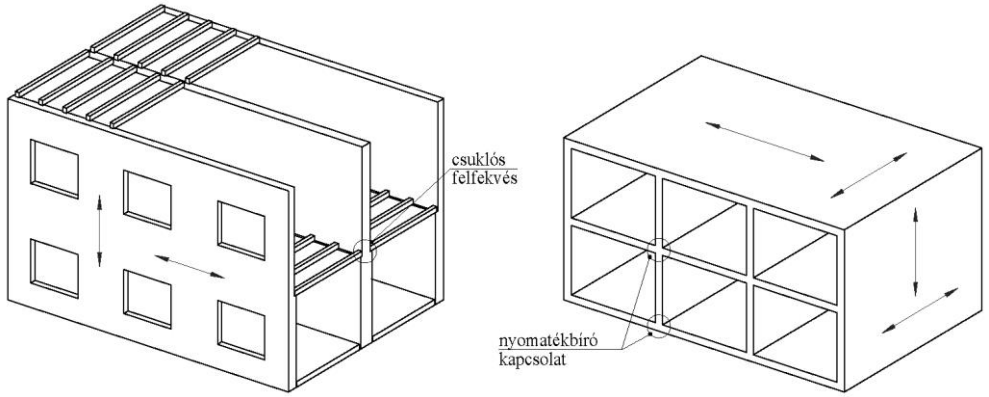
Az épületre úgy tekintünk, mint egymás mellé és egymás alá-fölé helyezett cellák összességét. Erre, a már hivatkozott panelépület, vagy a térbeli keretváz ad szemléletes példát (lásd az 1. ábrát). Az épület kialakításához pedig az tételezzük föl, hogy a cellákat egy, két, illetve három irányban egymás mellé sorolják (hézag és átfedés nélkül illeszkednek a cellák). Elsősorban a tartószerkezeteket, illetve a térelhatároló épületszerkezeteket sorolunk. Az épületszerkezeteket egyenes, illetve körív mentén soroljuk.

A továbbiakban az egyes épülettípusokat a cellák sorolása segítségével mutatjuk be. Megadjuk a sorolt szerkezetet, továbbá falvázas és pillérvázas épület esetén megadjuk az egyenes menti, rúd-, kötél-, héj- és ponyvaszerkezetek esetén mind az egyenes, mind a körív menti sorolás eseteit is.

6.3. Falvázas épületek

A falvázas épületekben a falat és a födémet soroljuk.

Falazott falas épület sík (!) *födémmel*. A (!) a boltozott poroszsüvegre utal. A falváz folytonos: a teherhordó falak (rendszerint) párhuzamos síkjaiban a cellák függőleges határait (a teherhordó falakat) folytonosan építjük mindkét irányban: vízszintesen és függőlegesen.



a) Az épületben folytonos falak, szakaszos födémek

b) Az épületben egyaránt folytonos falak és födémek

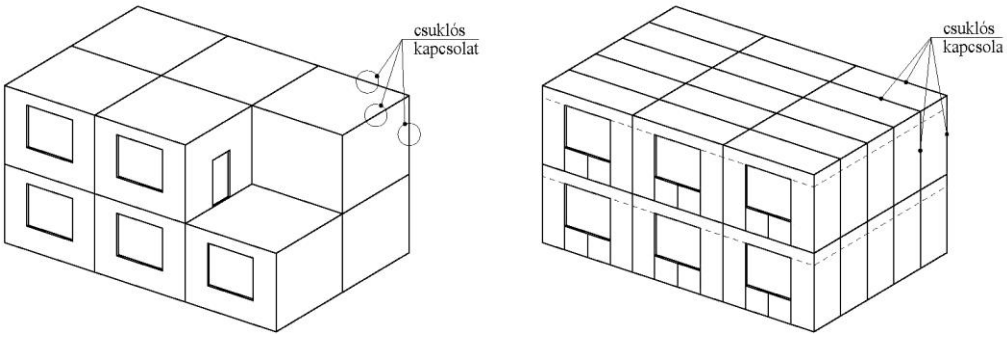
16. ábra. 1. rész. A cellák kapcsolódása falvázas épületekben

A cellák vízszintes határait, a födémeket, a főfalak közé építjük be. Ebben az épülettípusban elsősorban gerendás födémeket építettek, amelyek nem folytonos struktúrájúak. (Lásd a 16.a. ábrát.)

Monolit vasbeton falas épület. A falak és a födém, mint a váz elemei, folytonosak: a betonozás technológiája miatt a fal és a födém folytonos, az armatúra miatt a fal és a födém kap-

csolata nyomatékbíró, továbbá a nyomatékok a födémből a falba és viszont „átvándorolnak”. Ez az épülettípus tekinthető speciális lemezműnek. (Lásd a 16.b. ábrát.)

Blokkos-paneles épület. Mind a falpaneleket és a falblokkokat, mind pedig a födémpaneleket és a födémpallókat egymás mellé soroljuk. A kapcsolat részleges nyomatékátvitelre alkalmas. A csuklós kapcsolat miatt a vázat nem tekintjük folytonosnak, lásd a 16.c., illetve 16.d. ábrát).



c) Cellaegységenként folytonos falak és födémek

d) Cellaegységenként sávos falak és födémek

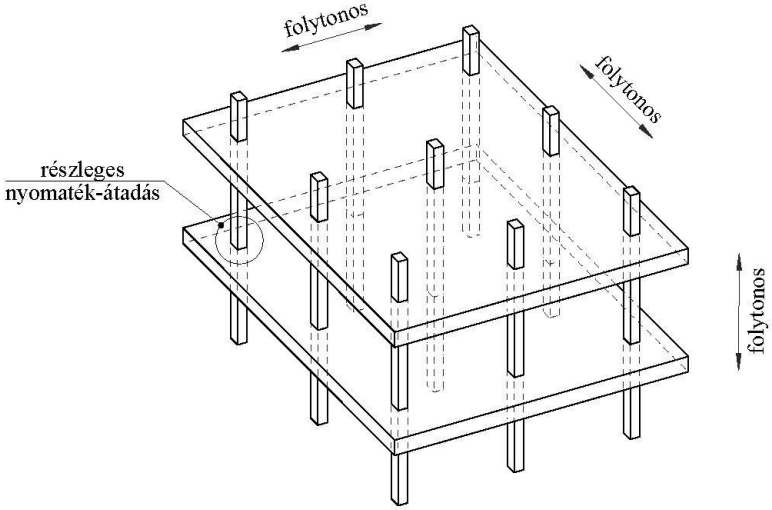
16. ábra. 2. rész. A cellák kapcsolódása falvázas épületekben

6.4. Pillérvázas épületek

A pillérvázas épületekben a pilléreket és a födémet soroljuk.

Szerelt pillérvázas épület. Mind a pillérek, mind a mestergerendák egy-egy cella hosszúságúak. Kapcsolatuk részlegesen nyomatékbíró. A födém felfekszik a mestergerendákra, kapcsolatuk csuklós. A vízszintes „tárcsahatást” a födémek felső szerkezeti egysége, a felbeton hozza létre. Az épület szerkezeti egységét, amelyet sorolunk, a 17.b. ábrán mutatjuk be.

Pillérváz monolit födémmel. Mind a pillérek, mind a monolit födémek önmagukban folytonosak, a kettő kapcsolata lehet csuklós és lehet nyomatékbíró is. A struktúrát a 17.a. ábra mutatja be.



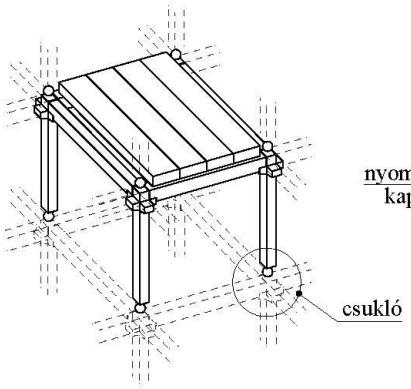
a) Folytonos pillérek és folytonos födémek

17. ábra. 1. rész. A cellák kapcsolódása pillérvázas épületekben

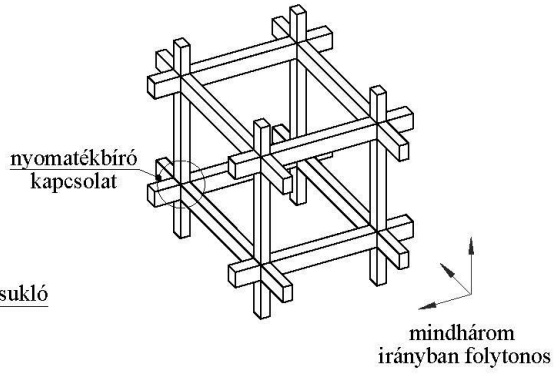
Térbeli keretként kialakított pillérvázas épület. A pillérek folytonosak az egyes szinteket létrehozó mestergerendákhoz képest, a két irányba futó mestergerendák mindegyike folytonos mind a másik mestergerenda sorhoz, mind az oszlopokhoz viszonyítva. Ez annyit tesz, hogy a

három fő tartószerkezeti elem nyomatékbíróan kapcsolódik egymáshoz, és nincs bennük csukló. Az épület szerkezeti egységét, amelyet sorolunk, a 17.c. ábrán mutatjuk be.

Megjegyzés. Mindhárom épülettípusban önálló merevítő szerkezetet, rendszerint merevítő falakat, merevítő magokat, vagy merevítő rácsos elemeket (andráskeresztek „sorait" és „oszlopait") alkalmaznak.



b) Folytonos pillérek és gerendák, szakaszos födémek

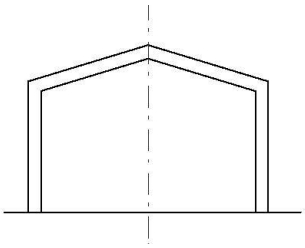


c) Folytonos pillérek és mestergerendák

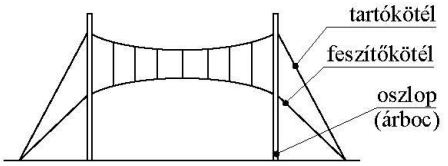
17. ábra. 2. rész. A cellák kapcsolódása pillérvázas épületekben

6.5. Falak és pillérek nélküli épületvázak

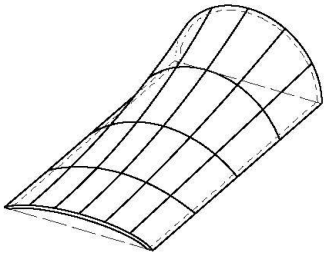
A falak és pillérek nélküli („*se-se*") *épülettípusok:* rúdszerkezetek, héjszerkezetek, kötélszerkezetek és ponyvaszerkezetek.



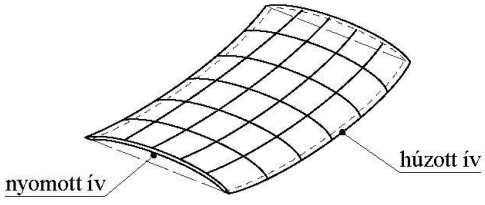
a) Rúdszerkezet (keret)



b) Kötélszerkezet



c) Héjszerkezet

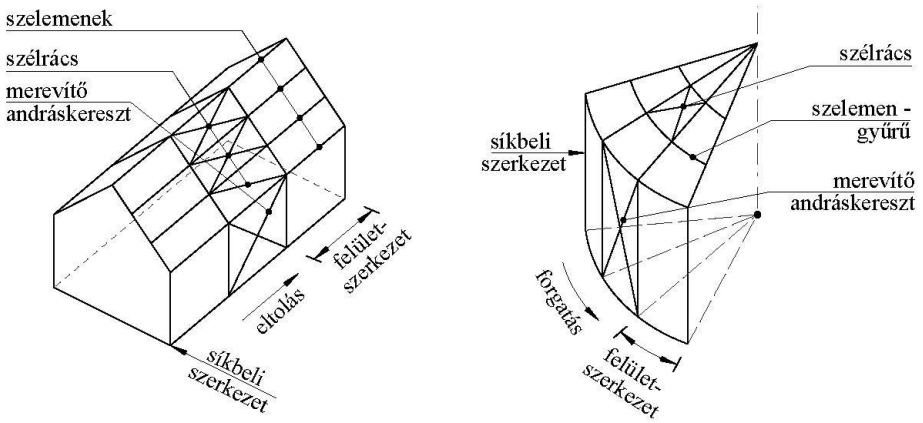


b) Ponyvaszerkezet

18. ábra. A se-se épületvázak alkotó elmei

Az épület tartószerkezeti vázát rendre egy-egy kerettel, kötélfőtartóval, héj-, illetve ponyvafelülettel hozzuk létre eltolással vagy elforgatással. Ezek az épülettípusok, általában, egyszintesek. Az épületet képző elemeket a 18. ábrán, magukat az épületeket a 19-22. ábrákon mutatjuk be.

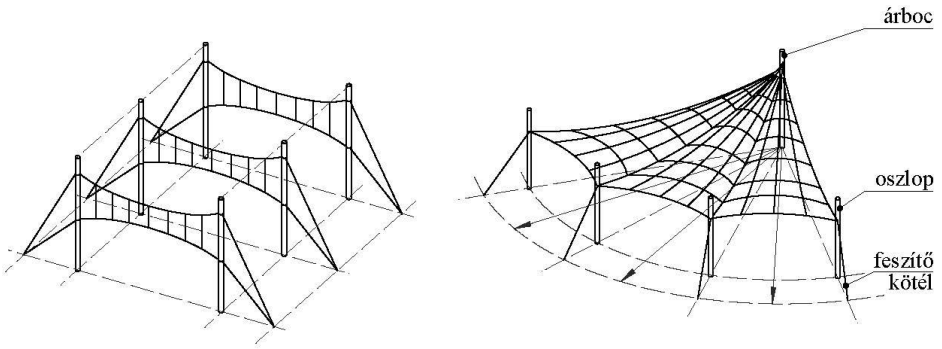
Csarnoképület keretszerkezet sorolásával: a térbeli fedéshez szelemenekre, illetve szelemen gyűrűkre van szükség. A merevséget a keretszerkezetek közötti merevítő „andráskeresztek", azaz szélrácsozás biztosítja (lásd a 19. ábrát).



a) Rúdszerkezet eltolással b) Rúdszerkezet forgatással

19. ábra. Rúdszerkezetű épületváz alkotó elemei

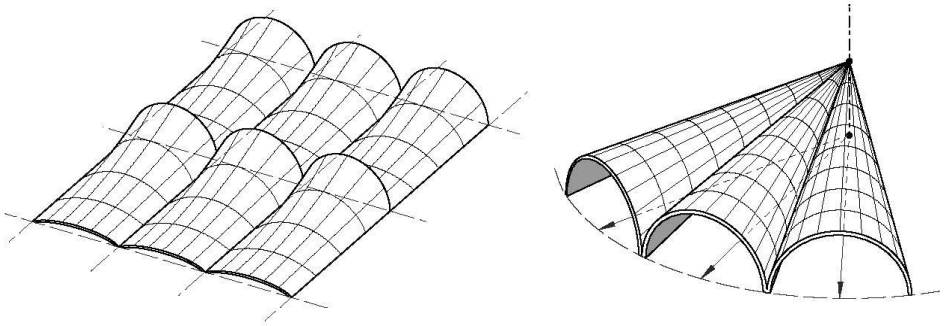
Csarnoképület kötélfőtartó sorolásával: a térbeli fedéshez a párhuzamosan elhelyezkedő kötélfőtartókra merőleges, másodlagos kötélfőtartókra, illetve a sugárirányban elhelyezkedő kötélfőtartókhoz viszonyítva gyűrűirányú feszítőkötelekre van szükség. Ezek szerepe funkcionálisan megegyezik a szelemenekkel. A rendszer merevségét az oszlopokat ferde irányban rögzítő feszítő kötelek biztosítják. Ezek funkcionálisan megegyeznek a keretszerkezetek közötti szélrácsozással (lásd a 20. ábrát).



a) Kötélszerkezet eltolással b) Kötélszerkezet forgatással

20. ábra. Kötélszerkezetű épületváz alkotó elemei

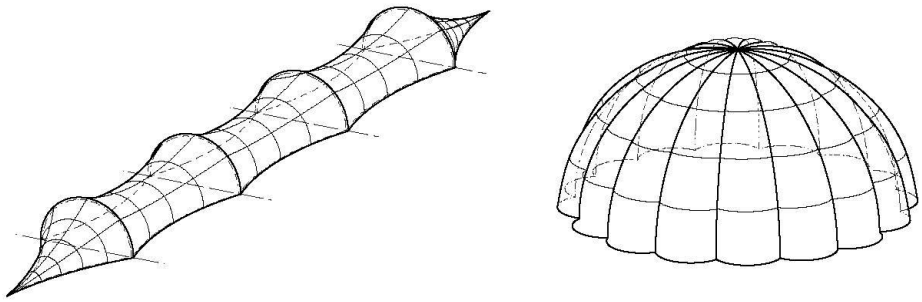
Egyszintes épület héjszerkezet sorolásával: a térbeli fedést az egymás után-mellé sorolt felületszerkezetek adják. A merevséget a felületszerkezet megadja (lásd a 21. ábrát).



a) Héjszerkezet eltolással b) Héjszerkezet forgatással

21. ábra. Héjszerkezetű épületváz alkotó elemei

Egyszintes épület ponyvaszerkezet sorolásával: a térbeli fedést az egymás után-mellé sorolt felületszerkezetek adják. A merevséget a ponyvaszerkezetek többirányú feszítése adja meg (lásd a 22. ábrát).



a) Ponyvaszerkezet eltolással b) Ponyvaszerkezet forgatással

22. ábra. Ponyvaszerkezetű épületváz alkotó elemei

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban az épületek tartószerkezeti váza, a cellák, és a cella határainak megfeleltethető pont-, vonal- és felületszerű testek közötti kapcsolatot mutattuk be. Az épület tartószerkezeti vázát – alapok, falak és födémek, valamint a tető – párhuzamba állítottuk egy téglalap, egy téglatest, és egy négyzet alapú a gúla peremeivel. Ez alapján a csúcsokat csomópontokként, az éleket gerendákként és pillérekként, a felületeket födémekként, falakként és tetősíkokként értelmeztük. Ehhez bevezettük a pont-, a vonal- és a felületszerű testek fogalmát. Áttekintettük az épület tartószerkezeti elrendezését alaprajzban, valamint a falak/pillérek elrendezését egy-egy cellán belül. Megadtuk a falak/pillérek és a födémek kapcsolódásának két főbb lehetőségét. Megvizsgáltuk, hogy a tetőidomok és ezzel együtt a tetőszerkezetek a cellák milyen elrendezésében állíthatók elő. Végül áttekintettük az épületek tartószerkezeti vázait. Azokat falak, pillérek, valamit rúd-, kötél-, héj- és ponyvaszerkezetek alkothatják. A cellák eltolása, illetve elforgatása segítségével bemutattuk a 10 épülettípus egy-egy jellegzetes képviselőjét.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BAJZA, J.:** *Épület és szerkezete. Az építészet technikai alapjai*. TERC, Budapest, 2015.
[2] **BÁRSONY, I.:** *Magasépítéstan* I. Pécs, 2006.
[3] **BÁRSONY, I.** – **SCHISZLER, A.** – **WALTER, P.:** *Magasépítéstan* II. Pécs, 2007.
[4] **SZILGYI, M.:** *Fizikai kislexikon,* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
[5] **GÁBOR, L.:** *Épületszerkezettan*. I. kötet. Hetedik, változatlan kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.
[6] **GÁBOR, L.:** *Épületszerkezettan*. II. kötet. Hetedik kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1981.
[7] **GÁBOR, L.:** *Épületszerkezettan* III. kötet. Negyedik, változatlan kiadás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
[8] **GÁBOR, L.:** *Épületszerkezettan*. IV. Tankönyvkiadó, Budapest, 1979.
[9] **GILYÉN, N..:** *Szerkezet és forma az építészetben*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
[10] **JOEDICKE, J.:** *Modern építészettörténet a forma, a funkció és a szerkezet szintezése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1961.
[11] **KOTSIS, E.:** Épületszerkezettan. Egyetemi Nyomda, Budapest, 1945.
[12] **LÁMER, G.:** A strukturált szerkezet és anyag és a numerikus módszerek kapcsolata = In 16th „Building Services, Mechanical and Building Industry Days" International Conference 2010. (Debrecen, 2010. október hó 14-15.) pp. 603-610
[13] **LÁMER, G.:** Térképzés, szerkezeti struktúra és erőjáték = in: 18th „Building Services, Mechanical and Building Industry days" International Conference 2012. (Debrecen, 2012. október hó 11-12.)

MAS-12-18
[14] **LÁMER, G.:** *Épületszerkezetek*. TERC, Budapest, 2013. pp. 152.
[15] **LÁMER, G.:** *Különleges épületszerkezetek*. Budapest, Terc Kft., 2013. pp. 130
[16] **LÁMER, G.:** *Épületszerkezetek és struktúrák*. I. rész. *Az épületek csoportosítása a tartószerkezeti váz alapján*. IJEMS Vol. 2. (2017). No. 2. pp. 56-78
[17] **LÁMER, G.:** *Épületszerkezetek és struktúrák*. II. rész. *Struktúraváltások az épületek tartószerkezeti vázában*. IJEMS Vol. 2. (2017). No. 2. pp. 79-99
[18] **SIEGEL, C.:** *A modern építészet szerkezetformái*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1969.
[19] **SZÉLL, L.**: *Magasépítéstan* I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1957.
[20] **SZÉLL, L.**: *Magasépítéstan* II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1960.

FOLYTONOS ÉS DISZKRÉT MODELLEK A DEFORMÁLHATÓ SZILÁRD TESTEK MECHANIKÁJÁBAN

CONTINUOUS AND DISCRETE MODELS IN THE MECHANICS OF DEFORMABLE SOLID BODIES

LÁMER Géza

főiskolai tanár, PhD, glamer@eng.unideb.hu
Műszaki Menedzsment és Vállalkozási Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A tanulmányban a folytonosság és a diszkrétség fogalmait járjuk körül. Folytonos, illetve diszkrét lehet az anyag, az anyag viselkedése (mozgása), az anyag viselkedésének leírása mind a fizikai, mind a fázistérben. Megmutatjuk, hogy a folytonosnak tekintett közeg állapotát leírhatjuk diszkrét közelítő függvényekkel, és fordítva, a diszkrétnek tekintett közeg állapotát leírhatjuk folytonos közelítő függvényekkel. Ennek kapcsán áttekintjük a különböző modellek hierarchiáját.*

Kulcsszavak: *folytonos és diszkrét anyag, folytonos és diszkrét mozgás, folytonos és diszkrét leírásmód a fizikai térben, illetve a fázistérben, kontinuum, klasszikus kontinuum, általánosított kontinuum, rácskontinuum*

Abstract: *In the paper the concepts of continuous and discrete are analysed. The material, the movement, as well as the descriptions in the physical and/or phase space can be continuous and discrete. It is shown the state of the continuous material can describe by discrete approximating functions, and vice versa, the state of the discrete material can describe by continuous approximating functions. In this context we overview the hierarchy of the different models.*

Keywords: *continuous and discrete material, continuous and discrete movement, continuous and discrete descriptions in the physical space as well as in phase space, continuum, classical continuum, generalized continuum*

1. BEVEZETÉS

A deformálható szilárd testek mechanikájában hallgatólagosan elfogadott, hogy a belső szerkezet nélküli, valamint a belső szerkezettel bíró deformálható szilárd test egyaránt folytonosnak tekinthető, legalábbis abból a szempontból, hogy a mechanikai viselkedésének leírásához a folytonosságon alapuló matematikai apparátus – differenciál- és integrálszámítás – alkalmazható. A modell folytonosságát az anyag megnevezése – kontinuum –, illetve az anyagi viselkedést leíró diszciplína neve – kontinuummechanika – is hivatott visszatükrözni [34].

Az anyag mechanikai viselkedésének leírása során a folytonosság, illetve a diszkrétség fogalmait három, vagy inkább négy, egymástól eltérő szempont szerint alkalmazzuk. Ezek a szempontok a következők: maga az anyag, az anyag viselkedése (a „részecskék” mozgása), és anyag viselkedésének (mozgásának) leírása. Ez utóbbi, a leírásra használt terek megválasztása okán, további két esetre oszlik: leírás a fizikai térben és leírás a fázistérben [31].

A hétköznapi értelemben az anyagot akkor tekintjük folytonosnak, ha abban anyaghiány nincs, vagyis az anyagot alkotó elemek folyamatosan érintkezésben vannak. Ebből a szempontból a folytonos anyag fogalma, ismerve az anyag atomi-molekuláris felépítését, inkább közelítés, semmint precíz definíció. A legkirívóbb példa a gáz, amelyet ugyan a folytonos közegek közé sorolunk, de a gázban az atomok, illetve a molekulák nincsenek folytonos érintkezésben, hanem időről időre ütköznek. A folyadékokat is folytonos közegnek szokás tekinteni. Igaz, hogy a folyadékot alkotó atomok és/vagy molekulák folyamatosan érintkeznek

egymással, ebből a szempontból folytonos a folyadék, de nem mindig ugyanazok az atomok és/vagy molekulák érintkeznek, hanem az egyes atomok és/vagy molekulák helyet cserélnek, az érintkezésben lévő atomok és/vagy molekulák folytonosan cserélődnek. A folytonos közegek közé soroljuk a szemcsés közegeket, mint például a halmot alkotó kavicsot, homokot, homoklisztet, kőport vagy cementet. A szemcsés közeg nem feltétlen tekintendő folytonosnak, mivel a szemcsés közeg egyes szemcséi között szabad, kitöltetlen (pontosabban levegővel vagy vízzel kitöltött) térrészek vannak. A szilárd anyag folytonos modellezése sem egyértelmű az anyageloszlás folytonossága szempontjából. Egyrészt az elemi cellában az atomok között lehet vakancia, vagy „fölös" atom, polikristályos anyag esetén a szemcsehatárokon nem egyenletes az atomok elrendezése, azaz a folytonosság lokálisan sérül. Általánosságban, az atomoknak golyókkal történő modellezése szerint az atommagok között „űr" van, ugyanakkor az elektronok folytonossá (és szilárddá) teszik az anyagot. Végül az elektronok „golyókkal történő, »diszkrét« modellezése" ellentétes a kvantummechanikai tapasztalatokkal, szétkenve, „felhőként", netán valószínűségi leírásmódban az anyag folytonos eloszlásának fogalma is kétségessé válik.

Az anyagi viselkedés folytonosságát a viselkedés leírása alapján értelmezzük. Magát a leírást matematikai értelemben leképezésnek tekintjük. A viselkedés folytonossága alatt a leképezés folytonosságát értjük. A leképezés folytonosságát a következőképpen értelmezzük. Legyen adott egy leképezés (mozgás), amelyet egy időpillanathoz, illetve egy helyhez kötünk. Akkor az adott időpillanattól nem túl nagy időintervallumon belül, illetve az adott helytől nem túl távoli helyen belül a leképezés (a mozgás) nem sokban tér el az adott helyen adott leképezéstől (mozgástól). A leképezés (a mozgás) időbeli folytonosságát mindig feltételezzük. Magyarán feltesszük, hogy a leképezés (a mozgás), mint idő szerinti változás, folytonos, sőt sima (a szükséges rendig differenciálható). A folytonosnak tekintett szilárd anyagok alakjának kismértékű megváltozása, mint fa, beton, acél rudak kismértékű összenyomása, nyújtása, hajlítása a térben folytonos leképezés (mozgás). A leképezés (a mozgás) térbeli folytonosságának megléte nem minden folytonosnak tekintett anyag esetében áll fenn. Például, a már említett gáz esetén nem áll fenn, hasonlóképpen a folyamatosan átrendeződő folyadék esetén sem áll fenn atomi-molekuláris szinten, és az átrendeződő szemcsehalmazban, például átlapátolás esetén, a leképezés (a mozgás) nem tekinthető folytonosnak a térben. Végül a képlékeny vagy a viszkózus folyás során átrendeződő atomok mozgása sem folytonos a térben.

A mechanikai viselkedés leírását – a differenciál- és integrálszámítás alkalmazása okán – folytonosnak szokás tekinteni. Ugyanakkor pl. a végeselemes analízis ugyan kitér a résztartományokon értelmezett bázisfüggvények folytonosságának kérdésére [9], de a folytonosságot nem minden bázisfüggvény-választás biztosítja, rendszerint valamilyen átlagban áll fenn a folytonosság. Ennek „duálisaként" említhető a diszkrét, periodikus rendszerek (pl. atomok rácsszerkezete, rudak (egy-, két- vagy háromdimenziós) szabályos hálózata) mechanikai viselkedésének leírására alkalmazott általánosított kontinuum, vagy rácskontinuum folytonos modellje [12], amely egyértelműen diszkrét viselkedést – pl. optikai rezgéságat – is képes leírni [16].

Az anyag folytonosságát tehát különböző szempontok szerint értelmezhetjük. A tanulmányban többféle szempont szerint tekintjük át a folytonosság, és ellentéte, a diszkrétség fogalmait.

2. TESTEK ÉS OSZTÁLYAIK

2.1. A négyféle test

A testeket a fizikai halmazállapot szerint három osztályba szokás sorolni: szilárd,

folyékony és gáznemű. Esetenként önálló halmazállapotként különböztetik meg a plazmát, az atommagokból álló csillaganyagot; a földi körülmények között ezeket figyelmen kívül hagyhatjuk.

Az anyagi viselkedés szempontjából a halmazállapot szerinti három testből álló osztályozást célszerű egy negyedik testtel, a szemcsés testtel bővíteni. Így a testek következő négy osztályát különítjük el: szilárd, szemcsés, folyékony és gáznemű. Az egyes testek mechanikai viselkedésen alapuló rövid jellemzése a következő.

Szilárd: van saját alakja. Felületre helyezve megtartja alakját. Az együvé tartozás állapotát külső hatás – pl. koncentrált erőhatás – alatt megtartja, ugyanakkor alakja változhat. Egy másik szilárd test nem hatol bele (a szegtől és a fúrótól eltekintve).

Szemcsés: nincs saját alakja. Felületre szórva kúpot alkot, edénybe szórva felveszi annak alakját. A gravitáció hatása alatt a szórással elnyert alakja nem változik. Külső behatás esetén a szemcsék átrendezőnek. Koncentrált erő egy-egy szemcsére fejtheti ki a hatását, rendszerint az erő hatása alá került szemcse elmozdul: vagy eltávolodik a halmaztól, vagy belesüllyed abba. Egy másik szilárd test behatolhat a szemcsés közeg szemcséi közé (pl. cölöpverés talajba). Az együvé tartozás öntéssel és lapátolással megszűntethető és helyreállítható.

Folyékony: nincs saját alakja. Felületre öntve a lejtés irányába folyik, egy-egy mélyedésben (edényben) összegyűlik. Koncentrált erő közvetlenül nem képes hatni a folyadékra, csak véges felületű merev testen keresztül. Egy erővel a folyadék szabad felszínéhez „hozzászorított" test elmerül a folyadékban. A folyadékban szilárd testek, szemcsék tartózkodhatnak a folyadékot alkotó atomok és/vagy molekulák között, azaz a folyadékban szilárd test úszhat. Az együvé tartozás öntéssel és meréssel megszűntethető és helyreállítható.

Gáznemű: nincs saját alakja. Nem önthető (csak a nagy fajsúlyú gázok). Felületre „helyezve" elillan, zárt edényben kitölti a rendelkezésre álló teret. Koncentrált erő közvetlenül nem képes hatni a gáznemű testre, csak véges felületű merev testen keresztül. A gázt alkotó atomok és/vagy molekulák körülölelik a szilárd testeket, a gázneműben elhelyezkedő szilárd testek képesek a gáznemű anyagban haladni, repülni. Az együvé tartozás elválasztó falak elhelyezésével megszűntethető, majd eltávolításával helyreállítható.

Részletesebb jellemzést lásd pl. [21-24].

2.2. A szilárd testek

A szilárd test alapvetően attól szilárd, hogy külső hatás alatt is egy test marad, abban repedések, törések nem keletkeznek. A szilárd test méretei a testet ért hatások alatt kis mértékben változnak meg. A szilárd test deformálható.

A deformálható szilárd testek két csoportja különíthető el. Az egyik csoportba soroljuk azokat a szilárd testeket, amelyek oly mértékig merevek, hogy ez az állapot lehetővé teszi, hogy a rá ható erőhatások következtében azonnal belső erő ébredjen bennük. Ezeket *kinematikailag határozott deformálható szilárd testek*nek nevezzük. Rendszerint a „kinematikailag határozott" jelzős kifejezést elhagyjuk. Példaként a kövekből, égetett kerámiából készült falazó elemek, acél szelvények, előregyártott vasbeton gerendák, pillérek említhetők. A másik csoportba soroljuk azokat a szilárd testeket, amelyek nem tekinthetők mereveknek abban az értelemben, hogy a rá ható erőhatások következtében erőt nem képesek közvetlenül felvenni, hanem a testek alakja változik meg úgy, hogy a méretei nem változnak (pl. a kötél hossza változatlan), de alakjuk megváltozik (pl. felcsévélt állapotból kiegyenesednek), és így a rá ható erők egyensúlyozására képessé válnak. Vagyis a testek olyan alakokat vesznek fel, amelyben azok a rá ható erőket képesek egyensúlyozni. Ebben a helyzetben ébred a testben belső erő. Ebben a helyzetben alakja alapvetően változatlan, de a test méretei kis mértékben megváltoznak. Ezeket a testeket *kinematikailag határozatlan deformálható szilárd testek*nek

nevezzük. Példaként kötelek, drótkötelek, ponyvák, vásznak említhetők.

A továbbiakban a kinematikailag határozott, deformálható szilárd testet tartjuk szem előtt.

A deformálható szilárd test alakjának megváltozása annak időbeli lezajlásával, illetve az anyagnak a hatás megszűnése utáni viselkedésével jellemezhető. Feltesszük, hogy az erőhatás lassan alakul ki (a nagysága nulláról nő a maximális értékig), egy ideig terheli a testet, majd lassan szűnik meg (a nagysága a maximális értékről a nulláig csökken). A következő lehetőségek különíthetők el. α.) A test alakjának megváltozása a hatás megszűntével megszűnik. Ennek során a belső atomi rend *megmarad*. Ezt tekintjük az alak rugalmas megváltozásának. Erre példaként a több száz éves kőhidak, vagy a száz évnél idősebb vashidak hozhatók fel. Ugyanis, ha az alakváltozás maradó lenne, úgy minden áthaladó jármű után a hidak maradó alakváltozást szenvednének, és lentebb és lentebb hajolnának, míg végül ma már nem hidalnák át az akadályt. β.) A test alakjának megváltozása (ha nem is a teljes, de annak egy része) a hatás megszűntével megmarad. Ennek során a belső atomi rend *átrendeződik*. Ez az alak *képlékeny* megváltozása. Példaként a fémek képlékeny alakítása említhető. γ.) Az alak maradó megváltozása úgy is létre jöhet, hogy a maximális erőhatás ideje alatt, azaz *állandó erőhatás mellett*, az alak folyamatosan változik, értelmezés szerint a belső atomi rend *átrendeződésé*vel jön létre. Ez az alak *viszkózus* megváltozása. Erre példa lehet a feszítő pászma ernyedése a feszített vasbeton szerkezetben. Az anyagi viselkedésről részletesebben lásd pl. [3,4,42].

Az alak rugalmas megváltozása kétféleképpen is végbe mehet. Az egyik, hogy az atomok és/vagy molekulák kis mértékben közelítenek, illetve távolodnak egymástól. Például a kristályrácsos fémek, vagy a kőzetek rugalmas alakváltozása. Ebben az esetben az alak megváltozása elenyésző (a testben kijelölhető görbék relatív nyúlása elhanyagolható az egy mellett). Ebben az esetben beszélünk *alakváltozás*ról. A másik, hogy szálas anyagok elsődleges belső kötése – maguk a szálak – megmaradnak, de a másodlagos belső kötések – a szálak közötti kapcsolatok – felszakadásával és újak létrejöttével a test alakja megváltozik. Az alaknak ez a változása jelentős méretbeli változással jár (gondoljunk pl. a rugalmas luftballon felfújására), a testben kijelölhető görbék hossza többszörösére, vagy töredékévé válik az eredeti hossznak. Valójában a görbék darabokra szakadnak, hiszen belső átrendeződés zajlik [47] (csak szemmel nem látható, mert a szálas elrendezés csak mikroszkóppal észlelhető). Ebben az esetben részleges belső *átrendeződés*ről beszélünk.

2.3. A testek osztályozásának matematikai háttere

A testek osztályozásának matematika háttere a topológia (lásd [21]).

Az osztályozás alapgondolata a következő. A testet alkotó részecskék – atomok és/vagy molekulák, illetve szemcsék – egymáshoz viszonyított helyzete lehet rögzített, de változhat is. Ez a megállapítás vonatkoztatható a test külső hatástól mentes állapotára és külső hatás alatt álló állapotára (azaz a mozgására) is.

A topológiai rend szerepe a test jellemzésében; a testek osztályozása

A szilárd testekben, egy külső erőhatás nélküli szemcsehalmazban a testet alkotó részecskék egymáshoz viszonyított helyzete – a részekék környezete – állandó. Azt mondjuk, hogy a szilárd testekben, és a mozdulatlan szemcsehalmazban *fennáll egy topológiai rend*.

A folyadékokban a folyadékot alkotó atomok és/vagy molekulák pillanatnyi környezete állandó, de ez a környezet idővel átalakul. Azaz a folyadékban a topológiai rend csak egy-egy időpillanatban áll fenn, *a topológiai rend folyamatosan átalakul*.

A gázt alkotó atomok és/vagy molekulák folyamatos átrendeződés „állapotában” vannak, egy-egy atom és/vagy molekula közvetlen környezete nem is jelölhető ki, az egyes atomok és/vagy molekulák időnként ütköznek, de sem az ütközés idejében és helyében, sem az ütközésben részt vevő atomok és/vagy molekulák azonosságában („személyében”) semmiféle sza-

bályos rend nem figyelhető meg. Gázok esetén *nem létezik semmiféle topológiai rend*.

A topológiai rend szerepe a test alakja megváltozásának jellemzésében; a testek mechanikai viselkedésének osztályozása

A deformálható szilárd test mechanikai viselkedése során két lehetőség különíthető el: az anyagot alkotó atomok és/vagy molekulák közötti topológiai rend megmarad, vagy nem marad meg. A megmaradó topológiai rend a rugalmas alakváltozást jellemzi. A képlékeny folyás az anyagtól függően más és más mértékben őrzi meg, illetve rendezi át a topológiai rendet. Pl. polikristályos anyag esetén először az egykristályokban a topológiai rend megmarad, a kristály-határokon rendeződik át az atomok rendje. Ezt követően az egykristályokban átbukással, vagy az atomok sorának egymás melletti elcsúszásával megy végbe az atomok és/vagy molekulák átrendeződése. A képlékeny zóna egyidejűleg rendszerint a test egészének kicsiny részére korlátozódik. Például a drót húzása esetén az alak képlékeny változása a drót egy kicsiny szakaszára korlátozódik, bár a folyamat során a drót elejétől annak végéig a drótot alkotó atomok átrendeződnek. Ehhez hasonló az arany fólia („füstarany") készítése is. A deformálható szilárd test alakjának viszkózus megváltozása az atomok átrendeződésével megy végbe. Fémek esetén elsősorban kristályrács hibái (vakanciák, illetve nem rácspontban ülő atomok pozíciói) „szűnnek meg", illetve a kristályhibák mozdulnak el a kristály peremére. Lágyabb fémek (ón, ólom), pasztaszerű anyagoknál (glett) egész atomsorok (molekulasorok) csúsznak el egymás mellett. Erre példa a bitumen alakjának lassú változása. Az első esetben a topológiai rend lokális sérüléséről, a második esetben a topológiai rend globális megszűnéséről beszélünk.

A gumi nagy alakváltozását részletesen ismertettük a 2.2. pontban. Ez topológiai szempontból úgy értelmezhető, hogy a láncokban a topológiai rend megmarad, a láncoknak egymáshoz viszonyított topológiai rendje változik meg. A folyadékok áramlása esetén a folyadékot alkotó atomok és/vagy molekulák egymáshoz viszonyított rendje alapvetően folyamatosan változik. Ugyanis változó áramlási keresztmetszet esetén az atomok és/vagy molekulák át kell, hogy rendeződjenek, hogy a folyadék az áramlási keresztmetszet nagyságához igazodjon. Ennek oka, egyrészt az, hogy az atomok és/vagy molekulák nem képesek a méretüket megváltoztatni (felére csökkenteni, vagy kétszeresére növelni, ahogy az áramlási keresztmetszet a felére csökken, vagy a kétszeresére nő), másrészt pedig az, hogy az atomok és/vagy molekulák közötti „üres" tér nem változik (a felére, vagy duplájára). Ez utóbbi azért áll, mert a folyadék attól folyadék, hogy az azt alkotó atomok és/vagy molekulák folytonos érintkezésben vannak. Állandó keresztmetszet esetén nem zárható ki annak a lehetősége, hogy a belső topológiai rend megmarad. A valóságban, folyadék esetén a keresztirányú diffúzió (is) a topológiai rend folyamatos sérülésével jár. Ez nem csak egyensúlyban lévő folyadékra, de áramlásban lévő folyadékra is fennáll. Az áramló folyadékok áramlását jellemző görbék – az áramvonalak – esetén értelmezhető a topológiai rend. Ez nem a folyadékot alkotó atomok és/vagy molekulák topológiai rendje, hanem az áramvonalaké. Lamináris áramlás esetén az áramvonalak nem metszik egymást, és nem hurkolódnak egymásba. Turbulens áramlás esetén az áramvonalak már egymást metszik, illetve egymásba hurkolódnak. Maga az áramvonal oldódik fel a turbulens áramlásban.

A folyadékok felvett alakja tetszőlegesen változtatható, csak át kell merni, vagy át kell önteni egy másik alakú edénybe. Ez a mozgásforma, értelemszerűen, az egyébként is folyamatosan változó topológiai rend azonnali és teljes mértékű átrendeződésével jár.

A gáznemű test áramlása esetén a gázt alkotó atomok és/vagy molekulák egymáshoz viszonyított rendje nem létezik. Áramlás esetén ugyan az atomok és/vagy molekulák az egyensúlyi állapothoz hasonlatosan folyamatos átrendeződésben vannak, egymással ütköznek, ugyanakkor erre a mozgásra rárakódik egy rendezett mozgás, az áramlás. Váltakozó áramlási keresztmetszet esetén az atomok és/vagy molekulák az egyensúlyi állapothoz hasonlatosan

folyamatos átrendeződésben vannak, egymással ütköznek, ugyanakkor „követik” a gáz áramlási keresztmetszetének változását. Ehhez a változáshoz a gáz nem az atomok és/vagy molekulák átrendeződésével igazodik, hanem, két ütközés közötti távolság változásával. Ugyanis gáz esetén is igaz, hogy az atomok és/vagy molekulák nem képesek a méretüket megváltoztatni (felére csökkenteni, vagy kétszeresére növelni, ahogy az áramlási keresztmetszet a felére csökken, vagy a kétszeresére nő). A topológiai rend még állandó áramlási keresztmetszet esetén is folyamatosan sérül. Az áramló gázok áramlását jellemző görbék – az áramvonalak – esetén szintén értelmezhető a topológiai rend. (Ez az áramvonalak topológiai rendje és nem a gázt alkotó atomok és/vagy molekulák rendje.) Gázok áramlása esetén is a lamináris áramlás során az áramvonalak nem metszik egymást, és nem hurkolódnak egymásba, míg turbulens áramlás esetén az áramvonalak már metszik egymást, illetve egymásba hurkolódnak. A gáz áramlása esetén a keresztirányú diffúzió nem szűnik meg, csak annak sebessége, energiája töredéke az áramlás sebességének és energiájának. A gázban sem az áramlás, sem az egyensúly esetén nem beszélünk topológiai rend fennállásáról. A gáz felvett alakja tetszőlegesen változtatható, csak át kell pumpálni egy másik alakú edénybe. Ez, hasonlóan a folyadékok esetéhez, az egyébként is folyamatosan változó topológiai rend egy adott pillanathoz tartozó aktuális állapotának azonnali és teljes mértékű átrendezésével jár.

2.4. A deformálható szilárd testek főbb modelljei

A testek négy osztályának megfelelően alapvetően a modelleknek is négy osztálya különíthető el: szilárd testek, szemcsehalmazok, folyadékok és gázok modellje. Figyelmünket a szilárdnak tekintett anyagok modelljeire fordítjuk.

A deformálható szilárd anyagok esetén a modell képes kell, hogy legyen a test alakja megváltozását visszatükrözni. Ezek a modellek három nagyobb csoportba oszthatók. Ez a három csoport a következő: kristályrácsok modelljei [5], klasszikus kontinuum modellek [10,32,33, 35,36], és általánosított kontinuum modellek [7,15,40,8,16,1,2].

A kristályrácsok modelljei rácshálózat rácspontjaiban ülő (tehát diszkrét), (elsősorban) az egymástól mért távolság megváltozásától függő rugalmas erőkön keresztül egymáshoz kapcsolódó anyagi pontok rendszereként épülnek fel. A belső erők az egy-egy rácspontokban ülő elemek között ébrednek, az erőnek a távolságtól való változását atomfizikai ismeretekből határozzák meg [5]. A klasszikus kontinuum a folytonosnak tekintett tartomány metrikus tulajdonságainak változásain alapuló modell. A modellben „megoszló” belső erőket (feszültségeket) értelmezünk, az egyes anyagok eltérő viselkedését az alakváltozások és a feszültségek közötti kapcsolat (az anyagi egyenletek szerkezete) tükrözi vissza (lásd [32,33]). Az anyagi állandók értékeit a szilárdságtanban megszokott kísérletekből határozzák meg [3,4,42]. Az általánosított kontinuumok belső szerkezettel bíró, folytonosnak tekintett, több szinten (beágyazó tér szintje, egy vagy több (egymásba) begyázott, struktúrával rendelkező szint) értelmezett metrikus tulajdonság változásán alapuló modellcsoport. A modellben „megoszló” belső erőket (feszültségeket, nyomatéki, vagy általánosított feszültségeket) értelmezünk. Az egyes anyagok eltérő viselkedését a beágyazott szint(ek) kinematikai szabadságfokai (a kísérő triéder elfordulása, a kísérő triéder éleinek relatív nyúlása, a kísérő triéder élei közötti szögek változása; ezek külön-külön, vagy együtt is felléphetnek), valamint az alakváltozások és a feszültségek közötti kapcsolat (az anyagi egyenletek szerkezete) tükrözi vissza [7,15,40,8,16, 1,2]. Az anyagi állandók értékeinek a szilárdságtanban megszokott kísérletekhez hasonló kísérletek gyakorlatilag (egy-két kísérleti méréstől eltekintve) nem léteznek [40,8]. Az anyagi állandókat, egyes esetekben, a beágyazás értelmezése során kijelölt diszkrét belső erők és a belső szerkezetben értelmezett, lokális „alakváltozás” közötti kapcsolatból vezetik le [16].

3. FOLYTONOSSÁG ÉS DISZKRÉTSÉG

3.1. Folytonosság kontra diszkrétség

A folytonosság és a diszkrétség fogalmai

A folytonosság és a diszkrétség fogalma csak egymással összevetve értelmezhető. Mivel két elem közötti elhelyezkedő, vagy „hiányzó" harmadik elemről kívánunk beszélni, ezért eleve értelmezni kell az elemek elrendezését, egymáshoz való viszonyát. Az elrendezés vizsgálatához feltesszük, hogy a halmaz elemei egy egyenes mentén helyezkednek el (lineáris elrendezés). Egy (lineárisan rendezett) halmazt folytonosnak tekintünk akkor, ha a halmaz bármely két eleme között található a halmazhoz tartozó „harmadik" elem. Egy halmazt diszkrétnek tekintjük akkor, ha a halmaz minden eleméhez található a halmaznak egy-egy olyan „kitüntetett" eleme, hogy a vizsgált elem és ahhoz tartozó „kitüntetett" elem között nincs a halmazhoz tartozó „harmadik" elem. A diszkrét halmaznak azt a két elemét, amely között nincs „harmadik" elem, szomszédosnak nevezzük. A folytonos halmazokban, az imént bevezetett értelemben, nincsenek szomszédos elemek. Mind a folytonos, mind a diszkrét halmazban meghatározható azoknak az elemeknek részhalmaza, amely elemek egymáshoz tartoznak. Ez a metrikus térben az egy-egy adott hosszúságú intervallumba eső elemek részhalmazai. Metrika hiányában a topológiai környezet az, amely az „együvé tartozás" tényét rögzíti (lásd pl. [6]).

A fenti vizsgálat során hallgatólagosan azt is feltettük, hogy az elrendezés rögzített, azaz minden időpillanatban ugyanaz az elrendezés áll fenn, az elrendezés statikus. A rögzített lineáris elrendezés a halmaznak az a tulajdonsága, amely a szomszédság és a környezet értelmezését lehetővé teszi. Ezt a tényt minden esetben topológiai rendnek fogjuk nevezni. A rögzített elrendezésből következik, hogy a halmazban az egymáshoz tartozás is rögzített, és fordítva, a rögzített egymáshoz tartozás következménye a rögzített elrendezés. Ez a tulajdonság teszi lehetővé a koordinátavonal értelmezését. A geometriában axióma rögzíti, hogy az egyenes pontjai és valós számok között egy-egyértelmű megfeleltetés van [14].

A lineáris elrendezéshez tartozó folytonosság és diszkrétség fogalmai után meg kell vizsgálni a felületi, illetve a térbeli elrendezéshez tartozó folytonosság és diszkrétség fogalmait. A részleteket mellőzve, a folytonosság nem csak két, illetve három irány szerint áll fenn, hanem tetszőleges irányban, sőt az irányok változását leíró mennyiség (a szög) is folytonos, míg a diszkrétség esetén szabályos, vagy szabálytalan elrendezésű ponthalmazt nyerünk, amelyben értelmezhető a szomszédos elemek (amelyek között nincs a halmaznak más eleme) fogalma. Az *n*-dimenziós geometriában a ponthalmaz és az euklideszi tér közötti diffeomorfizmus biztosítja egyrészt, hogy fennálljon a pontok egymáshoz tartozása, azaz a topológiai rend, másrészt, hogy létezzen a pontok jelölésére alkalmas koordinátarendszer. Ezeken a fogalmakon alapul a differenciálható sokaságok elmélete [48,46].

A beágyazás fogalma

Egy lineárisan rendezett, diszkrét halmazt mindig beágyazhatunk egy lineárisan rendezett folytonos halmazba. Erre példa az egész számok a valós számegyenesen. Hasonlóképpen a két-, illetve háromdimenziós diszkrét ponthalmaz mindig beágyazható egy két-, illetve háromdimenziós folytonos ponthalmazba.

3.2. A diszkrétség

A diszkrétség matematikai szempontból

A diszkrétséget a matematikában alapvetően két konstrukcióban szokás értelmezni. Az egyik a ponthalmazok, a másik a leképezés diszkrétsége.

Egy (pont)halmaz diszkrét, ha a számossága véges, vagy megszámlálhatóan végtelen [14]. A diszkrét halmazban minden pont izolált pont. Azaz van a pontnak olyan környezete, amely csak a pontot tartalmazza [14].

A szabályos térrács csomópontjait tartalmazó ponthalmaz esetén a ponthalmaz diszkrétsége alatt azt érjük, ha a halmaz *minden* eleméhez található a halmaznak $(2^n - 1)$ (n a halmaz dimenziószáma) olyan eleme, hogy a kiválasztott 2^n elem által közrefogott térrészben (ez az elemi cella) *nincs* a halmaznak egy „$(2^n + 1)$-dik” eleme. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a 2^n elem (páronként) szomszédos, és hogy a szomszédos elemek között „üres” tér van.

A leképezés diszkrétsége alatt azt értjük, hogy a diszkrét ponthalmazon értelmezett leképezés értékkészlete a halmaz egészére vonatkoztatva diszkrét pontokból áll. Azaz a diszkrét leképezés értelmezési tartománya is, és értékkészlete is diszkrét.

Az anyag diszkrétsége

Az anyag, a közeg diszkrétsége alatt azt értjük, hogy az anyagot (a közeget) alkotó elemek között van „üres” tér. Erre példa lehet a rugókkal egymáshoz kötött szilárd testekből álló „közeg”; mint pl. a kristályok modellje.

A közeget alkotó elemek mozgásának folytonossága

Egy-egy elem mozgását időben folytonosnak tekintjük.

A közeg diszkrétsége a közeget alkotó elemek mozgásformája alapján

Sok elem együttes mozgását három csoportba oszthatjuk: rendezett és kollektív mozgás, rendezett, de nem teljes mértékben kollektív mozgás („mintázatos” mozgás) és rendezetlen mozgás. Ebből diszkrétnek a két utóbbi minősül.

Az elemek rendezett, de nem teljes mértékben kollektív mozgása („mintázatos” mozgás): az elemek sorrendje nem változik, ugyanakkor a rendszert alkotó elemekre nézve valamely mintázat jelölhető ki (pl. kristályrácsban az atomok rétegei) úgy, hogy a mintázatot alkotó elemek a mintázaton belül kollektív, de a mintázatot alkotó egységek egymáshoz viszonyítva nem kollektív mozgást végeznek (pl. az egyes atomi rétegeken belül elhelyezkedő atomok egy irányba mozdulnak el, de két szomszédos réteg elmozdulása nem kollektív, akár egymásra is irányulhat). Az egy mintázati elemhez tartó elemek mozgása kollektív („folytonos”). A szomszédos mintázati elemek mozgásának iránya és nagysága nem kollektív: egyrészt az irányban az eltérés karakterisztikus, pl., ha az egyik mintázati elem jobbra, akkor a másik mintázati elem balra, vagy fordítva, esetleg rá merőlegesen mozdul el. Ezzel együtt a mozgás nagyságában az eltérés lehet elenyésző, de lehet karakterisztikusan eltérő is. A hangsúly az elemekre vonatkoztatható mintázaton, a mintázaton belüli egyidejű kollektív mozgáson *és* a mozgás azon globális jellemzőjén van, hogy a mintázatot alkotó egyes elemek egymáshoz viszonyítva nem kollektív mozgásban vannak. Ilyen lehet pl. a kristályrácsok rezgéseinek optikai ága.

Az elemek rendezetlen mozgása: az elemek sorrendje megváltozhat, az egymáshoz közel lévő elemek mozgásának iránya *és* nagysága nem azonos, irányban *és* nagyságban az eltérés rendezetlen, pl. az eltérés nagysága lehet elhanyagolható az elemek közötti távolsághoz képes, de lehet azzal összemérhető, netán azt meghaladó. A hangsúly a rendezetlenségen van, azaz azon van, hogy nem lehet mintát találni. A cölöp beverése a talajba a talajszemcsék rendezetlen mozgását váltja ki. Az irány, a nagyság szempontjából rendezetlen mozgás a hőmozgás, ez a mozgásfajta vezet a termodinamikához.

A közeg diszkrétsége a belső erők alapján

Elemek között diszkrét értelmezésű tartományú belső erők (esetenként belső nyomatékok) ébrednek: a belső erőket (nyomatékokat) egy-egy elemhez kötjük, állása a két elem referenciapontja (pl. súlypont) által meghatározott egyenesbe esik, értelme a fizikai jelenség függvénye.

A leírás diszkrétsége

Az elemek fizika térben elfoglalt helyét diszkrét ponthalmazzal jellemezzük. Rendszerint

az elemek referenciai pontjairól van szó.

Az elemekhez köthető jellemző mennyiségek értelmezési tartománya az elemek fizikai térben elfoglalt helye, azaz a referenciapontja. Maguk a jellemző mennyiségek egy-egy ponthoz, a referencia ponthoz köthetőek, mint például eltolódásvektor, vagy erővektor.

3.3. A folytonosság

A folytonosság matematikai szempontból

A folytonosságot a matematikában alapvetően két konstrukcióban szokás értelmezni. Az egyik a ponthalmazok, a másik a leképezés folytonossága.

A folytonosság fogalmát a valós számok körében vezetjük be. A valós számok megszámlálhatatlan, kontinuum számosságú halmaza folytonos. A lineárisan rendezett ponthalmaz folytonossága megfogalmazható a következőképpen is: a ponthalmaz bármely két pontja között található egy azokat elválasztó pont. Az Euklideszi tér egyenesei és a valós számok között egy-egy értelmű megfeleltetés létesíthető. Az euklideszi térben az egyes egyenesek, síkok és maga a tér, következésképpen a térben kijelölhető tartományok, folytonosak. Tehát egy ponthalmaz folytonosságát a folytonossági axióma, azaz a ponthalmaz és a valós számok (direkt szorzata) közötti egy-egyértelmű leképezés biztosítja (lásd pl. [6,11,14]).

A leképezés folytonossága a torlódási pont fogalmára épül. A torlódási pont olyan pont, hogy minden környezete tartalmaz a ponton kívül a ponthalmaz egy (illetve több) más pontját (lásd pl. [14]). (Ez legalább megszámlálható végtelen számosságot tételez fel, minden pontja torlódási pont, és kontinuum számosságú sok pont alkotja a halmazt.)

A leképezés folytonossága alatt azt értjük, hogy ha a ponthalmaz egy pontjában adott a leképezés (mint mozgás) iránya és nagysága, akkor az adott ponthoz tartozó (metrikus térben valamely korlátos intervallumon belüli, topológikus térben a pont környezetéhez tartozó) pontokban a leképezés (mint mozgás) iránya és nagysága az adott pontban vett iránytól és nagyságtól lényegében nem tér el (a leképezett pontok metrikus térben valamely korlátos intervallumon belül találhatóak, topológikus térben a leképzett pontok ugyanahhoz a környezethez tartoznak). Differenciálható leképezés esetén az adott pont környezetében lévő folytonos leképezés, mint folytonos függvény, sorba fejthető, és kis távolság, illetve környezet esetén az első differenciálhányadossal jól közelíthető [14].

Az anyag folytonossága

A vizsgált közeg (pl. kristályrács, acél, beton) modelljeként a folytonos közeg, azaz az euklideszi tér (kontinuum) egy tartományát tekintve az „anyag” (pontosabban az anyag modellje) folytonos: a közeg (modelljének) bármely pontja között ott van a közeg (modelljének) egy „harmadik” pontja.

A valóságban az anyag diszkrét elemekből áll. Ezért diszkrét elemekből álló halmazra is értelmezzük a „folytonos” közeget.

Az anyag (a közeg) folytonossága alatt azt értjük, hogy az anyagot (a közeget) alkotó elemek között funkcionális szempontból nincs „üres” tér. Ezt úgy értjük egyrészt, hogy az elemek sorrendje változatlan, másrészt, hogy a szomszédos elemeknek kijelölhető az érintkezési pontja, amelyek az anyag mozgása során szintén nem változik. Vagy a mozgás olyan, hogy ugyan az érintkezési pont vándorol az elemek felületén, de a vándorlásnak a folytonos leírásmódra nincs hatása. Erre példa lehet a rugókkal egymáshoz kötött szilárd testekből álló „közeg” (az „érintkezési pontokat” a rugók kötik össze), mint kristályok modellje, vagy a befeszült szemcsehalmaz (a szemcse alakja nem változik, az egyensúlyi állapot beálltáig az érintkezési pontok vándorolnak az érintkező szemcsék felületén, az egyensúly beállta után már nem).

A közeget alkotó elemek mozgásának folytonossága

Egy-egy elem, azaz az euklideszi tér egy-egy pontjának mozgását (eltolódását) időben folytonosnak tekintjük.

A közeg folytonossága a közeget alkotó elemek mozgásformája alapján

A vizsgált közeg (pl. kristályrács, acél, beton) modelljeként a folytonos közegnek, azaz az euklideszi tér (kontinuum) egy tartományát tekintve a mozgás a térben folytonos: a közeg minden pontjához hozzárendelünk egy folytonos eltolódásvektort.

A valóságban az anyag diszkrét elemekből áll. Ezért diszkrét elemekből álló halmazra is értelmezzük a „folytonos" mozgást.

Sok elem együttes mozgását három csoportba oszthatjuk: rendezett és kollektív, rendezett, de nem teljes mértékben kollektív (mintázatos mozgás) és rendezetlen. Ebből a folytonosnak az első tekinthető.

Folytonos mozgás az elemek rendezett és kollektív mozgása: az elemek sorrendje nem változik, a szomszédos, az egymáshoz tartozó elemek mozgásának iránya és nagysága a közel azonos: az irányban és a nagyságban az eltérés elenyésző, mértéke az egymástól mért távolság mértékéhez viszonyítva elhanyagolható. Ilyen lehet pl. a rácsrezgések akusztikus ága, vagy a deformálható szilárd testek (kis) alakváltozása.

A közeg folytonossága a belső erők alapján

Diszkrét elemek felett csak diszkrét belső erők értelmezhetők.

A belső erők „szétkenéséhez" először az anyagot kell „szétkenni". Ekkor a kontinuum (számosságú ponthalmaz) fölött értelmezhető folytonos belső erő.

Az euklideszi tér egy tartománya fölött folytonos értelmezésű tartományú belső erők ébrednek: a belső erőket egyszerre rendeljük egy-egy ponthoz, és a pontokon áthaladó felületekhez. (A folytonosság kizárja, hogy belső nyomatékot értelmezhessünk.) Mivel ez a belső erő felülethez is kötődik, ezért tenzoriális mennyiség. Egy-egy komponensének iránya egyrészt a felület normálisa, másrészt a felületbe eső két bázisvektor irányába mutat, értelme a fizikai jelenség függvénye.

A leírás folytonossága

Az elemek fizika térben elfoglalt helyét folytonos ponthalmazzal jellemezzük. Az elemeket és az elemek közötti ürességet szétkenjük, valamilyen átlagos anyagi tulajdonság modellezi a diszkrét elemekből álló anyagot. Ugyanakkor az anyagot alkotó elemek és a köztük lévő ürességmegszűnik, csak az euklideszi tér ponthalmaza van. Formálisan az „önálló elem" az Euklideszi tér pontja, de annak se mérete, se tömege nincs, a pontra nem hat sem erő, sem nyomaték. Valójában nem önálló, mivel a környezetével együtt mozog, a mozgásukban az eltérés elenyésző. Az együvé tartozás határozza meg a közös mozgásukat, sőt a testben ébredő belső erőt is. A pontot csak az eltolódása jellemzi. A folytonos közegben megoszló erő ébred, a feszültség. Koncentrált erőt csak a ponton áthaladó felület egy kicsiny, de véges nagyságú felülettartományon ható belső erő (feszültség) eredője, valamint a pontot magába foglaló kicsiny, de véges nagyságú térfogatra ható megoszló térfogati erő eredője szolgáltat.

A fázistérben folytonos értelmezési tartományú és folytonos értékkészletű függvények jellemzik a folytonos értelmezésű tartományú testet.

Az elemek fizikai térben elfoglalt diszkrét helyek halmaza helyett az elemeket modellező tartomány folytonos ponthalmazát (kontinuumot) tekintjük. Maguk a jellemző mennyiségek részben a tartomány pontjaihoz, részben a tartomány pontjaihoz *és* a pontokon áthaladó felületekhez köthetőek. Az elsőre példa a ponthoz köthető eltolódásvektor, a másodikra példa a ponthoz és irányhoz köthető alakváltozási és feszültségi tenzor.

4. A MODELLEK KÖZÖTTI KAPCSOLAT

4.1. A három alapmodell

A modellek típusait, és a modellek közötti kapcsolatot [31] alapján ismertetjük.

A közeg mechanikai (vagy bármely más fizikai) viselkedésének leírására, a ponthalmazok számossága alapján *két* alapvető modell áll rendelkezésre. Az egyik alapmodellben a közeget alkotó elemeket egymástól különálló, de egymással kölcsönhatásban álló diszkrét elemek halmazaként írjuk le. Ez vezet a diszkrét modellhez. A diszkrét modell elemei a mechanikai állapotváltozás során megtarthatják a belső, topológiai rendet, mint például kristályrácsban, vagy átrendeződhetnek, mint például a szemcsehalmazban. A másik alapmodellben a közeget alkotó elemeket szétkenjük a térben úgy, hogy a modellként tekintett térben az anyagot modellező „elemek" a geometriai pontok, amelyek egymáshoz való topológiai viszonya egyszer s mindenkorra rögzített, mindösszesen a tér metrikus tulajdonságai változhatnak. Ez vezet a folytonos modellhez. A „harmadik" alapmodellként a diszkrét ponthalmaz azon speciális esete tekinthető, amelyben a pontok szabályos térrács rácspontjaiban ülnek (mint például a kristályrács), és a mechanikai viselkedés leírására folytonos matematikai apparátust alkalmazunk (lásd [16,31]).

A diszkrét elrendezésű és diszkrét leírású modell

A modellre röviden diszkrét modellként fogjuk hivatkozni.

A diszkrét modellben a Newtoni mechanika összefüggéseit alkalmazzuk közvetlenül a közeget alkotó minden egyes elemekre. Rendszerint az egyes elemek egymástól vett távolságával arányos a két elem között ébredő belső erő. (Ettől a szemcsehalmazban van eltérés.) Az egyensúlyi állapotot szem előtt tartva a diszkrét rendszer alapvetően a következőkkel jellemezhető.

A diszkrét rendszer elemei a rendszerre ható külső hatás alatt eltolódnak és/vagy elfordulnak, ennek következtében megváltoznak az egymással kölcsönhatásban álló elemek közötti belső erők és/vagy belső nyomatékok. Ugyanakkor az egyes elemek a rá ható erők és nyomatékok hatása alatt egyensúlyban vannak. A kinematikai ismeretlenek száma arányos az elemek számával (n), és a kinematikai szabadságfok jellegétől függően – eltolódás: 3, elfordulás: 3, mindkettő: 6 – más és más. A belső erők, azaz a dinamikai ismeretlenek száma arányos az egymással párban álló elemek számával. Ha minden elem kapcsolatban áll minden elemmel, és az akció-reakció tényét figyelembe vesszük, akkor $n(n-1)/2$ kapcsolat létezik, amelyhez a kinematikai szabadságfok jellegétől függően más és más számú belső erő ébred: eltolódás esetén 3 erőkomponens, elfordulás esetén 3 nyomaték komponens, együttes kinematikai szabadság fok esetén mindkét dinamikai belső erő fellép. Ugyanakkor a dinamikai szabadságfokok száma valójában nem játszik szerepet az elméletben, ugyanis azok a kinematikai szabadságfokok függvényei. Az egyensúlyi egyenletek száma az elemek számával arányos, és nem az elemek között ébredő belső erők számával. Az egyensúlyi egyenletek száma erők esetén $3n$, nyomatékok esetén $3n$, mindkettő fennállása esetén $6n$. Pont annyi, ahány kinematikai ismeretlen létezik. Azaz az elméletben éppen annyi egyenlet írható fel, ahány ismeretlen mennyiség jellemzi a rendszert (lásd pl. [30,31]).

Diszkrét mechanikai rendszerben a rendszert jellemző állapothatározó függvények értelmezési tartománya diszkrét, értékkészlete egy-egy pontban (ahol értelmezve van, idő szerint) folytonos, de az összes elemre vonatkozó állapothatározó függvények értékei az állapottérben szintén diszkrétek.

Diszkrét rendszerekre a következő példák adhatók: rácsok rezgései [5], rúdszerkezetek egyensúlya (lásd pl. [45]), szemcsehalmazok egyensúlya [25,26].

A diszkrét elrendezésű és folytonos leírású modell

A modellre röviden kvázifolytonos modellként, esetenként rács-, illetve általánosított kontinuumként fogjuk hivatkozni.

A kvázifolytonos modell értelmezéséhez egy diszkrét rendszert tekintünk, az ott megadott kinematikai és dinamikai jellemzőkkel (lásd a diszkrét modell leírását). Feltesszük, hogy a közeget alkotó elemek egymáshoz viszonyított elrendezése, azaz az elemek topológiai rendje, rögzített: az a közeg mechanikai állapotváltozása során megmarad. Sőt feltesszük, hogy a közeget alkotó elemek egy szabályos rácshálózat rácspontjaiban foglalnak helyet. Magukat az elemeket beágyazzuk a folytonos térbe. A közeg elemeinek állapotát leíró, diszkrét értelmezésű tartományú függvényeket a beágyazó tér felett értelmezett folytonos függvények terében sorba fejtjük, majd ezekre a közelítő függvényekre nézve állítunk fel feltételeket, hogy a közelítés minél közelebb legyen a pontos megoldáshoz. Mivel a közeg állapotegyenletei a diszkrét ponthalmazon értelmezett diszkrét értelmezési tartományú függvényekre vonatkoznak, ezért a *folytonos közelítő* és a *diszkrét pontos* megoldás közötti eltérést a folytonos (beágyazó) térben értelmezett *folytonos* hibavektor segítségével határozzuk meg. Ez a gyakorlatban egy variációs elv alkalmazásával egyenértékű. (Legtöbbször a mechanikai rendszer Lagrange-függvényét tekintjük.) A modell származtatásából következik, hogy a rendszer valójában diszkrét, az állapotának leírására alkalmazunk folytonos függvényeket. A kvázifolytonos modell alapja a diszkrét rendszer (a távolságfüggő belső erőivel), a rögzítetett topológia és a numerikus módszer (lásd pl. [16,30,31]).

A kvázifolytonos rendszerre a példák a következők: Cosserat-kontinuum [7], nyomatéki rugalmasságtan, mikropoláris, mikronyúlású, mikroszögváltozós és mikroalakváltozású általánosított kontinuum (lásd pl. [15,8,40,16,1,2]).

A folytonos elrendezésű és folytonos leírású modell

A modellre röviden folytonos modellként, vagy kontinuumként fogjuk hivatkozni.

A folytonos modellben szétkenjük a közeget alkotó anyagot a beágyazó tér „pontjaiba”, ezzel együtt a topológiai rendet rögzítjük, az a mechanikai változás során változatlan. A közeg jellemzéséhez a közeget leíró kontinuum számosságú ponthalmaz a ponthalmazon értelmezhető metrikus tulajdonságokban végbemenő változással jellemezhető (lásd pl. [27-29]).

A folytonos modellben az „elemek” kiterjedés nélküli pontok, amelyeknek lehet eltolódása, sebessége, de nem lehet elfordulása, nincs tömege, és nem hathat rá sem erő, sem nyomaték. A Newtoni mechanika összefüggéseit nem egy pontra, hanem egy kicsiny, de véges térfogatú „elemi” térrészben lévő anyagra írjuk fel. Az anyagon belül minden pontnak van eltolódási szabadságfoka, egy háromkomponensű vektormező. Az anyagon belül minden ponthoz, (minden pont esetén) minden irányhoz/felülethez egy feszültségvektort rendelünk. Egy elemi tetraéder erőkre vonatkozó egyensúlya igazolja, hogy az egy pontban, de különböző irányokban értelmezett feszültségvektorok közül három független irányhoz tartozó mennyiség egymástól független, az összes többi irány-hármashoz tartozó belső erők a kitüntetett három irányhoz tartozó feszültségvektorokkal egyértelműen fejezhetők ki. Az összefüggés típusa alapján a feszültségvektorok nem hármasával és vektorként, hanem kilencesével és tenzorként transzformálódnak a koordinátarendszer forgatása során. Azaz a belső erők, a feszültségek, tenzoriális mennyiséget alkotnak. Egy elemi tetraéder nyomatékokra vonatkozó egyensúlya igazolja, hogy a feszültségtenzor szimmetrikus. (Azaz nem kilenc, hanem csak hat független komponense van.) Ennek megfelelően az anyagon belül minden pontnak (formálisan) van dinamikai szabadságfoka, egy másodrendű szimmetrikus tenzor. Egy elemi téglatest erőkre vonatkozó egyensúlya alapján az anyag minden pontjában a feszültségtenzor komponensei között három összefüggés áll fenn. (Egy elemi téglatest nyomatékokra vonatkozó egyensúlya a feszültségtenzor szimmetriája miatt automatikusan teljesül.) Az eltolódásvektor és a feszültségtenzor közötti kapcsolatot (azaz az eltolódás-alakváltozási összefüggéseket és az anyagi egyenleteket) felhasználva a három egyensúlyi egyenlet felírható az eltolódásvektor három

komponensére. Azaz az elméletben éppen annyi megoldandó egyenlet írható fel, ahány ismeretlen kinematikai mennyiség szerepel az elméletben (lásd pl. [32,33]).

Megjegyzés. Az eltolódásvektorra vonatkozó változat a primér módszer. A folytonos modellben létezik duális módszer is (lásd pl. [32,33]).

Folytonos mechanikai rendszerben a rendszert jellemző állapothatározó függvények értelmezési tartománya folytonos, értékkészlete egy-egy pontban (ahol értelmezve van, idő szerint) folytonos, továbbá az összes „elemre” vonatkozó állapothatározó függvények értékei az állapottérben szintén folytonosak.

A folytonos modell alapja a differenciálgeometriai struktúra, a rögzítetett topológia és a változó metrikus jellemző [18,28,29,30].

Folytonos rendszerre alapvetően egy példa van, a klasszikus kontinuum (lásd pl. [17,18]), azon belül megkülönböztetünk három különböző anyagi viselkedést. A három csoport a rugalmas, a képlékeny és viszkózus anyagi viselkedés (az anyagi viselkedésre [3,4,42], a matematikai modellre és számításokra pl. rugalmas viselkedés esetén [33,34,35], és nemrugalmas viselkedés esetén [36]).

4.2. További modellek

A deformálható szilárd testek mechanikai viselkedésének leírásához a fenti három alapmodell mellett további modelleket alkalmazunk. Ezek a következők

Belső struktúra nélküli két- és egyváltozós modellek [35]:

– a klasszikus kontinuum héj, lemez, tárcsa modelljei,
– a klasszikus kontinuum rúd, vékonyfalú rúd modelljei.

Belső struktúrával rendelkező két- és egyváltozós modellek pl. [41]:

– általánosított kontinuumok héj, lemez és tárcsa modelljei,
– általánosított kontinuumok rúd és vékonyfalú rúd modelljei.

A modellek a háromváltozós modellből a változószám csökkentésével előállított modellek. Itt hívjuk fel a figyelmet arra, hogy a belső struktúrával, azaz a diszkrét jellegű viselkedéssel jellemezhető rendszer folytonos leírású, azaz kvázifolytonos modellje, szintén numerikus módszernek tekinthető. Nem a változószámot csökkentő eljárás, hanem diszkrét leírást felváltó folytonos leírás. Mind a változószám csökkentését, mind a diszkrét-folytonos áttérést eredményező eljárás numerikus módszer alkalmazásával nyert „másodlagos”, vagy „származtatott” modellalkotás.

4.3. A numerikus módszer, mint modellalkotó eljárás

A numerikus módszer

A numerikus módszer lényege a következőkben foglalható össze [13,39,44].

Legyen adott egy ismeretlen mennyiség és arra nézve egy egyenlet. Ennek értelmezzük a pontos és a közelítő megoldását. Az ismeretlen mennyiség a tárgytér eleme, a rá vonatkozó egyenlet képezi le a képtérbe. Az ismeretlen (pontos) megoldást közelítjük adott függvények lineáris kombinációjával. Az „adott” függvények a bázis- vagy próbafüggvények. A lineáris kombinációhoz a bázisfüggvényeket ismeretlen valós együtthatókkal vesszük számításba. A numerikus módszerben az ismeretlen valós együtthatókat határozzuk meg. Ehhez a pontos és a közelítő megoldás különbségeként értelmezünk egy-egy hibavektort a tárgy- és/vagy a képtérben. A hibavektorra nézve feltételeket szabunk; ez a hibaelv. A hibaelv vonatkozhat a hibavektor hosszára (ez utóbbi legyen minimális), vagy vonatkozhat a hibavektor és a függvénytér bázisának viszonyára (az előbbi legyen ortogonális az utóbbira) (lásd pl. [37-39,43,44]).

A különböző hibavektorok és hibaelvek különböző numerikus módszerekhez vezetnek. [38,43,44,32,33]. A rugalmasságtanban a legismertebbek közé tartoznak: a legkisebb négyzetek módszere, a Ritz-módszer, a Treffz-módszer, a Galjorkin-módszer, különböző variációs módszerek [33].

A numerikus módszer önmagában az egyenlet számokkal jellemezhető közelítő megoldását szolgáltatja. Ahhoz, hogy a numerikus módszer modellt hozzon létre, ahhoz egyedi bázisfüggvényt kell választani. A 4.2. pontban írtak szerint két különböző bázisfüggvény megválasztást kell megvizsgálni. Az egyik, amely a változószám csökkentést teszi lehetővé, a másik, amely a diszkrét értelmezési tartományú függvények helyett folytonos értelmezésű függvények alkalmazását teszi lehetővé.

A változószám csökkentése

A numerikus módszerek esetén általában a közelítő megoldás előállításához az $f_i(x,y,z)$ bázisfüggvényeknek az a_i valós együtthatókkal vett lineáris kombinációját határozzuk meg. A változószám csökkentéséhez a bázisfüggvényeknek az ismeretlen a_i együtthatók a *z,* illetve *x* és *y* koordináták függvénye, $a_i(z)$, illetve $b_j(x,y)$, a bázisfüggvények pedig az eliminált *x* és *y,* illetve a z koordináták függvénye, $f_i(x,y)$, illetve $g_j(z)$. A gondolat kétváltozós feladatnak egyváltozósra való visszavezetése kapcsán Kantorovics nevéhez fűződik [13]. A három változó esetén a részleteket lásd [19,20].

A változószám csökkentésével két, illetve egy koordinátát eliminálunk. Ezzel együtt a test peremét két részre osztjuk: az egyik részén a peremfeltételeket eliminájuk, a másik részén a csökkentett változószámú peremérték-feladat peremfeltételévé redukáljuk. Ennek illusztrálásához tekintsünk egy hengert. Ha a henger hosszú, akkor rúdként tekintünk rá. A palástján ható peremfeltételeket eliminájuk (mechanikai meggondolásokból az ott ható erőket a tengelyre „helyezzük át”, mint vonal mentén megoszló erőt), a két véglapon ható peremfeltételekből a rúdra vonatkozó peremfeltételeket (pl. erő és nyomaték, valamint eltolódás és elfordulás) határozzuk meg. Ha a henger lapos, akkor lemezként tekintünk rá. A két véglapon ható peremfeltételeket eliminájuk (mechanikai meggondolásokból az ott ható erőket a középfelületre „helyezzük át”, mint felület mentén megoszló terhet), palástján ható peremfeltételekből a lemezre vonatkozó peremfeltételeket (pl. megoszló erő és megoszló nyomaték, valamint eltolódás és elfordulás) határozzuk meg.

A peremfeltételek eliminálása okán két rúd palástja mentén, illetve két héjnak az alsó, illetve felső felületén való érintkezése nem vizsgálható. Ehhez olyan modellt kell alkotni, amely nem eliminálja, hanem figyelembe veszi ezeken (az eliminálandó) felületeken a peremfeltételeket. Ehhez egy második bázisfüggvény-sorra van szükség, amelynek az együtthatói valós számok, pl. $c_k h_k(x,y,z)$. A c_k együtthatókat az eliminált peremre vonatkozó peremfeltételekből lehet meghatározni. A második bázisfüggvény-sorral rendelkező közelítő megoldások vezetnek a véges réteg és a véges szál fogalmához [19,20].

A diszkrét rendszer leírása folytonos függvényekkel

A diszkrét értelmezési tartományú feladatok esetén a közelítő megoldást a $P_{nml} = P(x_n,y_m,z_l)$ ponthoz rendelt $f_i(P_{nml})$ bázisfüggvények segítségével álltjuk elő. Ahhoz, hogy a közelítő megoldást folytonos függvények terében állíthassuk elő, két lépésre van szükség. Az egyik, hogy a diszkrét értelmezési tartományú függvény helyett folytonos értelmezési tartományú bázisfüggvényeket válasszunk, nevezetesen $f_i(x,y,z)$-ket. A másik feltétel, hogy a hibaelv, mint feltétel folytonos értelmezési tartományú függvényekre vonatkozzék. Ugyanis diszkrét rendszer esetén az állapotegyenletek a $P_{nml} = P(x_n,y_m,z_l)$ ponthoz kötődnek és nem egy, pl. az ezeket a pontokat önmagába beágyazó folytonos tér egy tartományához. Másképpen megfogalmazva a diszkrét értelmezési tartományú állapothatározó (egyensúlyi) egyenleteket folytonos értelmezési tartományú egyenletekkel kell felcserélni (lásd pl. [16,27,31]).

Az első feltétel teljesítéséhez elegendő a függvény argumentumát megváltoztatni: véges

sok függvényérték helyett egy függvényt kell tekinteni (értelemszerűen minden mechanikai állapotra vonatkozóan, mint pl. eltolódás, elfordulás, alakváltozás, és ezzel összhangban lévő, különböző belső erők). A második feladat megoldása során több szempontot kell figyelembe venni. A diszkrét feladatot diszkrét pontokban értelmezzük, a véges számú állapotegyenlet „átírása" folytonos állapotegyenletre nem nyilvánvaló. Határátmenet nem alkalmazható, mert véges sok pontból határátmenettel kontinuum számosságú sok pont nem nyerhető. A folytonos modellből következik, hogy diszkrét rendszerbeli eltolódásvektorok különbsége helyett (metrikus) tenzorok különbségét, a diszkrét pontokban ható koncentrált erők helyett (feszültség) tenzorokat kell értelmezni. A differenciálgeometria csak a klasszikus (homogén eloszlású) kontinuum értelmezését teszi lehetővé, a belső struktúra visszatükrözésére nem alkalmas (lásd pl. [17,18,31]). A gyakorlatban marad az a lehetőség, hogy diszkrét rendszerre vonatkozó egyenleteket az azzal analóg folytonos egyenletekkel helyettesítjük. Rendszerint a Lagrange-függvényt (lásd pl. [7,16,40,8,1,2]) írják föl analógia alapján. Az így nyert, folytonos értelmezési tartományú, folytonos értékkészletű modelleket szokás általánosított kontinuumnak nevezni.

Megjegyzések. 1. A diszkrét rendszer folytonos leírásához periodikus elrendezésű rendszert szokás választani. 2. Az általánosított kontinuumból, mint folytonos modellből, a változószám csökkentésével két-, illetve egyváltozós, származtatott modellek állíthatók elő.

4.2. A modellek hierarchiája

A fentiek alapján a modellek alábbi hierarchiája állítható össze.

<table>
<tr><th>DISZKRÉT MOZGÁS</th><th>KVÁZIFOLYTONOS MOZGÁS</th><th>FOLYTONOS MOZGÁS</th></tr>
<tr><td>Diszkrét elrendezés
(az elemek topológiai rendje változhat)</td><td>Diszkrét elrendezés (az elemek topológiai rendje változatlan)</td><td>Folytonos elrendezés (az elemek topológiai rendje változatlan)</td></tr>
<tr><td>Diszkrét mozgás</td><td>Diszkrét mozgás</td><td rowspan="4"></td></tr>
<tr><td>Az elemek átrendeződése</td><td>Származtatott modellek</td></tr>
<tr><td>Az elemek mozgása a szomszédos elemek alkotta cellában</td><td>↓ Sorfejtés: a diszkrét értelmezési tartomány → folytonos értelmezési tartomány</td></tr>
<tr><td>Mintázattal járó mozgások</td><td>Mintázattal járó mozgások</td></tr>
<tr><td rowspan="11"></td><td>Folytonos mozgás: az elemek kollektív mozgása</td><td>Folytonos mozgás</td></tr>
<tr><td colspan="2">Származtatott modellek</td></tr>
<tr><td colspan="2">↓ Sorfejtés: változószám csökkentés, az eliminált felületen az elemek érintkezhetnek</td></tr>
<tr><td>Véges réteg</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Véges szál</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Véges elem</td></tr>
<tr><td colspan="2">↓ Sorfejtés: változószám csökkentés, az eliminált felületen az elemek nem érintkezhetnek</td></tr>
<tr><td>Héjelméletek (lemez és tárcsa)</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>Rúdelméletek</td><td></td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>Kl. numerikus módszerek</td></tr>
</table>

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban a deformálható szilárd testek folytonos és diszkrét elrendezését, viselkedését, valamint modelljeit tekintettük át.

Az anyagokat alkotó atomok egymáshoz való eltérő viszonyát az anyag halmazállapota pontosan tükrözi vissza: a gázokban az atomok (és/vagy molekulák) időnként ütköznek, a folyadékban egymással érintkeznek, de folyamatosan helyet cserélnek, a szilárd anyagban az atomok rendje kötött. A szemcsehalmaz olyan, szilárd szemcsékből álló „átmeneti" anyagféleség, amelyben a szemcsék szilárdak, de a szemcsék erő hatására egymáshoz képest elmozdulhatnak, helyet cserélhetnek, a viselkedése a folyadékhoz hasonlítható.

Az anyagot alkotó részecskék mozgását a következőképpen osztályozzuk. Egyrészt a részecskék sorrendje változhat (gáz, folyadék, szemcsehalmaz, szilárd testek képlékeny és/vagy viszkózus folyása), másrészt rögzített maradhat (kristályrács rezgése, térbeli keretszerkezet rugalmas alakváltozása és/vagy rezgése, szilárd test rugalmas alakváltozása és/vagy rezgése) a részecskék mozgása során. A mozgás során megmaradó rögzített rend esetén a mozgás lehet *rendezetlen* (a hőmozgás), alakulhatnak ki *mintázat*ok (optikai rezgésforma kristályrácsban) és lehet kollektív (rugalmas alakváltozás).

A modell egyrészt a részecskék elrendezésének, a részecskék mozgásának típusát, valamint a mozgás leírására használatos apparátus típusát tükrözi vissza. Ezeket figyelembe véve három modelltípus különíthető el. Ezek a következők.

1. DISZKRÉT MODELL. Az anyag véges sok, diszkréten elhelyezkedő elemből áll. A mozgás során minden elem viselkedését önálló állapothatározó függvénnyel, azaz az elemek halmaza fölött diszkrét értelmezési tartományú, és diszkrét értékkészletű függvénnyel írjuk le. Az anyagot alkotó elemek mozgása tetszőleges alakot ölthet: lehet kollektív, mintázatos és rendezetlen, sőt, az elemek egymáshoz viszonyított sorrendje is változhat.

2. KVÁZIFOLYTONOS MODELL. Az anyag véges sok, diszkréten elhelyezkedő elemből áll. A mozgás során minden elem viselkedését egy, az elemek halmaza (azaz a külső térbe beágyazott tér) fölött folytonos értelmezési tartományú, és folytonos értékkészletű függvénnyel írjuk le. Az anyagot alkotó elemek mozgása nem lehet teljes mértékben tetszőleges: egyrészt lehet kollektív, vagy mintázatos, másrészt az elemek egymáshoz viszonyított sorrendje kötött, az a mozgás során nem változhat meg.

3. FOLYTONOS MODELL. Az anyagot kontinuum számosságú sok, folytonosan elhelyezkedő elemből állónak tekintjük. A mozgás során minden elem viselkedését az elemek halmaza (a tér egy tartománya) fölött folytonos értelmezési tartományú, és folytonos értékkészletű függvénnyel írjuk le. Az anyagot alkotó elemek mozgása erőteljesen korlátozott: csak kollektív lehet, és az elemek (pontok) egymáshoz viszonyított sorrendje kötött, az a mozgás során nem változhat meg.

A diszkrét modell viselkedését (az időbeli változástól eltekintve) algebrai egyenletek írják le.

A kvázifolytonos modell esetén a diszkrét modell pontos megoldásait a beágyazó térben sorba fejtjük a folytonos függvények terében, a közelítő megoldás meghatározásához a folytonos térben értelmezünk folytonos hibavektorokat és folytonos hibaelvet. Végeredményben a térbeli változás leírásához parciális differenciálegyenleteket állítunk föl. Azaz a kvázifolytonos modelltípus az elsőből nyerhető az elemek elrendezésére vonatkozó megszorítás mellett (rögzített topológiai rend), numerikus közelítő eljárást alkalmazva. Ez vezet a rácskontinuum, vagy általánosított kontinuum fogalmához.

A folytonos modell esetén a beágyazó tér metrikus változásaival jellemezzük a rendszert. Értelmezés szerint az állapotot leíró függvények eleve folytonosak, a rá vonatkozó egyenletek pedig (az egyik megközelítésben) parciális differenciál egyenletek (míg egy másik megközelí-

tésben integrálegyenletek (vagy integro-differenciálegyenletek) formájában is megfogalmazható a feladat).

A folytonos és a kvázifolytonos modellből, numerikus eljárást alkalmazva, származtatott modellek hozhatók létre. Ezek alapvetően csökkentett változószámú, két- és egyváltozós feladatok. Egyik csoportjuk tetszőleges tartományok vizsgálatára alkalmas (véges réteg és véges szál), a másik csoportjuk csak vékony felület-, illetve vonalszerkezet vizsgálatára alkalmas (héj-, lemez- és tárcsaelméletek, illetve rúdelméletek). A nulldimenziós feladat mindkét esetén numerikus módszerként értelmezhető (véges elem, illetve a klasszikus numerikus eljárások, vagy azok módosított változatai).

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **ALTENBACH, H. – EREMEYEV, V.A.** (Eds.)**:** *Generalized Continua – from the Theory to Engineering Applications*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 2013. 388 pp.

[2] **ALTENBACH, H. – MAUGIN, G.A. – EROFEYEV, V.** (Eds.)**:** *Mechanics of Generalized Continua*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 2011. 350 pp.

[3] **BACH, C.:** *Elastizität und Festigkeit*. 7. Auflage Spinger, Berlin, 1917. 703 pp.

[4] **BELL, S.F.:** *Experimental Foundations of Mechanics of Deformable Solid Bodies*. In Encyclopaedia of Physics. Chief ed.: S. Flügge, VIa/1. Mechanics of solids I. Ed. C. Truesdell. Springer-Verlag, Berlin, 1973. 813 pp.

[5] **BORN, M. – HUANG, K.:** *Dynamical Theory of Crystal Lattices*. Clarendon Press, Oxford, 1998. 256 pp.

[6] **CSÁSZÁR, Á.:** *Bevezetés az általános topológiába*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1970. 424 pp.

[7] **COSSERAT, E. – COSSERAT, F.:** *Théorie des Corps Déformables*. Hermann et Fils, 1909. The Cornell University Library Digital Collections, 2017. 226 pp.

[8] **ERINGEN, A.C.:** *Microcontinuum Field Theories*. Springer, New York, Berlin - Heidelberg, 1998. 325 pp.

[9] **GALLAGHER, R.H.:** *Finite Element Analysis. Foundations*. Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975. 428 pp.

[10] **GREEN, A.E. – ZERNA, WS.:** *Theory of Elasticity.* The Clarendon Press, Oxford, 1954. 457 pp.

[11] **KALMÁR, L.:** *Bevezetés a matematikai analízisbe.* I-II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1970. 442 + 406 pp.

[12] **KOLLÁR, L. – HEGEDŰS, I.:** *Analysis and Design of Space Frames by the Continuum Methods*. Elsevier, Amsterdam - Oxford - New York, 1985. 317 pp.

[13] **KANTOROVICS, I.V. – KRÜLOV, V.I.:** *A felsőbb analízis közelítő módszerei*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1953. 703 pp.

[14] **KORN, A. – KORN, TH.:** *Matematikai kézikönyv műszakiaknak*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1975. 995 pp.

[15] **KRÖNER, E.** (ed.)**:** *Mechanics of Generalized Continua*. Proceedings of the IUTAM-Symposium on the Generalized Cosserat Continuum and the Continuum Theory of Dislocations with Applications, Freudenstadt and Stuttgart (Germany) 1967. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1968. 358 pp.

[16] **ҜУНИН, И. А.:** *Теория упругих сред с микроструктурой*. Наука, Москва, 1975. 415 pp.

[17] **LÁMER, G.***: Contradictions in the Theory of Micropolar Elasticity and Their Causes*, Newsletter, Techn. Univ. of Budapest, **II** (1), 1984. pp. 12-16

[18] **LÁMER, G.:** *Differential Geometry, as Mathematical Background of Continuum Physics*, Newsletter, Techn. Univ. of Budapest, **II** (3), 1984. pp. 17-21

[19] **LÁMER, G.:** *A kis alakváltozások mellett nagy elmozdulásokat végző tökéletesen rugalmas héjak és rudak elméleteinek matematikai alapjai*. Kandidátusi (PhD) értekezés. Budapest, 1990. 116 pp.

[20] **LÁMER, G.:** *Két- és egyváltozós feladatok levezetése a háromváltozós feladatból. Sajátosságai a kontinuummechanikában*, Építés-, Építészettudomány XXIII (1-2), 1992-93. pp. 61-92

[21] **LÁMER, G.:** *Solid and Soft Body with and without Structure*, Quasi-Static Deformations of Particular Materials. Proceedings of QuaDMP'03. Ed.: K. Bagi. P. Co. of BTU, Budapest, 2003. pp. 159-166

[22] **LÁMER, G.:** *Az anyag folytonos és diszkrét modellezésének kinematikai kérdései*, Mérnökgeológia-

Kőzetmechanika 2006. Konferencia (Budapest) Szerk.: Török Á. – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2006. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 2. kötet.] pp. 145-156.

[23] **LÁMER G.:** *Az anyag folytonos és diszkrét modellezésének dinamikai kérdései*, Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2007. Konferencia (Budapest) Szerk.: Török Á. – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2007. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 4. kötet] pp. 301-314.

[24] **LÁMER, G.:** *Az anyagi viselkedés folytonos és diszkrét modellezésének kérdései*, Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2010. Konferencia (Budapest) Szerk.: Török Á. – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2010. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 8. kötet] pp. 123-146.

[25] **LÁMER, G.:** *Erővonalak edényben szabályosan elrendezett golyók halmazában*. A XI. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, 2011.) Konferenciakiadványa. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 64. cikk. 12 oldal

[26] **LÁMER, G.:** *Szemcsehalmazok egyensúlyának és átrendeződésének az állapotegyenlete.* A XI. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, 2011.) Konferenciakiadványa. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 65. cikk. 11 oldal

[27] **LÁMER, G.:** *A deformálható szilárd, folytonos közegek matematikai modellezésének egyes kérdéseiről: topológikus, metrikus és numerikus szempontok*, Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2013. Konferencia (Budapest) Szerk.: Török Á. – Görög Péter – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2013. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 16. kötet] pp. 317-332

[28] **LÁMER, G.:** *Topológiai eszközök alkalmazásának lehetőségei és korlátai a közegek mechanikai modellezésében.* A XII. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, 2015.) Konferenciakiadványa. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 211. cikk. 13 oldal

[29] **LÁMER, G.:** *Metrikus eszközök alkalmazásának lehetőségei és korlátai a közegek mechanikai modellezésében.* A XII. Magyar Mechanikai Konferencia (Miskolc, 2015.) Konferenciakiadványa. Szerk.: Baksa A. – Bertóti E. – Szirbik S. 326. cikk. 13 oldal

[30] **LÁMER, G.:** *Az anyag folytonos és diszkrét viselkedésének leírása. A modellezés kérdései.,* Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2016. Konferencia (Budapest) Szerk.: Török Á. – Görög Péter – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2016. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 20. kötet] pp. 261-276

[31] **LÁMER, G.:** *Közegek mechanikai viselkedésének folytonos és diszkrét modellezése. Három modelltípus*, Mérnökgeológia-Kőzetmechanika 2018. Konferencia (Budapest) Szerk.: Török Á. – Görög Péter – Vásárhelyi B., Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2018. [A Mérnökgeológia-Kőzetmechanika Kiskönyvtára 23. kötet] pp. 165-182

[32] **LOVE, A.E.H.:** *A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity*. Fourth ed. Cambridge, At the University Press, 1927. 643 pp.

[33] **ЛУРЬЕ, А.И.:** *Теория упругости*. Наука, Москва, 1970. 939 pp.

[34] **MAUGIN, G.A.:** *Non-Classical Continuum Mechanics: A Dictionary*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 2017. 258 pp.

[35] **TRUESDELL, C.:** *Mechanics of Solids. Ed.* Vol. II. *Linear Theories of Elasticity and Thermoelasticity. Linear and Nonlinear Theories of Rods, Plates, and Shells*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1972. 745 pp.

[36] **TRUESDELL, C.:** *Mechanics of Solids. Ed. Vol. III. Theory of Viscoelasticity, Plasticity, Elastic Waves, and Elastic Stability*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 1972. 647 pp.

[37] **МИХЛИН, С.Г.:** *Вариационные методы в математической физике*. Изд. второе. Наука, Москва, 1970. 512 pp.

[38] **MIKHLIN, S.G.:** *The Problem of the Minimum of Quadratic Functional*. Translated by A. Feinstein. Holden-Day, Inc. San Francisco - London - Amsterdam, 1965. 155 pp.

[39] **MIKHLIN, S.G.:** *The Numerical Performance of Variational Methods*. Translated by Dr. R.S. Anderssen. Walter-Noordhoff Publishing, Groningen, The Netherlands, 1971. 373 pp.

[40] **NOWACKY, W.:** *Theory of Micropolar Elasticity*. Udine Springer, Wien/New York. 1970. 286 pp.

[41] **RUBIN, M.B.:** *Cosserat Theories: Shells, Rods and Points*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht - Boston - London, 2000. 480 pp.

[42] **SHARPE, JR., W.N.** (Ed.)**:** *Springer Handbook of Experimental Solid Mechanics*. Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York, 2008. 1096 pp.

[43] **SCHARLE, P.:** *Építőmérnöki kontinuum feladatok numerikus vizsgálatának néhány kérdése*. ÉTI Tudományos Közlemények. 84. 1976. 108 pp.

[44] **SCHARLE, P.:** A mozaikmódszer mérnöki és matematikai értelmezésnek kialakulása és kapcsolatai,

Építés-, Építészettudomány **VI** (3-4), 1974. pp. 261-278
[45] **SZABÓ, J. – ROLLER, B.:** *A rúdszerkezetek elmélete és számítása*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971. 267 pp.
[46] **SZENTE, J.:** *A sima sokaságok elmélete*. Eötvös L. Egyetem Kiadó, Budapest, 2000. 276 pp.
[47] **TRELOAR, L.R.G.:** *The Physics of Rubber Elasticity*. Clarendon Press, Oxford, 1975. 310 pp.
[48] **VEBLEN, O. – WHITEHEAD, J.H.C.:** *The Foundations of Differential Geometry*. Cambridge University Press, 1953. 229 pp.

NEM TERMELÉSI FOLYAMATOK FEJLESZTÉSI SIKERTÉNYEZŐINEK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF CRITICAL SUCCESS FACTORS IN NON-PRODUCTION PROCESS IMPROVEMENT

METSZŐSY Gabriella

PhD hallgató, szvmg@uni-miskolc.hu
Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A cikk célja vizsgálni a nem termelési folyamatok fejlesztési sikertényezőit, melyek a folyamatok javításának elengedhetetlen eszközei. Számos tényező hatással van a különböző folyamatfejlesztési módszertanok eredményességére és hosszútávú fenntarthatóságára, így a folyamatfejlesztésben résztvevő döntéshozók számára meghatározó kérdés lehet, hogy mely tényezők jelenléte elengedhetetlen a program sikerességéhez. A cikkben a különböző folyamatfejlesztési módszertanokhoz kapcsolódó sikertényezők rangsorolása történik meg többszempontú döntéselemzési módszer segítségével, melynek alapját a módszertanokat alkalmazó döntéshozók interjú keretében történő megkérdezése adja.*

Kulcsszavak: *folyamatfejlesztés, folyamat hatékonyság, vezetői döntéshozatal*

Abstract: *The aim of this paper is to examine the success factors of non-production processes, which are the basic elements of process improvement. These factors affect the efficiency and sustainability of process improvement methodologies; therefore it could be a crucial question for decision makers involved in process improvement, which of these factors are necessary to be present in order to realise such an improvement programme successfully.*
In this paper success factors, which connect to various process improvement methods, are ranked on the basis of multi-criteria decision-making. The ranking is based on surveying decision-makers applying these methods.

Keywords: *process improvement, process efficiency, managerial decision-making*

1. BEVEZETÉS, CÉLOK

A folyamatteljesítmény javítása érdekében kifejlesztett menedzsment eszközök alkalmazása az utóbbi évtizedekben kezdett szélesebb körben elterjedni. Ennek ellenére számos szervezet nehézségekbe ütközik a választott folyamatfejlesztési módszertan implementálása valamint sikeres fenntartása során [1]. Emiatt elengedhetetlenül fontos, hogy a szervezetek azonosítsák az implementáláshoz szükséges kritikus sikertényezőket, és megértsék ezek lényegi elemeit. A cikk célja a szakirodalomban leggyakrabban említésre kerülő folyamatfejlesztési sikertényezők alkalmazott módszertanonkénti rangsorolása többtényezős döntéselemzési módszer segítségével, melynek alapját folyamatfejlesztésben részt vett szakértők egyéni, strukturált interjú keretében történt megkérdezése adja.

A cikk első részében szakirodalmi áttekintés formájában kerülnek bemutatásra a folyamatfejlesztés során leggyakrabban használt módszertanok és az azonosított sikertényezők, ezt követően pedig a módszertan bemutatása után a strukturált interjú alapján kapott eredmények bemutatása és értékelése történik meg.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A folyamatfejlesztés koncepciója – mint a minőségi működés követelménye – megköveteli a meglévő folyamatok stabilitását. Ezután válik a folyamat kiszámíthatóvá, a

folyamatképesség elérhetővé és javíthatóvá. A folyamatfejlesztés tehát a folyamatok hatékonyabbá, eredményesebbé vagy átláthatóbbá válását eredményezi [2], valamint hozzájárul a szervezet versenyhelyzetéhez a folyamatokkal kapcsolatos új ismeretek megszerzésével, ezáltal növelve a termelékenységet [3]. A mai üzleti környezetben szükséges bizonyos módszerek alkalmazása ahhoz, hogy a szervezet biztosítsa és fenntartsa versenyelőnyét. A gépiparban például nem elég a szűk értelemben vett technológiafejlesztés szükségességének megvizsgálása időről-időre, hanem figyelembe kell venni a gyártást támogató szervezési vagy például logisztikai folyamatok hatékonyságát és hatásosságát is, ugyanis sok esetben az ilyen irányú fejlesztések adják a viszonylag nagyobb arányú költségmegtakarításokat [4]. A vizsgált cikkek alapján a leggyakrabban alkalmazott módszerek és módszertani megközelítések az alábbiak:

A lean menedzsment a teljes értékláncban alkalmazható módszer a veszteségek eliminálására és az érték növelésére a végső felhasználók felé. A lean filozófiája szerint a cél a folyamatok fejlesztése a leggazdaságosabb megközelítésben [5]. A lean lényege a muda típusú veszteségek (pl. várakozás, túltermelés, készletek) és a hozzáadott értéket nem eredményező tevékenységek eliminálása a folyamatból [6]. A lean szemlélet segítségével szisztematikusan feltárhatók és megszüntethetők a folyamatban lévő, hozzáadott értéket nem teremtő elemek, hozzájárulva a vevők által elvárt tökéletesítés lépéseihez [7]. Lehetőséget teremt az értékteremtő műveletek megfelelő sorrendjének kialakítására és megszakítás nélküli működésére a tevékenységek hatékonyságának növelése érdekében [8].

- Alapelmélete: a selejt és az értéket nem teremtő folyamatrészek eltávolítása.
- Fókusza: a folyamatokban lévő felesleg megszüntetése, hogy a vevőknek tökéleteset tudjon nyújtani.
- Főbb eszközei: kanban, húzó-elv, kaizen, 5S, értékáram-térkép, egy darabos áramlás, gyors átállás.
- Kritikája: csökken a rugalmasság, torlódást, zsúfoltságot okoz az ellátási láncban, nem minden iparágban alkalmazható.

A six sigma olyan folyamatfejlesztési módszer, mely azonosítja és eliminálja a folyamatokban lévő hibák okait a minőség, termelékenység és a vevői elégedettség növelésének érdekében. Elsősorban a folyamatokban fellépő variancia csökkentésére összpontosít. Erőssége a számszerűsíthető és egyértelműen mérhető pénzügyi eredményesség elérése [9]. A folyamatok mérése és elemzése során a módszer segítségével pontosan meghatározható a hibák előfordulása, valamint annak okai, majd a fejlesztéshez vezető lépések [10].

- Alapelmélete: variancia csökkentése, hibamentesség.
- Fókusza: a folyamatokban lévő problémák felszámolása a vevői igényeknek megfelelően, figyelembe véve a kritikus minőségjellemzőket.
- Főbb eszközei: statisztikai folyamatszabályozás, folyamattérkép, mérőrendszer, faktoriális kísérlettervezés, hibamód és hibahatás elemzés, ok-okozat diagram, pareto elemzés.
- Kritikája: nem mindenkit érint, nem növeli a vevőelégedettséget, nem rendszerszemléletű.

A lean six sigma (LSS) módszer a lean gondolkodást ötvözi a six sigma metodikájával. Az LSS olyan módszer és üzleti stratégia, mely által növelhető a folyamat teljesítménye, ami fokozza az vevőelégedettséget és javítja az eredményeket [11]. Specifikusan a DMAIC ciklust és egyben eszköztárat használja a variancia csökkentésére és a szervezeti folyamatok átfutási idejének növelésére. A fő erőssége a kombinált szemlélet megjelenésében mutatkozik meg. Egyik nézőpont szerint a six sigma kiegészíti a lean szemléletet: kulturális infrastruktúrát biztosít, elkötelezetté teszi a menedzsmentet, melyet sokszor a lean szemlélettel nem sikerül

elérni, illetve lehetővé teszi a szórás csökkentését, melyeket a lean eszközök és technikák nem képesek kezelni. Másik oldalról nézve azonban a lean is kiegészíti a six sigma módszertanát: azonosítja a hozzáadott értéket nem teremtő tevékenységeket – melyek utána kiküszöbölhetők és termelésre fordíthatók [12] –, fejleszti a folyamatidőt, és eszközeivel gyorsan tud reagálni a fejlesztésekre.

- Alapelmélete: a feleslegek megszüntetése és a teljesítmény növelése a lean segítségével, valamint a folyamatban lévő variancia csökkentése és a minőség javítása a six sigma használatával.
- Fókusza: a két módszer kombinációja segíti a lehetőségek gyors azonosítását és a változók pontos meghatározását.
- Főbb eszközei: a lean és a six sigma által használt eszközök.
- Kritikája: a költségeket helyezi a folyamat hatékonyságának központjába, pedig önmagában ez nem elégséges.

A folyamatos fejlesztés viszonylag kisebb mértékű fejlesztések összessége, melynek eredményeként – mindennapi erőfeszítések árán – létrejön a javított folyamat. Központi szereplője az ember, mert céljaként jelenik meg az üzleti teljesítmény és eredmények javítása mellett a dolgozói elégedettség és a munkakörnyezet fejlesztése is, ezáltal megkövetelve mindenki részvételét a folyamatos fejlesztésben [13].

- Alapelmélete: mindenben megvan a lehetőség a fejlesztésre.
- Fókusza: a kialakult helyzet megoldása, és tanulás.
- Főbb eszközei: vezetők, csoportok és egyének fejlesztése, teljeskörű minőségszabályozás.
- Kritikája: munkaterhelés megnövekedése a közép- és alsóbb vezetők számára, lelkesedés folyamatos fenntartása, mert a munkavállalók is a folyamatos fejlesztés szerves részét képezik.

A sikeres implementálást azonban sokszor gátolja bizonyos kritikus tényezők hiánya vagy nem megfelelő alkalmazása, mint például a felsővezetés támogatásának hiánya vagy a képességek nem megfelelő kiaknázása vagy eredménytelen tréningek alkalmazása [14]. A szakirodalomban leggyakrabban említésre kerülő kritikus sikertényezők [15-23] szerzők alapján: menedzsment részvét és elköteleződés; tréning; mérőszámok, statisztikai eszközök alkalmazása; projektszelekció és priorizálás; szervezeti infrastruktúra és erőforrások; kapcsolódás az üzleti stratégiához; kultúra; vevőközpontúság; jutalmazás és elismerés; folyamatfejlesztési szakember, specialista; kommunikáció; elszámoltathatóság; kapcsolódás az ellátási lánchoz; adatokon alapuló döntéshozatal; projekt menedzsment ismeretek, képességek.

3. MÓDSZERTAN

A cikkben egyszerű rangsorolást használok arra, hogy a folyamatfejlesztési sikertényezőket vizsgáljam. A módszer használatával a cél meghatározni a sikertényezők fontosságát a nem termelő folyamatok fejlesztésében részt vett érintettek szemszögéből rangsorképzés segítségével.

A rangsoroló módszer első lépése a páros összehasonlítások elvégzése és a sikertényezők súlyainak kiszámítása. A lépés magában foglalja a tényezők egymáshoz viszonyított fontosságának meghatározását páros összehasonlítás segítségével, a súlyvektorok meghatározását és a konzisztencia megállapítását. A páros összehasonlítások elvégzése egyéni strukturált interjú keretében történt, a megkérdezett személyek nem termelő folyamatok fejlesztésében vettek részt. A folyamatfejlesztés során alkalmazott módszertan alapján a megkérdezett személyeket négy kategóriába soroltam: lean, six sigma, lean six

sigma illetve folyamatos fejlesztés. Az összehasonlítás elvégzésére a Saaty által fejlesztett skála 1-9-ig terjedő értékeit használtam, ahol 1: egyformán fontos tényező; 3: mérsékelten fontosabb tényező; 5: sokkal fontosabb tényező; 7: nagyon sokkal fontosabb tényező; 9: rendkívüli mértékben fontosabb tényezőt jelöli, míg a skála páros értékei az árnyalást szolgálják. A párba rendezett sikertényezők közül a megkérdezetteknek meg kellett jelölniük a számukra fontosabbnak vélt tényezőt, majd a skála értékeit felhasználva meg kellett határozniuk a fontosság mértékét [24]. A páros összehasonlítások eredményét reprezentáló értékeket mátrixba rendezve megmutatja az egyes tényezők egymáshoz mért preferenciáját az 1. képlet alapján:

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j}, \tag{1}$$

ahol:

a_{ij} - mátrix *i.* sorának *j.* eleme;
w_i, w_j - *i.* tényező *j.* tényezővel történő páros összehasonlítása során kapott érték.

A páros összehasonlítás eredménye megmutatja, hogy az *i.* tényező mennyivel fontosabb a *j.* tényezőnél. Ezáltal a mátrix a 2. képlet szerint megadott formában került meghatározásra:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & \cdots & a_{ij} \\ \vdots & 1 & \vdots \\ \frac{1}{a_{ij}} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

A mátrix elemei a tényezők egymáshoz viszonyított fontosságát mutatják, az egyes tényezők súlyértékei a normalizált mátrixból számíthatók. A konzisztencia mérése a konzisztenciahányados (CR) megállapításával lehetséges, melynek értéke minél inkább közelít nullához, annál nagyobb lesz a konzisztencia. Tapasztalati határként a 0,1-es konzisztenciahányados használatos, azonban ennek nagyságrendje az adott döntési szituáció függvényében változhat, így akkor számít megfelelőnek, ha nem haladja meg a tapasztalati határ értékét.

$$CR = \frac{CI}{RI}, \tag{3}$$

ahol:

CI - konzisztenciaindex;
RI - konzisztenciaindexek empirikusan adott átlagos értéke.

4. EREDMÉNYEK BEMUTATÁSA, ÉRTÉKELÉSE

A vizsgálaton négy fő vett részt, akik érintettek voltak nem termelő folyamat fejlesztésében a négy leggyakrabban említett folyamatfejlesztési módszertan (lean, six sigma, lean six sigma, folyamatos fejlesztés) alkalmazása esetén. A résztvevők korlátozott száma miatt a cikk csupán illusztratív jellegű a különböző folyamatfejlesztési módszertanok alkalmazásában résztvett személyek preferenciáiról.

A vizsgálatban részt vett négy fő által kapott eredmények összehasonlítása kerül részletesen bemutatásra. A konzisztenciahányados értéke a six sigma folyamatfejlesztési módszertant alkalmazó érintett esetében megfelelő volt, CR_{SS}=0,089, a lean CR_L=0,146, és a lean six sigma CR_{LSS}=0,109 esetében kismértékben meghaladta az elvárt értéket, míg a folyamatos fejlesztés CR_K=0,200 esetén már nagyobb eltérés tapasztalható. Ennek oka lehet a vizsgálatban részt vett személyek figyelmetlensége, tapasztalat hiánya, kevéssé alapos ismerete a tényezők egy részével kapcsolatosan.

A súlyvektorok elemeinek kiszámításához szükséges a sajátvektorok meghatározása. A 4. képlet jelöli a sajátvektorok meghatározásának módját, amiből az 5. képlet alapján kiszámolhatók a súlyvektorok.

$$\mathbf{w}_{\mathrm{k}} = \mathbf{A}\mathbf{w}_{\mathbf{k-1}}, \tag{4}$$

$$\mathbf{w} = \frac{w_{k_i}}{\sum w_{k_i}}, \tag{5}$$

ahol:

$\mathbf{w_k}$ - sajátvektor.

w_{k_i} - sajátvektor *i*. eleme.

Ezek alapján a négy folyamatfejlesztési módszertan sikertényezőihez számított súlyvektorokat szemléltetik az 6- 9. képletek.

$$\mathbf{w}_{\mathrm{L}}^{\mathrm{T}} = [0{,}13\ 0{,}11\ 0{,}07\ 0{,}03\ 0{,}03\ 0{,}04\ 0{,}16\ 0{,}03\ 0{,}06\ 0{,}06\ 0{,}20\ 0{,}01\ 0{,}01\ 0{,}01\ 0{,}05] \tag{6}$$

$$\mathbf{w}_{\mathrm{SS}}^{\mathrm{T}} = [0{,}14\ 0{,}10\ 0{,}10\ 0{,}15\ 0{,}02\ 0{,}03\ 0{,}05\ 0{,}09\ 0{,}07\ 0{,}02\ 0{,}06\ 0{,}06\ 0{,}01\ 0{,}08\ 0{,}02] \tag{7}$$

$$\mathbf{w}_{\mathrm{LSS}}^{\mathrm{T}} = [0{,}08\ 0{,}02\ 0{,}03\ 0{,}07\ 0{,}13\ 0{,}18\ 0{,}03\ 0{,}06\ 0{,}02\ 0{,}05\ 0{,}12\ 0{,}02\ 0{,}03\ 0{,}13\ 0{,}03] \tag{8}$$

$$\mathbf{w}_{\mathrm{FF}}^{\mathrm{T}} = [0{,}03\ 0{,}04\ 0{,}02\ 0{,}05\ 0{,}02\ 0{,}06\ 0{,}17\ 0{,}13\ 0{,}08\ 0{,}05\ 0{,}05\ 0{,}07\ 0{,}07\ 0{,}06\ 0{,}09] \tag{9}$$

A számított súlyvektorok alapján meghatározható a sikertényezők módszertanonkénti rangsora, melyet az 1. táblázat foglal össze. A szakirodalomban legtöbbet hivatkozott sikertényező, a menedzsment részvét és elköteleződés az irodalommal összhangban a lean, six sigma és lean six sigma módszerek esetén a rangsorban is elsődleges helyre került 0,13, 0,14 és 0,08-as súllyal, azonban sehol nem lett a legfontosabbra értékelt tényező, illetve folyamatos fejlesztés esetén a kevésbé fontos tényezők között helyezkedik el. Lean menedzsment módszer alkalmazása esetén legfontosabbnak a kommunikáció (0,20), kultúra (0,16), menedzsment részvét és elköteleződés (0,13) és a tréning (0,11) került megjelölésre, melyek leginkább az alkalmazottak, érintettek tekintetében fontos tényezők, tehát leginkább a szervezetben lévő humán erőforrással kapcsolatos alkalmazások kerültek elsődleges helyre, összhangban a lean azon szemléletével, miszerint a rugalmas szervezet az egyik kulcsa a folyamatos fejlesztésnek. A six sigma módszer esetében nagyobb mértékben vannak jelen a megvalósítás támogatásához szükséges eszközök, mint a projektszelekció és priorizálás (0,15), menedzsment részvét és elköteleződés (0,14), mérőszámok, statisztikai eszközök alkalmazása (0,10), valamint az adatokon alapuló döntéshozatal (0,08). A folyamatos mérés és számításokon alapuló módszertani támogathatóság a six sigma alapjának tekinthető, és a rangsor is ezt a strukturált módszertani alkalmazhatóságot tükrözi. A lean six sigma, mint a két módszer ötvözeteként fejlődő szemlélet a lean és a six sigma eszköztárát kombinálva

alkalmazza, így az elsődleges sikertényezők között egyaránt megjelennek a lean filozófiájához kapcsolódó eszközök, mint a kommunikáció (0,12), menedzsment részvét, elköteleződés (0,08), azonban nagy hangsúly kap a six sigma módszertanából eredeztethetően az adatokon alapuló döntéshozatal (0,13), projektszelekció, priorizálás (0,07), és az üzleti stratégiához való kapcsolódás (0,18). Folyamatos fejlesztés esetén törekednek minden érintett bevonására a fejlesztés teljes folyamata során, ennek megfelelően azon sikertényezők kerültek elsődleges helyre, melyek legnagyobb mértékben érintik az összes résztvevőt, mint a kultúra (0,17), vevőközpontúság (0,13), jutalmazás, elismerés (0,08), és a folyamatfejlesztéshez szükséges projekt menedzsment ismeretek, képességek (0,09).

1. táblázat: Sikertényezők rangsora

Sikertényező	**Rangsor**			
	L	**SS**	**LSS**	**FF**
Menedzsment részvét / elköteleződés	3.	2.	5.	13.
Tréning	4.	4.	15.	12.
Mérőszámok / statisztikai eszközök alkalmazás	5.	3.	9.	14.
Projektszelekció és priorizálás	12.	1.	6.	11.
Szervezeti infrastruktúra és erőforrások	10.	12.	3.	15.
Kapcsolódás az üzleti stratégiához	9.	11.	1.	7.
Kultúra	2.	10.	10.	1.
Vevőközpontúság	11.	5.	7.	2.
Jutalmazás és elismerés	6.	7.	14.	4.
Folyamatfejlesztési szakember / specialista	7.	13.	8.	9.
Kommunikáció	1.	8.	4.	10.
Elszámoltathatóság	15.	9.	13.	5.
Kapcsolódás az ellátási lánchoz	13.	15.	12.	6.
Adatokon alapuló döntéshozatal	14.	6.	2.	8.
Projekt menedzsment ismeretek / képességek	8.	14.	11.	3.
Alkalmazott jelölések: L - lean, SS - six sigma, LSS - lean six sigma, FF - folyamatos fejlesztés				

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálat eredményei a szakirodalommal összhangban rávilágítottak arra, hogy a nem termelő folyamatok fejlesztése során az alkalmazott módszer nagymértékben meghatározza a kritikus tényezők szükségességét. A lean menedzsment esetében elsődlegesen a puha menedzsment tényezők alkalmazását tartják szükségszerűnek a megvalósításhoz, mint a megfelelő kommunikáció alkalmazása, a szervezeti kultúra fejlesztése, átalakítása, képzések, tréningek, illetve a vezetőség részvétele, elkötelezettsége a folyamatfejlesztési program iránt. Ezzel szemben a six sigma módszer alkalmazása során a kemény menedzsment tényezők, a kalkulációval támogatható eszközök alkalmazása került előtérbe, mint a megfelelő folyamatfejlesztési projekt kiválasztása, priorizálás, számításokon alapuló döntések, statisztikai eszközök alkalmazása. Sokszor a szervezetek nem képesek több folyamatfejlesztési módszer egyidejű alkalmazására azok nehéz összeegyeztethetősége, költség -, idő -és eszközigénye okán, azonban a lean menedzsment és a six sigma megfelelő párosítást alkot a lean six sigma módszer esetében, ahol a puha és a kemény tényezők jelenléte egyaránt szükséges a fejlesztés sikeressége érdekében. A folyamatos fejlesztés esetén a javított folyamat elérésének kulcsszereplője az ember, ezzel összhangban a módszer esetén

az őket érintő tényezők kerültek elsődleges helyre, mint a megfelelő kultúra kialakítása, ösztönző jutalmazási rendszer megléte, folyamatos elismerések, és a vevőközpontú szemlélet kialakítása. Azt, hogy melyik folyamatfejlesztési módszert használják, a szervezet döntésén múlik, figyelembe véve a költségeket, versenytársakat, időt és a környezetet.

A páros összehasonlítások rangsorképző módszerének alkalmazása megfelelően segítette a nem termelési folyamatokban részt vett érintettek prioritásait figyelembe vevő rangsor felállítását. Azonban mint minden módszernek, ennek is vannak korlátai és előfeltételei, melyek ismerete szükséges a megfelelő minőségben történő alkalmazáshoz.

- A vizsgálati minta nem reprezentatív.
- A valóság sokszor inkonzisztens.
- Az információhiány nagymértékben befolyásolhatja a végső rangsort.
- A döntéshozó figyelmetlensége, tapasztalatlansága az összehasonlítás során félrevezető eredményeket adhat.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, Az intelligens, fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi, technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitális gazdaságban című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **ALHURAISH, I., ROBLEDO, C., KOBI, A.:** *A comparative exploration of lean manufacturing and six sigma in terms of their critical success factors.* Journal of Cleaner Production, Vol. 164. (1), 2017, pp. 325-337.

[2] **BASU, R.:** *Managing quality in projects: an empirical study*. International Journal of Project Management, Vol. 32., 2014, pp. 178-187.

[3] **KUNDRAK, J., MOLNAR, V., DESZPOTH, I.:** *Analysis of Machining Time and Material Removal Performance as Factors Influencing Efficiency and Profitability*. Proceedings of the 2nd VAE2018, Miskolc, Hungary, 2018, pp. 268-279.

[4] **KUNDRAK, J., MOLNAR, V., DESZPOTH, I.:** *Decision-making in procedure selection on the basis of efficiency in machining hardened surfaces*. International Journal of Mechanical Engineering, Vol. 3. (1), 2018, pp. 36-42.

[5] **ACHANGA P., SHEHAB E., ROY R., NELDER G.:** *Critical success factors for lean implementation within SMEs*. Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 17. (1), 2006, pp. 460-471.

[6] **RAUCH, E., DALLASEGA, P., MATT, D. T.:** *Critical Factors for Introducing Lean Product Development to Small and Medium sized Enterprises in Italy*. Procedia CIRP, Vol. 60., 2017, pp. 362-367.

[7] **TAMAS, P.:** *Decision Support Simulation Method for Process Improvement of Intermittent Production Systems*. Applied Sciences-Basel, Vol. 7. (9), 2017, 16 p.

[8] **ALEFARI, M., SALONITIS, K., XU, Y.:** *The Role of Leadership in Implementing Lean Manufacturing*. Procedia CIRP, Vol. 63., 2017, pp. 756-761.

[9] **MARZAGAO, D. S. L., CARVALHO, M. M.:** *Critical success factors for Six Sigma projects*. International Journal of Project Management, Vol. 34. (8), 2016, pp. 1505-1518.

[10] **SABRY, A.:** *Factors critical to the success of Six-Sigma quality program and their influence on performance indicators in some of Lebanese hospitals*. Arab Economic and Business Journal, Vol. 9. (2), 2014, pp. 93-114.

[11] **DE FREITAS, J. G., COSTA, H. G., FERRAZ, F. T.:** *Impacts of Lean Six Sigma over organizational sustainability: A survey study*. Journal of Cleaner Production, Vol. 156., 2017, pp. 262-275.
[12] **MOLNAR, V.:** *Indirect Impacts of Drastic Scrap Rate Reduction on Costs of Production Process in Precision Machining*. Solid State Phenomena, Vol. 261., 2017, pp. 487-494.
[13] **TETTEH, H. A.:** *Kaizen: A Process Improvement Model for the Business of Health Care and Perioperative Nursing Professionals*. AORN Journal, Vol. 95. (1), 2012, pp. 104-108.
[14] **KANNAN, D.:** *Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process*. International Journal of Production Economics, Vol. 195., 2018, pp. 391-418.
[15] **ABOELMAGED, M. G.:** *Predicting e-procurement adoption in a developing country: An empirical integration of technology acceptance model and theory of planned behaviour*. Industrial Management & Data Systems, Vol. 110. (3), 2010, pp. 392-414.
[16] **ANTONY, J.:** *Six Sigma in the UK service organisations: results from a pilot survey*. Managerial Auditing Journal, Vol. 19. (8), 2004, pp. 1006-1013.
[17] **ANTONY, J., CORONADO, R. B.:** *Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma programs*. Measuring Business Excellence, Vol. 6. (4), 2002, pp. 20-27.
[18] **BREWER, P. C., BAGRANOFF, N. A.:** *Near zero-defect accounting with Six Sigma*. Journal of Corporate Accounting & Finance, Vol. 15. (2), 2004, pp. 67-72.
[19] **CORONADO, R. B., ANTONY, J.:** *Critical success factors for the successful implementation of six sigma projects in organisations*. The TQM Magazine, Vol. 14. (2), 2002, pp. 92-99.
[20] **FIRKA, D.:** *Six Sigma: an evolutionary analysis through case studies*. The TQM Journal, Vol. 22. (4), 2010, pp. 423-434.
[21] **GOH, S.:** *Improving organizational learning capability: lessons from two case studies*. The Learning Organization, Vol. 10. (4), 2003, pp. 216-227.
[22] **SCHROEDER, R. G., LINDERMAN, K., LIEDTKE, C., CHOO, A. S.:** *Six Sigma: Definition and underlying theory*. Journal of Operations Management, Vol. 26. (5), 2008, pp. 536-554.
[23] **ZU, X., FREDENDALL, L. D., DOUGLAS, T.:** *The Evolving Theory of Quality Management: The Role of Six Sigma*. Journal of Operations Management, Vol. 26. (5), 2008, pp. 630-650.
[24] **SAATY, T. L.:** *A scaling method for priorities in hierarchical structures*. Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15. (3), 1977, pp. 234-281.

TERMIKUS SZÓRÁSSAL ACÉL SZERKEZETEKRE FELVITT CINK ÉS ALUMÍNIUM KORRÓZIÓÁLLÓ BEVONATOK VIZSGÁLATA ÉS ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGE

TESTING AND APPLICATION OF ZINC AND ALUMINUM CORROSION COATINGS WRAPPED BY STEEL STRUCTURES THERMAL SPRAYING

MOLNÁR András[1], BARKÓCZY Péter[2], BATTÁNÉ GINDERT-KELE Ágnes[3] PÁLINKÁS Sándor[4]

[1] Doktorjelölt, a.molnar2007@gmail.com
[1]Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem

[2]Egyetemi docens, fembarki@uni-miskolc.hu
[2]Fémtani Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézet, Miskolci Egyetem

[3]Ph. D. Egyetemi docens, battane@eng.unideb.hu
[3]Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[4]Ph. D. Egyetemi adjunktus palinkassandor@eng.unideb.hu
[4]Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A cink és az alumínium bevonatok alkalmazása jelentős mértékben előtérbe került az Egyesült Államokban, Kanadában és Japánban. A cinkből, vagy az alumíniumból készült bevonatok sok éven keresztül biztosítják az acélszerkezetek korrózió elleni védelmét. Az alumínium és a cink bevonatok felvitelére a rendelkezésre álló különféle módszerek közül a termikus szórás az egyik legkedvezőbb és felhasználóbarát módszer. A jelen tanulmány a termikusan szórt cink és alumínium bevonatok kivitelezésének technológiáját és vizsgálati módszereit – továbbá néhány gyakorlati példával szemlélteti ennek hasznosságát.*

***Kulcs szavak*:** *termikus szórás, villamos ívszórás, Al bevonat, Zn bevonat*

Abstract: *The use of zinc and aluminum coatings has gained considerable attention in the United States, Canada and Japan. Coatings made of zinc or aluminum provide for many years the protection of steel structures against corrosion. For the application of aluminum and zinc coatings among the various methods available, thermal spraying is one of the most convenient and user-friendly methods. The present study describes the technology and methods of testing of thermally dispersed zinc and aluminum coatings, as well as some practical examples of its usefulness.*

Keywords: *thermal* ***spraying,*** *arc spraying, Al coating, Zn coating*

1. BEVEZETÉS

Egy anyag felületvédelmet adhat a kívánt felületi tulajdonság eléréséhez. A fémek, ötvözetek, kerámia műanyagok és néhány fémvegyületek többsége önállóan vagy keverékként alkalmazható bevonatokként, de jellemzőik gyakran korlátozzák azokat a folyamatokat, amelyek a felvitelükhöz szükségesek. Tűzálló oxidok pl. nem vihetők fel bevonatként hegesztési eljárásokkal, és a karbidok fém vagy ötvözetmátrixot igényelnek. Az anyag folyamat kapcsolat nemcsak azonosítja, hol lehet együtt használni, hanem meghatározza a

bevonatból várható elvárásokat is, például a sűrűség és a hordozóhoz való tapadás. Az 1. táblázat összehasonlítja a különböző felületi módosító technikákat.

A cink és az alumínium termikus szórása a korrózióval szembeni védelem egy jól bevált módszere. A cink és alumínium bevonat katódos védelmet nyújt a korrózióvédelem számára több mint 30 éven keresztül. Ráadásul a korrózió termékei zárják be a bevonatban lévő nyitott porozitást, ezáltal gátolva a további korróziót. A termikus szórás az alábbi előnyökkel jár az acél galvanizálásánál:

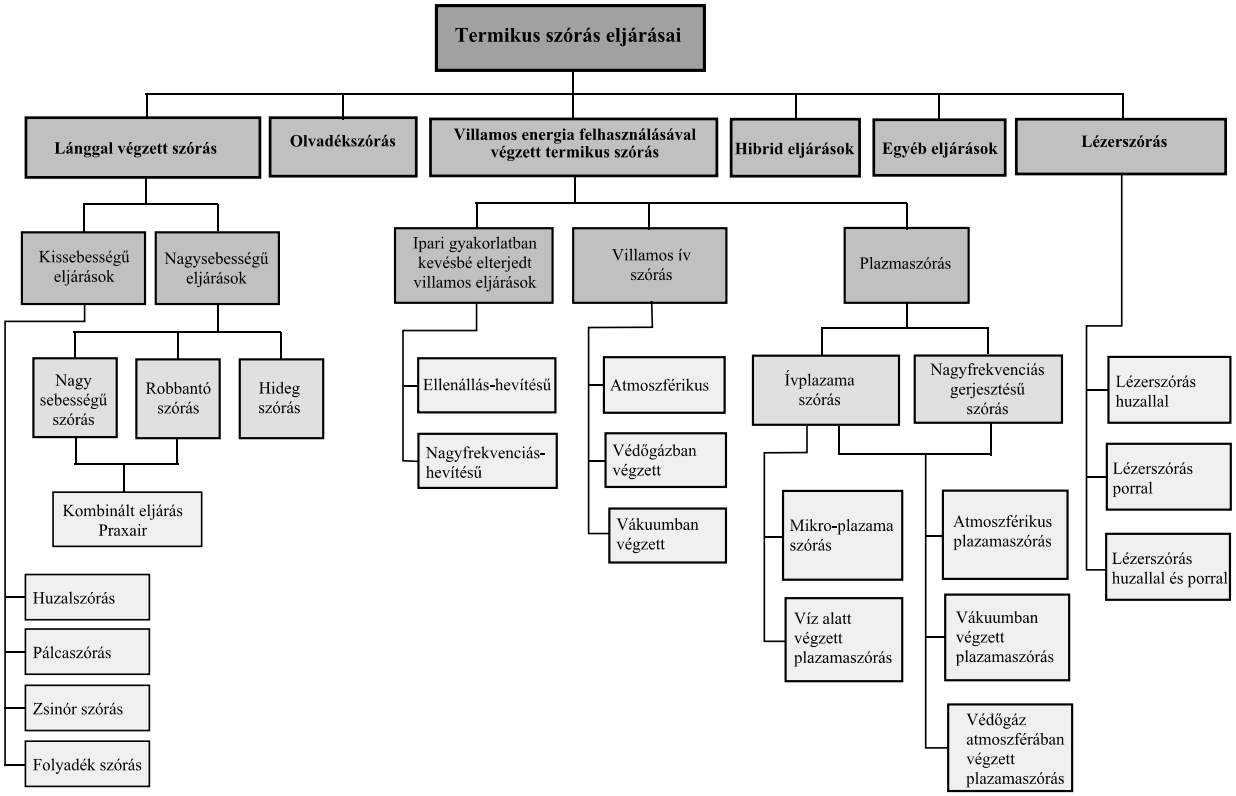
- Az alacsony hőbevitel a szórás során – így a bevonat alatti anyag nem károsodik,
- Az eljárás nem korlátozódik a cinkre.
- A bevonó anyagot a kívánt környezet igénye szerint lehet megválasztani,
- Nincs korlátozás a felszórandó felület méretére,
- A bevonásra kerülő objektumot a helyszínen lehet előkészíteni,
- Nincs szennyvízelvezetési probléma,
- Minimális környezeti terhelés,
- Magasabb a termelékenység mint például a galvanikus, vagy az olvadékba mártással készülő bevonatok esetén.

1.Táblázat Különböző bevonat kialakító módszerek összehasonlítása

A réteg jellemzői	Rágőzölögtető bevonatfelvitel	Galvanikus bevonatfelvitel	Termikus szórás	Szórással való ráolvasztás	Hegesztés
A réteg vastagsága [mm]	0,001 – 0,2	0,02 – 0,5	0,1 – 1,0	0,5 – 1,5	1,2, vagy több
A bevonásra kerülő tárgy alakja	Változó	Változó	A pisztollyal, vagy égővel való hozzáféréstől függ		
A bevonásra kerülő tárgy mérete	A befogadó kamra méretétől függ	A befogadó fürdő méretétől függ	Nincs korlátja	A réteget újra olvasztó eszköztől függ	Nincs korlátja
A bevonásra kerülő tárgy anyaga	Mindig korlátlan	Mindig korlátlan	Mindig korlátlan	Fém, vagy ötvözetek magasabb olvadásponttal, mint a bevonaté	
A bevonásra kerülő tárgy hőmérséklete [^{o}C]	30 - 1000	100	200	1050	1400
Előzetes kezelés	Ionokkal való bombázás a fizikai (PVD), változó a kémiai (CVD) eljárásnál	Vegyi tisztítás és maratás	Tiszta és érdesített felület	Tiszta és érdesített felület	Mechanikus tisztítás
Utólagos kezelés	Nincs, vagy feszültség csökkentés	Nincs, vagy feszültség csökkentés	Nincs	Nincs	Nincs
A bevonat porozitása	Nincs, vagy kicsi	Nincs, vagy kicsi	1 – 15 %	Nincs	Nincs

Kötés szilárdság [MPa]	Magas	100	20 - 140	Magas	Magas
Kötési mechanizmus	Felületi atomos kötés	Felületi tapadás	Mechanikus	Metallurgiai	Metallurgiai
A bevonat vastagságának szabályozása	Jó	Jó	Különösen jó	Közepes	Kézi és gépesített módszer megfelelő
A bevonásra kerülő objektum torzulása	Kicsi	Kicsi	Kicsi	Közepes	A bevonásra kerülő objektum méreteitől és alakjától függ

A cink és az alumínium bevonatok az acélszerkezetek (pl. tartályok, csővezetékek, hídszerkezetek korrózióvédelmére kiválóan alkalmasak.



1. ábra. A termikus szórás eljárásai

2. A CINK ÉS AZ ALUMÍNIUM HUZALOK TERMIKUS SZÓRÁSA

Mindkét anyag termikus szórásához leggyakrabban a kéthuzalos villamos ívszórást, vagy a lánggal végzett eljárást alkalmazzák.

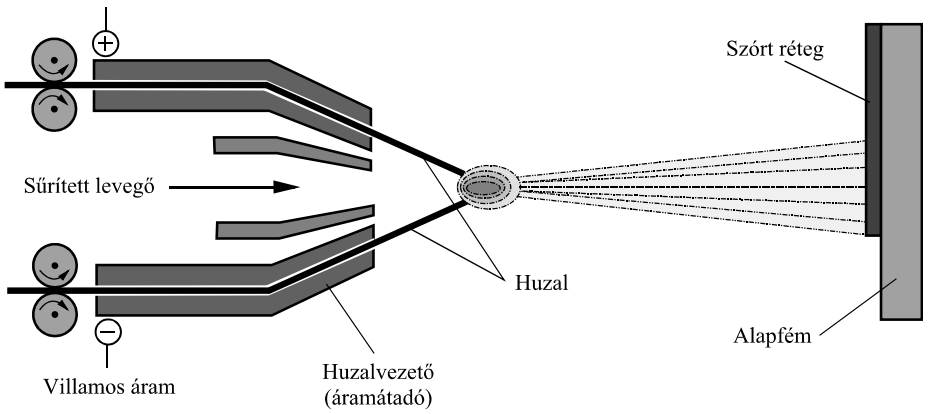
2.1 Villamos ívszórás

Az eljárás alapja a rövidzárlati elv, mely szerint két villamosan vezető, áramjárta elektróda között azok érintkezésekor villamos szikra keletkezik, így az elektródavégek megolvadnak. A szikrát folyamatossá téve villamos ív alakul ki, amelynek következtében az elektródavégek folyamatos leolvadása fenntartható. A megolvadt fémet sűrített - levegősugár porlasztja, és a részecskéket felgyorsítja, majd az előkészített felületre röpíti, ahol a becsapódó részecskék deformálódnak és réteget alkotnak (1. ábra).

A kezdeti megoldásban - amelyet **M. U. Schoop** és **Bauerlin** 1914-ben fejlesztett ki [1] - a villamos ívet egy grafit és egy folyamatosan előtolt (leolvadó) - elektróda között hozták létre. Sokkal korszerűbb az a módszer, amikor a két villamosan vezető huzalt tolják előre és a leolvadás folyamatos. A kéthuzalos villamos íves eljárás elve szintén **M. U. Schoop** nevéhez fűződik. Az ívet 89 V egyenfeszültséggel, 450 A áramerősség mellett hozta létre. Az eljárás módszere a feltalálás óta alig változott. Nagy felszórási teljesítmény érhető el (kb. 60 kg/óra).

Ha a huzalok különböző anyagúak, akkor pszeudo-ötvözeteket lehet előállítani. A sűrített levegővel történő porlasztás az alkotórészek jelentős mértékű kiégését és oxidálódását eredményezi. A villamos ívvel végzett fémbevonás területén különböző munkák folynak a váltakozó áramú villamos táplálás alkalmazásával, a részecskéknek nem sűrített levegővel, hanem nemes gázzal történő porlasztásával valamint a gázáramlás meggyorsításával kapcsolatban, megfelelő keresztmetszetű és kialakítású fúvóka alkalmazása segítségével.

Mindezek lehetővé teszik oxidmentes bevonatok előállítását. A villamos íves felszórási eljárás hiányossága az, hogy nagy a felszóró - anyag veszteség a nagy porlasztási kúp miatt - a bevonat gyenge minőségű, amely a porozitással és a nagymennyiségű oxidtartalommal kapcsolatos. A villamos fémszórókészülékek jelentősen egyszerűbbek a vezérlés tekintetében a gázlánggal működő készülékekkel összehasonlítva. A villamos íves felszórásnál kiinduló anyagként minden esetben villamosan vezető anyagból (fémből, fémötvözetből) készült huzalt használnak. Az eljárás nagy felszórási teljesítménye nagy felületek (pl. hidak, tengeri berendezések) bevonattal való védelmét teszi lehetővé.



2. ábra. A villamos ívszórás elve



3. ábra. A villamos ívszórás gyakorlati kivitelezése

A szóráshoz alkalmazható villamos áramot vezető összes anyag: ezek hagyományosan a Zn és Al huzalok, de a porbeles típusok használata manapság szintén nagymértékben elterjedt.

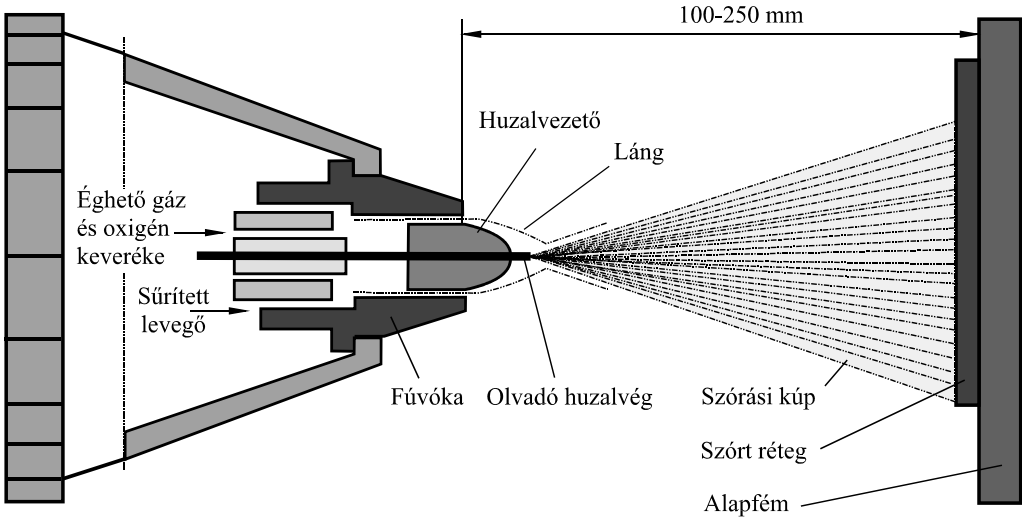
A huzalokból kialakuló megolvadt részecskék sebessége elérheti a max. 150 m/s-ot is (**G. J. Rudzki**, (**1983**) [5]. Villamos teljesítmény: tipikusan 5-10 kW tartományban. Az ív hőmérséklete: 280 A íváramerősségnél elérheti a 6100 K-t (**D. R. Marantz**, (**1974**) [3]. Ívfeszültség: tipikusan 20 - 40 V tartományban, a feszültség növelése a cseppméret növekedéséhez vezet. Rétegfelrakási sebesség: 50 - 300 g/perc. Szórási távolság: 50 - 170 mm. Szórási atmoszféra: levegő, reaktív közeg, nemesgáz, vákuum. A porlasztógáz nyomása: 0,2 - 0,7 MPa. A porlasztógáz áramlási sebessége: 1- 80 m^3/óra.

A Zn és Al bevonatoknál a tapadószilárdság a 10 - 30 MPa tartományban van (**H. Schmidt** és **D. Matthäus**, (**1980**) [6]), de akár 70 MPa is lehet az NiAl bevonatok esetében. A porozitás a 10 - 20 % tartományban van. A bevonatok vastagság tartománya: 100 - 500 μm.

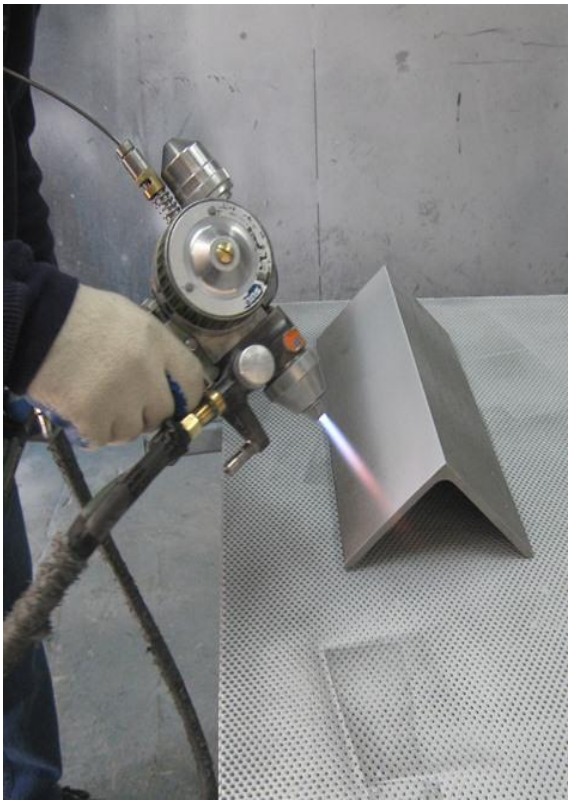
2.2 Huzalszórás lánggal

A felszórandó huzal vége a láng emelt hőmérsékletű zónájában (magjában) megolvad és arról részecskék válnak le az odavezetett porlasztógáz hatására [7]. A részecskék felgyorsulnak a lángban és a munkadarab előkészített felületének ütközve réteg alakul ki (4. ábra). A képződött réteg anyag - összetétele hasonló lesz, mint a kiinduló huzalé, de szerkezete porózus. Bizonyos mértékű oxidációról azonban nem szabad megfeledkezni. A képződött fémoxidok egy része beépül a bevonatba, amely rontja annak fizikai jellemzőit.

A huzal előtolása előre megadott sebességgel, görgők segítségével történik, melyeket a készülékbe beépített levegőturbina, vagy villamosmotor forgat meg. A villamos motorral való hajtás előnye az előtolási sebesség pontosabb beállítása. A villamosmotoros hajtás hátránya a nagyobb tömeg, ezért általában nagytermelékenységű berendezésekhez alkalmazzák.



4. ábra.
Huzal szórása lánggal



5. ábra. Lánggal és huzal anyag felhasználásával végzett termikus szórás

A levegőturbinás hajtásnál pontatlanabb az előtolási sebesség beállítás, de a szórófej kisebb tömeg, ezért a kézi működtetésű pisztolyoknál ez a megoldás terjedt el. A huzalszóráshoz általában max. 3 mm átmérőjű huzalokat alkalmaznak, de alacsonyabb olvadáspontú fémeknél (Al, Zn,) a szórási teljesítmény növelése érdekében 5 - 7 mm átmérőjű huzalokat is használnak.

2.3 A Cink és Al szórás anyagai

Az acélszerkezetek termikus szórásához általában cink és alumínium huzalokat használnak, esetleg Al-ötvözet, vagy Zn-ötvözet huzalokat. Ezekkel a huzalokkal kialakított bevonatok kell korrózióvédelmet biztosítanak az acélszerkezetnek – továbbá ezek a kevésbé vastag (0,2 – 0,5 mm) bevonatok festéssel tovább kezelhetők. A 2. és a 3. táblázatban két huzaltípust mutatunk be (2. táblázat Al huzal, 3. táblázat Zn huzal).

2. Táblázat Termikus szóráshoz alkalmazható 99,5 t % tisztaságú Al huzal méretei és összetétele

Átmérő méretek. 1,6/2/2,3/ 3,17 mm	
Összetétel	
Alkotó elem	[t. %]
Réz	0,002
Magnézium	0,001
Szilicium	0,170
Vas	0,087
Nikkel	0,001
Mangán	0,002
Ólom	0,003
Ón	0,005
Titán	0,007
Króm	0,002
Cink	0,002

3. Táblázat Termikus szóráshoz alkalmazható 99,5 t % tisztaságú Al huzal méretei és összetétele

Specifikáció: Cink huzal IS 12447-1988	
Átmérő méretek. 1,6/2/2,3/ 3,17 mm	
Összetétel	
Alkotó elem	[t. %]
Cink	99,99
Más elemek	Nem mérhető
Ólom	0,003
Kadmium	max. 0,003
Ón	max. 0,001
Vas	max. 0,005
Réz	0,001
Fizikai jellemzők	
Sűrűség [g/cm^3]	-7,14
Olvadási hőmérséklet [^{o}C]	- 419,6
Forráspont [^{o}C]	- 907
Nyúlás [%]	min. 40
Szakítószilárdság [MPa]	100- 120

3. A SZÓRT RÉTEGEK VIZSGÁLATA

Az Al és Zn bevonatok minőségellenőrzése időben korlátozott. Az ebben a szakaszban alkalmazott eljárásoknak gyorsnak és könnyűnek kell lenniük, hogy a vizsgálatokat a kevésbé képzett személyzet is el tudja végezni.

A termék minőségellenőrzésének legegyszerűbb módja a felszórt darab felületének vizuális megfigyelése. Ez a megfigyelés a nagyméretű anyaghibák (adhéziós hibák, az éleken jelentkező repedések, stb.) felfedezését teszi lehetővé.

Az optikai mikroszkóp segítségével történő mikro-szövetszerkezeti jellemzés ma már kötelező vizsgálattá vált bármely új bevonat kifejlesztésénél és a legtöbb bevonat előállításánál. A vizsgálat elvégzésekor ügyelni kell arra, hogy a megfelelő csiszolási és polírozási eljárást válasszák ki és arra, hogy a bevonat mikroszkopikus képét ne hamisítsa meg semmilyen, a metallográfiai előkészítés folyamán keletkező mesterséges termék. Ha a mikroszkopikus vizsgálatot használják az előállított bevonat minőségének ellenőrzésére, akkor fontos annak biztosítása, hogy a próbadarabra ugyanolyan módon végezzék a felszórást, mint a gyártáskor előállított darabra (a szórást egyidejűleg kívánatos végezni).

A korszerűbb mikro-szövetszerkezeti vizsgálatot **SEM**-el (amely szekunder elektronnal, visszaverődő elektronnal és esetlegesen röntgensugár detektorral van ellátva), röntgensugár diffrakciós eljárással (**XRD**), transzmissziós elektronmikroszkóppal (**TEM**), higany intrúziós (behatolásos) porozitás mérővel (**MIP**) vagy más eljárással lehet végezni.

A bevonat tulajdonságai határozzák meg a bevonatok használat közbeni viselkedését. Tehát, az a legjobb vizsgálat, amikor azokat a valós feltételeket szimulálják, melyek között a bevonatot használni fogják. Azonban, ilyen vizsgálat elvégzése nem mindig lehetséges, így a bevonatokat leggyakrabban a fizikai és kémiai tulajdonságaikkal jellemzik.

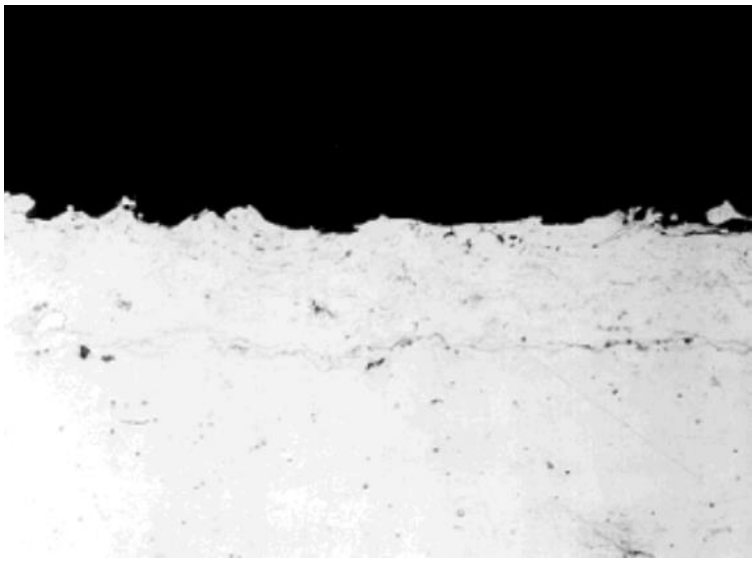
A mechanikai tulajdonságok, mint pl. a mikrokeménység, a szakítószilárdság, a törési szilárdság, rugalmassági (Young) modulus, a szívósság vagy a kopásállóság valószínűleg a leggyakrabban ellenőrzött tulajdonságok.

3.1 Mikro-szövetszerkezeti jellemzés

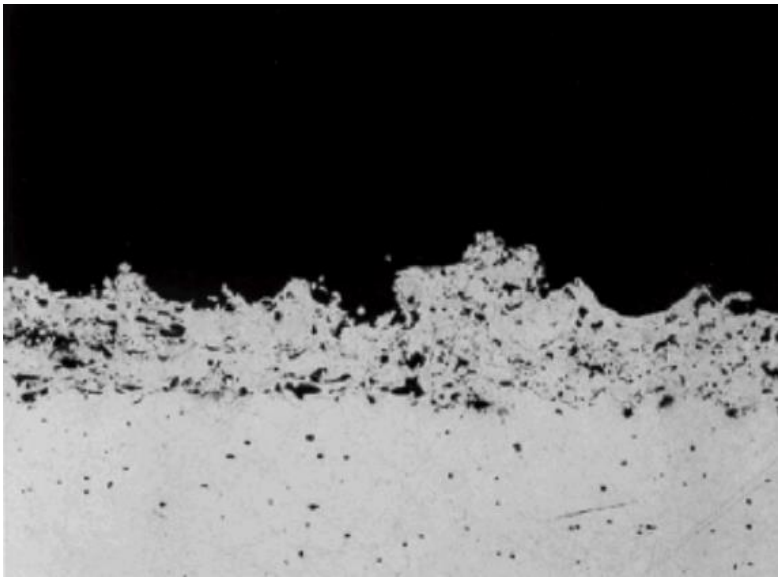
A termikusan szórt bevonatok mikro-szövetszerkezetének sok jellemzőjét előzőleg már tárgyaltuk, nehézséget ezek megfelelő vizsgálati módszereinek a kiválasztása jelenti. Másrészről, a mikro-szövetszerkezeti kutatás egy közbenső és szükséges lépés a bevonatkészítés, azaz a szórási paraméterek kiválasztása és a bevonat kitűzött funkcionális tulajdonságainak elérése között. A bevonat mikro-szövetszerkezetének teljes leírása a következő információkat tartalmazza makro és mikro-méretben a vegyi összetétel,

- a szemcsék morfológiája és orientációja (textúra),
- hibák, úgy, mint a pórusok vagy a szekunder fázisok vagy ritkábban az olyan mikro-méretű hibák, mint a halmozási hibák vagy a diszlokációk, ezek mennyisége és eloszlása,
- a fent említett jellegzetességek eloszlása a bevonat különböző mélységeiben.

A termikusan szórt bevonatok mikro-szövetszerkezetének jellemzésére használható módszerek kiválasztása nem könnyű feladat. Bár az OM (Optikai mikroszkóp) és XRD (Röntgen Diffrakciós) módszerek hasonló jelentőségűek a termikusan szórt bevonatok jellemzésében, az OM próba-darabokat metallográfiai úton kell előkészíteni



6. ábra. Termikus – villamos ívszórással készült cink bevonat N = 200 x



7. ábra. Termikus – villamos ívszórással készült alumínium bevonat

N = 200 x

3.2 Korróziós vizsgálatok

A termikusan szórt Al és Zn bevonatok korrózióval szembeni viselkedését általában az acélszerkezet egy kiemelt darabjára felvitt bevonat adott környezetben való elhelyezésével és annak bizonyos időnkénti szemrevételezésével és ellenőrzésével végzik. Japánban ismertek olyan vizsgálatok is amelyet 12 éven keresztül – csövekre felvitt Al és Zn bevonatokkal folyamatosan végeztek (8. ábra)



8. ábra. Korróziós vizsgálatokhoz előkészített termikusan szórt csövek

4. A CINK ÉS ALUMÍNIUM BEVONATOK GYAKORLATI ALKALMAZÁSÁNAK TAPASZTALATAI

A 4. táblázatban a gyakorlati alkalmazás során használt termikusan szórt bevonatok utókezelési (festési) módszereit foglaltuk össze.

4. Táblázat A termikus szórás és szórás utáni festési előírások

A szórt cső száma	A felszórt huzal anyaga	A termikus szórás módszere	Bevonat vastagság [µm]	Szigetelés	A festés módszere	A próba-test darab-száma
1	Zn	Lánggal végzett	175 ± 25	Nincs	_	1
2	87 % Zn + 13 % Al	Lánggal végzett	175 ± 25	Nincs	_	1
3	Al	Lánggal végzett	175 ± 25	Nincs	_	1
4	Al	Villamos ív	175 ± 25	Nincs	_	1
5	Al	Villamos ív	400 ± 25	Nincs	_	1
6	Al	Villamos ív	175 ± 25	Epoxi	_	1
7	87 % Zn + 13 % Al	Lánggal végzett	175 ± 25	Epoxi	_	1
8	Al	Lánggal végzett	175 ± 25	Epoxi	_	1
9	Zn	Lánggal végzett	175 ± 25	Epoxi	_	1

10	Zn	Lánggal végzett	175 ± 25	_	WP + PE(100µ m x3) + PU(100µm x 1)	1
11	Al	Lánggal végzett	175 ± 25	_	Primer + specialPU (MITSERON386) (3 mm x 1)	1
12	Al	Villamos ív	400 ± 25	_	CP + PE(100µ m x3) + PU(100µm x 1)	1

WP Elsődleges mosás CP Elsődleges epoxi kalciumplumbáttal
PE Epoxi festés PU Poliruthán festés

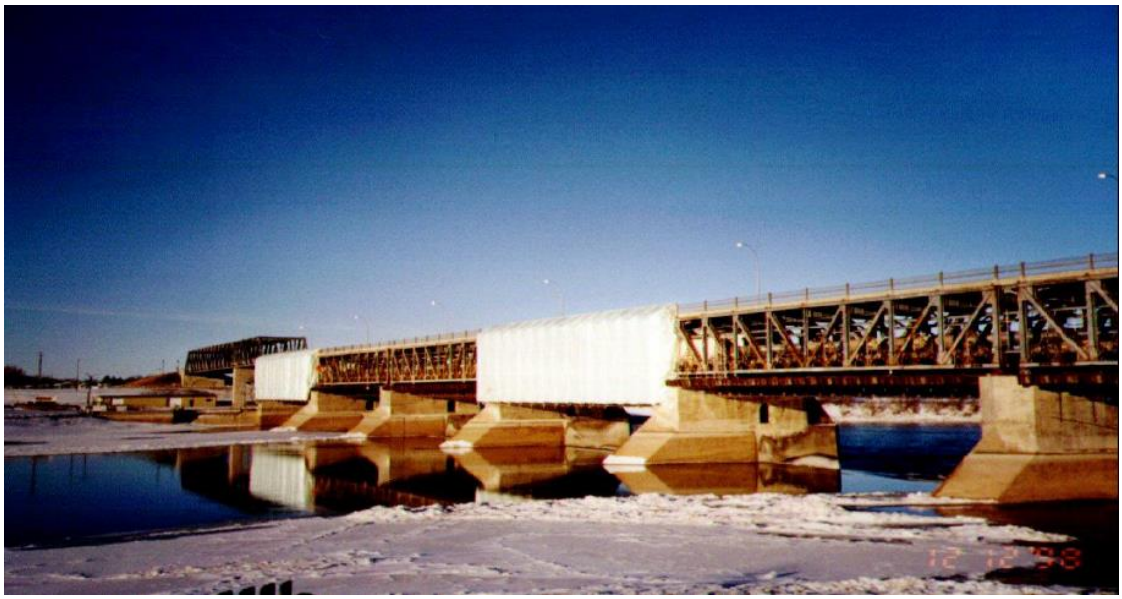
Az 5. táblázatban a termikus szórással készült bevonatok jellemző gazdasági mutatóit foglaltuk össze. A 9 - 12. ábrákon néhány gyakorlati példát mutatunk be.

5. Táblázat Termikus szórással készült bevonatok jellemző gazdasági mutatói

Jellemzők	**Termikus szórás Cink**	**Termikus szórás 85% Cink/15 % Alumínium**	**Termikus szórás Alumínium**
Egységár [Euro/kg]	5	7	7
Bevonatvastagság [µm]	100	100	200
Bevonó anyag szükséglet [kg/m^2]	1	0,7	1,4
Bevonó anyag költség [Euro/m^2]	5	5	9,5
Veszteségek a termikus szórásnál [Euro/m^2]	7,5	7,5	15
Felszórási kapacitás [300 A] íváram esetén [kg/óra]	30	35	9
Maximális szórási kapacitás [m^2/óra]	30	50	6
Munkabér [Euro/óra]	8	5	40
Teljes költség [Euro/m^2]	16	12	55



8. ábra. Az 1973. évben épült Kanmon híd – amelynek acélszerkezetét termikus szórással felvitt Zn réteggel és 6 rétegű festéssel láttak el a korrózióától való védelem céljából



9. ábra. A Saint Andrew híd Kanada Alberta tartományában



10.ábra. A kanadai Saint Andrew híd Zn-el felszórt része



11. ábra. A kanadai Saint Andrew híd Zn-el felszórt része és festés után

6. Táblázat Termikus szórással kezelt és korróziótól védett különféle acélszerkezetek és hidak Japánban

Év	Hely	Környezet	Előkészítés	Szóró anyag	Szigetelés	Festés	Meg-jegyzés
1963	Niju-bashi híd Imperial Palota Tokyo	Városi	Acélszemcsés szórás	Zn 100 µm	Elsődleges alapozás Kalcium plumbát festés 2 X és phthalate ellenálló fedőréteg festés		
1973	Kanmomon híd, Fukuoka	Tengeri levegő	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Zn 85 µm	Elsődleges alapozás Zn kromáttal Epoxi ellenálló festés 2 X Klórozott gumi bevonat 2 réteg		1068 m hosszú
1977	Suzu gyalogoshíd Yamagata	Tenger-parti	Acél szemcsés szórás	Zn 100 – 150 µm	Nincs	Tar –epoxy festés 2 X	
1983	Oh – naruto híd Tokushima	Tengeri levegő	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Zn 100 – 150 µm	Szigetelt		1629 m hosszú Csak a fő-

							gerendákat szórták
1985	Innoshima – ohhashi híd Hiroshima	Tengeri levegő		Zn - Al 120 µm	Szigetelt	Epoxi ellenálló festés	1339 m hosszú Csak a kisebb egységeket szórták
1990	Úsztató dokk oszlopai Kanda kikötő Fukuoka	Tenger víz	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Zn - Al	Epoxy ellenálló szigetelés	Polyurethane rezin 2 rétegben	
1993	Repülőtéri felvezető világítás Haneda repülőtér Tokyo B = 607 m, C = 310 m	Tenger-parti	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Al 250 µm	Zn-ben gazdag festék	Nincs	Az acélcső pilonokat szórták
		Tenger víz tengeri levegő	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Al 120 µm	Szigetelt	Polyurethane rezin 3 rétegben	Alap-szerkezet
1997	Tengerpartoldali híd Kagoshima kikötő Kagoshima	Tenger-parti	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Al 120 µm	Szigetelt	Fluororezin 2 rétegben	Alap-szerkezet
1999	Mozgó híd Shimonoseki Nemzetközi konténer kikötő Yamaguchi	Tenger-parti	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Al 120 µm	Szigetelt	Polyurethane rezin 3 rétegben	260 m hosszú 14000 m^2
1999	Umino-nakamichi híd Fukuoka	Tenger-parti	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Al 160 µm	Epoxy rezin	Polyurethane rezin 3 rétegben	28000 m^2
2000	Csúszó vasút Hitachi – naka kikötő Ibaraki	Tenger-parti	Korund szemcsés szórás Sa 2,5	Zn – Al 120 µm	Szigetelt	Polyurethane rezin 3 rétegben	
2001	Fukuoka városi expressz vasút, No. 5 útvonal Fukuoka	Városi	Korundszemcsés szórás Sa 2,5	Zn – Al 100 µm	Szinezett szigetelő 250 g/m^2		≥ 200000 m^2 a szórt felület
			Acélszemcsés szórás 3 mm-es szemcsékkel 100 g/m^2 felületkezeléssel	Zn – Al pszeudo ötvözet	Szinezett szigetelő 250 g/m^2		

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A hazai gyakorlatban kevésbé ismert a nagyobb acélszerkezetek (pl. hidak) helyszínen történő védelme. A szerzők úgy gondolják, hogy ezek a külföldi – elsősorban a japán, kanadai és USA-beli tapasztalatok alapján el fognak terjedni a jövőben. A szerzők ennek a módszernek kívántak némi alapot teremteni a jelen tanulmány megjelentetésével.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **E. CALLA** & **S. C. MODI** *Metallizing Equipment Co. Pvt. Ltd., Long Life Corrosion Protection of Steel by Zinc-Aluminium Coating Formed by Thermal Spray Process, Corrosion its Mitigation and Preventive Maintenance. CORCON* – 2000, Mumbai, India.

[2] **S. KURODA, J. KAWAKITA M. TAKEMOTO:** *Marine Exposure Tests of Thermal Sprayed Coatings in Japan Thermal Spray 2003:* Advancing the Science& Applying the Technology

[3] **ALLISON LYNNE HORNER, AARON CHRISTOPHER HALL, JAMES FRANCIS MCCLOSKEY** *THE Effect of Process Parameters on Twin Wire Arc Spray, Pattern Shape, Coatings* 2015, *5*, 115-123;

[4] **BRANAGAN, D.J.; BREITSAMETER, M.; MEACHAM, B.E.; BELASHCHENKO, V.** *High-performance nanoscale composite coatings for boiler applications. J. Therm. Spray Technol.* 2005, *14*, 196–204.

[5] **KÖNIG, J., LAHRES, M., METHNER, O.** *Quality designed twin wire arc spraying of aluminum bores. J. Therm. Spray Technol.* 2015, *24*, 63–74. 5. *Arc Spray 8830 System Manual*; TAFA Incorporated: Concord, NH, USA, 1983.

[6] **D. J. VARACALLE, JR., D. P. ZEEK** Idaho National Environmental and Engineering Laboratory (INEEL) **V. ZANCHUCK** AND **E. SAMPSON** Tafa, Inc. **K. W. COUCH** AND **D. M. BENSON** Protech Lab. Corp. **G. S. COX** *ITI Anti-Corrosion, Inc. Use of thermal spray processes for refurbishing tru waste containers Case Study*

[7] **HALE, D.L.; SWANK, W.D.; HAGGARD, D.C.** *In-flight particle measurements of twin wire electric arc sprayed aluminum. Therm. Spray Technol.* 1998, *7*, 58–63.

[8] **HUSSARY, N.A.; HEBERLEIN, J.V.R**. *Atomization and particle-jet interactions in the wire-arc spraying process. Therm. Spray Technol.* 2001, *10*, 604–610.

[9] **PLANCHE, M.P.; LIAO, H.; CODDET, C.** *Relationships between in-flight particle characteristics and coating microstructure with a twin wire arc spray process and different working conditions. Surf. Coat. Technol.* 2004, *182*, 215–226.

[10] **MONTGOMERY, D.C.** *Design and Analysis of Experiments*, 6th Ed.; John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken, NJ, USA, 2005.

A HIDEGSZÓRÁS (COLD GAS DYNAMIC SPRAYING) ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI HELIKOPTER ALKATRÉSZEK FELÚJÍTÁSÁNÁL

THE APPLICATION OF COLD GAS DYNAMIC SPRAYING FOR THE RENOVATION OF HELICOPTER PARTS

MOLNÁR András[1], KAVAS László[2], ÓVÁRI Gyula[3], FAZEKAS Lajos[4]

[1] Doktorjelőlt a.molnar2007@gmail.com Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet ME
[2] Tanszékvezető, Ph. D, kavas.laszlo@uni-nke.hu Repülőműszaki Intézet NKE
[3] Egyetemi tanár C.SC ovari.gyula@uni-nke.hu Nemzeti Közszolgálati Egyetem
[4] Főiskolai tanár Ph. D, fazekas@eng.unideb.hu Műszaki Kar Gépészmérnöki Tanszék DE

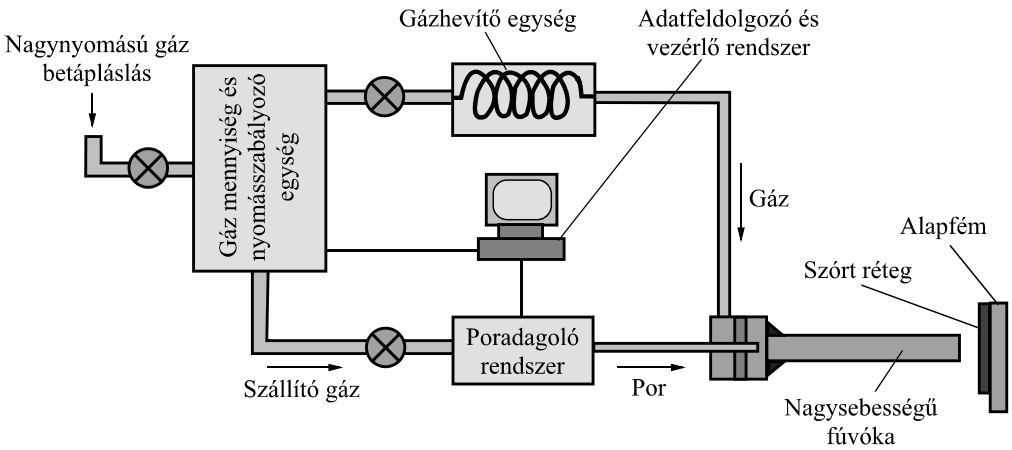
Kivonat: *Az Egyesült Államok ARL Laboratóriuma kifejlesztett egy új eljárást folyamatot a meghibásodott alumínium alkatrészek javítására és újjáépítésére, amelyet a szakirodalomban hidegszórásként ismernek. Az SSM-P3300 hordozható hideg szórási rendszert használták egy jól tapadó, tömör alumínium kompozit anyag felvitelére a korróziós sérülések okozta károk helyreállítása és a csapágygyűrű hornyának és fogaskerék fogainak újraépítésére. A hideg szórással felvitt bevonatot hagyományos megmunkáló szerszámokkal megmunkálták, hogy méreteiben pontosan helyreállítsák az alkatrészt – illetve azt az eredeti állapotnak megfelelő méretű legyen.*

Kulcsszavak: *hideg szórás, helikopter alkatrészek, helikopter javítás*

Abstract: *The U.S. Army Research Laboratory has developed a novel process for repairing and rebuilding damaged aluminum components, commonly referred to as cold spray. A Centerline Model No. SSM-P3300 Portable Cold Spray Deposition System was used to deposit a highly adherent, dense aluminum composite material to repair corrosion damage pits and rebuild the snap ring groove and gear teeth on the mast support on an Army helicopter. The cold spray deposited material was subsequently machined using conventional machining tools to dimensionally restore the component to its original condition.*

Keywords: *cold spray, helicopter parts, helicopter repair*

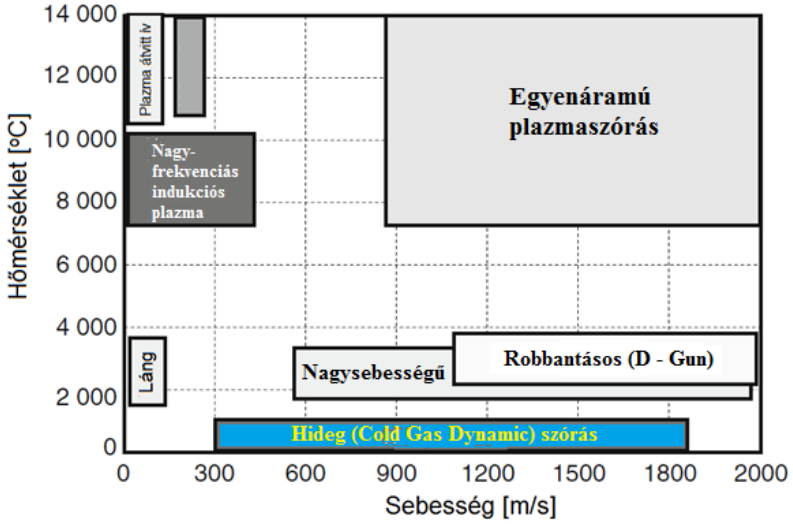
1. A HIDEG SZÓRÁS (COLD GAS DYNAMIC SPRAYING) ELVI KÉRDÉSEI



1. ábra A hidegszórási eljárás (CGDS) elvi vázlata [3]

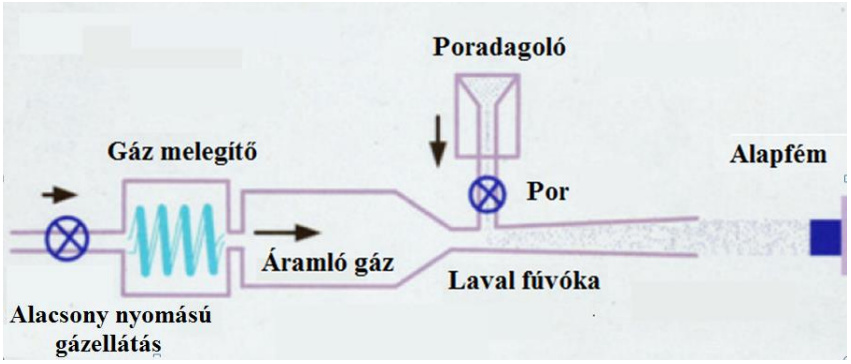
A hidegszórás elvét az 1980-as években **A. Papyrin** [1] és munkatársai mutatták be. Az eljárás egy gázdinamikai módszer, melynek lényege az, hogy a nagynyomású gázt, mely rendszerint hélium 600 - 800 ºC-ra hevítik és azt egy Laval fúvókán átáramoltatva forró gázsugár alakul ki. Ebbe adagolják a felszórni kívánt anyagot - mely rendszerint valamilyen fém, vagy fémötvözetpor (1. ábra). Az eljárás 1994-ben kapott szabadalmi engedélyt [2].

A forró, nagysebességű gázsugárba adagolt szilárd részecskék kinetikus energiája – így a sebesség megnő (kb. 500-1800 m/s). A munkadarab előkészített felületébe nagy sebességgel becsapódó szilárd részecskék réteget alkotnak. A hidegszórást korróziónak, eróziónak kitett felületi rétegek kialakítására használják [3]. A hidegszórás helye a különböző termikus szóró eljárások között a 2. ábrán látható, figyelembe véve a szóródó részecskék sebességét és hőmérsékletét.

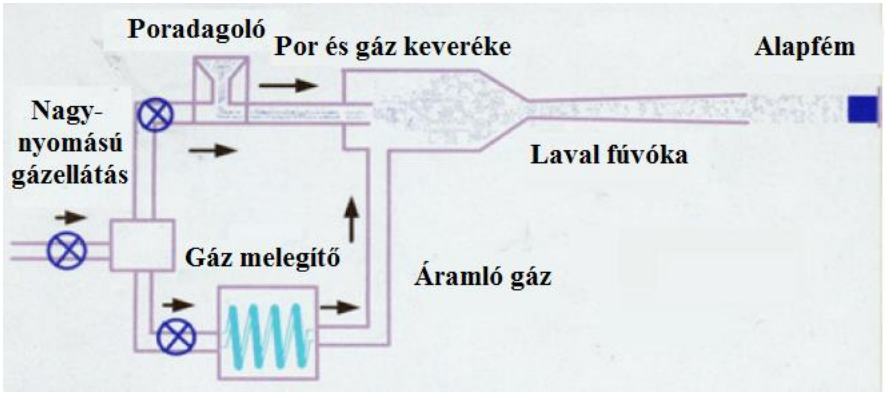


2. ábra A termikus szórási módszerek helye részcske sebesség és azok hőmérséklete függvényében [4]

1. 1 A hidegszórás (CGD Spraying) változatai



3. ábra Alacsony- nyomású hidegszórás elvi vázlata [5]



4. ábra Magasnyomású hidegszórás elvi vázlata [5]

1. 2 A hidegszórás (CGD Spraying) alkalmazásának előnyei

Az alapfémre és a bevonatra gyakorolt jelentős hő bevitel hatásai elkerülhetők (pl. a részecskék megolvadása, elpárolgása, oxidáció, gázkibocsátás, stb.) A nagy hő-bevitel hiánya amelyek a hagyományos hőkezelési eljárásokra jellemzőek, jelentős előnyöket és új lehetőségeket kínálnak az eljárás alkalmazásának. Néhány közülük:

- Elkerülhető a bevonatok oxidációja és a nemkívánatos fázisok kialakulása
- A bevezetett részecskék összetételükben és fázisukban nem változnak meg,
- A bevonatban a hő-hatás okozta maradó feszültség értéke minimális
- A bevonat hő - és termikus vezetőképessége jelentős
- A bevonat tömör a keménysége is jelentős a szövetszerkezete a hidegen keményítetthez hasonló
- Hőhatásra érzékeny anyagok is szórhatók
- 5 – 10 μm részecskeméretű porlasztással készült porok is alkalmazhatók az eljáráshoz
- Különböző anyagkombinációk létrehozása is lehetséges
- Az eljárás alkalmazása minimális felület előkészítést igényel (pl. maszkolás, rövid szórási távolság)
- Az eljárás jelentős termelékenységet biztosít a nagymennyiségű poradagolási lehetősége miatt
- Nagy a létrehozott bevonat mennyisége a felhasznált nagy mennyiségű por adagolása következtében
- A bevonat készítésekor a fel nem használt részecskék 100 %-ban összegyűjthető és újrafelhasználható
- Az alapfém felhevülése minimális
- Megnövekedett üzembiztonság jellemzi az eljárást – mivel nincsenek robbanásveszélyes gázok és nincs magas hőmérsékletű gázsugár
- A szórásra kerülő felület szemcseszórással való előkészítése elhagyható,
- Alacsony hőmérsékletű eljárás, a részecskék nem olvadnak meg teljes tömegükben,
- Nincs éghető gázfelhasználás és a munkadarab költséges előmelegítése nem szükséges,
- A bevonatban keletkezet hiba minimális,
- A felszórás közben a hőbevitel minimális, ezért a munkadarab hűtése nem szükséges,
- Nagyon kicsi a részecskék oxidációja - így a bevonat kevés oxidot tartalmaz,
- A szórásra nem kerülő felületek takarása nem szükséges.

1. 3 A hidegszórás (CGD Spraying alkalmazásának hátrányai:

- kemény, rideg anyagok, mint pl. a kerámiák, nem szórhatók ezzel a módszerrel,

- nem minden alapanyag, vagy alapfém szórható fel,
- az alkalmazott hélium költséges és nem nyerhető vissza,
- egyelőre még kutatási és fejlesztési állapotban van,
- viszonylag kis felszórási teljesítmény érhető el.

1. 4 A hidegszórás (CGD Spraying alkalmazási területei

- korrózióvédelem, ahol követelmény a bevonat minimális oxidtartalma,
- olyan elektromos és hővezető rétegek kialakítása, ahol követelmény a bevonat minimális oxid tartalma,
- olyan forrasztási helyek és rétegek létrehozása, ahol a réteg tisztasága fontos követelmény.

1. táblázat A hideg szórás technológiai jellemzői

Hidegszórási jellemzők	**Nagynyomású hidegszórás HPCS**	**Alacsonynyomású hidegszórás LPCS**
Működtető (munka) gáz	N_2, He és ezek keveréke	N_2, sűrített levegő
Gáznyomás [bár]	7 - 40	6 - 10
Az áramló (munkagáz) mennyisége [m^3/óra]	0,8 – 2,5 (N_2), max. 4,2 (He)	
Az áramló (munkagáz) hőmérséklete [^oC]	20 – 550 – 800 – 1000 - 1100	20 - 650
Felhasznált pormennyiség [kg/óra]	4,5 - 13,5	0,3 – 0,4
Szórási távolság [mm]	10 - 50	5,0 - 15
Szükséges villamos teljesítmény [kW]	17 - 47	3,3
A szórt részecske mérete [µm]	5 - 50	5 - 30
A szórt részecske sebessége [m/s]	500 - 1400	500- 1000

2. A HIDEGSZÓRÁS (COLD GAS DYNAMIC SPRAYING) KINETIKAI ALAPJAI

A termikus szórásnál a felülettel ütköző részecskéknek jelentős az entalpiája. Ez az entalpia az alapfémmel (szubsztrátummal) való ütközéskor szabadul fel és ez határozza meg a kialakuló kötés minőségét. Az entalpia vagy hőtartalom (jele H, mértékegysége J) hasonlóan a belső energiához extenzív mennyiség és egy zárt rendszer összes energiatartalmát jelenti, annak megfelelően, hogy miből áll a rendszer, milyen a felépítése. Tartalmazza a rendszert alkotó részecskék egyenes-vonalú mozgási energiáját, rezgési és forgási energiáját az atomok és a molekulák elektronjainak energiáját és az atommagokon belüli kötési energiákat.

$$H(T_2) = H(T_o) + \int_{T_o}^{T_2} C_p \mathrm{d}T \qquad (1)$$

A klasszikus mechanikában egy test teljes kinetikus energiája egyenlő a test haladási energiájának és forgási energiájának összegével:

$$E_k = E_t + E_r \qquad (2)$$

ahol:

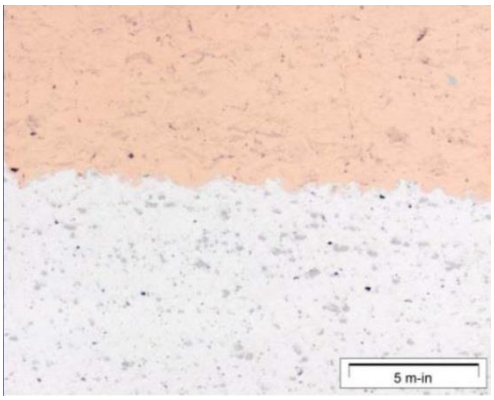
Ek - a teljes kinetikus energia
Et - a haladási kinetikus energia
Er - a forgási kinetikus energia
Egy m tömegű, egyenes vonalban, egyenletes sebességgel mozgó testnek a haladási kinetikus energiáját a következőképpen számíthatjuk ki:

$$E_t = \frac{1}{2} m v_{TKP}^2 \tag{3}$$

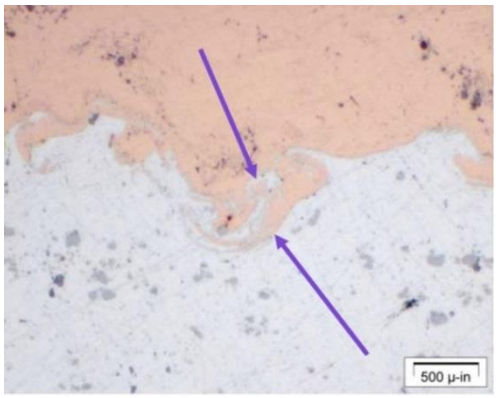
ahol:
Et - a haladási kinetikus energia
m - a test tömege
vTKP - a test tömeg-középpontjának sebessége

3. HIDEGEN SZÓRT BEVONATOK VIZSGÁLATA

A hidegen szórt bevonatok vizsgálatánál egyértelműen alkalmazott módszer a különféle metallográfiai vizsgálatok – amelyeket fénymikroszkópos (LM), vagy szkenning elektronmikroszkópos (SEM) módszerrel végeznek. A szkenning elektronmikroszkópos módszere előnye a jóval nagyobb felbontóképesség, továbbá a megfelelő szondával való felszerelés (pl. EDAX) lehetővé teszi az alapfém és a bevonat összetételének vizsgálatát. Nem tértünk ki a szabványosított kötésszilárdság vizsgálatokra – amellyel a kötés mechanikai szilárdsága vizsgálható. Az 5. ábrán tiszta alumínium alapfémre hidegszórással felvitt réz bevonat szövetképe látható. A felvitt bevonat porozitása minimális és a b/ ábrán jól látható, hogy az érintkezési felületeken keveredés is megfigyelhető az alapanyag és a bevonat között.

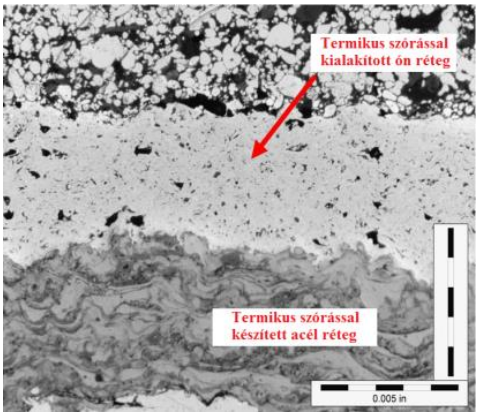


a/ Alumínium alapfémre felvitt tiszta réz bevonat átmeneti zónája

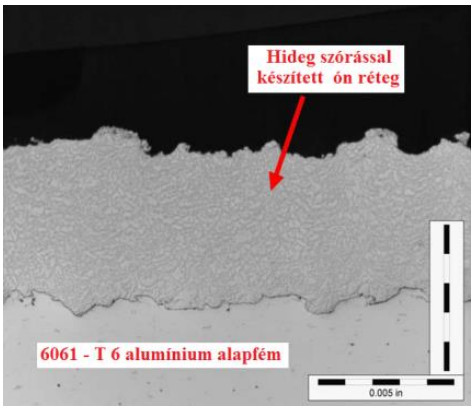


b/ Nagyobb nagyításnál szemrevételezhető alapanyag és bevonat keveredés

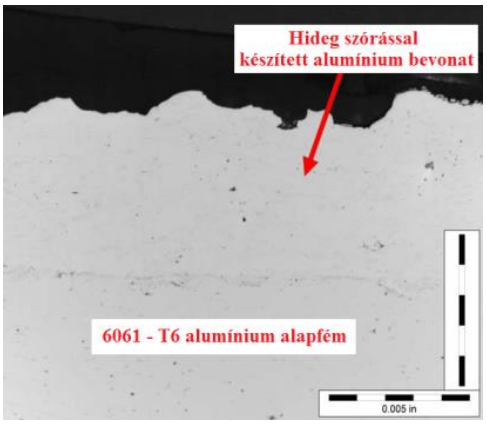
5. ábra Hidegszórással készített tiszta réz bevonat Al alapfémen [7]



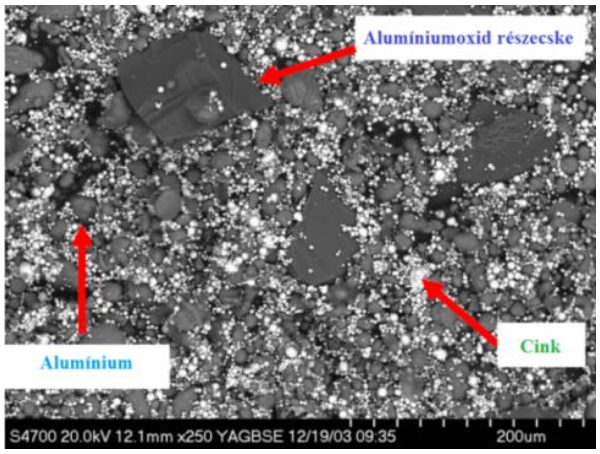
6. ábra Lángszórással készített acél anyagú bevonat, fölötte szórt ón réteg. Az acélanyagú réteg porozitása 12,2 %



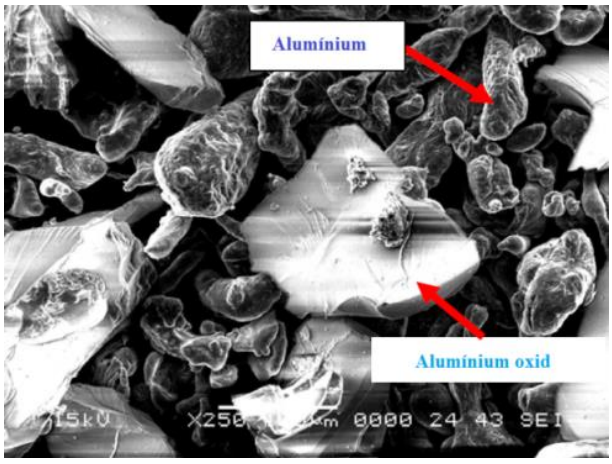
7. ábra Alumínium alapfémre hidegszórással felvitt ón bevonat



8. ábra Alumínium alapfémre hidegszórással felvitt alumínium bevonat

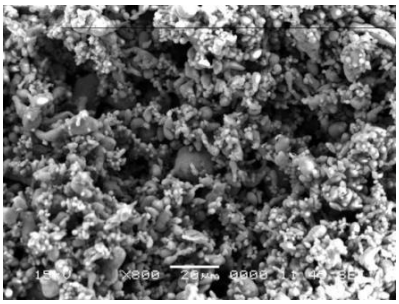


9. ábra Hidegszórással készített alumínium – cink bevonat alumíniumoxid részecskékkel



10. ábra Hidegen szórt tiszta alumínium és alumíniumoxid SEM mikroszkópiai képe [9]

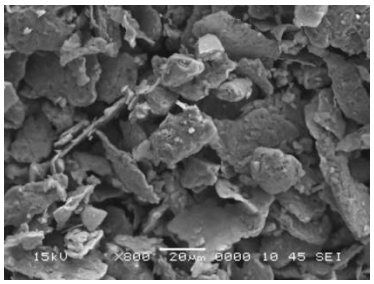
A bevonat minősége erősen függ az adagolt por összetételétől, morfológiájától, oxigén tartalmától és mechanikai tulajdonságaitól.



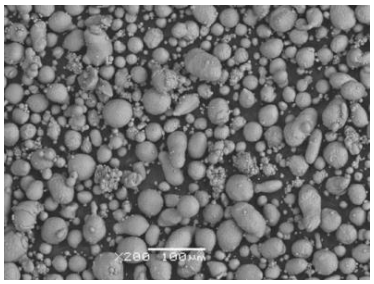
a/ Aglomerált por



b/ Porlasztott por



c/ Lemezes por



d/ Porlasztott és gömbösített por

11. ábra Hidegszóráshoz alkalmazott Al porok morfológiája [10]

4. A HIDEGSZÓRÁS (CGD SPRAYING ALKALMAZÁSA A HELIKOPTER ALKATRÉSZEK JAVÍTÁSÁRA

A helikopter alkatrészek üzemszerű javítására olyan szórókabint fejlesztettek ki, amelyben a elhelyezték a teljes hidegszóró rendszert, a pisztolymozgató robotot és a szétszóródó – fel nem használt por elszívó egységét. A teljes rendszer számítógépes irányítását és kezelését egy külső egységgel végzik – amint az a 12. ábrán jól látható.



12. ábra Hidegszóráshoz használt zárt kabin és a külső vezérlés [6]

Kisebb helikopter alkatrészek (pl. záró fedelek) javításához szintén egy olyan kabint használnak, amely porelszívóval van felszerelve (13. ábra)



13. ábra Helikopter rotor alkatrész felújítása hidegszórással kézi módszerrel [11]

A 14. ábrán különféle hidegszórással javított alkatrészek láthatók. Ez a javítási módszer az egyszerűsége ellenére mindamellett, hogy könnyen elsajátítható jelentős megtakarítást eredményez a helikopter alkatrészek cseréjénél.



14. ábra Különféle helikopter hideg szórással felújított alkatrészek

A 15 - 20. ábrákon egy nagyon fontos helikopter alkatrész – mint a fő rotor szárnytartó szerkezet teljes felújításának részletei kerülnek bemutatásra. A 15. ábrán maga a meghibásodott – korróziós kopást szenvedett fő alkatrész látható.

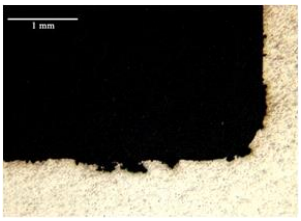


15. ábra Helikopter Al-Mg alapú ötvözetből készült alkatrésze felújítás előtt [12]

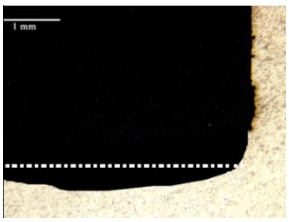
A 16. a/ ábrán jól látható a rotor alkatrész meghibásodott részletei. A 15. b/ ábra egy korróziós kopást szenvedett felnagyított részlete látható. A 15. c/ ábrán a hidegszóráshoz előkészített horony metszete látható. Az előkészítés során a meghibásodott részt egyszerűen egy gyorsköszörű segítségével eltávolítják. Maga az előkészítés művelete kevésbé igényes – mit általában a termikus szóró eljárásoknál – mivel itt kevésbé kell ügyelni a felületi érdességi értékek szigorú betartására.



a/ Megrongálódott kopott felület részek (korróziós kimaródások) a gyűrű alsó részén



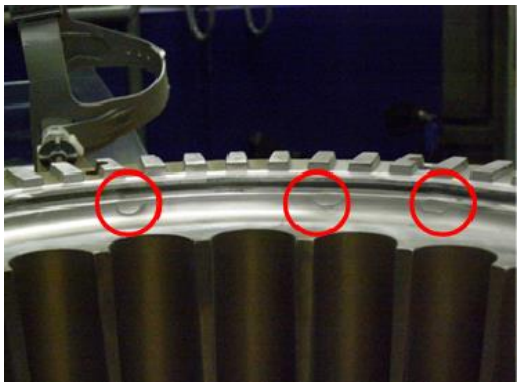
b/ A megrongálódott felületi rész metszete



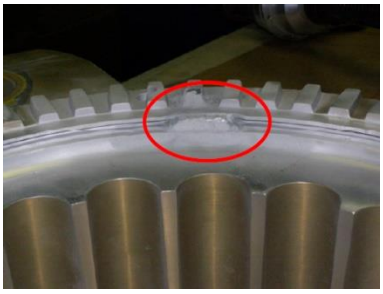
c/ A hidegszóráshoz előkészített felületi rész metszete

16. ábra Elhasználódott helikopter alkatrész és metszetei [12]

A 17. ábrán jól láthatók azok a részletek – amelyeket hidegszórással már feltöltöttek.



17. ábra A hidegszórással helyre állított részek [12]

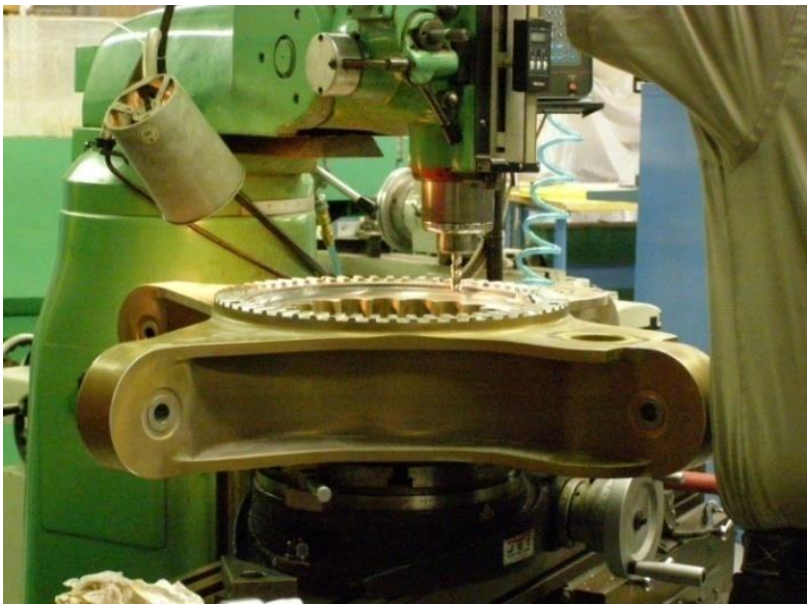


a/ Hidegszórással feltöltött hibahely



b/ A hidegszórással feltöltött hibahely megmunkálás után

18. ábra További hidegszórással helyreállított részek a gyűrűn [12]



19. ábra Az Al por felhasználásával, hidegszórással helyreállított szárnytartó szerkezeti elem megmunkálása marógépen [12]

A 19. ábrán a szárnytartó fő rotor alkatrész marógépen történő teljes forgácsolása került bemutatásra. Az előzőek alapján látható, hogy a hidegszórási technológiával végzett feltöltés

egy nagyon egyszerű és jól alkalmazható módszer, amelynek alkalmazása és bevezetése - várhatóan a hazai helikopter alkatrészek javításánál is időszerűvé válik.

Következtetések

- Az előzőekben ismertettük ennek a nagyszerű szórási technikának az elvét,
- Ismertettük az eljárás alkalmazásának előnyeit,
- Néhány metallográfia és SEM vizsgálaton keresztül igazoltuk a bevonat jó tulajdonságait és az ebből származó előnyöket.
- Végül konkrét példákon keresztül bemutattuk az eljárás gyakorlati életben – főleg a helikopter könnyűfém alkatrészek javítási lehetőségeit.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **A. N. PAPYRIN** et al., "On the interaction of high speed particles with a substrate under cold spraying," in *International Thermal Spray Conference*, E. Lugschieder and C. C. Berndt, Ed., Essen, Germany, 2002.

[2] **A. P. ALKIMOV** et al., "Gas Dynamic Spraying Method for Applying a Coating, "U.S. Patent 5 302 414, Apr., 12, 1994.

[3] **COLD SPRAY CENTER US ARMY** Research Laboratory,Aberdeen Proving Ground,MD,21005, Presented at the ASETS Defense 2012: Workshop on Sustainable Surface Engineering for Aerospace and Defense August 27-30, 2012, San Diego, CA

[4] **MARC PEPI**:_Cold Spray Technology for Repair of Magnesium Rotorcraft Components NAVAIR Corrosion Resistant Alloy Workshop 8-9 November 200

[5] **WILLIAM J. MARPLE:** The cold gas-dynamic spray and characterization of microcrystalline and nanocrystalline copper alloys lieutenant, United States Navy B.S., United States Naval Academy, 2008 Thesis

[6] **MARC PEPI** Materials Engineer ARL Center for Cold Spray US Army Research Laboratory Aberdeen Proving Ground, MD: Cold Spray Technology for Repair of Magnesium Rotorcraft Components NAVAIR Corrosion Resistant Alloy Workshop 8-9 November 2006

[7] **WILLIAM J. MARPLE:** The cold gas-dynamic spray and characterization of microcrystalline and nanocrystalline copper alloys lieutenant, United States Navy B.S., United States Naval Academy, 2008 Thesis

[8] **A. P. ALKHIMOV** et al., "Gas dynamic spraying study of a plane supersonic twophase jet," *J. Appl. Mech. Tech. Phys.*, vol. 38, no. 2, pp. 324–330, 1997.

[9] **R. C. DYKHUISEN AND R. A. NEISER**, "Optimizing the cold spray process" in *Thermal Spray 2003: Advancing the Science and Applying the Technology*, B. R. Marple and C. Moreau, Ed., Orlando, FL, 2003.

[10] **V. K. CHAMPAGNE**, *The cold spray materials deposition process: Fundamentals and applications*, Cambridge, UK: Woodhead Publishing, 2007, p. 1.

[11] **P. ALKIMOV, V. F. KOSAREV and A. N. PAPYRIN**, "A method of cold gas-dynamic deposition," *Sov. Phys. Dokl.*, 1990, vol. 35, no. 12, pp. 1047–1049, trans. American Institute of Physics, 1991.

[12] **P. F. LEYMAN and V. K. CHAMPAGNE:** Cold Spray Process Development for the Reclamation of the Apache Helicopter Mast Support ARL-TR-4922, August, 2009. Army Research Laboratory Aberdeen Proving Ground, MD 21005-5069

A DÖNTÉSI TÉNYEZŐK KÖZÖTTI INTERAKCIÓ KEZELÉSÉNEK VIZSGÁLATA TÖBBTÉNYEZŐS DÖNTÉSI MÓDSZEREK ESETÉN

ANALYSIS OF INTERACTION AMONG DECISION ATTRIBUTES IN CASE OF MULTI-ATTRIBUTE DECISION METHODS

MOLNÁR Viktor

egyetemi docens, PhD, szvmv@uni-miskolc.hu
Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A cikk egy módosított AHP (Analytic Hierarchy Process) módszert ismertet, melynek újdonsága, hogy figyelembe veszi a többtényezős döntési problémák során fellépő tényező-interakciók hatásait is. A többtényezős döntések támogatása nem könnyű feladat, emiatt számos módszer látott napvilágot. Az AHP az egyik legszélesebb körben elterjedt rangsoroló módszer. A kidolgozott modell által adott alternatíva rangsor megegyezik a többtényezős additív hasznosságfüggvény által adott rangsorral. A módszer lehetővé teszi az AHP megbízhatóságának növekedését azáltal, hogy a döntéshozó többtényezős hasznosságfüggvénye által adott értékítélet tükröződik az eredményben.*

Kulcsszavak: *AHP, MAUT, tényező-interakció*

Abstract: *A modified AHP (Analytic Hierarchy Process) model is demonstrated in this paper. The novelty of the model is that the effects of attribute interactions experienced in multi-attribute decision problems are considered in it. Supporting multi-attribute decisions is not an easy task; therefore several methods have been developed. One of the most widely applied ranking methods is the AHP. The order of alternatives resulted by the new model is the same as that resulted by the application of the multi-attribute additive utility function. Hence the reliability of AHP can be increased; since the preference system determined by the decision-maker's multi-attribute utility function is reflected in the result.*

Keywords: *AHP, MAUT, attribute interaction*

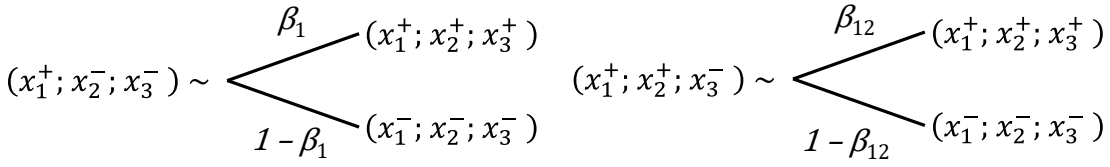
1. BEVEZETÉS

A többtényezős döntéshozatali problémák nem csak a hétköznapi életben vannak jelen folyamatosan, hanem az üzleti döntések túlnyomó részében is legalább kettő döntési változó alapján kell mérlegelni. A pénzügyi vagy kontrolling döntések meghozatalához elméletileg rendelkezésre áll vagy beszerezhető minden szükséges információ, bár nem minden esetben könnyű ez a feladat a költségtani megközelítések sokszínűsége miatt [1]. Ezen döntések meghozatalának többsége egzakt mérőszámok alapján történik és ún. biztos körülmények közötti döntésekről beszélünk. Amikor a döntés során pénzügyi paraméterekkel nem vagy csak közvetett módon, illetve becslések alkalmazásával fejezhető ki egy-egy döntési tényező, a rendelkezésre álló döntés-módszertani eszköztár már szűkül. Olyan komplex döntések esetén, amelyekben a döntési szempontok szubjektív módon megítélendő elemeket tartalmaznak, már a döntéshozó preferencia-ítéletét kell felhasználni a döntési probléma megoldására [2]. Azonban ez nem könnyű feladat, ugyanis a döntéshozók és általában véve az emberek csak nehezen vagy viszonylag sok gyakorlás után képesek jól kifejezni preferenciáikat. Ez azt jelenti, hogy a preferencia-alapú döntéshozatali módszerek alkalmazási lehetőségeinek a tapasztalat szintje, a gyakorlatlanság szab gátat. Az elméletileg legpontosabb mód a preferencia-alapú döntéshozatalra a döntéshozó adott problémához kapcsolódó hasznosságfüggvényének a meghatározása. Azonban többtényezős probléma esetén ez a függvény nem csupán bonyolult, hanem a benne szereplő konstansok (amelyek a döntéshozó preferencia-rendszerét fejezik ki) meghatározása is komplikált. Többtényezős döntési feladat

esetén problémát okoz a döntési tényezők interakciója, az a jelenség, amikor egy tényező értéke vagy a tényezőhöz kapcsolt hasznosság-ítélet egy vagy több másik tényező alakulásától függ. A hasznosságfüggvény különböző dekompozíciós formái az említett interakciók különféle megnyilvánulási formáit veszik figyelembe. Az ún. rosszul strukturált döntések esetén a változók interakciója ismeretlen vagy komplex [3], vagy nem lehetséges megbízhatóan úgy strukturálni a problémát [4]. Emiatt kezdtek elterjedni a ’80-as és ’90-es években intenzíven a komplex módszerek és a számítógéppel támogatott döntéshozatal. A többtényezős hasznosságfüggvény mellett a cikkben vizsgált másik módszer az AHP, ami az interakció hiányát feltételezi [5]. Ezzel a módszerrel tehát nem lehet lefedni azokat a problémákat, amelyekben a döntési tényezők interakcióban állnak egymással. Ennek feloldására született meg az Analytic Network Process (ANP) módszer [6], ami bár elegáns lépések segítségével kezeli az interakciót, bonyolultsága nagyságrendekkel nagyobb az AHP módszer bonyolultságánál. A módszer mind tudományos körökben, mind a gyakorlatban kevésbé elterjedt, mint az AHP. A tapasztalat tehát azt mutatja, hogy az AHP eljárás könnyen alkalmazható, az ANP pedig jól kezeli az interakciót.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Többtényezős hasznosságfüggvények (u) megszerkesztésekor a függvényformában szereplő konstansok meghatározása bizonyos kimenetel vektoroknak a referencia kockázatos lehetőségekkel való összehasonlítása útján tehető meg. A referencia kockázatos lehetőség arra utal, hogy kockázatos körülmények közötti döntésekről beszélünk, azaz a tényezők valamilyen valószínűség-eloszlás szerint veszik fel értékeiket. A kimenetelek vektoriális kezelése technikai okokból célszerű többtényezős döntések esetén. Az összehasonlítások eredményeképp a döntéshozók hasznossági szinteket (β) jelölnek meg az összehasonlítás során eléjük tárt kimenetel vektorokhoz (1. ábra).



$\lambda_1 = u(x_1^+; x_2^-; x_3^-) = \beta_1$ $\qquad$ $\lambda_{12} = u(x_1^+; x_2^+; x_3^-) = \beta_{12} - \lambda_1 - \lambda_2$

a) $\qquad$ b)

1. ábra. A kimenetelek összehasonlítása a referencia kockázatos lehetőséggel (az egyik kimenetelvektor csak a legkedvezőbb (+), a másik csak a legkedvezőtlenebb (-) értékeket tartalmazza) egy interakció nélküli (a) és egy egyszeres interakciót (b) tükröző konstans számításához; és a konstansok számításmódja. (λ: a hasznosságfüggvény konstansai)

Az összehasonlítások száma mindig annyi, ahány különböző konstanst a hasznosságfüggvény forma tartalmaz. A döntéshozó által megadott β érték a hasznosság értelmezésen túl egy valószínűségi érték is. Annak a valószínűsége, hogy az adott kimenetelvektor és a referencia kockázatos lehetőség indifferens. Maga a folyamat viszonylag egyszerű, amikor olyan kimenetel összehasonlítása a feladat, melyben csak egy értéket rögzítünk a legkedvezőbb szinten, míg a többit a legkedvezőtlenebben (a konstans a tényezők közötti egyszeres interakciókról informál), de ha több érték egyidejű rögzítése történik, akkor a döntéshozótól

magasabb szintű koncentráció elvárt. Ehhez viszonylag sok előzetes gyakorlás szükséges. A döntéshozó konzisztenciája még ebben az esetben sem mindig garantált.

Egy T tényezőhalmaz részhalmazai akkor és csak akkor értékfüggetlenek, ha bármely kettő x^{p1} és x^{p2} kockázatos lehetőség – melyekhez rendre a p^{1*} és p^{2*} együttes valószínűség-eloszlások tartoznak – esetén a kockázatos lehetőségek preferencia-sorrendje csak a tényezők p_1 és p_2 peremeloszlásától függ [7]. Ha az értékfüggetlenségi feltétel teljesül, az ún. additív dekompozíciós forma írható fel. Ez egy olyan elsőfokú többváltozós polinom, melyben a tagok együtthatói nem tartalmaznak interakciót tükröző értékeket.

Az AHP módszer egy döntési struktúra alapján határoz meg sorrendet alternatívák között. Az eljárás során a döntési tényezők fontosságát, illetve az alternatívák egymáshoz viszonyított teljesítményét értékeli a döntéshozó minden egyes olyan tényezőre vonatkozóan, ami nem bontható fel további tényezőkre (levélszempontok). A fontosságok és az alternatíva teljesítmények értékeit páros összehasonlítással célszerű meghatározni. Ez a módszer alkalmas arra, hogy viszonylag megbízható módon fejezze ki a döntéshozó a preferenciáit [8].

A módszer akkor alkalmazható sikerrel, ha a döntési tényezők között nincs interakció. A módszer széles körben elterjedt, de sokszor hibásan alkalmazzák – akár az interakciók problematikája, akár a döntéshozói preferencia sajátosságainak figyelmen kívül hagyása miatt – olyan szituációkra is, ahol biztosan torz eredmény prognosztizálható. Alapvetően nem alkalmazható például csoportos döntéshozatalra, mert ahhoz a csoport közös hasznosságfüggvényét kellene ismerni. Az AHP sikerességéből adódóan számos szerző kombinálta azt más döntési eljárásokkal [9], [10], [11]. A hibrid módszerek ezen esetei sokszor pontosabban képesek a döntési probléma leírására. Megjegyzendő, hogy az üzleti döntések bonyolultsága miatt számos döntéstámogatási módszer interaktív jellegű és arra irányul, hogy feltérképezze a döntéshozó preferencia-rendszerét. Kaliszewski [12] vagy Koksalan & Tuncer Sakar [13] ilyen megoldásokat mutat be és vizsgál részletesen.

3. MÓDOSÍTOTT AHP AZ INTERAKCIÓ KEZELÉSÉRE

Az AHP módszer következőkben ismertetett módosításával lehetővé válik az interakció kezelése. Lai megállapítása szerint az értékfüggetlenségi feltétel teljesülése mellett felírt additív többtényezős hasznosságfüggvény (1) konstansai (λ) és az AHP-ben alkalmazott döntési tényezők súlyai – bár konceptuális alapjaiban különbözőek – matematikailag ugyanazt fejezik ki [14].

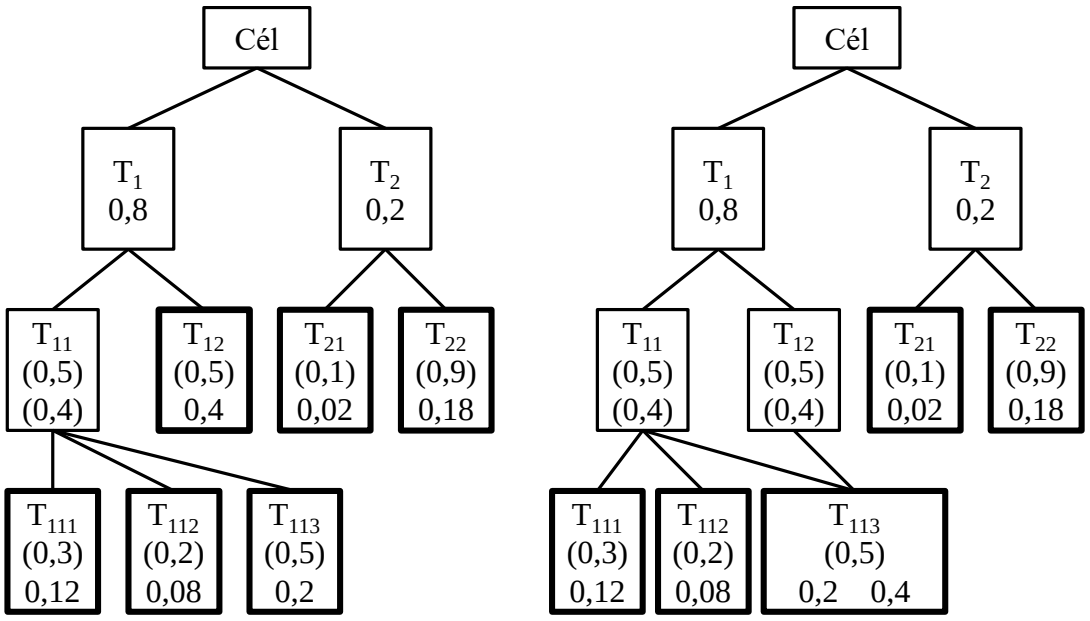
$$u(\mathbf{x}) = \lambda_1 u_1(x_1) + \lambda_1 u_2(x_2) + \lambda_1 u_3(x_3) + \cdots, \tag{1}$$

ahol:
$u(\mathbf{x})$ - a többtényezős hasznosságfüggvény
$u_1, \ldots, u_4$ - az egytényezős hasznosságfüggvények
$x_1, \ldots, x_4$ - a tényezők értékeit jelölő változók.

Ez egyben azt is jelenti, hogy a döntés meghozatalát megalapozó, a módszerek alkalmazásával kapott érték (hasznosságfüggvény felvétele esetén a várható hasznosság értéke, AHP alkalmazása esetén az alternatívák tényezőnkénti teljesítményeit és a tényező súlyokat magában foglaló, alternatívákhoz rendelt számított érték) ugyanazt a rangsort adja. A két módszerrel kapott értékekben az eltérés az, hogy míg az AHP által kifejezett értékek összege mindig 1 (aggregált súlyösszegek), addig a várható hasznosság értékek mindegyike 0 és 1 közötti érték, de az összegükre vonatkozó törvényszerűség nélkül.

A Lai-féle megállapítás azt jelenti, hogy amennyiben megszerkeszthető az AHP döntési struktúra úgy, hogy a tényezők között ne legyen interakció, azaz a tényezők értékfüggetlenek legyenek, akkor az így megszerkesztett AHP döntési struktúra egyenértékű a többtényezős hasznosságfüggvény additív dekompozíciós formájával. Ez könnyen belátható, hisz az additív többtényezős hasznosságfüggvényben szereplő egytényezős hasznosság értékek megfelelnek az AHP módszerben kapott tényezőnkénti alternatíva-teljesítmény súlyértékeknek. A döntéshozó alternatívákra vonatkozó teljesítményértékei páros összehasonlítás útján nyert, a döntéshozó preferenciáit kifejező súlyok. Emellett az egytényezős hasznosságfüggvény értékei is 0 és 1 közötti számok, amiket a döntéshozó ugyanazon preferenciái alapján adott meg. Ennek belátásával adódik, hogy az AHP eredményeit alkotó, az alternatívák teljesítményértékeinek együtthatói meg kell egyezzenek a többtényezős hasznosságfüggvényben szereplő egytényezős hasznosságértékek konstansaival.

Az AHP döntési struktúrája egy olyan fagráf, amelynek háromféle csomópontját értelmezzük: a kezdő csomópont, ami mindig tovább ágazik a döntési cél. A köztes csomópontok legalább egy további csomópontba futnak és mindegyik csomópont csak egy megelőző csomóponttal vannak kapcsolatban. Az ún. levélszempontokat a gráf utolsó csomópontjai képviselik. Ezek szintén egy megelőző csomóponttal vannak kapcsolatban, de nem ágaznak el. A jelen cikkben bemutatott módosítás értelmében egy csomópont több megelőző csomóponttal is kapcsolatban lehet. Ez a módosítás a tényezők közötti interakciót modellezi (2. ábra).



a) b)

2. ábra. Példa a hagyományos AHP célstruktúrára (a) és a módosított célstruktúra (b) a T_{11} és T_{12} közötti interakciót kifejező T_{113} tényező súlyainak szétválasztásával (a zárójelben szereplő értékek a tovább bontott súlyok; a vastagon keretezett csomópontok a levélszempontok)

A döntési struktúrák megszerkesztésekor nem minden esetben tudja a döntéshozó megadni, hogy az interakcióban álló tovább bontott tényezőnek mi a fizikai tartalma, ekkor dummy-tényezőnek tekinthető. Ez az eset képzelhető el például egy közpark esetén, amikor a két egymással interakcióban álló tényező a beruházási költség és a társadalmi haszon. Az ember megítélheti a parkot a társadalom számára hasznosabbnak, ha a beruházás nagy értékű volt

vagy feltételezheti a nagy értéket, ha ő maga hasznosnak tartja, de nem biztos, hogy azért ítéli meg hasznosnak, mert költséges volt és fordítva.

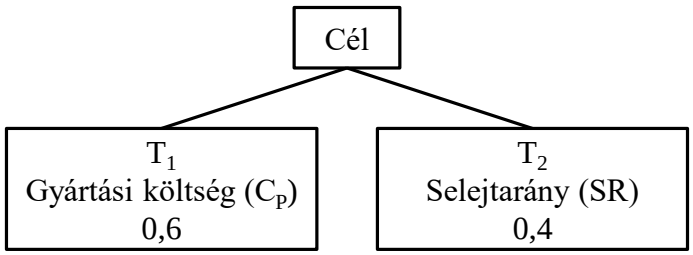
4. ILLUSZTRÁCIÓ – EGY MINŐSÉGBIZTOSÍTÁSI PROBLÉMA

Legyen a döntési cél egy szerelt egység gyártási és minőségbiztosítási költségének a minimalizálása. Ezt a költséget a gyártási költség és a selejtarány befolyásolja. A döntéshozó az előbbit 0,6 fontosságúnak, utóbbit pedig 0,4 fontosságúnak ítéli meg. Vizsgáljunk három potenciálisan gyártható változatot és tekintsük őket a döntési problémában az alternatíváknak. A feladat, rangsort állítani a gyártható egység-változatok között. A gyártási költségek (C_P) az A_1, A_2 és A_3 alternatívák esetén rendre 1000, 800 és 1200 euró. A selejtarány attól függ, hogy mekkora a szerelt egység minőségellenőrzésére és -biztosítására szánt forrás (minőségbiztosítási költség – C_{QA}), illetve milyen az egyik kulcsfontosságú alapanyag minősége (Q_{RM}) – 1-10 skálán mérve. Ezen két összetevőt figyelembe véve számítsuk a selejtarányt (SR) a (2) képlettel. A gyártási költséget, a minőségbiztosítási költséget, az alapanyag minőséget és az utóbbiak alapján számított selejtarányt az 1. táblázat foglalja össze. A 3. ábra a döntési hierarchiát mutatja be.

$$SR = SR_{\mathrm{CQA}} + SR_{\mathrm{QRM}} = 576\left(C_{\mathrm{QA}}\right)^{-2} + Q_{\mathrm{RM}}^{-2} \tag{2}$$

1. táblázat. Adattábla az AHP számításhoz

	C_P [euró]	C_{QA} [euró]	Q_{RM} [-]	SR [-]
A_1	1000	200	10	0,024
A_2	800	160	9	0,035
A_3	1200	240	5	0,050



3. ábra. A döntési probléma célhierarchiája

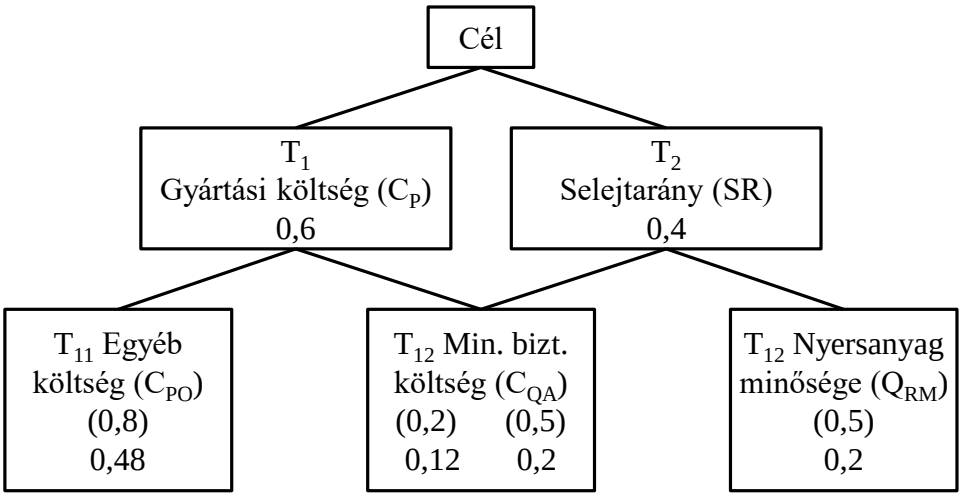
Mindkét változó esetén a kisebb érték a megfelelő, így a páros összehasonlítás segítségével képzett súlyvektorok a két tényező esetén ($\mathbf{w}_{CP}$ és $\mathbf{w}_{SR}$) a következő képletek szerint alakulnak:

$$\mathbf{w}_{\mathrm{CP}}^{\mathrm{T}} = [0{,}32 \quad 0{,}41 \quad 0{,}27] \tag{3}$$
$$\mathbf{w}_{\mathrm{SR}}^{\mathrm{T}} = [0{,}46 \quad 0{,}32 \quad 0{,}22] \tag{4}$$

A tényezők súlyait és a tényezőnkénti alternatíva teljesítményeket összeszorozva és tényezőnként összegezve az egyes alternatívák aggregált súlyösszegei: $S(A_1)$=0,377; $S(A_2)$=0,371 és $S(A_3)$=0,251, azaz a szerelt egységek, mint alternatívák rangsora $A_1 \succ A_2 \succ A_3$.

A példából jól kitűnik, hogy a minőségbiztosítási költség nem csupán a selejtarányt határozza meg, hanem a gyártási költségnek is a részét képezi, de ezt a rangsor meghatározásánál figyelmen kívül hagytuk. Ez azt jelenti, hogy a két tényező (gyártási

költség és selejtarány) interakcióban áll egymással, de ezt elhanyagoltuk. Készítsük el a logikailag helyes döntési struktúrát (4. ábra) és határozzuk meg ennek segítségével is a rangsort. Bontsuk fel a gyártási költséget két összetevőre: minőségbiztosítási és egyéb költségek. Tételezzük fel, hogy ez a két tényező értékfüggetlen. Azonban a minőségbiztosítási költség a selejtarányt is befolyásolja, így az egy közös tényező lesz a döntési hierarchiában. A teljes gyártási költségnek a 20%-a legyen a minőségbiztosítási költség. Legyen a selejtarányt meghatározó kettő tényező fontossága azonos.



4. ábra. Az interakciókat tartalmazó lebontott döntési hierarchia

A 2 táblázat összefoglalja a gyártási költség összetevőit, a selejtarányt befolyásoló tényezőkből, a (2) képlet alapján számított selejtarányokat (SR_{CQA} és SR_{QRM}) és a páros összehasonlítás alapján számított súlyértékeket. Mind a négy tényező (levélszempont) esetén a kisebb érték a kedvezőbb.

2. táblázat. Adattábla a módosított AHP számításhoz

Költségek és selejtarányok				
	C_{PO} [euró]	C_{QA} [euró]	SR_{CQA} [-]	SR_{QRM} [-]
A_1	800	200	0,014	0,010
A_2	640	160	0,023	0,012
A_3	960	240	0,010	0,040
Súlyvektorok				
Tényező súlyok:	0,48	0,12	0,2	0,2
A_1	0.32	0.32	0.32	0.49
A_2	0.41	0.41	0.21	0.39
A_3	0.27	0.27	0.47	0.12

Az egyes alternatívák aggregált súlyösszegei: $S(A_1)=0,357$; $S(A_2)=0,363$ és $S(A_3)=0,280$, azaz a szerelt egységek, mint alternatívák rangsora: $A_2 \succ A_1 \succ A_3$. Ez a sorrend eltér az előzőekben kapott sorrendtől, melynek oka az interakciót leíró tényező beépítése a döntési struktúrába.

A következő lépésben az egyszerűség kedvéért lineáris egytényezős hasznosságfüggvényeket feltételezve számítsuk ki a tényezők hasznosságértékeit és határozzuk meg az additív többtényezős hasznosságfüggvény alapján az alternatívák

sorrendjét! A fent leírtaknak megfelelően a hasznosságfüggvényben (5) szereplő konstansok megegyeznek az AHP eljárás során megadott levélszempontok súlyértékeivel.

$$u(\mathbf{x}) = 0{,}48u_1(x_1) + 0{,}12u_2(x_2) + 0{,}2u_3(x_3) + 0{,}2u_4(x_4) \tag{5}$$

A 3. táblázat a 2. táblázatban szereplő költségek és selejtarányok alapján a lineáris egytényezős hasznosságfüggvények értékeit tartalmazza. A legrosszabb és a legkedvezőbb hasznosságértékeket rendre 0 és 1 értéket veszi fel megegyezés szerint.

3. táblázat. Egytényezős hasznosságértékek [-]

	$u_1 \equiv u_{C,PO}$	$u_2 \equiv u_{C,QA}$	$u_3 \equiv u_{SR,CQA}$	$u_4 \equiv u_{SR,QRM}$
A_1	0,5	0,5	0,65	1
A_2	1	1	0	0,92
A_3	0	0	1	0

Behelyettesítve a 3. táblázatban szereplő értékeket a többtényezős hasznosságfüggvénybe, a következő hasznosság értékek adódnak: $u(A_1)$=0,63; $u(A_2)$=0,78; $u(A3_1)$=0,20. Ennek értelmében az alternatívák sorrendje: $A_2 \succ A_1 \succ A_3$, ami megegyezik a módosított AHP számításban kapott sorrenddel.

Végezzük el az adatok ellenőrzését pénzügyi oldalról is. Feltételezzünk 1000 darabos gyártási sorozatnagyságot (L – darabszám). Legyen a nyersanyagköltség (C_{RM}) euróban kifejezett értéke a nyersanyag minőségi mutató tízszerese. A selejtarány figyelembe vételével le kell gyártani újra a szerelt egységeket, melynek költsége egyezzen meg a normál gyártás költségeivel. Az újragyártandó egységek száma (feltételezzük, hogy mindegyik legyártása selejtmentes) a három alternatíva esetén, a selejtarány alapján rendre 24, 34 és 50 db. A teljes költséget a (6) képlet szerint számoljuk.

$$TC = L \cdot \left(C_{\mathrm{PO}} + C_{\mathrm{QA}} + C_{\mathrm{RM}}\right), \tag{6}$$

ahol *TC* a teljes költség.

A teljes költség értékei a három alternatíva esetén: $TC(A_1)$=1 126 400€; $TC(A_2)$=920 260€; $TC(A_3)$=1 312 500€. Így az alternatívák rangsora $A_2 \succ A_1 \succ A_3$, ami megegyezik a módosított AHP számításban és a többtényezős hasznosságfüggvény alapján kapott sorrenddel.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A cikk egy döntési módszert mutat be logikai összefüggések és egy példán keresztül történő illusztráció segítségével. A döntési módszer az AHP módszer kibővített változata, melyben figyelembe vesszük a döntési tényezők közötti interakciók kezelési lehetőségét. A módszer akkor alkalmazható megfelelően, ha a döntési struktúrában szereplő változók értékfüggetlenek. A logikai megfontolásokat illusztráló számpéldák megmutatták, hogy a kibővített AHP modell ugyanazt a rangsort adja, mint a többtényezős additív hasznosságfüggvény. Ugyancsak azonos rangsort ad a pénzügyi komponenseket figyelembe vevő költségszámítás is. Ez a sorrend eltér a hagyományos, interakciót nem kezelő AHP módszer által kapott eredménytől. A többtényezős hasznosságfüggvény és a tényező lebontást tartalmazó AHP számítás eredményei eltérőek egyrészt a számítás módszeréből adódóan, másrészt a hasznosságfüggvény egymástól „eltávolítja” az értékeket (a sorrend megtartása

mellett) a szélső értékek rögzített 0 és 1 értéken való figyelembe vétele miatt. Hasonlóan a többtényezős hasznosságfüggvény alapján hozott döntésekhez, amennyiben a módosított AHP módszerben az alternatívákat hasznosság alapján szeretnénk értékelni, szükséges a tényezők egyedi hasznosságfüggvényeinek az ismerete. A módszer bonyolultságát tekintve megegyezik a hagyományos AHP bonyolultsági szintjével, az ANP módszerétől pedig messze elmarad amellett, hogy figyelembe veszi a tényezők közötti interakciókat.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, Az intelligens, fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi, technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitális gazdaságban című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **MUSINSZKI Z.:** *Költség-e a költség? Költségek a vezetői számvitelben*, Controller Info, 2, pp. 2-8, 2013.

[2] **LUCE, R. D., SUPPES, P.:** *Preference, utility, and subjective probability. In Handbook of Mathematical Psychology*, Wiley, 1965.

[3] **DENG, P-S.:** *Using case-based reasoning approach to the support of ill-structured decisions,* European Journal of Operational Research, 93, pp. 511–521, 1996.

[4] **KALIARDOS, W. N.:** *Semi-Structured Decision Processes. A Conceptual Framework for Understanding Human-Automation Systems*, PhD értekezés, Massachusetts Institute Of Technology, 1999., p. 199.

[5] **SAATY, T. L.:** *Highlights and critical points in the theory and application of the Analytic Hierarchy Process*, European Journal of Operational Research, 74, pp. 426–447, 1994.

[6] **SAATY, T. L.:** *Fundamentals of the analytic network process – Dependence and feedback in decision-making with a single network*, Journal of Systems Science and Systems Engineering, 13(2), pp. 129–157, 2004.

[7] **TEMESI J.:** *A Döntéselmélet alapjai*, AULA kiadó, 2002.

[8] **KARANIK, M., WANDERER, L., GOMEZ-RUIZ, J. A., PELAEZ, J. I.:** *Reconstruction methods for AHP pairwise matrices: How reliable are they?*, Applied Mathematics and Computation, 279, pp. 103–124, 2016.

[9] **DOZIC, S., LUTOVAC, T., KALI, M.:** *Fuzzy AHP approach to passenger aircraft type selection*, Journal of Air Transport Management, 68, pp. 165–175, 2018.

[10] **PAMUCAR, D., STEVIC, Z., ZAVADSKAS, E. K.:** *Integration of interval rough AHP and interval rough MABAC methodsfor evaluating university web pages*, Applied Soft Computing, 67, pp. 141–163, 2018.

[11] **SENNAROGLU, B., CELEBI, G. V.:** *A military airport location selection by AHP integrated PROMETHEE and VIKOR methods*, Transportation Research, 59, pp. 160–173, 2018.

[12] **KALISZEWSKI, I.:** *On variant selection mechanisms in interactive MCDA - engineering versus reverse engineering*, Journal of Multi-Criteria Decision Analysis, 23(1-2), pp. 40–48, 2016.

[13] **KOKSALAN, M., TUNCER SAKAR, C.:** *An interactive approach to stochastic programming-based portfolio optimization*, Annals of Operations Research, 245, pp. 47–66, 2016.

[14] **LAI, S-K.:** *A preference-based interpretation of AHP*, International Journal of Management Science, 23 (4), pp. 453–462, 1995.

A KRIPTOVALUTÁK MŰKÖDÉSI HÁTTERE

THE OPERATION BACKGROUND OF CRYPTOCURRENCIES

MURÁNYI Klaudia

tudományos segédmunkatárs, muranyi.klaudia90@gmail.com
Számvitel Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A tanulmányban a kriptovaluták működési hátterével foglalkozom, amelynek megértéséhez két fontos terület bemutatására van szükség. Az első a kriptográfia, amely a kriptovaluták alapvető tulajdonságát, vagyis az anonimitást biztosítják a használóik számára. A kriptográfia egy titkosítási eljárás, mely hozzájárul ahhoz, hogy a tranzakciók rejtjelezetté váljanak, így a küldő és a fogadó kiléte, valamint a tranzakció értéke is titkos marad. A másik a blockchain-technológia, ami főkönyvként funkcionálva az összes folyamatban lévő és végrehajtott tranzakciót tartalmazza. A tanulmányomban a blockchain-technológia működése egy konkrét kirptovaluta, a bitcoin példáján keresztül kerül bemutatásra, tekintve, hogy a bitcoin népszerűsége töretlen 2009. óta, illetve a bitcoin rendelkezik a kriptovaluták piacán a legnagyobb piaci kapitalizációval.*

Kulcsszavak: *kriptovaluták, kriptográfia, bitcoin, bányászat, virtuális pénz*

Abstract: In my paper, I deal with the operational background of cryptocurrencies, which requires two important areas to be understood. The first one is the cryptography, which provides the basic property of cryptocurrencies, that is, anonymity for their users. Cryptography is an encryption process, which helps to make the transactions become encrypted, so that, the sender and the recipient's identity, as well as, the value of the transaction remain secret. The second one is the blockchain-technology which acts as a main book and contains all transactions in progress and execution. In my study, the operation of blockchain technology is demonstrated through the example of bitcoin, given that bitcoin's popularity has been unbroken since 2009 and bitcoin has the largest market capitalization on the cryptocurrencies market.

Keywords: *cryptocurrencies, cryptography, bitcoin, mining, virtual money*

1. BEVEZETÉS

A pénzügyi innovációk megjelenésének elsődleges oka, hogy a pénzügyi piac résztvevői a kereskedelmi piac változásaihoz való rugalmasabb alkalmazkodás érdekében új eszközöket, új fizetési megoldásokat vezetne be. Ezen új megoldások kialakulását, elterjedését és használatát megkönnyíti a számítástechnika fejlődése, amely által nem csak újfajta típusú ügyleteket tudnak megvalósítani, hanem pozitív hatást gyakorolhatnak az ügyletek gyorsaságára és a költségeik csökkentésére is.(1)

A virtuális pénzekről elmondható, hogy (1) az értéke előre meghatározott, kitalált egységben van, (2) digitális formában létezik, (3) kibocsátását a magánszférához tartozó vállalatok végzik, (4) a törvényi háttér és a felügyeleti kérdések még tisztázatlanok, (5) nincs mögötte központi infrastruktúra. (2) A virtuális pénzre szinonimaként alkalmazható még a virtuális valuta, digitális pénz vagy a kriptovaluta. A kriptovaluta elnevezés utal a virtuális pénzek működését biztosító titkosítási eljárásra, mellyel a következő fejezetben részletesebben foglalkozom. Ezen kívül elemzésre kerül egy konkrét kriptovaluta (bitcoin) példáján keresztül a blockchain technológia működése.

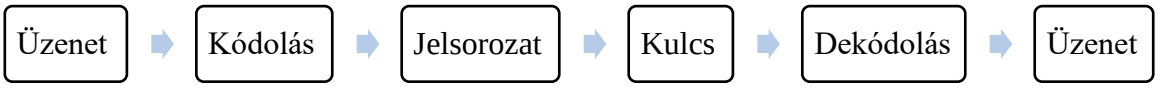
2. A KRIPTOGRÁFIA, MINT A VIRTUÁLIS PÉNZEK MŰKÖDÉSÉT MEGVALÓSÍTÓ ELJÁRÁS

A kriptovaluták digitális vagy virtuális pénzeszközök, amelyek titkosítása a kriptográfia módszertanával történik. A kriptográfia fogalma a következő: „az információ titkos, az illetéktelen hozzáféréssel szembeni biztonságos továbbításának elmélete és gyakorlata.” (3)
A kriptográfia szó ógörög eredetű kifejezés, amely a „kryptos” azaz „rejtett”, illetve „gráph o” azaz „írok” szavakból jött létre. Az alapkoncepció az volt, hogy hogyan lehet üzenetet küldeni a fogadó félnek úgy, hogy csak ő értse, mindenki más előtt az üzenet rejtett maradjon, a megfejtése lehetetlen vagy éppen nagyon időigényes legyen.(4)

A kriptográfia kezdetben a politikusok és a katonák számára volt fontos titkosítási eljárás, azonban a számítógépek és az elektronikus kommunikáció elterjedésének korában az üzenetek védelme általános igénnyé alakult. A kriptográfiai egyes megoldásai a telekommunikációs, a banki szolgáltatások és az elektronikus kereskedelem rendszereibe is beépült. A kriptográfia mögött nem csak a mérnöki és a számítógépes elemek játszanak fontos tényezőket, hanem több matematikai elmélet is keveredik a különböző kriptográfiai megoldásokban.(3)
A kriptográfia alapvető céljai a következőek:

- Titkosítás: az üzenet csak azok számára váljon érthetővé, akik ismerik a kulcsot a megfejtéshez, a titkosítás célja, hogy a lehallgatást megakadályozza.
- Integritásvédelem: az üzenet vevője megbízhatóan meg tudja állapítani a megfejtett üzenetről, hogy annak tartalma az átvitel során módosult-e vagy sem.
- Hitelesítés: A hitelesítésnek két alfaja létezik: üzenethitelesítés és a partnerhitelesítés, amelyek a vett üzenet feladójának, vagy a résztvevő felek kilétéről való meggyőződést jelentik.
- Letagadás elleni védelem: az üzenet küldője ne tudja letagadni az üzenetküldés tényét, illetve, hogy a vevő fél vevője bizonyítani tudja, hogy ki az üzenet küldője. (5)

A különböző típusú kriptográfiai megoldások alapjait a következő fő alkotóelemek adják: kódoló és dekódoló eljárások, valamint algoritmusok. A titkosítási eljárásnak az alábbi lépései vannak: a kódolás során az üzenete rejtjelezetté válik, vagyis jelsorozattá alakul, amelynek az illetéktelenekhez jutás esetén a megfejtése nehéz feladat vagy szinte lehetetlen, majd a dekódoló, aki az üzenet jogosultja, egy kulcs segítségével képes a rejtjelezett üzenet megfejtésével az eredeti üzenet elolvasására.



1. *ábra:* A titkosítási eljárás folyamata (Forrás: saját szerkesztés)

A kriptovaluták működési hátterét biztosító kriptográfiai eljárásokból adódóan nehezen hamisíthatók, illetve, mivel a fő „előállítási” módszere a bányászat, nem rendelkezik központi kibocsátóval, vagyis immunisak az állami beavatkozásra és manipulálásra.(6)

A jelenlegi kriptovaluta piacon 4.639 darab kriptovaluta található, a legnagyobb piaci kapitalizációval (109.328.475.083 $) a Bitcoin rendelkezik, ami 42%-os piaci részesedést biztosít a megközelítőleg 262.660.000.000 $-os teljes piacon. (7)

3. A BITCOIN MŰKÖDÉSI HÁTTERE

3.1. Bitcoin vagy bitcoin?

Mielőtt a rendszer és annak működése bemutatásra kerülne, érdemes különbség tenni aközött, hogy Bitcoinról, vagy bitcoinról beszélünk, ugyanis a kétfajta írásmód kétféle mögöttes tartalmat takar. A Bitcoin esetében egy peer-to-peer hálózaton alapuló decentralizált fizetési rendszerről van szó, míg a bitcoin (BTC) az egységnyi fizetőeszközt jelenti. (8)

A peer-to-peer (P2P) egy hálózati jelleg, amely egyenrangú végpontok közötti közvetlen kapcsolatra épül, vagyis nem rendelkezik központi csomóponttal, nincs központi szervere, (9) maga a közvetlen kapcsolat esetünkben pedig az internetes hozzáférés. A decentralizáltság alapvetően erre a P2P hálózatra építve jelenik meg, mivel nincs központi szerver, nincs központi szabályozó sem, aki a kibocsátást befolyásolná. A Bitcoin esetében a hálózatban minden felhasználó közvetíti más felhasználó tranzakcióit, illetve nincs szükség bankra harmadik félként.(10) A bitcoin, mint egységnyi fizetőeszköz maga a kriptovaluta, amely a kriptográfia segítségével jön létre.

3.2. A Bitcoin története

A bitcoin - ekkor még b-money néven- elsőként 1998-ban jelent meg Wei Dai crypto-anarchia nevű utópisztikus koncepciójában. Ebben a koncepciójában két protokollt fogalmazott meg, amelyben a b-money létrejöttét, mechanizmusait taglalta, valamint a lehetséges megvalósulási formáit. Az első protokoll szerint minden résztvevő egy saját adatbázist tart fenn, amelyből kiderül, hogy mennyi pénz tartozik az álnevekhez, míg a második protokoll ezt a folyamatot egy szerveren keresztül idealizálja. Mindkét esetben Wei Dai azt feltételezte, hogy a hálózat lenyomozhatatlan, így a küldő és a vevőegység azonosítása csak digitálisan lehetséges az álnevek (azaz nyilvános kulcsok) segítségével, és a küldött üzenet titkosítottak. (11)

Satoshi Nakamoto 2008-ban publikálta azon tanulmányát, amelyben Wei Dai elméleti koncepciójára alapozva egy gyakorlati megoldást dolgozott ki. A lényege, hogy a P2P szisztémája lehetővé teszi, hogy az interneten közvetlenül valósuljanak meg a kifizetések az egyik féltől a másikhoz anélkül, hogy egy pénzintézet, mint harmadik fél részt venne a folyamatban. A P2P hálózat időzíti ezeket a tranzakciókat úgy, hogy egy folyamatos láncba juttatja őket, mindehhez pedig a P2P csak minimális szerkezetet, bonyolultságot igényel. (12) (12)

A Bitcoin 2009. januárjában kezdte el a működését, az első blokk (genezis blokk) generálása 2009. január 3-án történt. A bitcoin érmék teljes forgalma összesen 21.000.000 darab, ez az összmennyiség a blokkok létrehozása során generálódik6generálódhat, azonban minden négy évben a felére csökken a „megtalálható” érmék mennyisége. Például az első négy évben 10.500.000 darab érmét lehetett megtalálni, a második négy évben ez a mennyiség azonban már csak 5.250.000 darab, ezt követő négy évben 2.625.000 darab, stb..(13) Jelenleg 17.123.150 darab kibányászott bitcon található a piacon.

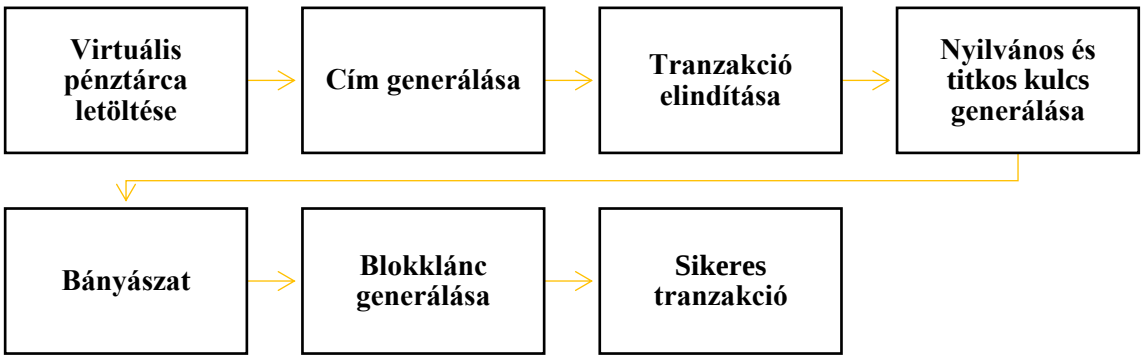
3.3. A Bitcoin működésének alapját adó blockchain technológia bemutatása

A Bitcoin használatához három alapvető dologra van szükség: internetkapcsolatra, kliensprogramra a virtuális pénztárca kezeléséhez, illetve számítógépre, vagy okostelefonra.
Az első lépés az, hogy szükséges a számítógépre vagy az okostelefonra a virtuális pénztárca letöltése, ami által létre is jön az első Bitcoin-cím. A virtuális pénztárca több címhez is hozzáférést biztosít, az egyedi azonosítás érdekében a címek alapvetően számok és betűk véletlenszerű sorozataként generálódnak. Ez a cím használtható fel a továbbiakban arra, hogy a bitcoinnal való tranzakciók megvalósuljanak. A virtuális pénztárca tartalmazza az abban

kezelt bitcoinok teljes egyenlegét, illetve egy olyan privát/titkos kulcsot, amely jogot biztosít a bitcoinok elköltésére egy kriptografikus aláírás segítségével.

A Bitcoin alapját, melyen a teljes rendszer nyugszik, a blokklánc adja, amely egy nyilvános, minden felhasználó számára elérhető főkönyvként funkcionál. Ez az adatbázis tartalmazza a bitcoin generálásáig visszamenőleg az összes lezajlott tranzakciót. A blokklánc egysége a blokk, amelybe a még jóvá nem hagyott tranzakciókat összegyűjtik, majd csatlakoztatják a már meglévő blokklánchoz, mint új láncszem. A blokk fix méretű fejlécből és változó méretű tartalmi részből tevődik össze, a fejlécbe a blokk információi kerülnek, míg a tartalmi részbe azok az érvényes tranzakciók tartoznak, amit a generáló belefoglal. Egy blokk megtalálásának, felfűzésének átlagos ideje 10-20 percre tehető. A blokkláncban a blokkok egymást követően illeszkednek az időbeliségnek megfelelően. A leghosszabb blokklánc akkor érvényes, ha genezis blokkal kezdődik és az abban szereplő összes blokk érvényes. A blokkláncban minden egyes bitcoinhoz a felhasználó nyilvános kulcsa van rendelve, az érvényesítés érdekében pedig szükséges a saját, titkos kulccsal történő aláírás.

Ahhoz, hogy az egész rendszer működjön, szükség van olyan személyekre, akiknek feladata a tranzakciók összegyűjtése és azok jóváhagyása különböző matematikai, számítási feladatok elvégzésével. Az egész folyamat neve bányászat, a személyek, akik ezt a feladatot végzik a Bitcoinbányászok. Az általuk visszaigazolt tranzakciókért díjakat szedhetnek, valamint újonnan létrejövő bitcoinokhoz is juthatnak. A bányászat után kapott jutalmak az elvégezett számítások arányában kerülnek szétosztásra. Ezen kriptográfiai jegyeket hordozó feladatok megfejtéséhez a bányászoknak nagyon drága, nagy teljesítményű videokártyákra van szükségük. (14) Azáltal, hogy folyamatosan csökken a megszerezhető új bitcoinok száma, egyre nehezebb ezzel a módszerrel bitcoinhoz jutni. Magára a bányászatra már egy egész ipar épül, amely kizárólag erre a célra nagy teljesítményű számítógépek forgalmazásával foglalkozik. (15)



2. ábra: A bitcoin technológia működésének folyamatábrája (Forrás: saját szerkeztés)

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Egy adott informatikai rendszerről, számítógépes tevékenységről akkor derül ki, hogy már nem tekinthető biztonságosnak, ha már történt ellene valami beavatkozás, így ez a kockázati elem a virtuális jellegből adódóan mindig megmarad a kriptovaluták vonatkozásában. A virtuális fizetőeszközök piacán jelenleg egyértelműen a bitcoin helyezkedik el az első helyen, akár a piaci kapitalizációját, akár a piaci részesedését vizsgáljuk meg, annak ellenére, hogy számos „trónkövetelő” jelent meg az évek során, és ezek száma folyamatosan nő.

A bitcoin működésének megértése,- amely mérnöki, számítógépes és matematikai algoritmusok vegyítésével valósul meg – hozzájárulhat ahhoz, hogy átfogóbb képet kapjunk arról, hogy a működés bonyolultsága akár a jogi szabályozás megalkotásának hiányával/nehézségével is összefüggésbe hozható. Azonban a rendszer működését adó

blokkchain-technológia alkalmazása más területeken is hasznosítható, például a svéd kormány elkötelezett a blockchain-technológiai fejlesztések iránt, éppen emiatt, egy 2016-os projekt során tulajdonjogi adatokat digitalizáltak, vagyis a földhivatal működését erre a technológiai háttérre helyezték át, illetve a villamosenergia-kereskedelmi üzletágba is egy blokklánc alapú villamosenergia-kereskedelmi platform fejlesztésén dolgoznak.(16)

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, *Az intelligens, fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi, technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitális gazdaságban* című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **DIVÉKI, É.–KESZY-HARMATH, Z. –HELMECZI, I.:** *Innovatív fizetési megoldások,* In: MNB honlapja, MNB- tanulmányok, 85., 2010.,https://www.mnb.hu/letoltes/mt-85.pdf, (letöltés: 2018. 04.11.)
[2] **KAJDI, L. – KÜRTÖSI, A. – SISAK, B.:** *Az új mindig jobb? – A virtuális pénzek jelene és jövője,* In: MNB holnapja, 2017. február 10. https://www.mnb.hu/letoltes/kajdi-laszlo-kurtosi-attila-sisak-balazs-az-uj-mindig-jobbmnbhonlapra.pdf (letöltés 2018. 04.11.)
[3] Kriptográfia fogalma http://www.hunfi.hu/nyiri/enc/1enciklopedia/fogalmi/mat/kriptografia.htm (letöltés: 2018.04.10.)
[4] **LIPTAI, K.:** Kriptográfia, Eger, 2011. http://liptai.ektf.hu/uploads/2011/12/Kriptografia.pdf letöltés(2018.06.25.)
[5] **BUTTYÁN, L.– GYÖRFI, L. – VAJDA, I.:** *Adatbiztonság, titkosítás, hitelesítés, digitális aláírás,* Magyar Tudomány, 2005/5., http://www.matud.iif.hu/05maj/06.html (letöltés: 2017.04.09.)
[6] Cryptocurrency fogalma http://www.investopedia.com/terms/c/cryptocurrency.asp (letöltés: 2018.04.10.)
[7] A kriptovaluta piac jelenlegi helyzete, https://cryptocoincharts.info/coins/info (letöltés: 2018.06.30.)
[8] **SZATHMÁRY, Z.:** *Az elektronikus pénz és a bitcoin biztosítása a büntetőeljárásban,* Magyar Jog, 2015/11.,639-647.o.
[9] **MILEFF, P.:** *P2P hálózatok – Párhuzamos és Elosztott Rendszerek II.* In: Miskolci Egyetem honlapja, 2008, https://users.iit.uni-miskolc.hu/~mileff/parh2/p2p.pdf (letöltés: 2017.10.19.)
[10] P2P fogalma: https://bitcoin.org/hu/szotar (letöltés: 2017.10.19.)
[11] Wei Dai koncepciója: http://www.weidai.com/bmoney.txt (letöltés: 2017. 10. 20.)
[12] **NAKAMOTO, S.** : *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*, In: bitcoin.org honlapja, 2008. https://bitcoin.org/bitcoin.pdf (letöltés: 2017.10.19.)
[13] Nakamoto e-mail levelezése: https://www.mail-archive.com/cryptography@metzdowd.com/msg10142.html (letöltés: 2017. 10. 20.)
[14] **TÜZES, M.:** Bitcoin – A pénz új formája, Infokommunikáció és jog, 2012/4, 155-160. o.
[15] **MATTHEW, K. – MNG, L.**:*Coining Bitcoin's „Legal-Bits": Examining the Regulatory Framework for Bitcoin and Virtual Currencies*, Harvard Journal of Law & Technology, Volume 27, Number 2 Spring, 2014., 587-608.o.
[16] Elsőként vezetnének be digitális pénzt a svédek http://168ora.hu/penz/elsokent-vezetnenek-be-digitalis-penzt-a-svedek-8230 (letöltés: 2017.10.27.)

OLDALIRÁNYÚ MEGTÁMASZTÁSOK MEREVSÉGÉNEK HATÁSA EGYSZERŰ TARTÓK KRITIKUS NYOMATÉKÁRA

THE EFFECT OF THE STIFFNESS OF THE LATERAL SUPPORTS ON THE CRITICAL MOMENT OF SIMPLE STRUCTURES

MURVAY Csanád[1], RADNAY László[2]

[1]BsC Hallgató, murvay.csanad@gmail.com
[1]Építőmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[2] Ph.D., főiskolai docens, laszlo.radnay@eng.undeb.hu
[2]Építőmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *Hajlított acél tartószerkezetek jellemző tönkremeneteli formája a kifordulás. A kifordulással szembeni ellenállás csökkentő tényezőjének értékét leginkább befolyásoló kritikus nyomaték meghatározásánál, a korábbi gyakorlattal ellentétben, ma már lehetőség van az oldalirányú megtámasztások merevségét is figyelembe venni. Ezek releváns paraméterei szignifikánsan befolyásolják a szerkezeti elem teherbírását. Jelen cikkben egy egyszerű kéttámaszú tartószerkezeten keresztül vizsgáljuk az oldalirányú megtámasztások merevségének a kritikus nyomaték értékére kifejtett hatását.*

Kulcsszavak: *kritikus nyomaték, oldalirányú megtámasztás, merevség*

Abstract: *The general failure mode of structural elements under bending is the lateral torsional buckling. The critical moment has the highest influence on the reducing factor for the LTB resistance. While calculating the value of the critical moment, unlike previous practice, nowadays the stiffness of the lateral supports can be taken into account. The relevant parameters of the stiffness of the lateral supports has significant influence on the utilization of the structural elements. The effect of the stiffness of the lateral supports on the critical moment of a simple supproted beam will be examined in this work.*

Keywords: *critical moment, lateral support, stiffness*

1. BEVEZETÉS

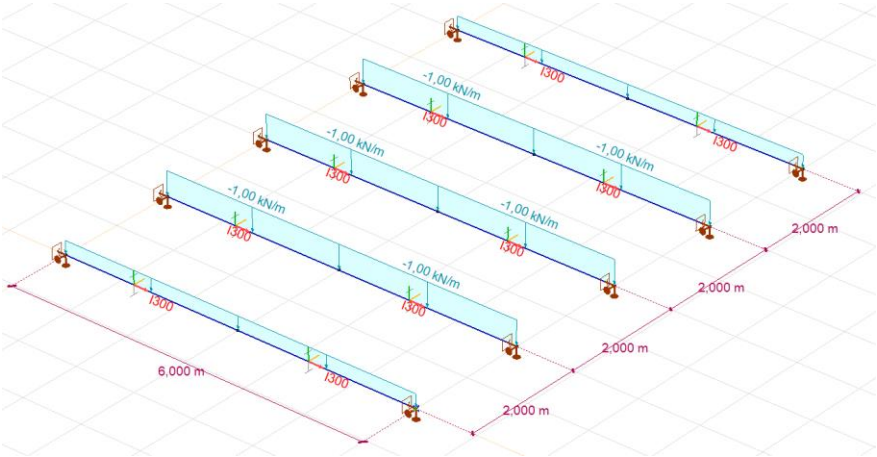
Egy szerkezeti elem stabilitási ellenállása számos tényezőtől függ. A szerkezeti elem méretei és keresztmetszeti adatai mellett nagy jelentősége van a merevítő szerkezeteknek, ill. az ezek által biztosított megtámasztások helyzetének és merevségének. Jelen kutatásunk előzménye a keretoszlopok keretsíkú kihajlási ellenállásának vizsgálata. Keretoszlop keretsíkú kihajlási ellenállását általános esetben három megtámasztási komponens határozza meg. Ezek a felső csomópont lokális z tengely irányú (keretsíkú) elmozdulással szembeni megtámasztásának a merevsége, a talpcsomópont lokális y tengely (keretsíkra merőleges tengely) körüli elfordulással szembeni megtámasztásának a merevsége és az oszlop-gerenda kapcsolatnál az oszlop végpontjának lokális y tengely (keretsíkra merőleges tengely) körüli elfordulással szembeni megtámasztásának a merevsége. Ezen komponensek között egyrészt fontossági sorrendet lehet megállapítani [1], másrészt a komponensek merevsége és a kihajlási ellenállást meghatározó kritikus erő közti összefüggéseket [1] [2] vizsgálva optimalizálni lehet a merevítő rendszer kialakítását.

Hajlított szerkezeti elemeknél a helyzet összetettebb. A kifordulási ellenállás a megtámasztások több merevségi komponensétől függ. Ezen felül a megtámasztó rendszer kialakításában is sokkal több elrendezési lehetőséggel lehet számolni. Jelen munkánkban egy egyszerű tartószerkezeten kezdjük meg a vizsgálatainkat. Néhány szokásos merevítési

elrendezés esetében mutatjuk meg, hogy az egyes komponensek merevségének változtatása hogyan befolyásolja a kifordulási ellenállás meghatározásához szükséges kritikus nyomaték értékét.

2. A VIZSGÁLT TARTÓSZERKEZET BEMUTATÁSA

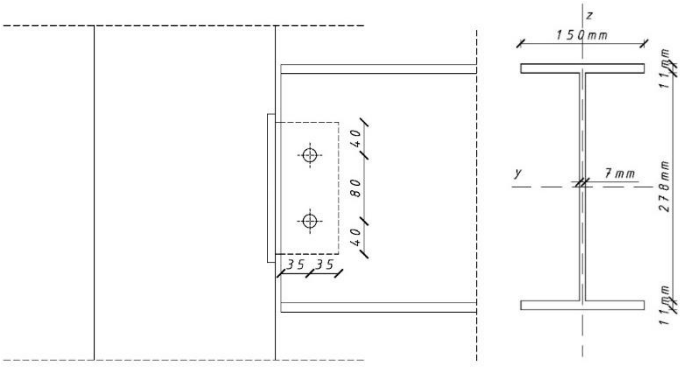
Kéttámaszú kialakítású gerendákat vizsgálunk egyenletesen megoszló terheléssel az 1. ábra szerint. A szélső elemek a gerendákra felfekvő, nem ábrázolt lemez feltételezett kéttámaszú teherátadása miatt fele akkora terhet kapnak, mint a közbenső gerendák. Ennek a később kiegészítésként elhelyezett merevítő rendszer merevségének meghatározásánál lesz jelentősége. A terhelés nagysága jelen vizsgálatunk szempontjából irreleváns, csupán a terhelés jellegét (egyenletesen megoszló terhelés) kell definiálnunk. A teher a gerenda tetején adódik át.



1. ábra. A vizsgált tartószerkezet kialakítása

Az IPE 300 szelvény főbb méreteivel közel megegyező, hegesztett kialakítású „I” szelvényt alkalmazunk (lásd 2. ábra) minden gerendánál. A minél pontosabb egyezés egy - jelen munkánkban bemutatásra nem kerülő - vizsgálat miatt fontosabb volt, mint, hogy ténylegesen elérhető lemezméretekből állítsuk elő a szelvényt. Az alkalmazott anyagminőség S235. A végpontok megtámasztásának kialakítása a 2. ábrán látható. A támaszelemek merevségi komponenseit kiindulásként az alábbiak szerint definiáljuk lokális koordináta rendszerben:

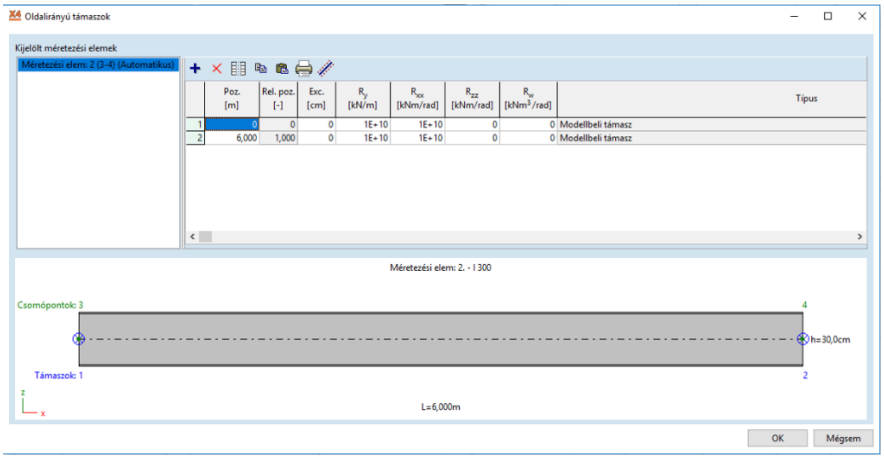
- kezdőpont: R_x=fix; R_y=fix; R_z=fix; R_{xx}=fix; R_{yy}=szabad; R_{zz}=szabad;
- végpont: R_x=fix; R_y=fix; R_z=fix; R_{xx}=fix; R_{yy}=szabad; R_{zz}=szabad.



2. ábra. A gerenda támaszának kialakítása és keresztmetszete

3. A VÉGPONTOKON ALKALMAZOTT TÁMASZOK MEREVSÉGÉNEK HATÁSA A KRITIKUS NYOMATÉKRA

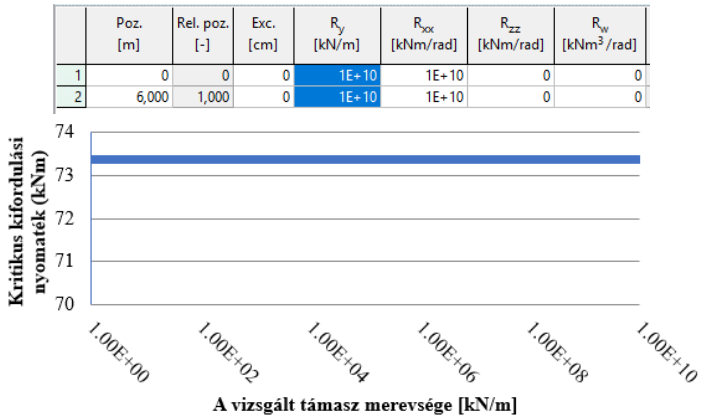
A kritikus nyomaték meghatározására az Axis VM program Auto Mcr számítási modulját használjuk. Ez egy olyan végeselemes almodellt hoz létre, melynek csak a kifordulás vizsgálat szempontjából mértékadó csomóponti szabadságfokai definiáltak. Ezek: lokális y tengely irányú eltolódás, lokális x tengely körüli elfordulás, lokális z tengely körüli elfordulás és öblösödés. Az eljárás validálását számos modell vizsgálatával elvégezték [5]. Kiindulási modellünk beállításai láthatók a 3. ábrán. A módszer lehetőséget biztosít az egyes merevségi komponensek tetszőleges felvételére. Ezt használtuk ki az adatsorok előállításánál.



3. ábra Támaszok és támaszmerevségek megadására szolgáló párbeszéd-ablak

3.1. A lokális y tengely irányú elmozdulás elleni megtámasztás merevségének hatása

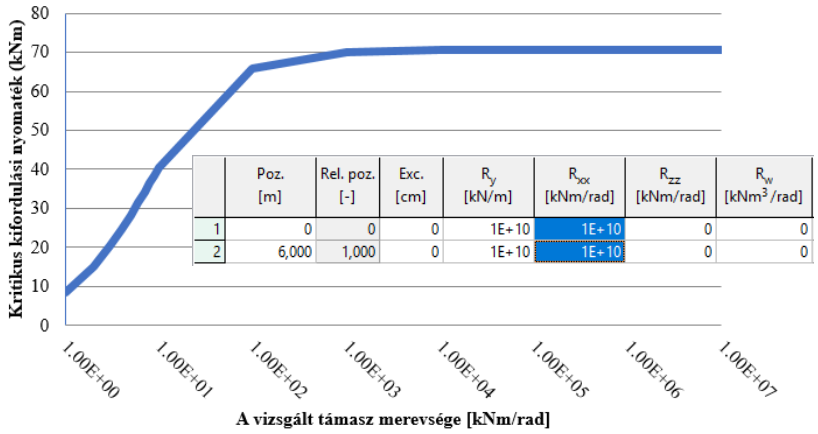
A következőkben megvizsgáljuk, hogyan változik a kritikus nyomaték értéke, ha a két végpont lokális y tengely irányú megtámasztása nem biztosít végtelen merev megtámasztást. Az R_y támaszkomponens értékét a két tartóvégen szimmetrikusan 1 kN/m merevségtől fokozatosan növelve elértük a 4. ábrán kiemelve jelzett $1x10^{10}$ kN/m értéket, amit végtelen értéknek tekinthetünk a program segítségével elvégzett legtöbb számítás esetén. A kritikus nyomaték értékét a 4. ábrán megadott diagramm segítségével mutatjuk be. Megjegyezzük, hogy a támaszvég lokális y irányú megtámasztása természetesen szükséges a tartószerkezet működéséhez, de a vizsgált szerkezet esetében a kritikus nyomaték értékére nincs hatással.



4. ábra Gerendavégi y irányú támaszkomponens merevségének hatása

3.2. A lokális x tengely körüli elfordulás elleni megtámasztás merevségének hatása

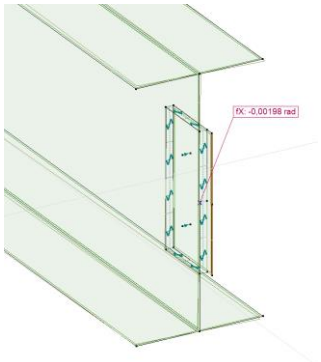
Az R_{xx} elfordulási támaszkomponens értékét a két tartóvégen szimmetrikusan 1 kNm/rad merevségtől fokozatosan növelve elértük az 5. ábrán látható $1x10^{10}$ kNm/rad értéket. A támaszmerevség függvényében a kritikus nyomaték értékének változását az 5. ábrán megadott diagramm segítségével mutatjuk be.



	Poz. [m]	Rel. poz. [-]	Exc. [cm]	R_y [kN/m]	R_{xx} [kNm/rad]	R_{zz} [kNm/rad]	R_w [kNm^3/rad]
1	0	0	0	1E+10	1E+10	0	0
2	6,000	1,000	0	1E+10	1E+10	0	0

5. ábra Gerendavégi x tengely körüli elfordulást gátló támaszkomponens merevségének hatása

Az R_{xx} elfordulási támaszkomponens értékének kis merevségek esetén jelentős hatása van a kritikus merevségre. A 6. ábrán látható végeselemes részletmodell segítségével közelítően meghatároztuk az alkalmazott kapcsolat elfordulás elleni merevségét. A modellben a furatgyengítéseket nem vettük figyelembe. A csavarokat kapcsolati elemmel modelleztük, húzást és nyíróerőt tudnak felvenni. A lemezek közötti nyomás átadódását nemlineáris viselkedésű, csak nyomás felvételére alkalmas, vonalmenti kapcsolati elemek biztosítják.



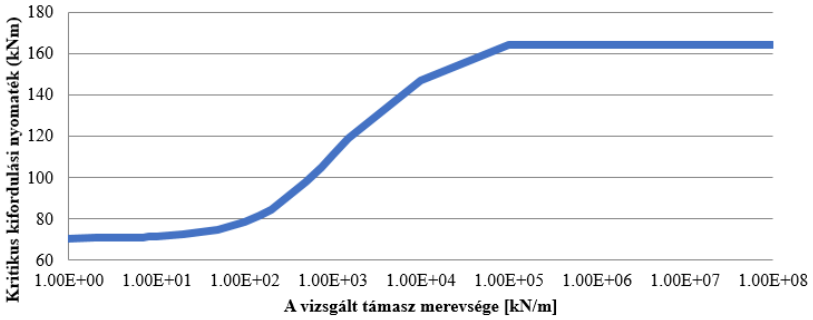
6. ábra Kapcsolat részletes VEM modell

Az 1 kNm csavarónyomaték hatására a gerenda tengelyének elfordulása 0,00198 rad, az ebből számított merevség pedig 505 kNm/rad. Az ehhez tartozó kritikus nyomaték értéke 72,27 kNm, ami kevesebb, mint a végtelen merev megtámasztással elérhető 73,38 kNm. Megállapíthatjuk tehát, hogy ennek a szokásosnak tekinthető kapcsolatnak az esetében a biztonság kárára tévedhetünk, ha nem vesszük figyelembe, hogy az R_{xx} megtámasztási komponens merevsége nem végtelen nagy.

4. A FESZTÁV FELÉNÉL A GERENDA TENGELYÉBEN KIALAKÍTOTT KIEGÉSZÍTŐ MEGTÁMASZTÁS HATÁSA A KRITIKUS NYOMATÉKRA

4.1. A lokális y tengely irányú elmozdulás elleni megtámasztás merevségének hatása

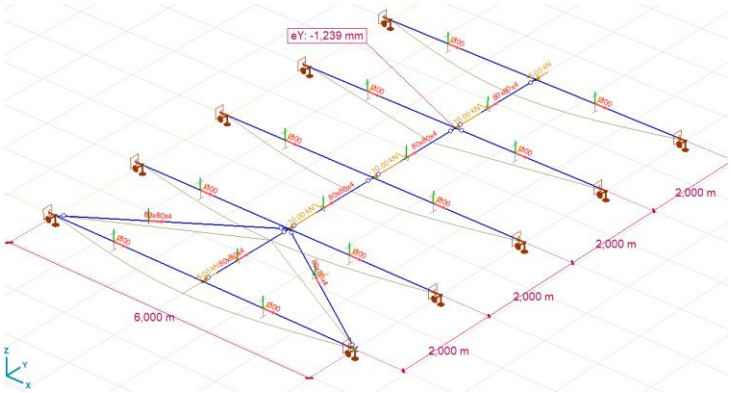
Az előző pont eredményeitől eltekintve a továbbiakban a végponti megtámasztások merevségét végtelennek tekintjük. Azok mellett a fesztáv felénél, a gerendák magasságának a felében egy kiegészítő oldalirányú megtámasztást feltételezünk. Ennek R_y értékét 0 kN/m merevségtől fokozatosan növeljük a 7. ábrán látható $1x10^{10}$ kN/m értékig. A kritikus nyomaték alakulását a támaszkomponens merevségének függvényében a 7. ábrán megadott diagramm segítségével mutatjuk be.



R_{zz} [kNm/rad]	R_w [kNm³/rad]
0	0
0	0
0	0

7. ábra A fesztáv felénél a gerenda tengelyében elhelyezett y irányú támaszkomponens merevségének hatása

A középső pont oldalirányú megtámasztása kis merevségek esetén nem növeli az eredeti (3. pontban kiszámított) kritikus nyomatéki értéket. Nagy merevség esetén viszont jelen példa esetén meg is duplázhatja azt. A vizsgált szerkezethez kialakított merevítő rendszert szemlélteti a 8. ábra. A merevítő rendszer 80x80x4-es zártszelvényekből épül fel. A merevítő rendszer bekötéseinél ideális csuklót tételeztünk fel. A merevítő rendszer eltérő merevséggel támasztja meg az egyes gerendákat. A terhelés és megtámasztás szempontjából legkedvezőtlenebb helyzetű gerendát vizsgáljuk. Ez az a közbenső, tehát teljes terhelésű gerenda, ami a legmesszebb helyezkedik el a merevítő rendszer ferde elemeitől. A terhelés meghatározásánál figyelembe vettük, hogy a szélső gerenda függőleges terhelése fele a közbenső gerendák függőleges terhelésének. Ezért itt a vízszintes terhet is azonos arányban vettük fel a merevítő rendszerek imperfekciós helyettesítő terhének meghatározásához előírtakat szem előtt tartva.



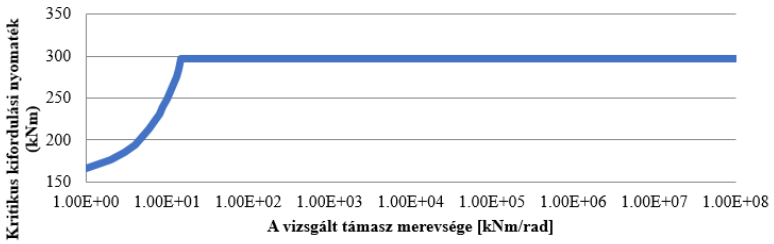
8. ábra Merevítő rendszer elmozdulás ábra támaszmerevség definiálásához

A vizsgált gerenda tengelye 10 kN terhelés hatására 1,239 mm-t mozdul el a globális y tengely irányába. Megjegyezzük, hogy a számított értékben benne van a gerendák gyenge tengely körüli hajlításának hatása is. A vizsgált gerenda hajlítási merevségét viszont kiiktattuk, hogy külső megtámasztási merevséget kapjunk meg. Az elmozdulásból számított merevség 8071 kN/m. Az ehhez tartozó kritikus nyomaték értéke 151,06 kNm, ami elmarad a végtelen merev megtámasztással elérhető 164,19 kNm értéktől. Megállapíthatjuk tehát, hogy a számított merevség a 7. ábrán bemutatott diagram változó részén van, a merevség minél pontosabb meghatározása ezért nagy jelentőséggel bír.

4.2. A lokális x tengely körüli elfordulás elleni megtámasztás merevségének hatása merev y irányú elmozdulás elleni megtámasztás mellett

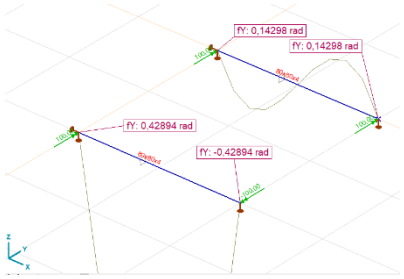
Az előző pontok eredményeitől eltekintve a továbbiakban a végponti megtámasztások merevségét és a középső pont vízszintes elmozdulás elleni megtámasztásának merevségét végtelennek tekintjük. A gerendák hossztengelyére merőleges merevítési elemek bekötését az eddig feltételezett csuklós helyett befogottnak feltételezzük. Ettől kezdve ezek az elemek vízszintes elmozdulás és hossztengely körüli elfordulás ellen támasztják meg a vizsgált gerendákat. Az R_{xx} elfordulási támaszkomponens értékét 0 kNm/rad merevségtől fokozatosan növelve elértük a 9. ábrán látható $1x10^{10}$ kNm/rad értéket. A kritikus nyomaték értékét a 9. ábrán megadott diagramm segítségével mutatjuk be.

	Poz. [m]	Rel. poz. [-]	Exc. [cm]	R_y [kN/m]	R_{xx} [kNm/rad]	R_{zz} [kNm/rad]	R_w [kNm³/rad]
1	0	0	0	1E+10	1E+10	0	0
2	3,000	0,500	0	1E+10	1E+10	0	0
3	6,000	1,000	0	1E+10	1E+10	0	0



9. ábra Az x tengely körüli elfordulást gátló támaszkomponens merevségének hatása (y irányú elmozdulás meggátlása mellett)

Az elfordulás elleni megtámasztó hatás figyelembevétele az 4.1 pontban megadott 7. ábra végértékétől emeli tovább a kritikus nyomaték értékét. Kis merevség esetén is hatásos, a növekmény mértéke azonban erősen függ a tényleges merevség értékétől. Attól függően, hogy a két szomszédos gerenda egymáshoz képes azonos, vagy ellentétes irányba fordul ki, kétféle terhelése lehet a merevítő elemnek. Ezeket láthatjuk a 10. ábrán.

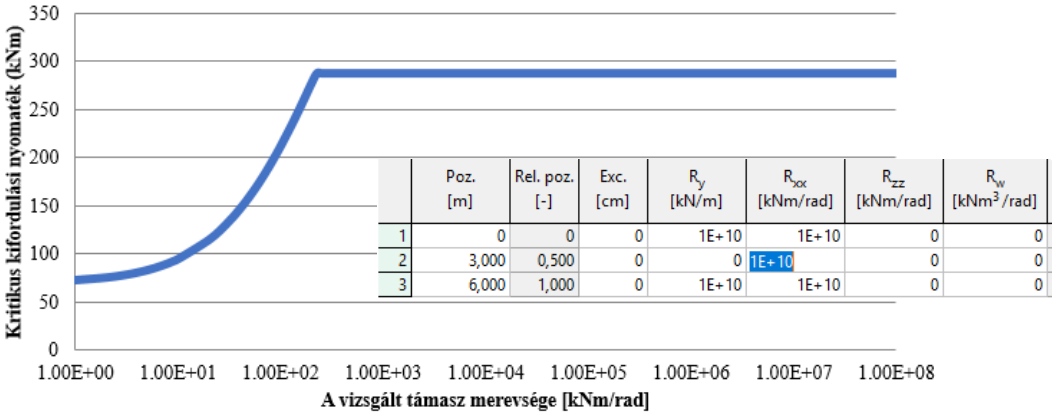


10. ábra Merevítő rúd hajlítási merevségének meghatározása

A merevség a nagyobb elfordulás értékből meghatározva 233 kNm/rad-ra adódik. Közbenső gerendáknál ennek az értéknek a kétszeresével számolhatunk. Ennek hatására a kritikus nyomaték értéke a maximális 297,04 kNm. Felhívjuk azonban a figyelmet arra, hogy a bekötés részleges merevsége a fent meghatározott értéket jelentősen csökkentheti.

4.3. A lokális x tengely körüli elfordulás elleni megtámasztás merevségének hatása y irányú elmozdulás elleni megtámasztás nélkül

Az 4.1 és 4.2 pontokban vizsgáltaktól eltérően, a ferde merevítő elemek elhagyásával ki lehet alakítani olyan megtámasztási rendszert is, ami önmagában csak R_{xx} irányú megtámasztást biztosít a vizsgált gerendáknak. Az R_{xx} elfordulási támaszkomponens értékét 0 kNm/rad merevségtől fokozatosan növelve elértük az 11. ábrán jelölt $1x10^{10}$ kNm/rad értéket. A kritikus nyomaték értékét a 11. ábrán megadott diagramm segítségével mutatjuk be.



	Poz. [m]	Rel. poz. [-]	Exc. [cm]	R_y [kN/m]	R_{xx} [kNm/rad]	R_{zz} [kNm/rad]	R_w [kNm³/rad]
1	0	0	0	1E+10	1E+10	0	0
2	3,000	0,500	0	0	1E+10	0	0
3	6,000	1,000	0	1E+10	1E+10	0	0

11. ábra Az x tengely körüli elfordulást gátló támaszkomponens merevségének hatása (y irányú elmozdulás gátlása nélkül)

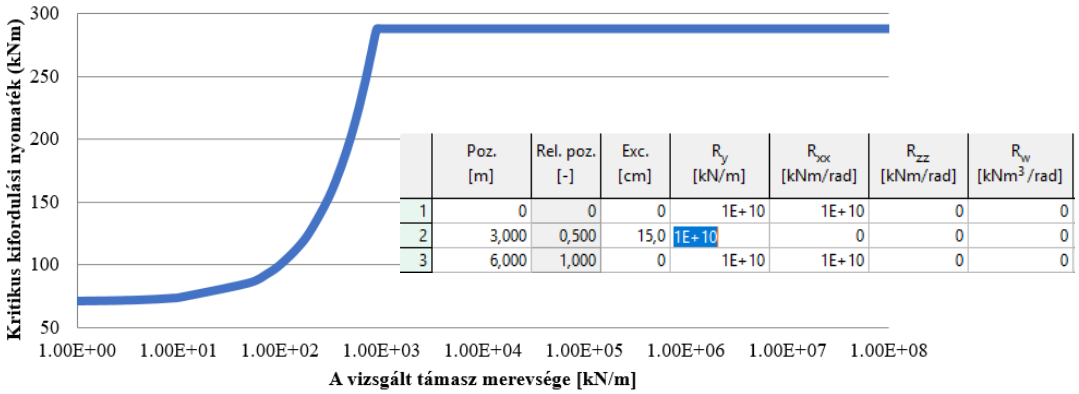
A kritikus nyomaték a középső megtámasztás nélküli eset értékéről indul, maximális értéke megegyezik az 4.2 pontban bemutatott maximális értékkel. Az előző pontban 15 kNm/rad merevségnél értük el a maximális értéket, ehhez képest itt nagyobb merevségnél, 225 kNm/rad értéknél érjük el azt. Biztonság javára egy közbenső gerenda esetén itt is elfogadhatjuk az előző pontban meghatározott 466 kNm/rad értéket, azzal a kiegészítéssel, hogy ebben az esetben a rendszer gátolja önmaga globális y tengely irányú elmozdulását, így az elkülönített gerenda kritikus nyomatéka biztosan kisebb lesz, mint ugyanannak a gerendának a kritikus nyomatéki értéke egy teljes modelles részletes vizsgálat esetén lenne. A merevítő rendszer merevsége elégséges.

5. A FESZTÁV FELÉNÉL A NYOMOTT ÖVNÉL KIALAKÍTOTT MEGTÁMASZTÁS HATÁSA A KRITIKUS NYOMATÉKRA

5.1. A lokális y tengely irányú elmozdulás elleni megtámasztás merevségének hatása

Az 4.1 pontban alkalmazott és a 8. ábrán bemutatott merevítő rendszer síkját a felső (nyomott) övhöz mozgatjuk át. A végpontok oldalirányú elmozdulás és hossztengely körüli elfordulás ellen továbbra is végtelen mereven meg vannak támasztva. A fesztáv felénél elhelyezett megtámasztási pont R_y értékét 0 kN/m merevségtől fokozatosan növelve elértük a 12. ábrán látható $1x10^{10}$ kN/m értéket. A kritikus nyomaték értékét a 12. ábrán megadott

diagramm segítségével mutatjuk be.



	Poz. [m]	Rel. poz. [-]	Exc. [cm]	R_y [kN/m]	R_{xx} [kNm/rad]	R_{zz} [kNm/rad]	R_w [kNm³/rad]
1	0	0	0	1E+10	1E+10	0	0
2	3,000	0,500	15,0	1E+10	0	0	0
3	6,000	1,000	0	1E+10	1E+10	0	0

12. ábra A gerenda felső övén kialakított y irányú támasz merevségének hatása

Az így elhelyezett merevítő rendszer a külpontosság miatt egyszerre jelent elmozdulás elleni megtámasztást és elfordulás elleni megtámasztást is. A kritikus nyomaték kb. 100 kN/m merevségi értékig alig nő a csak a végpontjain megtámasztott gerenda esetéhez képest, utána viszont meredeken emelkedik kb. 1000 kN/m merevségi értékig. A maximális érték megegyezik az 4.2 pontban és az 4.3 pontban vizsgált esettel. A merevítő rendszer merevségére közelítőleg elfogadjuk az 4.1 pontban meghatározott 8163 kN/m értéket. E mellet a gerendák kritikus nyomatéka már eléri a maximális értéket, a megtámasztás merevsége elégséges.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben egy kéttámaszú gerendákból felépített szerkezet mértékadó gerendájának kritikus nyomatékát határoztuk meg változó megtámasztási viszonyok és megtámasztási merevségek mellett. A megtámasztási merevség - kritikus nyomaték diagramok értékeinek előállításához az Axis VM program acéltervezés moduljának „Auto Mcr” számítását használtuk. A kapott eredményeket összevetettük a minta szerkezet egyes megtámasztásainak közelítően meghatározott merevségével. Megállapítjuk, hogy minden vizsgált megtámasztás esetében található egy olyan merevségi érték, ami felett a kritikus nyomaték értéke nem nő tovább, tehát kritikus merevségi értéknek tekinthető. A vizsgált szerkezet számított merevsége több esetben kis mértékben a kritikus merevség alatt maradt, ami azt jelenti, hogy a merevséget figyelmen kívül hagyó számítások a biztonság kárára tévednek.

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **HALÁSZ O., IVÁNYI M.:** *Stabilitáselmélet.* Akadémiai Kiadó 2001. ISBN 963 05 7812 3
[2] **RADNAY L.:** *Tetősíkú diafragma merevségének hatása a keretoszlopok kihajlási hosszára általános keretszerkezetek esetén,* Magész Acélszerkezetek 2014 XI/1, 74-78
[3] *Msz EN 1993-1-1*
[4] **ÁDÁNY S., DULÁCSKA E., DUNAI L., FERNEZELYI S., HORVÁTH L.:** *Acélszerkezetek Tervezés az Eurocode alapján,* Artiflex Kiadó, 2016. ISBN 978-963-7727-05-4
[5] *Axis Auto Mcr Segédlet*

A TÁMOGATÓ TEVÉKENYSÉGEK KÖLTSÉGFELOSZTÁSI PROBLÉMÁI

INTER-SERVICE DEPARTMENT REALLOCATIONS

MUSINSZKI Zoltán

egyetemi docens
Pénzügyi és Számviteli Intézet, Miskolci Egyetem
musinszki.zoltan@uni-miskolc.hu

Kivonat: *A költségek nyomon követése, a termékek és szolgáltatások költségének megállapítása mondhatni, hogy egyidős az iparosodással. Az első ipari forradalom idején a hangsúly a költségek mérésén volt. A termelési folyamatok összetettségének növekedése (vö. ipar 2.0 és ipar 3.0) azonban új kihívásokat jelentett a költségkontrollingban is. Ilyen új kihívás volt a költségek felosztása. Ennek alapjait Taylor és társai nevéhez köthető tudományos vezetési iskola rakta le. A támogató tevékenységek szerepének növekedése, a kölcsönös szolgáltatások kezelése napjainkban újabb megoldandó kérdéseket vet fel. Jelen tanulmány az általánosan elterjedt módszerek mellett – azok előnyeit és hátrányait szem előtt tartva – egy új allokációs eljárást is bemutat.*

Kulcsszavak: *költség, költségfelosztás, támogató tevékenység, reciprok módszer, egyszerűsített reciprok módszer*

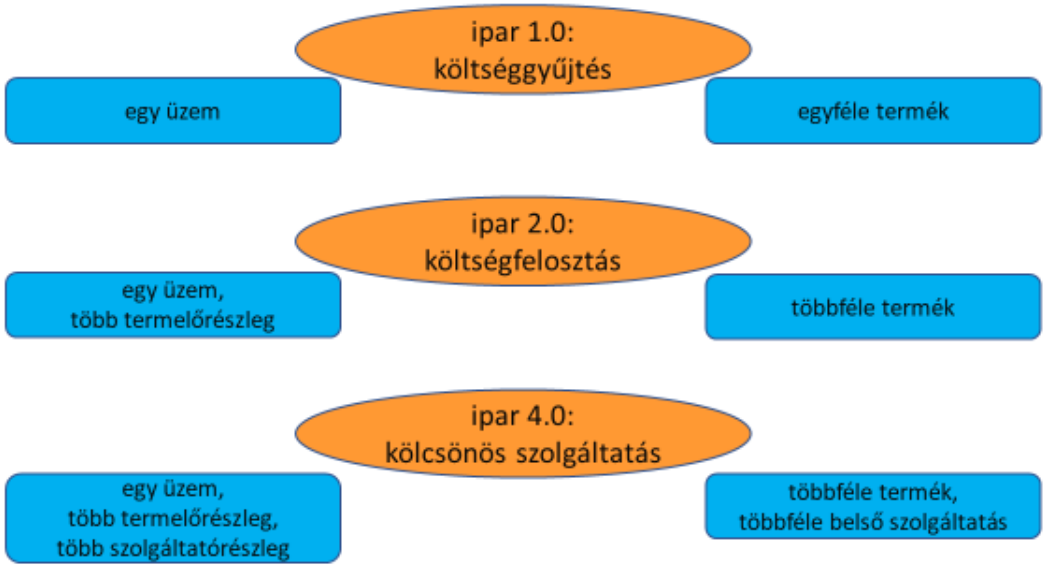
Abstract: *As it can be seen by the examples of economic history, the economic, technical and IT changes can encourage, compel the decision support, controlling and accounting to continuous renascence. During the first industrial revolution the focus was on measuring costs. The increase in the complexity of production processes (see industry 2.0 and industry 3.0), however, has also posed new challenges in cost control. Such a new challenge was the allocation of costs. And what's the new challenge today? Service departments may provide services for other service departments as well as for production departments. When such interactions occur, the allocation process can become complicated. How can this be solved? This study presents some solutions to this.*

Keywords: *cost, cost allocation, inter-service department reallocations, equation method, simplified equation method*

1. A KÖLTSÉGFELOSZTÁS KEZDETEI

Melyik erőforrásból mennyit használunk fel? Mit kapunk cserébe? Mennyibe kerül termékeink, szolgáltatásainak előállítása? Ezekre a kérdésekre a döntéshozók és döntéstámogatók évezredek óta keresik a válaszokat. Hol több, hol kevesebb sikerrel.
A költségek tudatos és rendszerszemléletű lekövetése a gőz és a víz energiájának ipari méretű felhasználásával (ipar 1.0), a vállalati méretek és a termelési folyamatok komplexitásának növekedésével vált kiemelt fontosságúvá. A telephely, a gyár és a tulajdonos központi irodájának földrajzi elkülönülése nemcsak a távoli telephely vezetőinek motiválása, a dolgozók és a vezetők teljesítményének megítélése és a termelékenység nyomon követése és összehasonlítása okán igényelt új módszertani megoldásokat, hanem a munkaerő és az átalakítási folyamat költségeinek elszámolása miatt is. Ezeket az új megoldásokat a gazdaságtörténeti kutatások az 1800-as évek közepére, a textilipar, az Amerikai Egyesült Államok vasúti társaságainak, majd vegyipari és acélipari vállalatainak felvirágzásának idejére vezetik vissza. A gyárak a pénzügyi adatokat elsősorban a végtermékek tényleges költségeinek meghatározására, a munkaerő termelékenységének és az alapanyag felhasználásának nyomon követésére használták. [3, 4, 12, 15] A szűk termékválaszték, a homogén termékek következtében a termelés hatékonysága és a költségek alakulása kapott nagy hangsúlyt. A termelőüzemek és a termelést támogató részlegek funkciók költségeinek

felosztása a homogén termékszerkezet miatt nem jelentkezett problémaként. (Egy termék esetében szükséges a főbb folyamatok, funkciók, szervezeti egységek költségeinek ismerete, de nincs értelme a költségek felosztásának. Ha egy gyár egyféle terméket állít elő nagy mennyiségben, akkor valamennyi felmerült költség az adott terméket terheli.)



1. ábra. Az ipari forradalmak hatásai a költségrendszerek fejlődésére

Az összetett fémmegmunkálással foglalkozó vállalatok megjelenése új problémákat, megoldandó kérdéseket vetett fel. A fémet tömegszerűen átalakító, feldaraboló üzemek a termékek széles választékát állították elő (ipar 2.0), miközben az egyes késztermékek az erőforrásokat eltérő arányban használták fel. Azaz egy-egy termék előállításában több üzem is részt vehet, miként egy-egy üzemben többféle termék is készülhet.
A Frederich Taylor és mérnöktársai nevéhez fűződő tudományos vezetői mozgalom képviselői foglalkoztak először az általános költségek termékhez rendelhetőségével. Az információgyűjtés és feldolgozás magas költségei és az általános költségek viszonylag alacsony aránya egyszerű és olcsó eljárásokat eredményezett. Erre a korszakra vezethető vissza az általános költségek közvetlen munka (munkaóra, bérköltség) alapján történő felosztása a termékekre. A megfelelő vetítési alap megválasztása mai napig viták tárgya. [3, 4, 10, 11, 12, 15, 21]

Mi is az ekkor kigondolt eljárás lényege? Az alapmodell két fő lépésből áll. Elsőként – ha értelmezhető – a (gyártási) általános költségek kerülnek felosztásra a termelő és szolgáltató (termelést támogató) részlegekre, ezt követően történik a szolgáltató részlegek költségeinek felosztása a termelő részlegekre. A második lépés a termelő részlegek költségeinek felosztása termékekre vagy egyéb kalkulációs egységre. (A szolgáltatórészlegek vagy támogató (support) részlegek szolgáltatásokat nyújtanak a többi részlegnek, a termelőrészlegek elsődleges feladata a termékek előállítása. Szolgáltatórészleg lehet például a karbantartás, az energiaellátás, a termelésszervezés, a raktározás, a minőség-ellenőrzés vagy az ügyfélszolgálat. Jellemző termelőrészleg a megmunkáló- és az összeszerelő-üzem. Fontos kiemelni, hogy napjainkban ezek a fogalmak nem szűkíthetők le az ipar és a termelés világára. Például egy kórház esetében a laborok, a takarító és tisztító részlegek, a karbantartók és adminisztratív részlegek mind-mind támogató tevékenységet nyújtanak a „termelésnek”, azaz az egyes kórházi osztályoknak.)

A fenti gondolatokat akkor tudjuk a mindennapokban alkalmazni, ha választ adunk arra, hogy mit és minek az arányában akarunk felosztani. Továbbá mind a két kérdésre számszaki értéket is tudunk válaszul adni. A négy kulcskérdés tehát a következő:

- Melyik részleg költségét akarjuk felosztani?
- Mennyi a felosztandó költség számszerű értéke?
- A költséget mi alapján fogjuk felosztani, (vetítési alap, költségokozó, költségjellemző meghatározása)?
- Mennyi a vetítési alap számszerű értéke?

A kérdések megválaszolása igényli a gazdasági (elsősorban számvitel és kontrolling) és a termelési (vagy „termelési) területek együttműködését. Az első két kérdésben elsősorban a számvitel és a kontrolling részleg érintett. Gondolok itt elsősorban a költséggyűjtés módjára, azaz a költséghelyek, költségviselők, munkaszámok, termékkódok stb. kialakítására és a költségek főkönyvi és kontrolling szemléletű elszámolására.

A vetítési alap megválasztása és mérése már problémásabb. A felosztandó költség és a vetítési alap közötti összefüggés alapján a felosztás ok-okozati vagy önkényes lehet. Ok-okozati felosztásról beszélünk, ha a felosztandó költség és a vetítési alap között ok-okozati összefüggés van. A vetítési alap (költségjellemző, költségokozó (cost driver)) méri a részleg teljesítményét, segítségével felosztható a részleg költsége.

Önkényes felosztás esetén a vetítési alap a felosztandó költségnek nem szignifikáns magyarázó változója. Azaz önkényes felosztás alkalmazásakor a költséggel megterhelt termék/részleg vezetőinek, dolgozóinak teljesítménye nincs hatással a részlegre terhelendő költség összegére. Ebben az esetben vagy:

- nem találtunk olyan mutatót, amellyel mérhető a részleg teljesítménye, vagy
- létezik ilyen mutató, azonban a mérés költsége meghaladja a pontosabb felosztásból származó hasznot.

(Az önkényes felosztás során gyakran alkalmazott vetítési alapokat négy csoportba sorolhatjuk: a/ munkaidő, bérköltség arányos, b/ termelési egység arányos, c/ anyagköltség arányos, d/ előállítási költség arányos.) [5, 6, 15]

Mindez azt jelenti, hogy a költségfelosztás időt, energiát, embert, azaz költséget igényel. Mérni és gyűjteni kell – majd pedig archiválni – a költségeket és a költségokozókat, időről időre pedig el kell végezni az allokációs feladatokat. Megér ennyit a termékek pontosabb előállítási költségének megállapítása? Vagy másképp megfogalmazva: érdemes a költségek felosztásával foglalkozni, ha ennek a folyamatnak mindössze a pontosabb termékköltség az eredménye?

A téma szakirodalma több olyan jelenségre is felhívja a figyelmet, amelyet a költségfelosztás képes kiváltani egy szervezetben.

A költségfelosztás a költségellenőrzést és a hatékonyságot segíti azáltal, hogy a szolgáltatórészlegek vezetőit nagyobb teljesítményre ösztönzi, illetve a termelőrészleg vezetőit a szolgáltatórészlegek teljesítményeinek körültekintő felhasználására ösztönzi. (A költségfelosztás kívánatos magatartást válthat ki a szolgáltatásokat felhasználó részlegek vezetőiből, emlékezteti őket a rezsiköltségek létezésére, a belső szolgáltatások használatára, azaz egyfajta felelősségérzet alakítható ki a költségek iránt. Tudatosítható az, hogy a szervezeten belül felhasznált szolgáltatások nem ingyenesek, ne használjuk fel azokat indokolatlan esetekben és mértékben.)

A szolgáltatást felhasználó − és a szolgáltatás költségével is megterhelt − részleg menedzsmentje:

- nagyobb ellenőrzést gyakorolhat a részlegük által igénybe vett szolgáltatás felett,
- össze tudja hasonlítani a belső és külső árakat,

- egyeztethet a szolgáltatást nyújtó részleggel a szolgáltatás színvonaláról, a minőség és az ár összefüggéseiről.

A szolgáltatórészleg vezetése, amelynek költségeit ráterhelték a szolgáltatást igénybe vevő részlegekre, visszajelzést kap a részlege által nyújtott szolgáltatásról. A visszajelzés hatására a szolgáltatórészleg érzékenyebben reagálhat a felhasználók igényeire, innovációkat, racionálisabb költséggazdálkodást valósíthat meg. [10]

Nincsen azonban rózsa tövis nélkül. Az egymásnak ellentmondó szervezeti érdekek miatt a költségfelosztás konfliktusforrás is lehet. A költségfelosztás tükrözheti az egyes szervezeti egységek erejét, a felosztás módja – az erős érdekcsoportok játékszerévé válhat. [1, 20]

2. A KÖLCSÖNÖS SZOLGÁLTATÁSOK PROBLÉMÁJA

2.1. A kölcsönös szolgáltatások problémája - alapmodellek

A technológia folyamatok fejlődése, az automatizáció és az információtechnológia előretörése hatást gyakorolt a szervezetek felépítésére és költségeire is. Megfigyelhető, hogy az elmúlt évtizedekben a termékek, szolgáltatások előállítási költségének egyre kisebb arányát teszik ki a közvetlen költségek, egyre nagyobb arányúak a felosztott költségek. Egyre csökken a termékek, szolgáltatások előállításában közvetlenül részt vevő emberek és szervezeti egységek aránya, miközben egyre nagyobb számosságú és arányú a támogató területek szerepe. [2, 13, 14, 16, 19, 22] Ebben a helyzetben a költségfelosztás során egy újabb kihívással nézhetünk szembe. Újabb probléma akkor adódik, ha ezek a (szolgáltató)részlegek egymásnak is nyújtanak szolgáltatásokat. Például a személyzeti osztály szolgáltatásokat nyújt más szolgáltatórészlegek, mint például az áramellátás, karbantartás és raktárak számára. Mindemellett az áramellátó üzem is biztosít szolgáltatásokat (például hő és villany) a szolgáltatórészlegeknek, beleértve a személyzeti osztályt is. Amikor ilyen kölcsönhatások történnek, a felosztási folyamat bonyolulttá válhat. Az angolszász és német szakkönyvek [vö. 5, 6, 7, 8, 9, 10, 17, 18] a felosztás során alkalmazható módszerek közül az alábbiakat emelik ki:

- közvetlen eljárás,
- lépcsőzetes eljárás,
- reciprok (egyenlet) eljárás.

A közvetlen eljárás a szolgáltatórészlegek változatlanul hagyott költségeit korrigált vetítési alappal osztja fel. Az eljárás figyelmen kívül hagyja a szolgáltatórészlegek közötti teljesítményeket, az egyes szolgáltatórészlegek összes költségét közvetlenül a termelőrészlegekhez rendeli. A szolgáltatórészlegek költségszámláinak egyenlege nullára csökken, a szolgáltatórészlegekhez nem rendelünk már költséget sem más szolgáltatórészlegtől, sem egyéb egységtől. Az eljárás egyszerű, azonban a kölcsönös szolgáltatásban érintett részlegek mentesülnek az általuk igénybe vett belső szolgáltatások költségeitől. A kölcsönös szolgáltatásban nem érintett részlegeket viszont nagyobb arányban fogjuk megterhelni felosztott költséggel, mint amilyen arányban felhasználták a szolgáltatásokat. Ebből következően az eljárás használata akkor ajánlott, ha a kölcsönös szolgáltatásban érintett részlegek csak kis mértékben használják fel más részlegek teljesítményeit és / vagy költségeik értéke a többi tevékenységhez viszonyítva nem jelentős.

A költségeket is, és a vetítési alapokat is módosító eljárások közül viszonylag széles körben alkalmazott eljárás a lépcsőzetes módszer. A lépcsőzetes eljárás során a szolgáltatórészlegek

költségei meghatározott sorrendben kerülnek felosztásra a termelő- és szolgáltatórészlegekre. Azon szolgáltatórészlegekre, amelyek költségei korábban felosztásra kerültek, már nem terhelünk költséget, azaz a sorrendben későbbi szolgáltatórészleg költségeinek felosztásakor figyelmen kívül hagyjuk azt a szolgáltatás, amelyet a szolgáltatórészleg a már felosztott szolgáltatórészlegeknek nyújtott. A felosztási sorrend nagymértékben befolyásolja a felosztás pontosságát. A felosztási sorrend meghatározás jellemzően a termelési folyamatok sorrendjét képezi le. A folyamatszemlélet mellett érvényre juthat a lényegesség elve. Ebben az esetben az eljárást azzal a szolgáltatórészleggel javasolt kezdeni, amelyik a legnagyobb arányban működik közre más osztályok ellátásában; ezután jön a második legnagyobb arányban közreműködő részleg, és így tovább. (Az arány meghatározható többek között a részleg teljesítményének vagy költségének alapján.) A sorrend helyes megválasztásával viszonylag kevés visszaosztandó, de visszaosztásra nem kerülő költséget hagyunk figyelmen kívül. A közvetlen és a lépcsőzetes eljárások hátránya, hogy egyirányúak, azaz visszaosztást nem végzünk.

A reciprok eljárás – amit egyenlet vagy matematikai eljárásnak is neveznek – figyelembe veszi a kölcsönös szolgáltatásokat, a költségfelosztási eljárást többismeretlenes egyenletrendszerre vezeti vissza. A reciprok eljárás a legpontosabb és legköltségesebb eszköze a költségátkönyvelésnek, a felosztás sorrendje nincs torzító hatással az eredményre. Az eljárás megköveteli mindenekelőtt egy lineáris egyenletekből álló modell felállítását. Ezek az egyenletek tartalmazzák a más részlegektől kapott teljesítménymennyiségeket és a részlegek felosztás előtti költségeit, mint ismert értékeket. A részlegek mindenkori összes költségei ismeretlenek. Az ismeretlenek száma megfelel ezen részlegek számának. A felosztandó költségeket az egyenletrendszer megoldása adja. A költségekből valamennyi olyan részlegre terhelünk, amely az adott részleg teljesítményét felhasználta. A módszer tehát nem igényli a vetítési alapok korrekcióját, viszont a felosztandó költségek korrekciójára az egyenletrendszer megoldásának függvényében sor kerülhet. [15, 16]

2.2. A kölcsönös szolgáltatások problémája - az egyszerűsített reciprok módszer

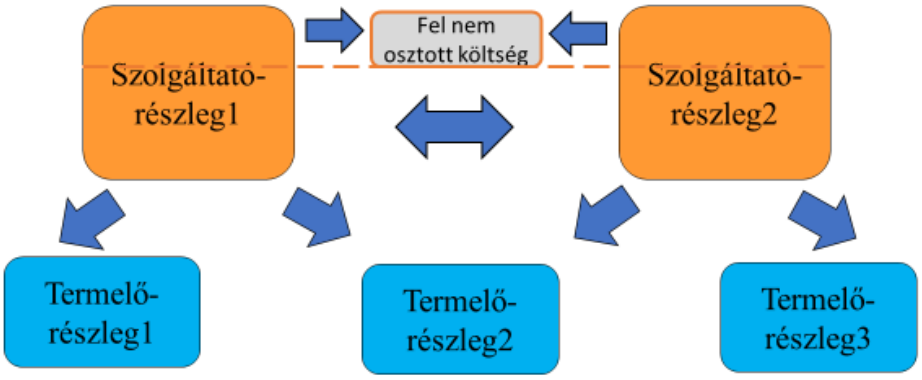
Pontossága ellenére − szemben a közvetlen és a lépcsőzetes módszerrel – a bővebb matematikai ismereteket igénylő reciprok módszer nem terjedt el széles körben. [10] Ugyanakkor a reciprok módszer több jó tulajdonságát megtartva kidolgozható egy olyan eljárás, amely nem igényli a felosztandó költségek és a vetítési alapok korrekcióját.

1.táblázat. A költségek és a vetítési alapok viselkedése

Vetítési alap \ Költség	**Nem változik**	**Részben változik**	**Mind változik**
Nem változik	X	reciprok	reciprok
Részben változik	közvetlen	lépcsőzetes	
Mind változik	közvetlen		

Ebben az esetben az eljárás lefolytatása az általános szabályok szerint történik. Valamennyi részleg költsége felosztásra kerül mindazon részlegekre, amelyek az adott részleg szolgáltatásait igénybe vették. Sor kerül tehát visszaosztásra, azaz a később felosztott részleg költségéből felosztunk és visszavezetünk költséget a már korábban felosztott részlegre is. (A

felosztási sorrend meghatározása ebből adódóan érdektelen.) A visszaosztás következtében így a részlegek költségszámláin továbbra is maradnak egyenlegek. Mit is tegyünk ezzel a visszaosztott összeggel? Legegyszerűbb módja az, ha az egyenlegeket újabb felosztás nélkül átvezetjük a fel nem osztott költségek közé.



2. ábra. Az egyszerűsített reciprok módszer működési mechanizmusa

Felmerül a kérdés, hogy mi értelme van egy olyan költségfelosztási módszernek, amely úgy osztja fel a szolgáltatórészlegek költségeit, hogy a felosztást követően a részlegek költséggyűjtőinek egyenlege nem nulla. Azaz a költségfelosztást követően marad fel nem osztott költség. Különösen abban az esetben, amikor ez a fel nem osztott érték összegében és / vagy arányában nem jelentéktelen.
Az alapmodell természetesen módosítható, és így a felosztás eredménye is pontosabbá tehető. Az egyik lehetőség, hogy az eljárást megismételjük. Az ismételt felosztási eljárás során a felosztást mindaddig folytatjuk, amíg a visszaosztott költségek értékei vagy részarányai elég alacsonyak nem lesznek, vagy a felosztási algoritmus előre meghatározott számban nem ismétlődik.
Módosítható az eljárás úgy is, hogy a visszaosztott összeget figyelembe vesszük az adott részleg költségeinek felosztásakor. Ebben az esetben a felosztási sorrend meghatározása már kihat a végeredményre. Természetesen ez az eljárás is ismételhető mindaddig, amíg a visszaosztott költségek elég alacsonyak nem lesznek, vagy a felosztási algoritmus előre meghatározott számban nem ismétlődik. [15, 16]

3. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **AHMED, M. N.. – SCAPENS, R. W.:** *Cost Allocation Theory and Practice: The Continuing Debate.* **In. ASHTON, D. – HOPPER, T. – SCAPENS, R. W. (ed.):** *Issues in Management Accounting.* **Prentice** Hall, New York, 1991., pp. 39-60.
[2] **BÖCSKEI, E. – HÁGEN. I.:** *Menedzsment control – a számviteli mutatószámoktól a versenyképes stratégiáig,* ACTA CAROLUS ROBERTUS 7:(2) pp. 19-36. (2017)
[3] **CHANDLER, A. D.:** *The visible hand.* Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, London, 13th Edition, 1995.
[4] **DEMÉNY, A. – MUSINSZKI, Z.:** *Social Accounting - In the Wake of the Sustainability,* Theory Methodology Practice, 2016. Volume 12, Number 2, pp. 26-40.
[5] **DRURY, C.:** *Management and Cost Accounting.* 6th edition, Thomson Learning, 2004.
[6] **DRURY, C.:** *Management and Cost Accounting.* 7th edition, Thomson Learning, 2008.

[7] **HORNGREN, C. T. – FOSTER, G.:** *Cost Accounting: A Managerial Emphasis***.** Prentice Hall, London**,** 1987.
[8] **HORNGREN, C. T. – DATAR, S. M. − FOSTER, G. M.**: *Cost Accounting: A Managerial Emphasis.* Prentice Hall, 12th Edition, 2006.
[9] **HORNGREN, C. T. – DATAR, S. M. − RAJAN, M. V.:** *Cost Accounting: A Managerial Emphasis*. Prentice Hall, 14th Edition, 2012.
[10] **KAPLAN, R. S. – ATKINSON, A. A.:** *Vezetői üzleti gazdaságtan, Haladó vezetői számvitel.* Panem Könyvkiadó, Budapest, 2003.
[11] **KAPLAN, R. S. – COOPER, R.:** *Költség & Hatás, Integrált költségszámítási rend-szerek: az eredményes vállalati működés alapjai.* Panem – IFUA Horváth & Partner, Budapest, 2001.
[12] **LOFT, A.:** *The History of Management Accounting: Relevance Found.* **In. ASHTON, D. – HOPPER, T. – SCAPENS, R. W. (ed.):** *Issues in Management Accounting.* Prentice Hall, New York, 1991., pp. 7-38.
[13] **MOLNAR, V.:** *Indirect Impacts of Drastic Scrap Rate Reduction on Costs of Production Process in Precision Machining*, Solid State Phenomena, 2017, pp.487-494.
[14] **MOLNÁR V. − TUMIK Á:** *Várakozási veszteségből adódó költségek Lean Six Sigma megközelítésben: egy ABC-alapú döntési modell,* Controller Info, 2017/1, pp.35-40**.**
[15] **MUSINSZKI, Z.:** *Költségallokációs problémák és megoldások***.** Controller Info, 2015/4., pp. 2-10.
[16] **MUSINSZKI, Z.:** *A kölcsönös szolgáltatások helye és szerepe az önköltségszámítási szabályzatban***. In: BOZSIK, S. (szerk.):** *Pénzügy-számvitel-statisztika füzetek II.: 2016*. Miskolci Egyetemi Kiadó, 2017. pp. 52-64.
[17] **SCHULTE, R.:** *Kostenmanagement: Einführung in das operative Kostenmanagement*. Oldenbourg Verlag, München, Wien, 2000.
[18] *F2 Study Text Management Accounting.* Emile Woolf Publishing Limited, 2nd Edition, 2010.
[19] **VÁRKONYINÉ JUHÁSZ, M.:** *Értékeink alulértékelve I.: A piaci érték és a könyv szerinti érték közötti eltérés vizsgálata*, Controller Info, 2014/2, pp. 44-50.
[20] **VERESNÉ SOMOSI, M. – KOCZISZKY, GY.:** *Performance-based management of public utility organizations.* **In: ZÉMAN, Z. – MAGDA, R. (szerk.):** *Controller Info Studies II.* Budapest: Copy & Consulting Kft., 2018. pp. 146-152.
[21] **ZÉMAN, Z. – BÁCS, Z. – BÁN, E. – FENYVES, V.:** *Hiteles vagy "félrevezető" számviteli információk értékelése a nemzetközi és magyar gyakorlat összehasonlításában.* Controller Info, 2016/3, pp. 52-57.
[22] **ZÉMAN, Z. – GÁBOR, Á.:** *Az innovativ BSC a controlling alkalmazásában, azaz az innováció kontrollja,* A Controller, 2012/11-12., pp. 4-9.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, Az intelligens, fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi, technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitális gazdaságban című projekt támogatta.
A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

AUTOMATIZÁLT RETESZHORONY MEGMUNKÁLÁSI TECHNOLÓGIÁK TERVEZÉSE

PLANNING OF AUTOMATED MACHINING TECHNOLOGIES OF KEYSEATS

NEMES Dániel[1], BODZÁS Sándor[2], GÉRESI Zoltán Gergő[3]

[1]*B.Sc. Gépészmérnök hallgató, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék,*
E-mail: nemsdaniel97@gmail.com

[2]Ph.D., főiskolai docens, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék,
E-mail: bodzassandor@eng.unideb.hu

[3]CNC technológus, Debreceni Egyetem, Gépészmérnöki Tanszék

Kivonat: *A kutatás célja egy számítógépes program készítése, mely alkalmas egy reteszhorony megmunkálásához szükséges CNC program generálására. Ehhez a Matlab programot használtuk. További célunk volt még a Matlab ismereteink elmélyítése. Mindezen célokat sikeresen teljesítettük, azonban maradtak még fejlesztési lehetőségek.*

Kulcsszavak: *Matlab; reteszhorony; CNC*

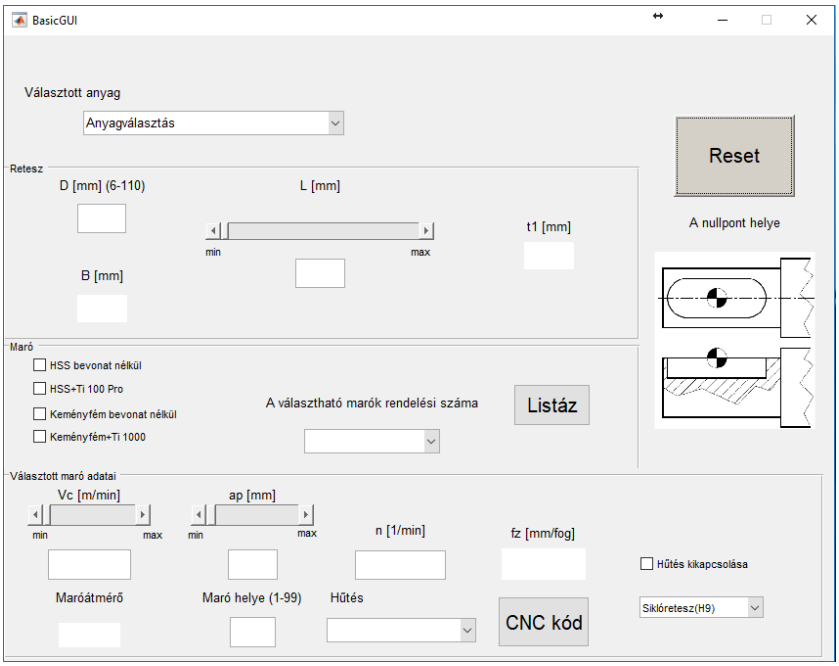
Abstract: *The aim of the research is to make a computational program that is suitable for generating a CNC program for keyseat machining. We have used the program Matlab for this, and our further aim was to expand our knowledge in Matlab. We were able to achieve all of these, however, there are still opportunities to improve.*

Keywords: *Matlab; keyseat; CNC*

1 BEVEZETÉS

Egy hétköznapi CAM programot jellemzi a sokrétű felhasználhatóság, azonban ehhez a felhasználónak számos ismerettel kell rendelkeznie, használata bonyolult, valamint az ilyen programok licensze költséges. További hátránya még, hogy használata során a szerszámadatokat, valamint a rájuk jellemző forgácsolási paraméteretek a felhasználónak kell megadni. Az általunk készített programban már számos szerszám került betáplálásra a WNT Magyarország kft. cég szerszámkatalógusa alapján. A könnyű kezelhetőség és átláthatóság érdekében a programnak grafikus felhasználói felülettel kell rendelkeznie (lásd későbbiekben GUI). Azért, hogy minél gyorsabb és eredményesebb legyem a program használata szükséges még a technológiailag elkülöníthető részeket külön blokkban kezelni. A programom kinézetét az *1. ábra* mutatja. A program feliratozása magyar nyelvű azonban az esetek többségében a nemzetközi jelöléseket alkalmaztam. Később az angol nyelvi opció is betáplálásra fog kerülni. A kezelhetőség mellett törekedtünk mindinkább a letisztult, egyszerű megjelenésre. A GUI készítése előtt kutatómunkát kellett végeznünk, ugyanis mint már említettem a kutatás egyik célja az önképzés volt. Véleményem szerint erre egy ehhez hasonló projekt a legalkalmasabb. A szükséges ismereteink jórészét Soyan Gisbert: *Matlab* könyvből [1], valamint internetes oktatóvideókból szereztük. Az objektumok a Matlab-on belül a Guide programrész készletét felhasználva készültek. A különböző ablakok egyértelmű feliratozással vannak ellátva, kitöltésüknek sorrendje tetszőleges, azonban a technológia szempontjából főbb lépések sorrendje kötött. Ez a programon belül feltételvizsgálatokkal vannak kivitelezve, melyekhez megfelelő hibaüzenetek is társulnak.

Az ablakok rendelkeznek Tooltip funkcióval is, vagyis, ha az adott ablak fölé visszük a kurzort, egy rövid, de a fejlécnél bővebb információt ír ki az ablakról. A helyesen kitöltött mezők háttérszíne zöldre állítódik automatikusan. A program kizárja a hibás értékmegadást, így csak szám karakter adható meg, illetve csak az intervallumon belüli érték elfogadott.



1.ábra. A program megjelenése

Az adatok könnyű kezelésére szükséges volt egy jól strukturált adatbázis készítése. Az egyszerűség kedvéért mi ezt Excelben készítettük el, és ezt importáltuk be a programomba. Ezen adatbázis elkészítése igen hosszú folyamat volt, melyet mi csak korlátozott teljesítménnyel tudtuk létrehozni. Ennek azonban kiváló eredménye lett a későbbiekben.

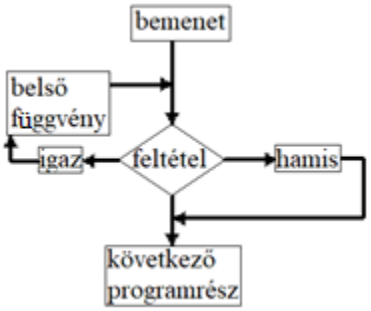
2 A PROGRAM HASZNÁLATA

2.1 Anyagválasztás

A választható anyagok főbb tulajdonságaikkal vannak definiálva a WNT katalógus szerin. Ezt a csoportosítási rendszert alkalmaztuk mi is, ahol megadott anyagokhoz – acél, alumínium, műanyag stb. – megadott folyáshatár intervallumokat ad meg. A felsorolás sorrendje mindenhol megegyezik, így könnyítve meg az azonosítást.

2.2 Reteszkiválasztás

A tengelyátmérő megadásával egy while ciklussal keresi ki a program a megfelelő sorát a táblázatnak. A while ciklus folyamatábrája a *2. ábrán* látható.



2.ábra. A while ciklus folyamatábrája

A while ciklus sajátossága, hogy mindaddig ismétlődik, amíg a feltétel teljesül. Erre különösen oda kell figyelni, mert ha a belső függvény után mindig teljesül a feltétel, könnyen egy végtelen ciklust lehet megírni. A programban ez a következőképpen néz ki:

while D>A(i,2)
i=i+1;
end

ahol:

D – tengelyátmérő
A(i,2) - a táblázat i-edik sorának második eleme

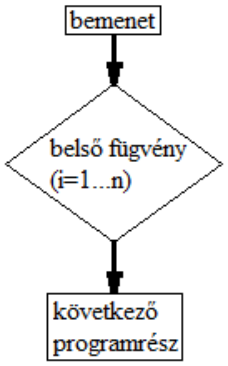
Az „A” táblázat első oszlopa a tengelyátmérők alsó határa, a második oszlopa a tengelyátmérők felső határa (csakúgy mint ahogyan az a DIN 6885 szabványban szerepel). Abban az esetben, ha az A(i,2)=D akkor a következő sor kerül kiválasztásra, ugyanúgy, mint az ISO tűrésosztályok esetében. Amint megvan a kiválasztott sor, annak elemeit könnyen ki tudjuk válogatni a fent leírt módon. Ezután automatikusan kiíratásra kerül a retesz szélessége, mélysége. Hosszméretét pedig egy csúszkán állíthatjuk be, melynek alsó és felső értéke a választható hossz intervallum alsó és felső értékének felel meg. Egyéb opcióként az alatta lévő ablakban megadhatjuk a pontos értéket. A minimális és maximális hossz túllépés, illetve a helytelen karakterbevitel itt is kizárt. Hibaüzenettel a felhasználó pontosan megtudhatja, hogy mi a hiba.

2.3 A maró kiválasztása

A maró kiválasztása már egy ennél összetettebb feladat, ugyanis a kiválasztott maró függ a retesz szélességétől, az anyagminőségtől, továbbá az általunk választott marótípustól – azon belül, hogy HSS vagy keményfém szerszám fontos még, hogy van-e bevonat a szerszámon. A programunkban jelenleg a HSS hosszlyukmarók és a tömör keményfém mini marók érhetőek el, és ezeknek bevonatos változatai.

A reteszhorony szélességének 80%-át egészre kerekítve a maróátmérőt kapjuk, azonban ha nincs pontosan akkora maró a választott típusból, akkor az annál maximum 2 mm-el kisebb marók kerülnek listázásra, vagyis $0<(D_{maró}-D_{választott})<2$.

Például ha a maróátmérő 11 mm-nek kellene lennie, de csak 8,5;9;9,5;10;12, akkor a 9,5 és 10-es maró kerül listázásra. Természetesen a maró átmérőjének meg kell haladnia a reteszhorony szélességének a felét, ezzel biztosítva az eredményes megmunkálást. A program erre is figyel. Vannak anyagok, melyek megmunkálására nem alkalmas egyik-másik marótípus, a program ezt is figyelembe veszi. Ezt az összetett szeparációt egy for ciklusba ágyazott többszörösen összetett elágazással valósítottam meg. A for ciklus hasonló a már fent említett while ciklushoz. Egyedisége abban rejlik, hogy egy előre megadott számú ciklust tesz meg, amit mi szabunk meg (i=1…n). A for ciklus folyamatábrája a *3. ábrán* látható.



3.ábra. A for ciklus folyamatábrája

A ciklusokon belül érdemes a ciklusváltozótól függő műveletet végrehajtatni. Az n a szerszámlista elemszáma, így az összes marót sorra vizsgálja, hogy megfelel-e a követelményeknek. Ez abból áll, hogy az adott maró egyenlő-e az előzetesen számított maróátmérővel, majd sorra veszi a marótípusokat. Egy-egy marótípushoz tartozó értékeket logikai ÉS kapcsolattal, és a kapott értékeket logikai VAGY kapcsolattal kötöttem össze. Szimbolikus jelölésük:

logikai ÉS- &

logikai VAGY- |

Például: Ha ki van választva a „HSS maró bevonat nélkül”, és ezzel a marótípussal megmunkálható az adott anyag, illetve a szerszámlistában megfelel az adott marótípus azonosítója, akkor listázásra kerül a maró. Nem megengedhető, hogy egy HSS maró listázása esetén egy tömör keményfém marót is listába vegyen. Mi ezt a következő azonosítókkal oldottuk meg:

HSS bevonat nélkül-0; HSS bevonattal-1; Tömör keményfém bevonat nélkül-2; Tömör keményfém bevonattal-3.

Abban az esetben, ha a maró átmérő feltétele nem teljesül, akkor alkalmazza a maximum 2 mm-el kisebb marókra ugyanezt a feltételcsoportot. A *Listáz* gombra kattintva ez a folyamat gyorsan lezajlik, és egy Pop-up menüből kiválaszthatjuk az alkalmazni kívánt marótípust. Ezt követően az objektum háttérszíne zöldre állítódik. Látható, hogy ennek az automatizálása nem

egyszerű, és kellőképpen át kell tanulmányozni a katalógust a helyes szerszám kiválasztásért. Ezt egy ilyen, vagy egy ehhez hasonló program nélkül rendszeresen el kellene végezni, ezzel igazolható a kutatás létjogosultsága.

2.4 A technológiai paraméterek kiíratása, beállítása

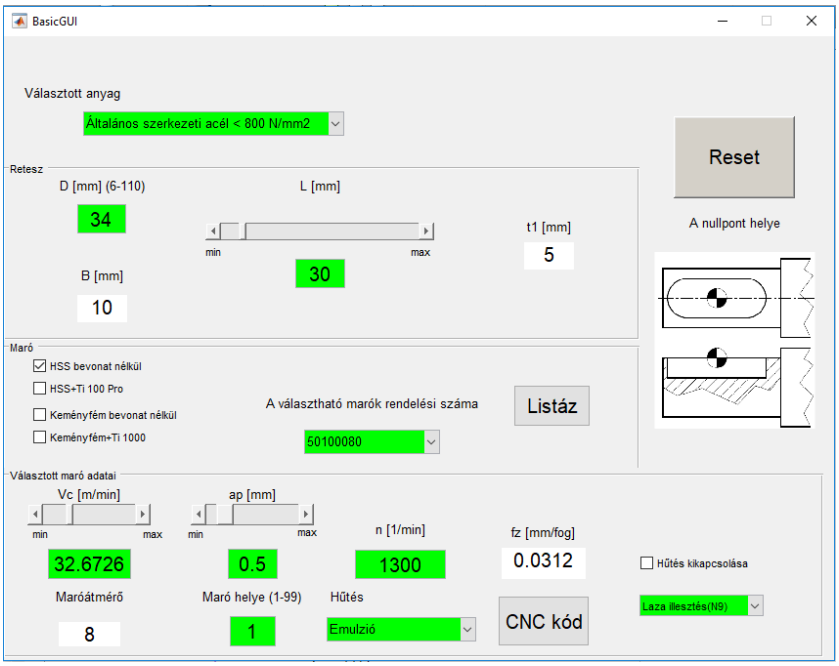
A maró beállítása után a hozzátartozó forgácsolósebesség és fogásmélységet adott értékek között változhatnak. Ez a retesz hosszának beállításához hasonló módon van megoldva. Mivel a gépkezelő a főorsó percenkénti fordulatszámát tudja közvetlenül beállítani, így az szükséges, hogy átszámolás nélkül közvetlenül megadható legyen a fordulatszám. Az átszámításhoz szükséges összefüggés.

$$n_{sz} = \frac{v_c.1000}{D_s.\pi}, \tag{1}$$

ahol:

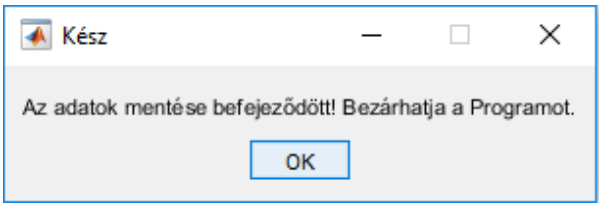
n_{sz} – A főorsó percenkénti fordulatszáma
v_c – A forgácsolósebesség
D_s – A maró átmérője

A határértékek túllépése itt sem lehetséges. A gépkezelőnek meg kell adnia a szerszám helyét a szerszámgépen, melyet 1-től 99-ig adhat meg. Ennek a CNC program generálásakor lesz szerepe. A katalógus előírja az adott marótípushoz és anyagtípushoz milyen hűtést lehet alkalmazni. Ennek a kiválasztását egy már ismert Pop-up menüből tehetjük meg. A listázás sorrendje olyan, hogy előre az elsődlegesen ajánlott hűtésmód kerül. A technológiában járatos hűtésmódok az emulziós hűtés, minimál kenés, sűrített levegős hűtés. Ezt azonban adott esetben ki lehet kapcsolni, viszont ezt kizárólag a gépkezelő felelősségére. A retesz tűrését is egy Pop-up menüből választhatjuk ki, ezek a laza-, szilárd illesztéshez, illetve siklóreteszhez szükséges tűrésmezők. A program a tűrésmező közepére méretezi a reteszt, a további korrekciót a gépkezelő szerszámkorrekcióval állíthatja be. Ezután a *CNC program* gombra kattintva a megszokott Windows-os ablakban választhatjuk ki a mentés helyét és a CNC program nevét. A műveletek elvégzése után egy a *4. ábrán* látható ablakhoz hasonló képet kapunk.



4.ábra. Példabeállítások

A mentés sikerességét egy felugró ablak jelzi, mely *5. ábrán* látható.



5.ábra. A mentés sikerességét jelző felugró ablak

A CNC program generálása során 2 fájl kerül mentésre, az egyik maga a CNC program, a másik egy hozzá tartozó paraméterlista, ami tartalmazza a program beállított paramétereit, hogy később nyomon követhető legyen, hogy mihez lett generálva a CNC program.

3 ELÉRT EREDMÉNYEK

A program kiválóan teljesítette az elvárásokat. A szerszámadatbázis bővítésével, valamint új megmunkálási stratégiák bevezetésével tovább növelhető a program értéke. Készült egy próbagyártmány is mely a *6. ábrán* látható. A program futtatása, az általa generált CNC program, és a munkadarab kifogástalan volt.



6.ábra. Próbagyártmány

4 ÖSSZEFOGLALÁS

A programnak jelenleg annyi korlátja van, hogy részletes programozási ismeretek, elegendő szabadidő, valamint kiterjedt fejlesztőcsapat híján csak reteszmarás technológiája valósítható meg vele. Ez a kutatás egy vállalati felkérés esetén olyan színvonalra fejlődhet mely képes komolyabb ipari célokat ellátni. Ezzel a programmal lehetőség nyílik egy gépkezelő számára leegyszerűsíteni és felgyorsítani a reteszmarás folyamatát egy maszek műhely rugalmasságával összemérhető módon egy specializált vállalat pontosságával. A program további fejlesztésével egy olyan ipari megoldás hozható létre, mely igen nagy előnyt nyújthat bármely műhelyben. A lehetőségeinket folyamatosan térképezzük fel és valósítjuk meg az érdekében, hogy minél jobban kinőhesse magát ez a program.

5 FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **SOYAN G.**: *Matlab,* Typo TEX, 2005
[2] **BODZA P.**: *CNC technológia és programozás I.Programozás*, NSZI,2017
[3] **DUDÁS I.**: *Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai,* Miskolci Egyetemi Kiadó, 2000, ISBN 963 661 342 7
[4] **WNT**: Mastertool katalógus
[5] **FRIDRIK L. - LESKÓ B.***: A gépgyártástechnológia alapjai,* Budapest, 1987

MELEG FÉMPORSZÓRÁSSAL FELÜLETKEZELT KULTIVÁTOR KAPÁK VIZSGÁLATA TALAJMŰVELÉS UTÁN

IMPROVEMENT OF TILLAGE ELEMENTS WITH HOT METAL SPRAY FUSING

PÁLINKÁS Sándor[1], FAZEKAS Lajos[2], GINDERT-KELE Ágnes[3], JÁSZAI Zoltán István[4], MOLNÁR András[5]

[1] Ph.D., adjunktus
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: palinkassandor@eng.unideb.hu

[2] Ph.D., főiskolai tanár
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: fazekas@eng.unideb.hu

[3] Ph.D., egyetemi docens
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: battane@eng.unideb.hu

[4] Gépészmérnök hallgató
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 4028 Debrecen, Ótemető u. 2-4.
e-mail: jaszaizoltan93@gmail.com

[5] PhD hallgató
Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Anyagszerkezettani és Anyagtechnológiai Intézet, Mechanikai Technológiai Intézeti Tanszék, 3515 Miskolc-Egyetemváros
e-mail: a.molnar2007@gmail.com

Összefoglaló: *A mezőgazdasági termelés hatékonyságát jelentős mértékben befolyásolja az ott használt erő- és munkagépek állapota. A kívánt terméshozam elérésében többek között komoly szerepe van a megfelelő talajállapot kialakításának és fenntartásának. A talajművelő gépek művelő elemei különösen nagy mechanikai igénybevételnek és jelentős koptató hatásnak vannak kitéve, ezért indokolttá vált a munkafelületi réteg és élettartamuk közötti összefüggés vizsgálata. Például egy kultivátoron jelentős számú lúdtalpkapa található, ezért egy jól megválasztott rétegfelviteli technológiával gyártott kapák alkalmazása jelentős mértékben csökkenti a költségeket, és a művelés során nagyobb területteljesítmény érhető el.*

Kulcsszavak*: meleg fémporszórás, élettartam javítás, mezőgazdasági munkagépek*

Abstract: *The efficiency of agricultural activity is significantly influenced by the condition of power machines used in the agricultural production. Among others, the formation and maintenance of suitable soil-conditions play a very important role in obtaining the desired harvest yield. The implement tools of tillers are exposed to an extraordinary high load and a significant wear, therefore it is necessary to investigate the relationship between their active layer and durability. For example, a cultivator is equipped with a lot of cultivator tines, the expenses can significantly be decreased by the use of cultivator tines made by a well-chosen layer build-up technology and a higher yield/agricultural area can be obtained during the cultivation*

1. BEVEZETÉS

A hagyományos értelemben vett felrakó hegesztés [1] és a különböző fémporszórási technológiák [3] alkalmazása során új felület felvitelével a jelentős igénybevételnek kitett alkatrészek kopásból eredő méretcsökkenését, esetleg kitörését pótolni, illetve ezek felületminőségét javítani lehet. Ezzel a megoldással egyszerűsíthető a gépelemek kialakítása és gazdaságossági szempontból is jelentős megoldás, mivel nem kell cserélni az egész munkadarabot [2]. A felrakó hegesztés során kisebb fajlagos lángerősséget használnak, a varratok nem mélyek, hanem inkább szélesek.

A mezőgazdaság különböző területein alkalmazott munkagépek esetén jelentős mértékű kopással találkozhatunk (1. ábra). Mivel a Magyarországon élő emberek jelentős hányada mezőgazdasággal foglakozik, így fontos azon ismeretek megszerzése, amellyel költséghatékonyságot és eredményes földművelést lehet elérni. Kutatásunk jelenlegi szakaszában kísérleti célból szabadalakító kovácsolással legyártott kultivátorkapák hőkezelését és meleg fémporszórását végeztük el az élettartamuk vizsgálata céljából.

Kukoricakombájn csőtörő adapterének szárzúzó kése és tárcsája

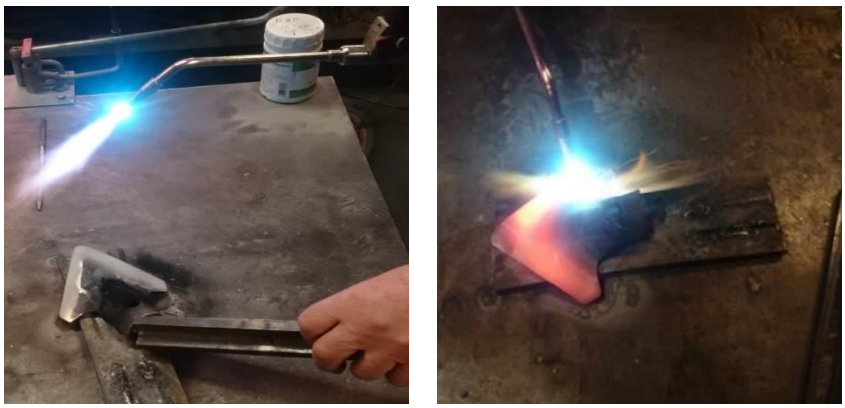
Kombinátorokon és kultivátorokon használatos lúdtalpkapa



1. ábra: Kopott mezőgazdasági gépalkatrészek

2. A KULTIVÁTORKAPÁK MELEG FÉMPORSZÓRÁSA

Kísérleteinket a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Hegesztő Laboratóriumában végeztük. A fémporszórást UTP variobond típusú meleg szórópisztollyal a 2. ábrán bemutatott módon végeztük.



2. ábra: Az ötvözetpor rétegfelvitele meleg fémporszórással

A meleg fémporszórás egy olyan bevonatfelviteli módszer, amelyben a kiinduló anyag folyékony vagy képlékeny állapotig való hevítése, porlasztása, bizonyos sebességre való felgyorsítása és a munkadarabra - alapfémre - lánggal történő szállításán (felszórásán) alapul.

A lánggal végzett felszórási eljárás alkalmazása során a felszóró készülékbe (pisztoly, égő, stb.) bevezetett anyag (huzal, pálca, por) megolvad vagy képlékennyé válik és a lángon áthaladva a munkadarab felületének ütközve összefüggő réteg alakul ki. A szóróanyag (pálca, huzal, por, stb.) leválasztását vagy a részecskékre bontását és azok kinetikai energiájának megnövelését valamilyen gyorsító gázzal – általában sűrített levegővel – segítik elő, eszerint a hőenergia forrása a gázláng, amely oxigén-éghető gáz (acetilén, földgáz, propánbután, hidrogén, stb.) elegyének égésekor keletkezik [4].

3. AZ ELKÉSZÍTETT MUNKADARABOK HASZNÁLATA TALAJ-ELŐKÉSZÍTÉSI MUNKÁLATOKHOZ

A kísérleti darabokat átadtuk Illyés János hajdúszováti mezőgazdasági vállalkozónak, aki ezeket felszerelte a munkagépre és 200 hektár földterület talaj-előkészítési munkálatait végezte el. A kapák tömegét használat előtt és a 200 hektár művelése után is lemértük, az eredmények összefoglalását a 3. táblázatban mutatjuk be.

3. táblázat: A kultivátorkapák tömege használat előtt és után

Próba száma	*Elvégzett műveletek*	*Munkadarab tömege [g]*		
		Használat előtt	*Használat után*	*Különbség*
1.	*10009 Borro Tec*	*246,89*	*199,1*	*46,98*
2.	*10009 Borro Tec*	*245,82*	*187,33*	*58,49*
3.	*10009 Borro Tec*	*251,57*	*198,41*	*53,16*
4.	*N 60 Mogul*	*248,54*	*197,34*	*51,2*
5.	*N 60 Mogul*	*258,01*	*227,24*	*30,77*
6.	*N 60 Mogul*	*248,66*	*193,21*	*55,45*
7.	*Deloro 60*	*253,49*	*220,09*	*33,4*
8.	*Deloro 60*	*249,83*	*191,27*	*58,56*
9.	*N40 Mogul*	*265,92*	*159,05*	*106,87*
10.	*N40 Mogul*	*256,94*	*184,68*	*72,26*

Megállapítható, hogy a meleg fémporszórással kezelt minták (3. Táblázat) közül az 5. minta (a táblázatban piros színnel jelölve) és a 7. minta (a táblázatban kék színnel jelölve) kopott legkevésbé. Ezeknél a mintáknál az eredmény várható volt, mivel ennek a pornak volt a legnagyobb keménysége (60 HRC). A 9. és 10. minták esetében 40 HRC keménységű port használtunk, ezeknél nagymértékű anyagveszteséget tapasztaltunk, így a további kísérleteink során ezzel a típusú porral nem kívánunk foglalkozni. Az azonos típusú porral kezelt minták anyagveszteségei között szórás figyelhető meg. Ez azzal magyarázható, hogy a munkagépen elhelyezett kultivátorkapák nem feltétlenül azonos terhelést kaptak, mert a kapák fedésben vannak egymáshoz képest, illetve a traktor keréknyomban dolgozó kapákat a talaj tömörödése miatt nagyobb koptatóhatás érte. A 3. ábrán (2. kép) a kísérleti darabok láthatóak kopott állapotban. A mezőgazdaság egy igen összetett része a talajmegművelés. Mivel elég nagy

területet sikerült az általunk érintett kapatagokkal művelni, így nagy valószínűséggel, más-más földtani összetétellel is találkozhattak a tagok. Ennek következtében a legfinomabb-, illetve a legdurvább szemcsés összetételen is áteshetett. A felvitt ötvöző porok átmérője sem egyenletes (3. ábra-1. kép), így a kopás mértékét ez is erősen befolyásolja. Néhány mintán megfigyelhető a kisebb rétegvastagság (rendszerünk leggyengébb eleme lehet) így sajnos ezekben az esetekben egyenletes kopásról nem beszélhetünk.



3. ábra: Kapák kopás előtt és után

ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérletünk során 10 darab lúdtalpkapán végeztünk meleg fémporszórást. Az elkészült munkadarabokat kiadtuk mezőgazdasági munkákra. A 200 hektár megművelése során kiderült melyik fémport érdemes használni (60 HRC), mely során az ezzel fémszórt munkadarabok kopás mértéke jelentősen csökkent, így ennek a problémának a megoldására választ kaptunk. Pontosabb választ adni egyéb kérdésre viszont még nem tudnánk, hogy a kopás nagyobb mértékig elkerülhető legyen. Már a kísérlettel bebizonyítottuk, hogy ez az eljárás nagy előrelépés, mivel a kopás mértékét jelentős százalékkal le tudtuk csökkenteni.

Mivel Magyarországnak rendkívül jó termőtalaja van, a mezőgazdaság meghatározó szerepet tölt be az ország gazdasági életében, ezért a termelékenység növelésére irányuló kutatások (mint amilyen a miénk is) igen nagy jelentőséggel bírnak, ezért érdemes ezzel a területtel foglalkozni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **EMBER M., JÁNOSSY GY., SZÍJJÁRTÓ O.:** *Mezőgazdasági gépek javítása,* Mezőgazdasági Kiadó. Budapest, 1983
[2] **HARTMANN V., FELKER J., KALMÁR V., HORVÁTH G.:** *Mezőgazdasági gépalkatrészek felújítása,* Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1986
[3] **TÓTH E.:** *Felületi rétegek technológiája,* Műegyetemi Kiadó Budapest, 1993
[4] **F. W. BACH, K. MÖHWALD, A. LAARMANN, T. WENZ:** *Modern Surface Technology,* 1st ed., WILEY-VCH Verlag, Weinheim, 2006

IPARI KOROM KOLLOIDKÉMIAI ÉS MORFOLÓGIAI JELLEMZÉSE

INRUSTIRAL CARBON BLACK COLLOID CHEMICAL AND MORPHOLOGICAL CHARACTERIZATION

PREKOB Ádám[1], SÁNDOR Csaba[2] SIKORA Emőke[3], PEKKER Péter[4], KRISTÁLY Ferenc[5], VANYOREK László[6]

[1]hallgató, prekob.a@gmail.com
[2]hallgató, sdr.csaba@gmail.com
[3]hallgató, emokesikora@gmail.com
[4]tudományos munkatárs, pekkerpeter@gmail.com
[5]tudományos munkatárs, askkf@uni-miskolc.hu
[6]adjunktus, kemvanyi@uni-miskolc.hu

[1,2,3,6]Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem
[4]MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport
[5]ME Ásványtani és Földtani Intézet

Kivonat: *A kutatás során a tiszaújvárosi Columbian koromgyárban előállított koromminták morfológiai és kollodikémiai jellemzésére került sor. A mintákat pásztázó elektronmikroszópiás (SEM) módszerrel vizsgáltuk, majd a felvételek segítségével részecskeátmérőket mértünk. A minták fém-oxid szennyező tartalmát röntgendiffrakciós (XRD) módszer segítségével vizsgáltuk.. Fouriertranszformációs infravörös spektroszkópiát (FTIR) alkalmaztunk a koromszemcsék felületi funkcióscsoportjainak vizsgálatára.. A kolloidkémiai tulajdonságaik vizsgálata zeta potenciál méréssel történt.*

Kulcsszavak: *korom; SEM; XRD; FTIR; kolloid*

Abstract: *In this research, carbon black samples were characterized produced by Columbian Tiszai Carbon Ltd. from Tiszaújváros. The samples were examined by scanning electronmicroscopy (SEM), with the usage of the images sphere diameter distribution were measured. The samples were also examined by X-ray diffraction (XRD) to manifest the incidental metal-oxide content. Fouriertransformation infra red spectroskopy was used to examine the functional groups of the carbon black. For the characterization of the colloid chemical properties of the samples zeta potentian measure was used.*

Keywords: *carbon black; SEM; XRD; FTIR; colloid*

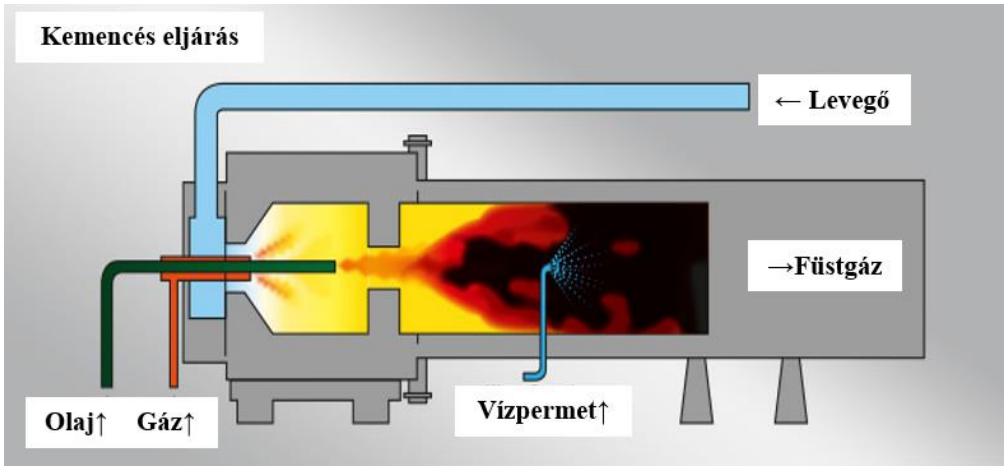
1. BEVEZETÉS

A szénnek számos ismert módosulata létezik, ilyenek például a grafit, fullerén, szén nanocső, illetve a korom [1] [2]. A korom egy fekete színű, por állagú anyag, amely többnyire amorf szénmódosulatok összességét foglalja magában. Az amorf szerkezet mellett kristályos hányaddal is rendelkezik, amely főként öt, illetve hatszögeket alkotó szénláncokból áll. Összetételét tekintve megkülönböztetünk általános, illetve ipari kormot. Az általános korom a szén, nitrogén, oxigén, és kén mellett szervetlen szennyezőket is tartalmaz. Általános korommal találkozhatunk tüzelőanyagok elégetésekor, például a háztartás fűtése esetében. Az ipari korom az általánossal ellentétben szervetlen szennyezőket nem tartalmazhat, mert felhasználása során nem kívánt hatásokat eredményezhetnek. Alapanyagtól és technológiától függően 80-95%-ban tartalmaznak szenet, nagyobb hányadban oxigént, nitrogént, és ként.

Felhasználásuk 3 fő területre bontható, ezek a festék és nyomdaipar [3], autóipar (gumiabroncsgyártás) [4] és a műanyagiparban adalékanyagként történő alkalmazásuk [5]. A nyomdaipar a korom feketeségét kihasználva állítja elő a fekete festéket, melynek színárnyalata a korommennyiséggel, illetve a részecskeméret beállításával befolyásolható. A gumiabroncsgyártásban a korom az egyik legfontosabb töltőanyag, amely elősegíti az abroncsok kopásállóságának javítását. Műanyagok adalékaként számos tulajdonság

befolyásolható, ilyen feldolgozhatóság, elektromos vezetés, mechanikai tulajdonságok, öregedés, vagy éppen az esztétikai tulajdonságok [6]. Islam és kollégái PVC szakítószilárdságának és elektromos vezetésének változását vizsgálta a korommennyiség növelésének függvényében [7].

Az ipari korom előállításának számos módja van, ezeknek többségét a technika fejlődésével már kevésbé találták hatékonynak. A mai koromgyárak döntő többsége az úgynevezett kemencés eljárást alkalmazza, amely egy speciális kialakítású pirolíziskemencét foglal magában. Ez a 1. ábrán látható.



1. ábra. A kemencés koromgyártás sematikus ábrája [8]

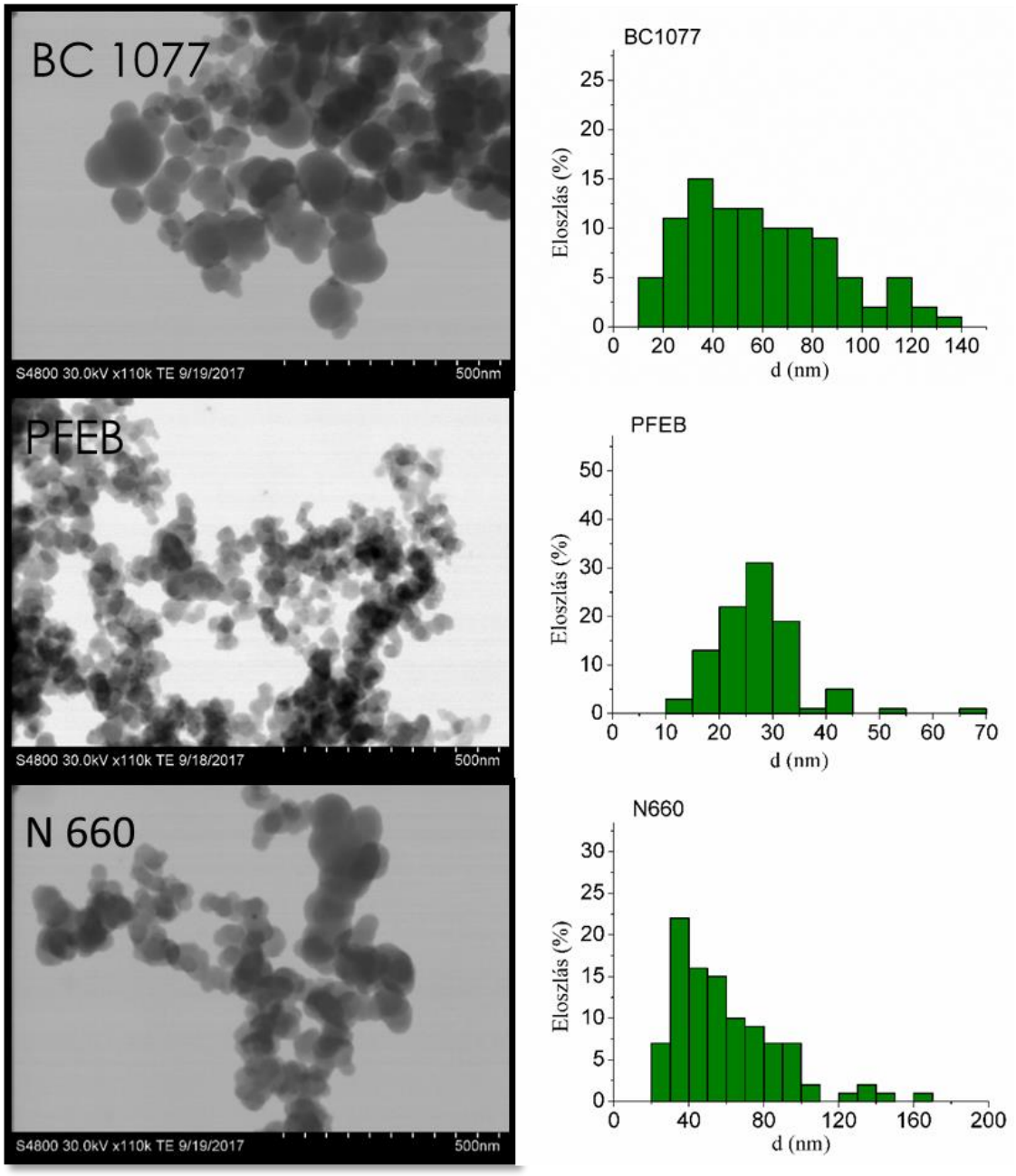
A kemencében 1400-2000°C uralkodik, amely alkalmas a korom előállítási alapanyagainak (pl.: kvencs olaj) elbontására. A gyártási folyamat során vízpermetet alkalmaznak, amely elősegíti az alapanyag tökéletlen égését, ezzel megnövelve a képződő korom mennyiségét. A hőmérséklet, illetve nyomás hatását a pirolízisre Gautier és kutatótársai vizsgálták metán pirolízise során [9].

2. A KOROMMINTÁK VIZSGÁLATA

A Columbian koromgyár három különböző korommintát bocsájtott rendelkezésünkre, melyeken szerkezeti és kolloidkémiai jellemzést hajtottunk végre. A három minta a BC 1077, a Raven PFEB, illetve az N 660 márkaneveket viselik.

2.1. A korommináták pásztázó elektronmikoszkópiás (SEM) vizsgálata

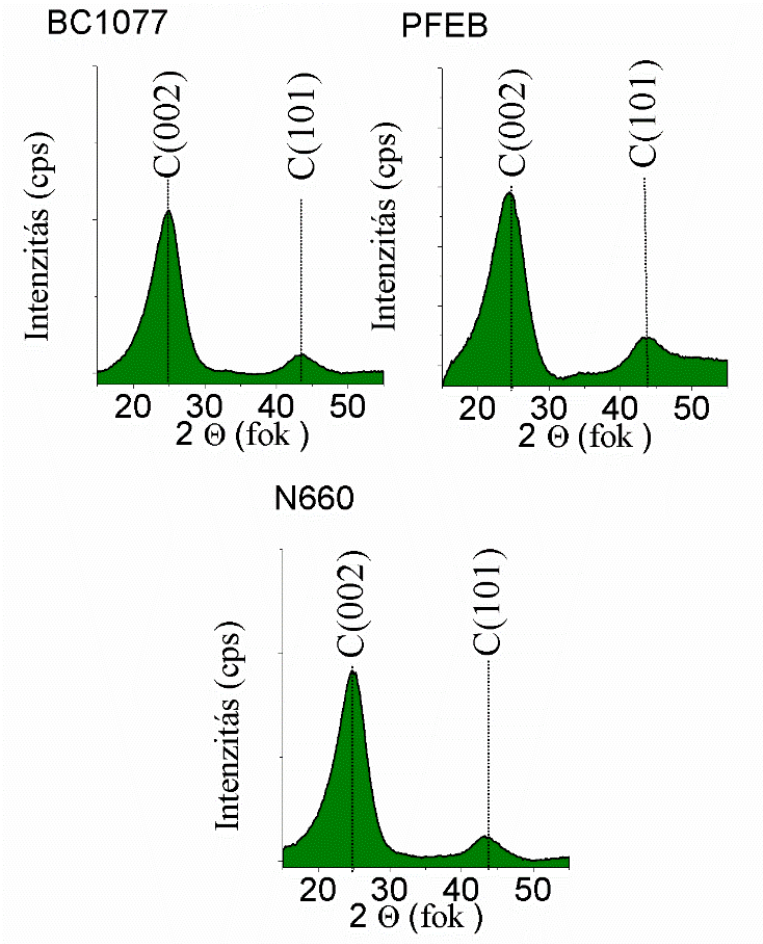
Pásztázó elektronmikroszkópiás módszer segítségével felvételeket készítettünk a rendelkezésünkre álló mintákról transzmissziós üzemmódban, melyeken mind a koromszemcsék, mind az általuk alkotott aggregátumok megfigyelhetők. A felvételeket egy Hitachi S 4800 típusú műszerrel készítettük. A koromszemcsék részecskeátmérőit az elektronmikroszkópiás felvételek méretskáláját alapul véve, ImageJ program segítségével megmértük, a kapott értékekből méreteloszlás diagramot szerkesztettünk. A felvételek és eloszlásdiagramok a 2. ábrán láthatók. Megállapítható, hogy a korommináták gömb részecskemorfológiával rendelkeznek.. A BC1077 minta 58 nm-es átlagos átmérővel, a PFEB 26 nm, az N660-nak pedig 60 nm-es átlagos átmérővel rendelkezik.



2. ábra. A koromminták SEM felvételei és szemcseátmérő-eloszlásai

2.2. A koromminták röntgendiffrakciós (XRD) vizsgálata

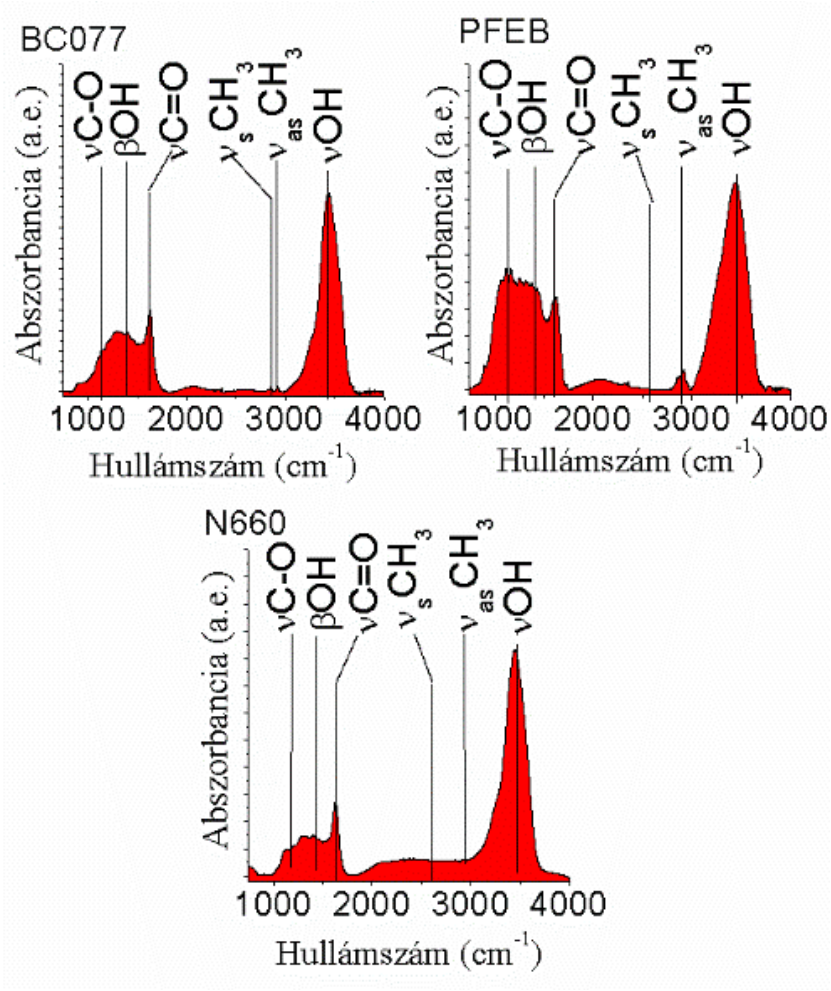
Ahogyan az a bevezetésben említésre került, a korom képződésekor előfordulhat, hogy szervetlen szennyezők (többnyire fém-oxidok) is bekerülnek a koromba. Ipari korom előállításakor erre nagy figyelmet fordítanak, azonban pontatlanságból vagy kisebb üzemi hiba miatt előfordulhatnak. Hogy megbizonyosodjunk abban, hogy jelen vannak-e fém-oxid szennyezők, XRD vizsgálatot hajtottunk végre. A vizsgálat elvégzéséhez egy réz-anódos röntgencsővel felszerelt Rigaku Miniflex típusú műszert alkalmaztunk. A 3. ábrán megfigyelhető, hogy a rendelkezésünkre bocsájtott korommintákban két sáv jelenik meg, azonban mindkettő a szén kristálysíkjainak tudható be.



3. ábra. A koromminták XRD felvételei

2.3. A koromminták Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiás (FTIR) vizsgálata

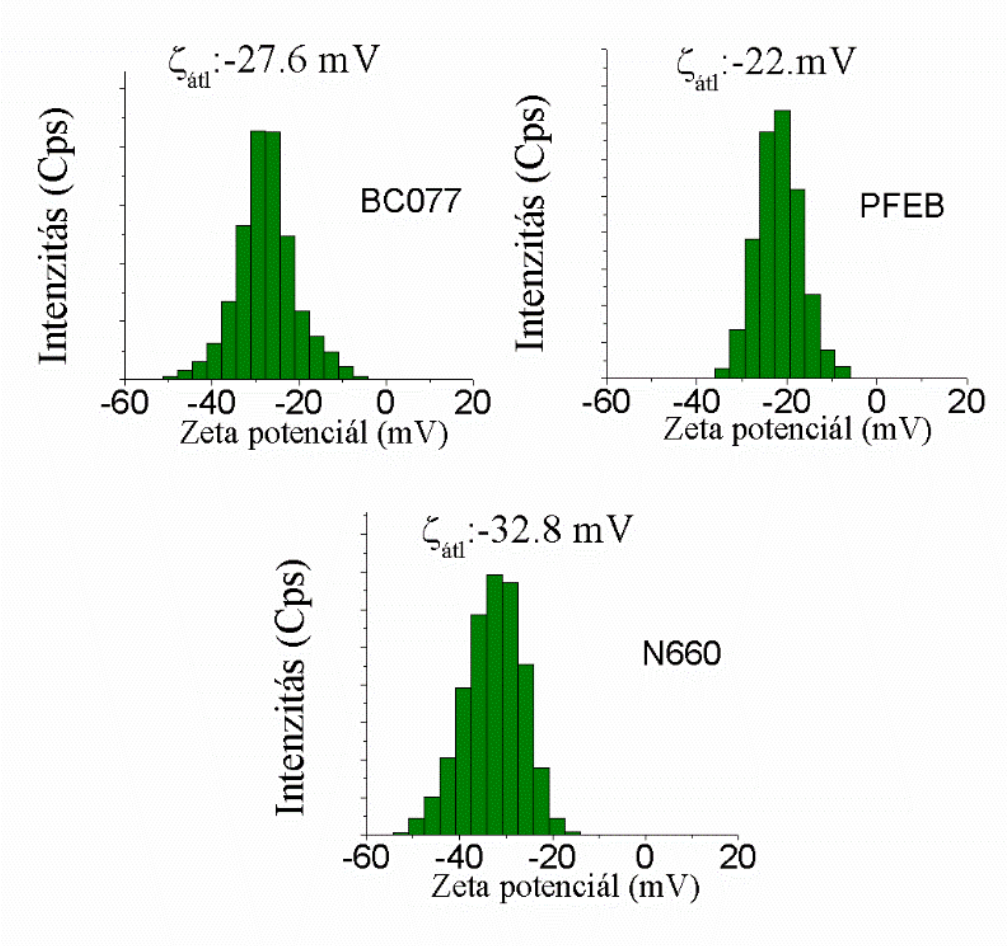
FTIR vizsgálatot hajtottunk végre annak érdekében, hogy beazonosítsuk a koromrészecskékben előforduló funkcióscsoportokat. A funkcióscsoportok meghatározzák a korom viselkedését a diszpergálási közeggel szemben, amely fontos lehet stabil szuszpenzió létrehozásakor. A vizsgálat kivitelezésére egy Vertex 70 típusú készüléket használtunk. A vizsgálat során a berendezés infravörös fénnyel gerjeszti a minta részecskéit, amelynek hatására az atomok közti kötések rezgése mérhetővé válik. A spektrumon a kötések intenzitásai jelennek meg a megfelelő hullámszámokon. A mérési eredmények a 4. ábrán láthatók. A csúcsok azonosítását követően megállapítottuk, hogy hidroxil, karboxil, illetve karbonil csoportokat tartalmaznak. Ezek a csoportok a koromgyártás során alkalmazott vízpermetezésnek köszönhetők, ez ugyanis oxidálja a koromrészecskéket. A hidroxil- és karboxil-csoportok elősegítik a stabil szuszpenzió létrehozását, ugyanis deprotonálódhatnak, amely negatív felületi töltést eredményez a koromrészecskék felületén. A negatív töltésű felületek taszító erőt fejtenek ki egymás felé, amely elegendő arra, hogy a részecskék a Van der Waals távolságon kívülre kerüljenek egymástól, így nem történik aggregáció.



4. ábra. A koromminták FTIR spektrumai

2.4. A koromminták zeta potenciál mérése

A zeta potenciál mérésre Lézer-Doppler elektroforézis elvén működő Malvern Zetasizer Nano-ZS típusú műszert alkalmaztunk, az elektroforetikus mobilitásból számítható a zetapotenciál. A mérés során egy kis koncentrációjú homogén szuszpenziót készítünk vizes közeggel, amelyet egy kapilláris küvettában mértünk. A koromszemcsék karboxil és hidroxil csoportjai deprotonálódnak, így a szemcsék felületei negatív töltésűek lesznek. A negatív töltésű részecskék taszító kölcsönhatást fejtenek ki egymásra, amely gátolja az aggregációt és elősegíti a stabilabb szuszpenzió elkészítését. A zeta potenciál érték alapján jellemezhetjük a szuszpenzió stabilitását, -30 mV-nál negatívabb értéket stabilnak tekinthetjük [10]. Az általunk vizsgált koromminták zeta potenciál értékei az 5. ábrán láthatók.



5. ábra. A koromminták zeta potenciál eloszlás eredményei

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatási munka során a tiszaújvárosi Columbian koromgyártól kapott koromminták szerkezeti és kolloidkémiai vizsgálatát hajtottuk végre. Pásztázó elektronmikroszkópiás módszer (SEM) segítségével felvételeket készítettünk a koromszemcsékről, majd ezek segítségével részecskeátmérő-eloszlást készítettünk. A részecskék átlagos átmérője minden esetben 100 nm alá esett, tehát nanoszemcsékről beszélhetünk. A BC1077-es minta 58 nm-es, a PFEB 26 nm-es, az N660 pedig 56 nm-es átlagos átmérővel rendelkeztek. Röntgendiffrakciós módszer (XRD) segítségével megvizsgáltuk, hogy a minták tartalmaznak-e fém-oxid szennyezőket, amely befolyásolhatná a zeta potenciál értékeket. Megállapítottuk, hogy az XRD felvételeken csak a szén kristálysíkjai láthatók, fém-oxid szennyezőt nem tartalmaznak. FTIR módszer segítségével azonosítottuk a koromszemcséken megtalálható funkcióscsoportokat, amelyek a stabil szuszpenzió kialakulásáért felelősek. Hidroxil, karboxil, illetve karbonil csoportokat azonosítottunk, melyek közül az első kettő deprotonálódása elősegíti a stabil szuszpenzió létrehozását. Zeta potenciál végeztünk annak érdekében, hogy megállapítsuk a minták alkalmasak-e stabil szuszpenzió létrehozására. Abban az esetben, ha a zeta potenciál méréseketérték -30 mV-nál negatívabb, stabil szuszpenzió képzésére képes, a pozitívabb érték pedig instabilt. A minták zeta potenciál értékei megközelítették vagy meghaladták a kívánt értéket, tehát alkalmasak stabil kolloid rendszerek létrehozására.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **ROOKSBY, H. P., STEWARD, E. G:** *Structure of Graphite*, Nature, 159, 638–639

[2] **CRUZ-SILVA, R., ARAKI, T., HAYASHI, T., TERRONES, H., TERRONES, M., ENDO, M.:** *Fullerene and nanotube growth: new insights using first principles and molecular dynamics*, The Royal Society, 2016

[3] **SMITH, T.:** *A review of carbon black pigments,* Pigment & Resin Technology,. 12, 4, 14-16,

[4] **PAYNE, A. R., WATSON W. F.:** *Carbon Black Structure in Rubber. Rubber Chemistry and Technology*, 36, 1, 147-155. 1963

[5] **LIANG, J.Z., YANG Q.Q.:** *Mechanical Properties of Carbon Black-Filled High-Density Polyethylene Antistatic Composites*

[6] http://www.carbon-black.org/index.php/carbon-black-uses (elérés: 2018. 06. 11.)

[7] **ISLAM, I., SULTANA, S., RAY, S. K., NUR, H. P., HOSSAIN, MD. T., AJMOTGIR, W. MD.**: *Electrical and Tensile Properties of Carbon Black Reinforced Polyvinyl Chloride Conductive Composites*, C, 4, 15, 2018

[8] https://pentacarbon.de/wiki/ (elérés: 2018. 06. 11.)

[9] **GAUTIER, M., ROHANI, V., FULCHERI, L., TRELLES, J. P.:** *Influence of temperature and pressure on carbon black size distribution during allothermal cracking of methane*, Aerosol Science and Technology, 50, 1, 26-40, 2016

[10] **BÁRÁNY S.:** *A kolloidkémia alapjai,* II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola, 2014, Beregszász

FELÜLETI ÉRDESSÉG VIZSGÁLATA IPARI MŰANYAGOK FURATMEGMUNKÁLÁSÁNÁL

INVESTIGATION OF SURFACE ROUGHNESS WHEN DRILLING OF INDUSTRIAL PLASTICS

RAVAI NAGY Sándor[1], SZIGETI Ferenc[2], VARGA Gyula[3]

[1]PhD., egyetemi adjunktus, nagy.sandor@nye.hu
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem,
H-4400, Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11.

[2]CSc.,főiskolai tanár, szigeti.ferenc@nye.hu
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem,
H-4400, Nyíregyháza, Kótaji u. 9-11.

[3]PhD egyetemi docens, gyula.varga@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Gyártástudományi Intézet
H-3515, Miskolc- Egyetemváros

Kivonat: *A dolgozat kriogén technológiával hűtött polietilén alapanyag furatmegmunkálási kísérleteinek eredményeit mutatja be. A vizsgálatok a leválasztott forgács alakjára, a megmunkált furat pontosságára és felületi érdességére terjedtek ki. A -35C-on történő megmunkálás eredményeként javult a polietilén próbatest forgácsolhatósága, a furat felületi érdessége csökkent, méretpontossága növekedett.*

Kulcsszavak: *felületi érdesség, kriogén hűtés, furatmegmunkálás, ipari műanyag, PE-HD1000*

Abstract: *The paper presents the results of cryogenic hole machining experiments of polyethylene material. The tests contained the shape of the removed chip, the accuracy and surface roughness of the machined hole. As a result of machining at -35°C the the machinability of polyethylene specimen improved, the surface roughness of the hole reduced, and the accuracy increased.*

Keywords: *surface roughness, cryogenic cooling, drilling, indrustrial plastic, PE-HD1000*

1. BEVEZETÉS

Az éghajlatváltozás, a széndioxid-kibocsátási előírások és a magas üzemanyagárak ösztönzik a gyártókat alacsony tüzelőanyag-fogyasztású járművek előállítására. Az egyik hatékony módszer a kis sűrűségű anyagok felhasználása az üzemanyag-fogyasztás csökkentés érdekében [1].

A karbonszálas műanyagok a repülőgépiparban és az autóiparban széles körben használt anyagokká váltak, mivel az alumíniumtól kisebb a sűrűségük és nagyobb a szilárdság/tömeg arányuk. Továbbá ezen anyagok kiváló tulajdonságai közé tartoznak például, hogy nagy a fáradási szilárdságuk, jó a csúszási képességük és a korrózióállóságuk, nagy a merevségük valamint kémiailag semlegesek. Ezen egyedülálló tulajdonságoknak köszönhetően alkalmazzák a karbonszálas műanyagokat a repülőgépek hordozó szerkezetében, a külső szárnyak alkatrészeiként, valamint a spoilereknél. Az autókban karosszériaelemek, szerkezeti elemek és motoralkatrészek [2] készülhetnek belőlük.

A karbonszálas műanyag alkatrészek majdnem kész alakját fröccsöntési eljárással készítik el, azonban a marást, esztergálást, illetve fúrást a kívánt méretek és tűrések elérése céljából alkalmazzák [3]. Morkavuk és társai a karbonszálas műanyag kompozitok kriogén

megmunkálásával foglalkoztak, különösen azt figyelték meg, hogyan hat a kriogén kezelés az így készített munkadarabok szakítóvizsgálati jellemzőire [4].

A karbonszálas műanyagok megmunkálásakor előfordulhat rétegszétválás, szálkiszakadás valamint mátrix-repedés jellegű károsodás. Ezek a károsodások csökkenthetik a megmunkálás minőségét és a megmunkált alkatrészek selejtté válását okozhatják. Mindezek azt mutatják, hogy a karbonszálas műanyagok megmunkálása nagy figyelmet igényel [5]. Ezen kívül a polimer mátrix hőállósága korlátozott, ezért a megmunkálás során a hőképződés termikus károsodáshoz vezethet.

A fémforgácsoláshoz használt hagyományos hűtő-kenő folyadékok a kompozitok méretpontosság változását és a kompozit részek mechanikai tulajdonság változását okozhatják a nedvességfelszívás miatt [3]. A hagyományos megmunkálás alternatívájaként a kriogén megmunkálást fejlesztették ki a nehezen megmunkálható anyagok, például titán, lágy alumínium és a kompozitok megmunkálhatóságának növelése érdekében. Az ilyen anyagok megmunkálása során fellépő magas hőmérséklet károsan befolyásolhatja a megmunkáláshoz használt szerszám kopását, a munkadarab felületminőségét és geometriai pontosságát.

A kriogén megmunkálás egyik célja a megmunkálás során keletkező hő elvezetése a forgácsolási zónából. A kriogén megmunkálás során hűtőfolyadékként az extrém hideg, cseppfolyósított gázokat használják, mint például az oxigént, a nitrogént, a hidrogént vagy héliumot. Az ilyen cseppfolyósított gázok közül leggyakrabban használt a folyékony nitrogén, mivel bőséges, tiszta és környezetbarát. Ha a folyékony nitrogént megmunkálásnál hűtőközegként használják, akkor a gáznemű anyag a környezet károsítása nélkül elpárolog [6]. A kriogén hűtőfolyadékok különböző módon alkalmazhatók: pl. a munkadarab hűtésére, a szerszám visszahűtésére (közvetett), a forgácsolási zóna hűtésére injektálással és kriogén forgácsolószerszám kezeléssel. Ezek a módszerek önmagukban vagy kombinációban alkalmazhatók [7].

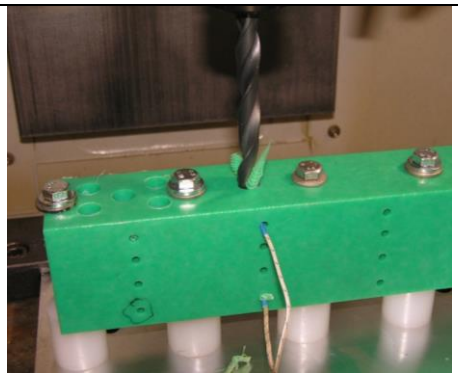
A szakirodalomban látható, hogy a kriogén megmunkálással kapcsolatos vizsgálatok többsége az acél és a titán-ötvözetek esztergálására összpontosított. A kompozitok kriogén megmunkálásához szükséges ismeretek nagyon hiányosak. Ishida és társai [8] az ultrahangos vibráció és a kriogén szerszámhűtési módszer hatását vizsgálták a karbonszálas műanyagok helikális marásakor. Khairusshima és társai [9] hűtött levegőt alkalmaztak a karbonszálas műanyag panelek marására. Kísérletükben a megmunkálás során a kriogén hűtőfolyadék helyett a -10°C-ra hűtött levegőt juttattak a forgácsoló szerszámra vortexcső alkalmazásával.

Kumaran és társai [10] a rotációs ultrahangos megmunkálást adaptálták a karbonszálas műanyagok esetén, amelyeket préselési eljárással állítottak elő a kriogén fúrás előtt. Az összetétel szál orientációja 0°/90°. A megmunkálás során a folyékony nitrogént a munkadarabra permetezték. Xia és társai [11] megvizsgálták a kriogén hűtés hatását a karbonszálas műanyagok fúrására 0°/+45°/90°/-45° szál orientációk esetén is. Tanulmányukban közlik, hogy a folyékony nitrogént permetezték a forgácsolási zónába a fúró hűtő-kenő csatornáiból. Basmacı és társai [12] a fúró átmérő és a kriogén környezet hatását vizsgálták a karbonszálas műanyagok fúrására 0°/90° szálas orientáció esetén. A munkadarabot folyékony nitrogénnel töltött kriogénfürdőben fúrták.

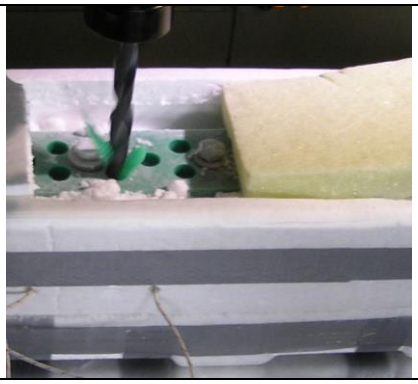
Ebben a dolgozatban a PE-HD 1000 típusú polietilén próbatest hűtött, kriogén állapotban történő furatmegmunkálási kísérleteit végeztük el. A munkadarab hűtését szilárd széndioxiddal (szárazjéggel) végeztük. A kísérletek során a hűtésnek a furat pontosságára, felületi érdességére gyakorolt hatását vizsgáltuk, továbbá tanulmányoztuk a kriogén hűtés forgács leválasztási tulajdonságokra gyakorolt hatását is.

2. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS ÉS VIZSGÁLATI ELJÁRÁS BEMUTATÁSA

A kísérleteket két beállításban végeztük el, először „szobahőmérsékleten”, 20°C-on, utána hűtve, kriogén környezetben -35°C-on, az 1. ábrán bemutatott kísérleti beállításban.



+20°C-on történő megmunkálás



-35°C-on történő megmunkálás

1. ábra. Kísérleti elrendezés

A furatmegmunkálási kísérleteknél használt berendezések:

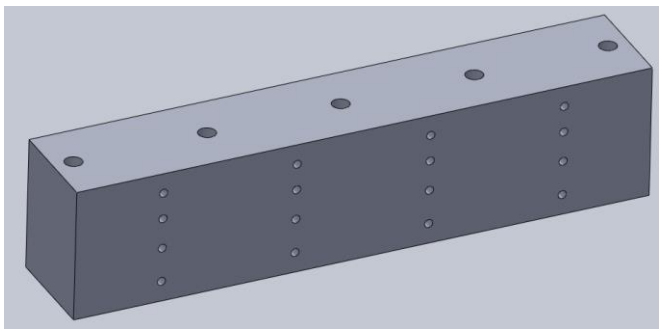
- NCT EmL510B típusú, CNC vezérlésű szerszámgép;
- A próbatest rögzítésére és hűtésére tervezett készülék;
- Hőmérő, K típusú szonda, mérési pontosság 0,1 C°, mérési tartomány -200 C° tól 1200 C°-ig.

A kísérlet során Ø12mm-es átmérőjű furatokat készítettünk DIN 388 szabvány szerinti csigafúróval L=2,5D furatmélységig.

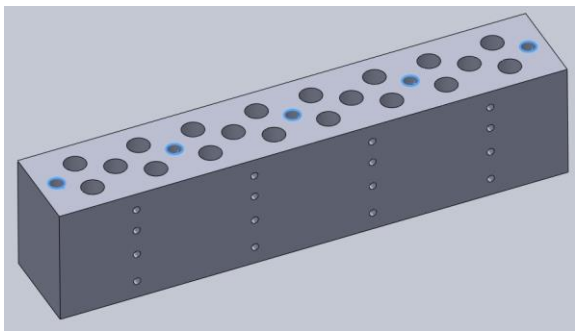
Technológiai paraméterek:

- Megmunkált anyag: PE-HD1000
- Forgácsolási sebesség (főorsó fordulatszám):
  - v_{c1}=6,78 m/perc (180 fordulat/perc);
  - v_{c2}=18,55 m/perc (500 fordulat/perc);
- Előtolás: f_1=0,32 mm/fordulat; f_2=0,62 mm/fordulat;
- Munkadarab hőmérséklete: +20°C; -35°C;
- Hűtő közeg: szilárd széndioxid (száraz jég, SCO_2)

A kísérletek során a fenti paraméterek kombinációi alapján 8 kísérleti beállításban végeztünk megmunkálásokat. Minden egyes kísérleti beállításban 5 furatot készítettünk azért, hogy a kísérletekre vonatkozó statisztikai követelményeknek eleget tegyünk. A 2. ábrán bemutatjuk a munkadarab modelljét és a kísérletek során megmunkált furatok helyeit.



Kísérlet elvégzése előtt



Kísérlet elvégzése után

2. ábra. A kísérleteknél használt munkadarab, próbatest

A felületi érdesség mérést AltiSurf 520 típusú 3D-s felületi érdességmérő berendezéssel végeztük, az érdességi mérésekre az optikai fejet használtuk.
A fúrt próbadarabok kettévágása után mindkét oldalon megmértük a felületi érdességet (Ra) és az eredményt átlagoltuk.
A furatok pontosságát Aberlink Axiom tooCNC 3D koordináta mérőgéppel ellenőriztük.



AltiSurf®520 típusú 3D-s felületi érdességmérő berendezés



Aberlink Axiom too CNC 3D koordináta mérőgép

3. ábra. A kísérleteknél használt mérőberendezések

A kísérletek során a hűtésnek a furat pontosságára, felületi érdességére gyakorolt hatását vizsgáltuk, továbbá tanulmányoztuk a kriogén hűtés forgács leválasztási tulajdonságokra gyakorolt hatását is.
A kísérlet során vizsgáltuk:

- a furat pontosságát,
- a leválasztott forgács alakját és furatból történő eltávolodási mechanizmusát,
- a megmunkált furat felületi érdességét.

3. FURATMEGMUNKÁLÁSI KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEI

A kutatási eredményeket az alábbi sorrendben ismertetjük:

- A forgács alakváltozása és a leválasztott forgács furatból történő eltávolodása a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében.
- A megmunkált furatok pontossága a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében.
- A megmunkált felület érdessége.

3.1. A forgács alakváltozása és a forgács furatból való eltávolodása a fordulatszám, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében

A furatmegmunkálási kísérletnél a PE-HD1000 anyagú próbatestről a forgács a forgácstípusok szerint folyóforgácsként válik le. A kialakuló folyóforgács a hőmérséklet és az előtolás, valamint a forgácsoló sebesség függvényében különböző módon gyűlik, tekeredik, szálasodik, könnyítve vagy megnehezítve a forgács furatból való eltávolodását (4. ábra).



v_{c1}=6,78 m/min (n_1=180 ford/min); f_2=0,62 mm/ford.; T_2=-35C°



v_{c1}=6,78 m/min (n_1=180 ford./min); f_2=0,62 mm/ ford.; T_1=+20C°



v_{c2}=18,85 m/min (n_2=500 ford./min); f_2=0,62 mm/ ford.; T_2=-35C°



v_{c2}=18,85 m/min (n_2=500 ford./min); f_2=0,62 mm/ ford.; T_1=+20C°



v_{c1}=6,78 m/min (n_1=180 ford./min); f_1=0,32 mm/ ford.; T_2=-35C°



v_{c1}=6,78 m/min (n_1=180 ford./min); f_1=0,32 mm/ ford.; T_1=+20C°



v_{c2}=18,85 m/min (n_2=500 ford./min); f_1=0,32 mm/ ford.; T_2=-35C°



v_{c2}=18,85 m/min (n_2=500 ford./min); f_1=0,32 mm/ ford.; T_1=+20C°

4. ábra. Forgács alakváltozása a forgácsoló sebesség, az előtolás és a megmunkálási hőmérséklet függvényében (furatmélység L=2,5 D).

A leválasztott forgács a megmunkálási paraméterek szerint különbözőképpen távolodik el a furatból és a szerszámról. Észrevehető a 4. ábrán, hogy f_2=0,62mm/fordulatnál T_2=-35C°-on történő megmunkálásnál a forgács a csigafúró hornyából eltávolodik, nem csavarodik fel a szerszámra, forgácsolási sebességtől és fordulatszámtól függetlenül. Ez a normaidő szempontjából is előnyös, mivel nincs időveszteség a forgács eltávolítása során és a munkavédelem szempontjából is előnyös, mert a gépkezelőnek nem kell a forgácshoz érnie.

3.2. A megmunkált furatok átmérője és hengeressége az előtolás, a hőmérséklet és a forgácsolósebesség függvényében

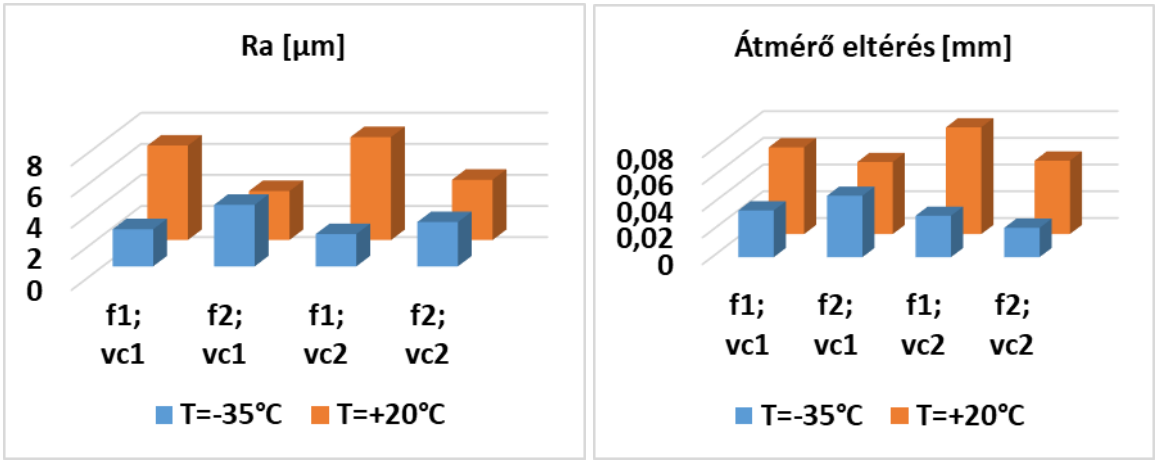
Az 1. táblázatban feltüntetett mérési adatokból kitűnik, hogy a kriogén környezetben megmunkált furatok pontossága nagyobb valamennyi vizsgált forgácsolási paraméter-kombináció esetén, illetve az elméleti henger átmérőtől mért eltérések lényegesen kisebbek, mint a szobahőmérsékleten megmunkált furatoké L=2,5D méretű furatoknál. A mért henger átmérő eltérések T=-35°C-nál közelítően feleakkorák, mint 20°C-on történő megmunkálásnál, kivéve az f_2 és v_{c1} paraméter kombinációnál mért értékeket. Az eltérések okának kiderítése további vizsgálatot igényel.

1.táblázat. Hengerátmérő eltérések és felületi érdesség értékek

Forgácsolási paraméterek	Henger átmérő eltérések [mm]		Felületi érdesség értéke, Ra, [µm]	
	L/D=2,5		L/D=2,5	
	T=20C°	T=-35C°	T=20C°	T=-35C°
f_1=0,32 mm/ford; v_{c1}=6,78 m/min	0,065	0,035	7,076	3,388
f_2=0,62 mm/ford; v_{c1}=6,78 m/min	0,054	0,046	4,148	4,961
f_1=0,32 mm/ford; v_{c2}=18,85 m/min	0,087	0,031	7,616	3,075
f_2=0,62 mm/ford v_{c2}=18,85 m/min	0,055	0,022	4,872	3,849

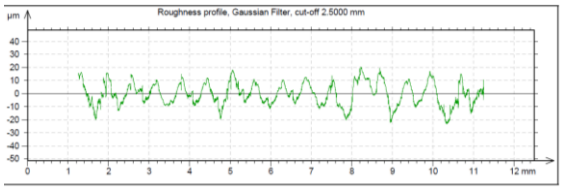
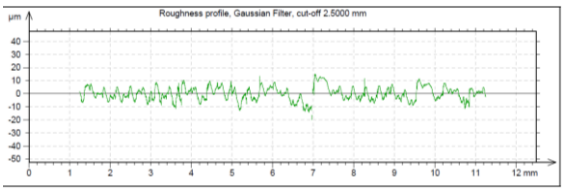
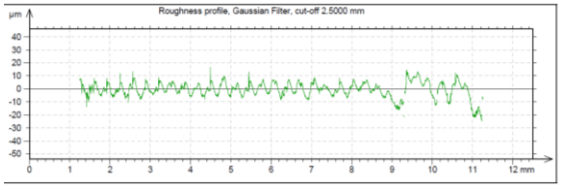
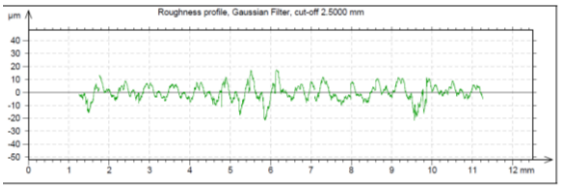
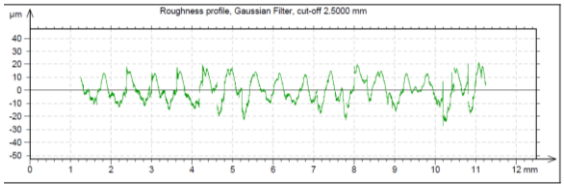
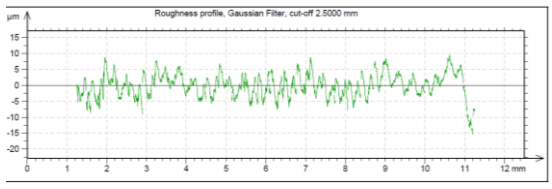
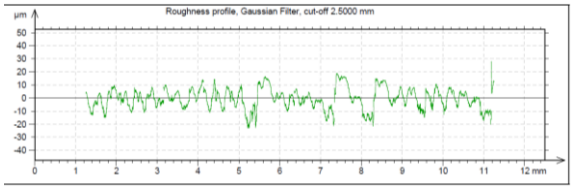
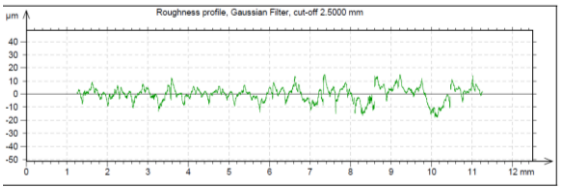
3.3. A megmunkált furatok érdessége az előtolás, a hőmérséklet és a forgácsolósebesség függvényében

Az 5. ábrán a megmunkált furatok felületi érdességének és átmérő eltéréseinek mért értékeit ábrázoltuk a forgácsolási paraméterek függvényében. Az ábrák alapján megállapítható, hogy egy forgácsolási paraméter kombináció kivételével valamennyi esetben számottevően kisebb a furatok felületi érdessége kriogén környezetben való megmunkáláskor.



5.ábra. A megmunkált furatok felületi érdességének és átmérő eltéréseinek ábrázolása

Az 5. ábrán feltüntetett két oszlopdiagram összehasonlítása alapján megfigyelhető, hogy a felületi érdességek átlaga és az átmérő eltérés (terjedelem) hasonló jelleget mutat a különböző forgácsolási paraméter kombinációknál.

T=20 C°	T=-35 C°
	
v_{c1}=6,78 m/min; f_1=0,32 mm/ford	v_{c1}=6,78 m/min; f_1=0,32 mm/ford
	
v_{c1}=6,78 m/min; f_2=0,62 mm/ford	v_{c1}=6,78 m/min; f_2=0,62 mm/ford
	
v_{c2}=18,85 m/min; f_1=0,32 mm/ford	v_{c2}=18,85 m/min; f_1=0,32 mm/ford
	
v_{c2}=18,85 m/min; f_2=0,62 mm/ford	v_{c2}=18,85 m/min; f_2=0,62 mm/ford

6.ábra. A megmunkált furat mért felületi érdesség értékei

A 6. ábrán az AltiSurf 520 típusú 3D-s felületi érdességmérő berendezéssel a furatok felületén felvett érdesség-görbéket mutatjuk be. A 20°C-on és -35°C-on megmunkált furatok felületén felvett érdességi görbék összehasonlításából jól látszik, hogy a kriogén környezetben megmunkált furatok felületi egyenetlensége jelentősen kisebb (f_2; v_{c1} paraméterkombináció kivételével).

4. KÖVETKEZTETÉSEK

Az L=2,5D furatok szobahőmérsékleten és kriogén környezetben történő megmunkálása során a kísérleti eredmények elemzése alapján az alábbi megállapításokat tehetjük:

- A hideg környezetben (-35°C) leválasztott forgácsok nem szálasodtak, a forgácsolás során keletkező hő nem olvasztotta meg őket. A 20 C°-on történő forgácsolásnál a forgácsok tömörültek, megszorultak a csigafúró hornyában és a furatból nehezen voltak eltávolíthatók.

- A forgács nem csavarodik fel a szerszámra f_2=0,62 mm/f előtolásnál hűtött állapotban, azonban f_1=0,32 mm/f előtolásnál még hűtött állapotban is megfigyelhető a forgács csigafúróra történő felcsavarodása.
- A forgács szerszámra történő felcsavarodása jelentős hátrányt jelent a CNC vezérlésű szerszámgépeken történő megmunkálásoknál, mert a forgács eltávolítása miatt a szerszámgépet meg kell állítani, így megnövekszik a normaidő.
- A kriogén környezetben megmunkált furat átmérőjének változása lényegesen kisebb, mint a szobahőmérsékleten megmunkált furaté.
- A kísérleti eredményekből látszik, hogy kriogén hűtés során a legtöbb paraméterkombináció esetén kisebb átlagos érdesség értékeket mértünk.
- Megfigyelhető, hogy a középhosszú furat (L/D=2,5) megmunkálásánál, f_2=0,62 mm/ford előtolás és v_{c1}=6,78 m/min forgácsoló sebesség esetén mindkét hőmérsékletnél közel azonos felületi érdesség adódott, mely jelenség okának meghatározása további vizsgálatot igényel.

„Az NKFI-125117 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a K_17 pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **JACQUES K, BAX L, HARILAOS V, IGNACIO M, KELVIN O.** *Polymer composites for automotive sustainability.* Eur J Platform Sustain Chem 2017: 31–32.

[2] **BAKER A, DUTTON S, KELLY D.** *Composite materials for aircraft structures.* second ed. American Institute of Aeronautics and Astronautics; 2004. p. 436–448.

[3] **SHEIKH-AHMAD JY.** *Machining of polymer composites.* New York: Springer; 2009. pp. 802–808.

[4] **SEZER MORKAVUK, UĞUR KÖKLÜ, MEHMET BAĞCI, LOKMAN GEMI** *Cryogenic machining of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) composites and the effects of cryogenic treatment on tensile properties: A comparative study,* Composites Part B 147 (2018) 1–11

[5] **SLAMANI M, CHATELAIN J-F, HAMEDANIANPOUR H.** *Comparison of two models for predicting tool wear and cutting force components during high speed trimming of CFRP.* Int J Material Form 2015; 8 (2): 305–316.

[6] **JEON Y, PARK HW, LEE CM**. *Current research trends in external energy assisted machining.* Int J Precis Eng Manuf 2013; 14 (2): 337–342.

[7] **SHOKRANI A, DHOKIA V, MUÑOZ-ESCALONA P, NEWMAN ST.** *State-of-the-art cryogenic machining and processing.* Int J Comput Integrated Manuf 2013; 26 (7): 616–648.

[8] **ISHIDA T, NOMA K, KAKINUMA Y, AOYAMA T, HAMADA S, OGAWA H,** et al. *Helical milling of carbon fiber reinforced plastics using ultrasonic vibration and liquid nitrogen.* Procedia CIRP 2014; 24: 13–18.

[9] **KHAIRUSSHIMA MN, HASSAN CC, JAHARAH A, AMIN A, IDRISS AM.** *Effect of chilled air on tool wear and workpiece quality during milling of carbon fibre-reinforced plastic.* Wear 2013; 302 (1): 1113–1123.

[10] **KUMARAN ST, KO TJ, LI C, YU Z, UTHAYAKUMAR M.** *Rotary ultrasonic machining of woven CFRP composite in a cryogenic environment.* J Alloy Comp 2017; 698:984–993.

[11] **XIA T, KAYNAK Y, ARVIN C, JAWAHIR I**. *Cryogenic cooling-induced process performance and surface integrity in drilling CFRP composite material.* Int J Adv Manuf Technol 2016; 82 (1–4), pp.: 605–616.

[12] **BASMACI G, YORUK AS, KOKLU U, MORKAVUK S**. *Impact of cryogenic condition and drill diameter on drilling performance of CFRP*. Appl Sci 2017; 7(7) p.: 667.

ÜVEGSZÁL ERŐSÍTÉSŰ PVC KOMPOZITOK MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK MEGHATÁROZÁSA

ANALYSIS OF MECHANICAL PROPERTIES OF GLASS FIBER REINFORCED PVC COMPOSITES

ROMÁN Krisztina[1], ROMÁN László [2]

[1]Phd hallgató, polkrisz@uni-miskolc.hu
[1]Kerámia- és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

[2]Ügyvezető Igazgató, laszlo.roman@euromprofil.hu
[2]Román Kft. Debrecen, Magyarország

Kivonat: *A tanulmány során eltérő gyártási módszerrel előállított üvegszál erősítésű kemény PVC mechanikai tulajdonságait határozzuk meg. Mind a kettő gyártási technológia esetében ugyan azt az alapkeveréket és 5 phr mennyiségű üvegszálat alkalmaztunk. Az elkészült próbatestek szilárdsági értékeinek meghatározására mechanikai vizsgálatokat végeztünk el. Ezek a vizsgálatok a szakító-, ütő- vizsgálat, sűrűség és keménységmérés. A mérések eredménye alapján az a következtetés vonható le, hogy a minták előállításának módszere a kialakult szerkezetet és annak tulajdonságait nagymértékben befolyásolják.*

Kulcsszavak: *PVC kompozit, mechanikai tulajdonságok, extrúdálás*

Abstract: *In this study, the mechanical properties are determined of glass fiber reinforced PVC produced by different manufacturing methods. In both cases, the same basic mix and 5 phr amount of glass fiber were used. Mechanical tests were performed to determine the strength values of the prepared specimens. The performed tests are: tensile-, impact-tests, density- and hardness measurements. Based on the results of the measurements, it can be concluded that the method of producing the samples has a great influence on the structure and its properties.*

Keywords: *PVC composite, mechanical properties, extrusion*

1. BEVEZETÉS

A munkánk során üvegszál (GF) erősítésű kemény PVC alapú kompozit kialakításával foglalkozunk. A poli (vinil-klorid) azaz a PVC, egy sokoldalú polimer, környezetünkben előfordulhat merev, félig merev és hajlékony formában is [1]. Önmagában a PVC nagyon törékeny anyag, mechanikus hatással szemben, a terhelés idejétől és mértékétől függően gyenge anyagnak bizonyul, azonban mégis az egyik legnagyobb mennyiségben gyártott tömegműanyag. Alkalmazásának legfőbb oka a gyors és olcsó termék előállítás és széles tartományban fejleszthető tulajdonságok más polimerekkel kombinálva [2]. A PVC az egyik leggyakrabban használt polimer az építőiparban alacsony költsége, sűrűsége, tűzállósága és magas szigetelő és csillapítási tulajdonságai miatt [3].

Polimer kompozitok előállítására az elmúlt évtizedben jelentős figyelmet szenteltek, mivel a szálerősítés az alap polimer tulajdonságait fokozza ez által a polimer az alkalmazási területei bővülni fog. Alapvetően két fő csoportba sorolhatók a szálerősítők: természetes és szintetikus szálak, mindkét típusnak vannak előnyei és hátrányai [4]. A természetes szálak (pamut, juta) olcsóbbak, mint a szintetikus szálak (nylon, üveg és szén). Hátrányuk azonban, hogy mechanikai tulajdonságaik sokkal gyengébbek, mint a szintetikus szálas kompozitoké. A szintetikus szálak nagyon jó mechanikai tulajdonságokat biztosítanak, hátrányuk, hogy nehéz őket újrahasznosítani. Ellentétben a természetes szálak megújuló nyersanyagok és könnyen újrahasznosíthatók. A szintetikus szálak másik előnye a nedvesség elleni védelem, míg a

természetes szálerősítésű kompozitok nedvesség elnyeléssel szembeni ellenállása alacsony, így ez kevésbé vonzó tulajdonság alkalmazásuknál [5].

Az üvegszálak a legváltozatosabb töltőanyagok közé tartoznak. Erősek, könnyűek, szilárdságuk és súlyuk miatt kedvezőek a fémekhez hasonlóan [6].

A leghatékonyabb erősítő anyag kiválasztási folyamata attól függ, hogy kompatibilis-e a polimer mátrixszal. Eddigi kutatások alapján az üvegszállal erősített polimer kompozitok jobb dimenzionális stabilitás biztosítanak. Számos tanulmány az üvegszállal töltött polimerek mechanikai és termikus tulajdonságait tanulmányozta. Az LDPE (kis sűrűségű polietilén) kompozitok esetében a GF erősítette az LPDE húzószilárdságát és stabilitását is növelte. A PP (polipropilén) kompozit esetében az erősítő anyaggal zsugorodás és térfogatsűrűség csökkenés érhető el. Azonban az anyag mechanikai tulajdonságainak javulását csak a két anyag közötti (polimer + GF) határfelületi kölcsönhatás növelésével, kapcsolószerek alkalmazásával valósítható meg. További kutatások során megállapították, hogy az üvegszálak mennyisége és hossza valamint az extrúdálás körülményei nagymértékben befolyásolják a végső mechanikai tulajdonságait a kompozitoknak [6]. Vegyes hosszúságú üvegszálak esetében gyengébb szerkezet alakul ki, míg a legjobb eredmények hosszú üvegszál alkalmazásával érhetők el [7].

A kompozitok mechanikai teljesítményének növelésére a szintetikus és természetes szálak kombinációjával is foglalkoztak. Az üvegszál és szizál szálerősítésű poliészteren pozitív hibrid hatást értek el, javítva ezzel a kompozit tulajdonságait. Hasonló hibrid kompozit létrehozása valósult meg rövid bambusz szállal és üvegszállal erősített polipropilén kompozitok esetében is. Megállapították, hogy az üvegszál ez bizonyos mennyiségig (25 m%) javíthatja a mechanikai tulajdonságokat. Az ütésállóság javítására általánosan bevált a fa és hosszú üvegszál kombinációja. A hármas rendszer kialakításával a határfelületek közötti kapcsolat erősödött [8].

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kemény PVC porkeveréket a kompozitok kialakításához a Román Kft. biztosította. Az üvegszálat egy Magyarországi nagykereskedés biztosította. Az *1. Táblázat* a kompozitok kialakításához szükséges alapanyag és üvegszál mennyiségét tartalmazza phr-ben (per hundred resin).

Kutatásaink során két feldolgozási eljárással állítottuk elő próbatesteket. Az egyik eljárás a hengerelési és préselési módszer (P) a másik eljárás az extrúdálás (E). A keverékek közötti különbség egyrészt az üvegszál tartalomban másrészt a technológiában tér el. A méréseket ennek megfelelően végeztük el majd hasonlítottuk össze.

Az előállított alap és kompozit keverékek a következők:

- P-PVC (Préselt PVC alapkeverék);
- E-PVC (Extrúdált PVC alapkeverék);
- P-K (Préselt Kompozit);
- E-K (Extrúdált Kompozit).

1.Táblázat PVC keverékek formulái phr mennyiségben

Minta név	*PVC porkeverék*	*Üvegszál mennyiség*
P − PVC	100	0
E − PVC	100	0
P − K	100	5
E − K	100	5

2.1. Gyártási módszerek

Két eltérő elegyítési technikát alkalmaztunk a próbatestek elkésztésére. Az első technológia a hengerszéken történő elegyítés, majd préselés. A hengerlés 170°C-on történt, a préselés pedig 175°C-on. Két eltérő vastagságú próbatestet készítettünk a préselt lapokból. A 4 mm vastagságú lapok előállításához (sűrűségi-, keménységi-, ütővizsgálati próbatestek) 300 bar nyomást alkalmaztunk 10 percig, míg az 1 mm-eshez (szakítóvizsgálati próbatest) pedig 3 perc 30 bar és 3 perc 300 bar nyomást alkalmaztunk.

A másik módszer esetében az elegyítés és homogenizálás gyors laboratóriumi keverőben történt. A keverési időtartam 2 perc, mivel ez idő alatt az üvegszál roncsolódását tapasztaltuk. Az így elkészült keveréket egy kétcsigás laboratóriumi extrúderen gyártottuk le. Az extrúdálás során is a homogenizáláshoz hasonlóan gyártási problémát tapasztaltunk. Az extrúder csiga az üvegszálat egyenetlenül szállította, így az elkészült extrúdált lapok felszíne és eloszlása egyenetlen.

Az extrúdált és préselt lapokból a vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket pneumatikus kivágó berendezés segítségével állítottuk elő.

2. Táblázat Próbatest előállításának módszerei, előnyei és hátrányai

Próbatest előállítás módszerei			
Hengerlés és préselés		*Gyors keverőben homogenizálás és extrúdálás*	
Előny	*Hátrány*	*Előny*	*Hátrány*
Könnyebb elegyíthetőség	Nem tükrözi a gyártási körülményeket	Tükrözi a valós gyártást	Üvegszál roncsolódás a keverési folyamatban
Üvegszál jobb eloszlása	Csak kis mennyiségű anyag elállítható	Nagy mennyiségű termék előállítható	Homogenizálási probléma-egyenetlen eloszlás
Kereszt- és hossz irányban is azonos szilárdsági tulajdonságokkal rendelkezik	Fokozottan veszélyes, lassú minta előállítás	Egyszerűbb és biztonságosabb gyártás	Eltérő irányítottságú szilárdság

2.2. Mérési módszerek

Az elkészített próbatesteken számos vizsgálatot végeztünk el a mechanikai tulajdonságok pontosabb megismerése érdekében, amelyeket a *3. Táblázat* foglalja össze.

3. Táblázat A próbatesteken végzett mérési módszerek és paramétereik

Mérési módszer	*Mérőműszer*	*Szabvány*	*Mérési paraméter*
Sűrűségmérés	Mettler Toledo analitikai mérleg	ISO 1183	-
Keménységmérés	Zwich/Roell H0.43150	ISO 868	Shore D
Szakítóvizsgálat	INSTRON 5566	ISO 527-1	100 mm/perc
Ütővizsgálat	CEAST 6545	EN ISO 179	Charpy-módszer

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

Sűrűségmérés során minden minta esetében 3 mérést hajtottunk végre, amelynek átlagából határoztuk meg a tényleges sűrűség értékeket. Annak ellenére, hogy a kompozitok és az alapkeverékek mátrixa kemény PVC-ből áll, a technológia változtatásával az anyagok sűrűségének változását tapasztaltuk. Látható, hogy az extrúdált minták esetében a sűrűségek mérési hiba tartomány belüliek, így nem módosultak az üvegszál jelenléte nem növelte a sűrűség értékét. A préselt minták esetében az üvegszál befolyásolta a sűrűséget. Extrúdálás során a rossz elegyítés következményeként tapasztalható az azonos sűrűség érték.

4.Táblázat Az extrúdált és préselt mintákon elvégzett sűrűségmérési eredmények

Minta	*Sűrűség (g/cm^3)*
P − PVC	1,68±0,003
E − PVC	1,67±0,01
P − K	1,72±0,005
E − K	1,68±0,003

A keménységmérés eredményei a préselt minták egyenletes üvegszál eloszlását tükrözik (*5. Táblázat*). Az P − PVC és a P − K sűrűsége azonos. Látható, hogy a préselt minták sűrűség változása a keménységet nem befolyásolta. Az extrúdált minták esetében jelentősebb változást értünk el, ami főleg az egyenetlen eloszlás miatt alakulhatott ki. A préselt mintákhoz képest csökkenő keménységet értünk el, mind a E − PVC és E − K esetében. A mérés azt bizonyítja, hogy a szórási értékek figyelembe vételével a technológiák között van eltérés, azonban az egyes technológiával gyártott alap és kompozit minták keménysége azonos.

5.Táblázat A próbatesteken elvégzett keménységmérés vizsgálati eredményei

Minta	*Shore D*
P − PVC	81±0,3
E − PVC	78±0,9
P − K	81±0,4
E − K	76±1,4

A szakítóvizsgálat mérés eredményeiből látható, hogy a préselt minták szilárdsági értéke az üvegszál alkalmazásakor növekedett, így a töltőanyagok erősítő fázisként vannak jelen az alap polimer mátrixban. A két technológia összehasonlításakor az extrúdált minták nagyobb szilárdsággal rendelkeznek, a préselt minta eredményeihez képest. Az extrúdálás során a gyártott mintákra nagymértékű hosszirányú orientáció hat, így ennek eredménye látható a 6. *Táblázatban*. A E− K minta eredményei mégis a kompozit szilárdságának gyengülését ismertetik. Az eredmény ismét a gyártási problémára vezethető vissza az egyenetlen eloszlású szálerősítőre. A mérési eredmények alapján megállapítható, ha az üvegszál megfelelően, homogénen elegyedik az PVC mátrixban, akkor növelhető szilárdság érhető el. Az inhomogén elegyedés azonban az anyag tulajdonságainak romlását okozzák.

6.Táblázat Az eltérő technológiával előállított próbatesteken elvégzett szakítóvizsgálat összegző eredményei

Minta	*Szakítószilárdság (MPa)*
P − PVC	30,6±0,5
E − PVC	37,5±3,1
P − K	34,6±0,7
E − K	34,6±0,9

Az ütővizsgálat mérési eredményei az ütőszilárdság gyengülését ismerteti mind a kettőtípusú előállítási folyamat esetében. A gyenge szilárdság valószínűsíthető oka, a rossz határfelületi kapcsolódás, kölcsönhatás az üvegszál és a PVC között. A gyenge határfelület hatására a rideg törés az üvegszálak felülete mentén következik be, ami ezt a csökkenő szilárdságot eredményezi. Napjainkban törekvések vannak arra, hogy a két anyag közötti adhézió növelésére plusz adalékanyag alkalmazásával a két határfelület közötti kapcsolatot erősíthető. A kutatásunk során előállított minták esetében is szükséges lenne a határfelületek közötti kapcsolat erősítésére, hogy dinamikus erőhatással szemben is megfelelő ellenállást biztosítson az anyag.

7.Táblázat Elvégzett ütővizsgálatok mérési eredmények az összes minta esetében

Minta	*Ütőszilárdság (kJ/m^2)*
P − PVC	4,46±0,8
E − PVC	3,49±0,6
P − K	2,86±0,2
E − K	2,35±0,7

4. ÖSSZEGZÉS

A munkánk során üvegszál erősítésű kompozitok előállításával foglalkoztunk. A alap és kompozit mintákat két különböző technológia segítségével állítottuk elő. Az első technológiai eljárás a PVC és üvegszál elegyítése és gyártása extrúder berendezésen, a másik technológia hengerszéken történő elegyítés és préselési technológiája. A mintákon elvégzett vizsgálatok eredményeiből látható, hogy a préselési technológiával előállított próbatestek a jobb elegyítés hatására stabilabb szerkezet biztosítottak, az extrúdált mintákhoz képest. A mechanikai vizsgálatok eredményei technológiák szerint eltérőek. Összességébe véve a préseléssel előállított alapmintán (P− PVC) elvégzett mérések közül egyedül a szakítóvizsgálat eredményezett gyengébb szerkezetet. A P − K minta eredményeiből megállapítható, hogy az üvegszál befolyásolja a kialakított szerkezetet, azonban ütés hatására a határfelületek mentén rideg törést eredményez.

Az extrúdált minták eredményei a rosszul megválasztott elegyítési módszert bizonyította. Az üvegszál rontotta az alapkeverék tulajdonságait. Egyedül a húzóvizsgálat során bizonyított erősebb szerkezetet a préselt mintákhoz képest, de ennek oka a gyártás hatására bekövetkező nagymértékű orientáció volt. Az extrúdált minták hossz és keresztirányú szilárdsági értékei ez által eltérőek, kereszt irányban gyengébb szerkezeti tulajdonságokkal rendelkezik, míg a préselt minta esetében mind a két irányban azonos szilárdság tapasztalható.

Az eredmények alapján ahhoz, hogy ipari körülmények mellett is alkalmazható terméket tudjuk előállítani, szükséges valamilyen technológiai megoldást találni az extrúdált minta pontos előállításához. A gyors keverőben történő elegyítés nem megfelelő egy homogén

rendszer kialakítására. Azonban ha erre a problémára megoldást találunk, akkor erősebb szerkezet alakítható ki.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **W. V. TITOW**, *PVC Solutions and their Applications*. 1984.

[2] **R. H. PATEL, P. H. KACHHIA, S. N. PATEL, S. T. RATHOD, AND J. K. VALAND**, *Studies on Fabrication of Glass Fiber Reinforced Composites using Polymer Blends*, AIP Conference Proceedings, 2018.

[3] **N. H. ABU-ZAHRA, M. M. JAMEL, P. KHOSHNOUD, AND S. GUNASHEKAR**, *Enhanced Dimensional Stability of Rigid PVC Foams Using Glass Fibers*, World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Materials and Metallurgical Engineering, vol. 9, no. 1, pp. 12–17, 2015.

[4] **R. A. KHAN *ET AL.***, *Comparative studies of mechanical and interfacial properties between jute fiber/PVC and e-glass fiber/PVC composites*, Polymer - Plastics Technology and Engineering, vol. 50, no. 2, pp. 153–159, 2011.

[5] **K. JOHN AND S. V. NAIDU**, *Sisal Fiber/Glass Fiber Hybrid Composites: The Impact and Compressive Properties*, Journal of Reinforced Plastics and Composites, vol. 23, no. 12, pp. 1253–1258, 2004.

[6] **N. H. ABU-ZAHRA, M. M. JAMEL, P. KHOSHNOUD, AND S. GUNASHEKAR**, *Enhanced dimensional stability of rigid PVC foams using glass fibers*, International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering, vol. 9, no. 1, pp. 12–17, 2015.

[7] **M. M. JAMEL, P. KHOSHNOUD, S. GUNASHEKAR, AND N. ABU-ZAHRA**, *Effect of E-glass Fibers and Phlogopite Mica on the Mechanical Properties and Dimensional Stability of Rigid PVC Foams*, Polymer - Plastics Technology and Engineering, vol. 54, no. 15, pp. 1560–1570, 2015.

[8] **S. TUNGJITPORNKULL AND N. SOMBATSOMPOP**, *Processing technique and fiber orientation angle affecting the mechanical properties of E-glass fiber reinforced wood/PVC composites*, Journal of Materials Processing Technology, vol. 209, no. 6, pp. 3079–3088, 2009.

PVC/KUKORICACSUTKA LISZT KOMPOZITOK TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF PROPERTIES OF PVC/CORN COB COMPOSITES

ROMÁN Krisztina[1], ZSOLDOS Gabriella[2]

[1]Phd hallgató, polkrisz@uni-miskolc.hu
[1]Kerámia- és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

[2]egyetemi docens, femzsgab@uni-miskolc.hu
[2]Kerámia- és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *Munkánk során PVC és kukoricacsutka liszt kompozitok előállításával foglalkoztunk. A kompozitok közötti különbség egyedül a kukoricacsutka liszt adagolási mennyiségében tér el. Az előállított mintákon számos mechanikai vizsgálatot végeztünk, a tulajdonságok megismerése érdekében. A mérési eredmények egy referencia mintához képest gyengébb szerkezetet és tulajdonságokat eredményezett egyes kompozitok esetében. A tulajdonságok romlásának valószínűsíthető oka a rossz határfelületi kapcsolat a kukoricacsutka liszt és a PVC között*

Kulcsszavak: *Kompozit, PVC, mechanikai tulajdonságok, DSC vizsgálat*

Abstract: *In our investigations we deal with the production of PVC and corncob flour composites. The only difference in the composites is the amount of the corncob flour. We made several mechanical tests on the produced specimens to investigate the properties of the composites. In the case of some composites the measurements resulted weaker structures and properties compared to a reference specimen. The probable cause of deterioration of the properties is the weak interface connection of corncob flour and PVC.*

Keywords: *Composite, PVC, mechanical properties, DSC analysis*

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a környezetet nagymértékben terhelik a kőolaj-alapú és nem biológiailag lebomló műanyagok, amelyek a jövő tekintetében aggodalomra adhatnak okot. A felmerülő probléma számos kutatót ösztönzött a műanyagok fejlesztésére. Olyan termékek előállításával foglalkoznak, amelyek olcsó természetes és megújuló erőforrásokból, például fehérjéből vagy keményítőből állnak [1]. A természetes anyagok nagy mennyiségben megtalálhatók a környezetben, emellett alacsony költségűek [2]. Általában a természetes töltőanyagok a biopolimer anyagok legmegfelelőbb választékának tűnnek, mivel ártalmatlanok az egészségre és a környezetünkre, alacsony sűrűségűek és biológiailag lebonthatók [3]. A növekvő igények és tendenciáknak köszönhetően a bioszálakat töltőanyagként és/vagy erősítőanyagként használják a műanyag kompozitokban. A szálak merevséget is biztosítanak ezáltal vonzóbbak a gyártók számára [4].

Általában a kompozit anyagok két fázisból állnak: a mátrixból (vagy folyamatos fázis) és a diszpergált fázisból. A kompozit tulajdonságait nagymértékben meghatározza a morfológia funkciói és az alkotók homogenitása, azok relatív mennyisége és a diszpergált fázis geometriája. A polimer mátrixok erősítését elsősorban mesterséges szálakkal, például üveg-, szén- és aramid szálakkal érik el, hogy kihasználják nagy szakító modulusukat a műanyagoknak [5]. A környezeti fenntarthatóság és az éghajlatváltozás kérdése nagy jelentőséggel bír az új anyagok fejlesztésekor, így a töltőanyagként felhasznált anyagok nagy része mezőgazdasági hulladékok [6].

A kukorica egy biomassza erőforrás, amelyet a világon igen sok területen termesztenek. A kukoricacsutka mezőgazdasági eredetű hulladék, amelyet cellulóz (41,27%), hemicellulóz (46%), lignin (7,4%) és egyéb szerves vegyületek (5,33%) összetételű anyagból származik. A polimerekhez természetes töltőanyagként felhasznált kukoricacsutka gazdasági előnye hogy alacsony környezeti hatással bír [3].

A szálerősítést tartalmazó polimerek a hagyományos polimer anyagokhoz képest jobb tulajdonságokkal rendelkeznek. Különböző területeken alkalmazzák őket mivel könnyen feldolgozhatók, magas termelékenység mellett alacsony költségűek és sokoldalú termékek állíthatók elő belőlük. Bizonyos tulajdonságai azonban a legtöbb minőségi követelménynek nem felelnek meg, ilyen a polimer szívóssága is. A tulajdonságok javítására számos megközelítést dolgoztak ki. Ezen alkalmazások többségében a polimerek tulajdonságai módosulnak töltőanyagokkal és rostokkal, hogy megfeleljenek a nagy szilárdság/nagy modulus követelményeknek. A PVC termékeket sokféle területen alkalmazzák, mint csövek, építőanyagok, vízvezetékek. A PVC kiváló kémiai ellenálló képessége, nagyobb szilárdságot és merevséget kínál, mint a legtöbb más hőre lágyuló műanyag. A PVC azonban különösen érzékeny a funkcionális adalékokra, amelyek lehetővé teszik a merev és hajlékony termékek előállítását, amelyek a tervezett műszaki alkalmazásokra alkalmasak [7].

2. ANYAG ÉS MÉRÉSI MÓDSZEREK

2.1. Felhasznált alapanyagok

A referencia (R) és a kompozitok alapja kemény PVC porkeverék. A porkeverék PVC port (Ongrovil S5258) stabilizátort (Ca-Zn alapú stabilizátor), csúsztatókat (glicerin észter és paraffin alapú), feldolgozás javítót (akril alapú) és töltőanyagot ($CaCO_3$) tartalmaz. A kompozitok az előbb felsoroltak mellett kukoricacsutka liszt adalékanyagot tartalmaznak. A kukoricacsutka liszt átlagos szemcseméretе 492.70 μm nagyságú. A kompozitban természetes adalékanyag 100 PVC-hez viszonyított értéke 15, 20, 25 phr (per hundred resin).

2.2. Alkalmazott mérési módszerek

Az elvégzett vizsgálatok a minták mechanikai tulajdonságainak meghatározására szolgálnak. Öt mérési módszert alkalmaztunk, amelyek a következők:

- Sűrűségmérés
- Keménységmérés
- Szakítóvizsgálat
- Ütővizsgálat
- DSC (Differential Scanning Calorimetry) analízis

A sűrűség értékeit Mettler Toledo analitikai mérleggel, Arhimedes elve alapján határoztuk meg.

A keménység mérést Zwich/Roell H0.43150 Shore D berendezéssel végeztük. A keménység meghatározására mintánkénti 20 párhuzamost mérés átlagoltunk. A vizsgálatot ISO 868 szabvány alapján végeztük el.

A szakítóvizsgálatot INSTRON 5566 univerzális anyagvizsgáló berendezéssel végeztük el. A mérés ISO 527-1 szabvány alapján történt, szobahőmérsékleten és 100 mm/ perc húzósebesség mellett.

Az ütővizsgálatot CEAST 6545 berendezéssel végeztük, EN ISO 179 szabványnak megfelelően. Az ütővizsgálat Charpy-módszerrel bemetszett próbatesten 2J ütőkalapáccsal történt.

A molekula feldolgozottságának meghatározására METTLER TOLEDO berendezésen DSC mérést végeztünk 40 és 240 °C közötti hőmérséklet tartományban, 2 °C/perc hűtési sebességet alkalmazva.

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A sűrűségvizsgálat eredményeiből megállapítható, hogy a referencia minta és a kompozitokban esetében sem történt sűrűség változás. A kompozitokban változtatott kukoricacsutka liszt mennyisége sűrűségváltozást nem eredményezett.

1.Táblázat A referencia és a kompozitok sűrűség vizsgálat eredményei

Minta neve	*Sűrűség (g/cm^3)*
R	1,42±0,001
K − 15	1,43±0,002
K − 20	1,43±0,003
K − 25	1,43±0,003

A referencia minta keménysége a kompozitokhoz képest kisebb. A három kompozit értékének és szórásának értékéből megállapítható, hogy a kukoricacsutka liszt mennyiségének növelésével kismértékű változás tapasztalható. A kukoricacsutka liszt szemcsék kemény szegmensként vannak jelen a polimer mátrixában, így növelésükkel keményebb szerkezet alakul ki.

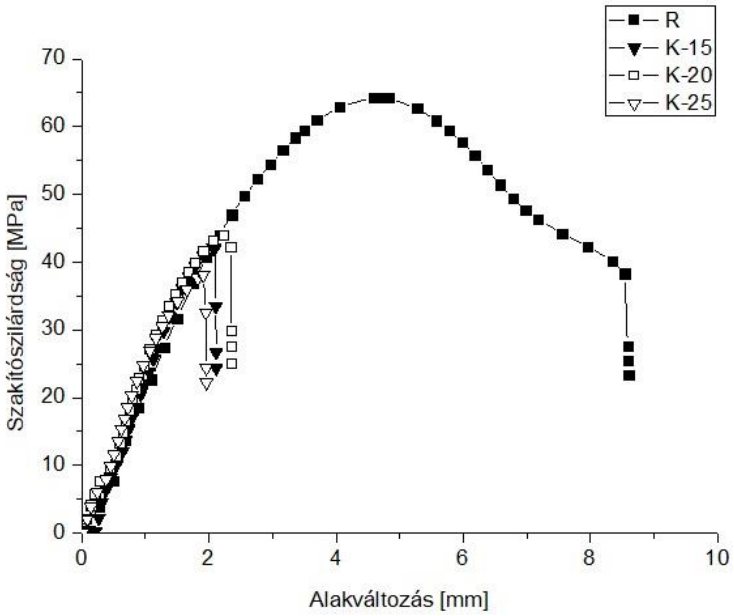
2.Táblázat A keménység mérési eredményei az összes minta esetében

Minta neve	*Shore D*
R	81±0,1
K − 15	82 ±0,7
K − 20	84±1,2
K − 25	84±0,4

A szakítóvizsgálat eredményeinek elemzésekor a referencia mintához tartozó szakítószilárdság érték kimagaslóan nagy a kompozitokhoz képest. A kompozit minták értékeiből látható, hogy a három adagolási mennyiség közül a K - 20-as mintához tartózó szakítószilárdság a nagyobb. A szakítószilárdsági értékének változásának oka a rossz határfelületi kapcsolódás a PVC és a kukoricacsutka liszt között. Ennek javítása szükséges, hogy jobb tulajdonságú anyagok tudjunk kialakítani.

3.Táblázat A minták szakítóvizsgálat mérési eredményei

Minta neve	*Szakítószilárdság (MPa)*
R	64,36±2,4
K − 15	42,08±1,3
K − 20	44,08±0,5
K − 25	38,10±1,4



1. ábra. A referencia és a kompozit mintákon elvégzett szakítóvizsgálat eredménye

Az *1. ábrán* szereplő minták szakítógörbéinek lefutásából megállapítható, hogy a referencia minta nagyobb alakváltozáson esett át, míg a kompozitok görbéi a rideg törés tipikus példáját szemléltetik.

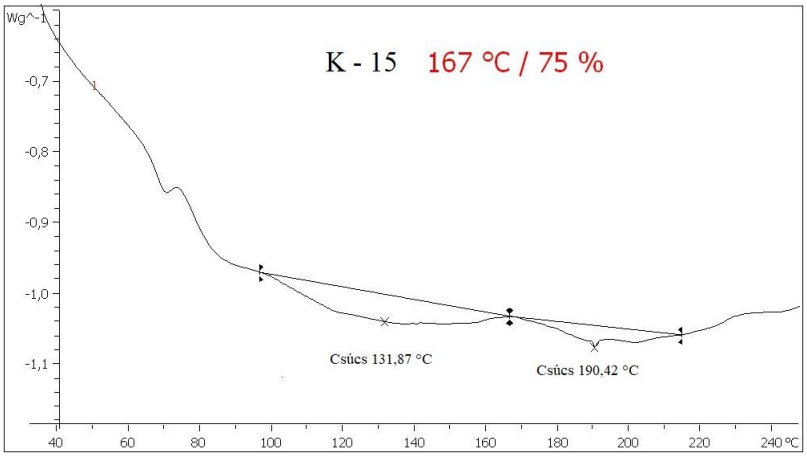
Az ütővizsgálat eredményeiből szintén a gyenge határfelületi kapcsolatra következtethetünk. A minták kapcsolódási felülete mentén következik be a rideg törés, így a kompozitok jelentősen kisebb ütőszilárdsággal rendelkeznek a referencia mintához képest.

4.Táblázat Az előállított mintákon elvégzett vizsgálat ütőszilárdsági értékei

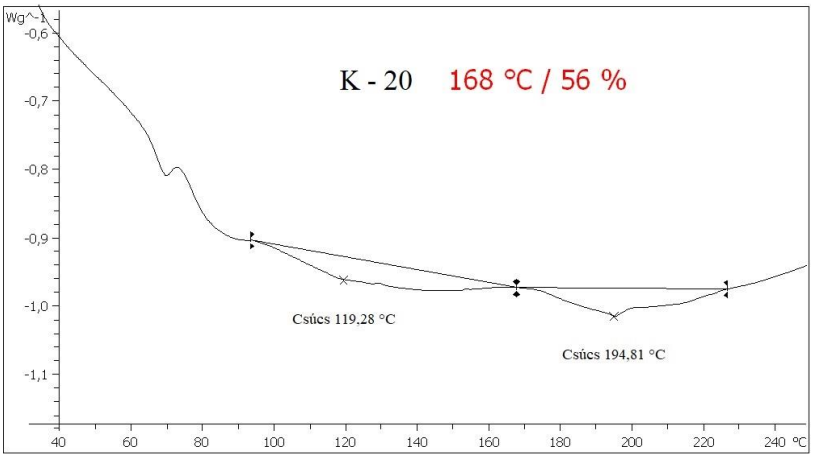
Minta neve	Ütőszilárdság (kJ/m^2)
R	3,54±0,13
K − 15	2,48±0,24
K − 20	2,26±0,31
K − 25	2,34±0,15

A DSC vizsgálat eredménye az alkalmazott hengerlési hőmérsékletet ez által a PVC szupermolekuláris szerkezetének felbomlottságát jól tükrözi. A vizsgálatot csak a kompozitok esetében végeztük el. A kemény PVC minta szupermolekuláris szerkezetének felbomlottsága hengerléskor 170 °C-on 50-60% közötti érték. Az analízissel a kukoricacsutka liszt szerkezetmódosító hatását igyekeztünk megismerni. Mind a *2-3-4. ábrán* egyaránt látható, hogy hasonló szerkezettel és tulajdonságokkal rendelkeznek az előállított kompozitok. Az eredmények értékelése során megállapítható, hogy a természetes töltőanyagok csak inaktív anyagként van jelen a polimer rendszerben.

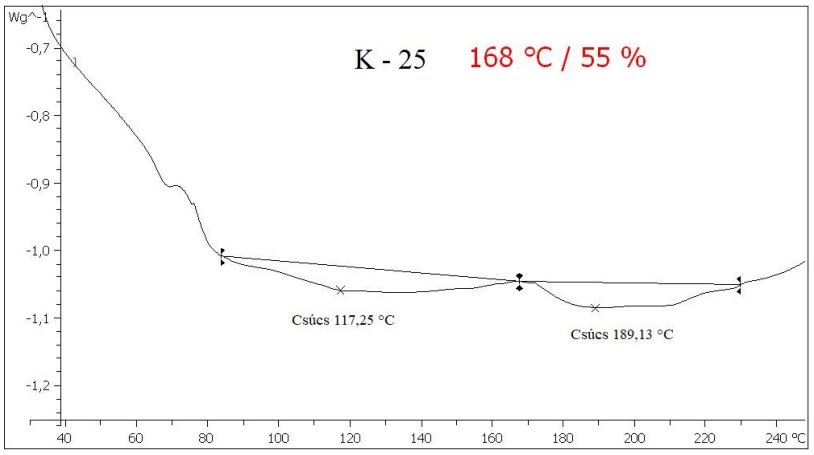
A K - 15 minta molekulái nagymértékű feldolgozottságot mutatnak. A szerkezeti bomlás hatására gyengébb szerkezet alakul ki, amelyeket a mechanikai vizsgálatok eredményei is bizonyítottak. A K - 25 minta eredményei sem megfelelőek, mivel a növel mennyiségű kukoricacsutka liszt hatására növekszik a fázisszétválásra hajlamos felületet, így tulajdonságai nagy része alapvető minőségi követelményeknek nem felel meg.



2. ábra. K – 15 kompozit minta DSC mérési eredményei



3. ábra. K – 20 kompozit minta DSC mérési eredményei



4. ábra. K –25 kompozit minta DSC mérési eredményei

4. ÖSSZEGZÉS

Kutatómunkánk során PVC − Kukoricacsutka liszt kompozitok előállításával foglalkozunk. A kukoricacsutka adagolási mennyiségének változtatására bekövetkező szerkezeti és tulajdonsági módosulásokat ismertük meg. A három kompozit előállítása mellett kemény PVC-ből referencia minta előállításával is foglalkoztunk, amellyel a kompozitok mérési eredményeit hasonlítottuk össze.

A mechanikai vizsgálatok eredményei azt bizonyították, hogy a referencia mintához képest mind a három kompozit kisebb szilárdsággal és gyengébb szerkezettel rendelkezett. Egyedül a keménység mérés során tapasztatunk változásokat, a referencia mintához képest. A kukoricacsutka liszt mennyiségének változtatásával a kompozit keménysége növekedett. A kompozitokon végzett további vizsgálatok eredményei, mint az ütő- és a szakítóvizsgálat esetében is rideg törést tapasztaltunk. A rideg törés a PVC és a kukoricacsutka liszt határfelülete mentén valósult meg. A jövőben a határfelület erősítésére egy harmadik adalékanyag alkalmazásával igyekszünk a kapcsolatot erősíteni. A kutatásainak folytatására, a kompozitok egymáshoz viszonyított eredményei alapján a K - 20 minta rendelkezett a legjobb eredményekkel, így célszerű ezt a mennyiséget alkalmazni.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

6. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **W. V. TITOW**, *PVC Solutions and their Applications*. 1984.

[2] **H. JIANG AND D. P. KAMDEM**, *Development of poly(vinyl chloride)/wood composites. A literature review*, Journal of Vinyl and Additive Technology, vol. 10, no. 2, pp. 59–69, 2004.

[3] **S. HUSSEINSYAH*, K. S. CHUN, C. M. YENG, and A. ISMAIL**, *Tensile , Thermal and Water Absorption Properties of Corn Stalk Filled Low Density Polyethylene Composites : Effect of Coconut Oil Coupling Agent,* Sains Malaysiana, vol. 45, no. 11, pp. 1733–1739, 2016.

[4] **O. FARUK, A. K. BLEDZKI, H. P. FINK, AND M. SAIN**, *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010*, Progress in Polymer Science, vol. 37, no. 11, pp. 1552–1596, 2012.

[5] **G. C. V. IULIANELLI, P. D. M. C. MACIEL, AND M. I. B. TAVARES**, *Preparation and characterization of PVC/natural filler composites*, Macromolecular Symposia, vol. 299–300, no. 1, pp. 227–233, 2011.

[6] **P. U. CHRIS-OKAFOR, A. ROSE, M. UCHECHUKWU, J. N. NWOKOYE, AND E. U. UKPAI**, E*ffects of Coconut Husk and Corn Cob as Fillers in Flexible Polyurethane Foam To cite this article,* American Journal of Polymer Science and Technology, vol. 3, no. 4, pp. 64–69, 2017.

[7] **S. MALAYSIANA**, *Mechanical Properties of Natural Fibre Reinforced PVC Composites : A Review*, Sains Malaysiana, vol. 38, no.4, pp. 531–535 August, 2009.

A FAN-COIL ÉS A KLÍMAGERENDÁS RENDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

COMPARASSION OF FAN-COIL AND CHILÉLED BEAMS

ROZGONYI Valentin[1], L. SZABÓ Gábor [2], BODÓ Béla[3]

[1]épületgépész mérnök, rozgonyivalentin@icloud.com
[1]Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]tanársegéd, l.szabo.gabor@eng.unideb.com
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[3]mesteroktató, bela.bodo@eng.unideb.com
Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A cikkben összehasonlítjuk egy mintaépületben a fan-coil és a klímagerendás rendszert. Az összehasonlítást elvégeztünk elsőnek a szakirodalom szerint, majd a tervezett rendszerek eredményei alapján. Az összehasonlítás során több szempontot vettünk figyelembe. A vizsgált szempontok a tervezési, a komfort, az energiafelhasználási és a költség volt. Továbbá vizsgáltuk a hűtési üzem egy sarkalatos problémáját, a levegő nedvesség tartalmának kondenzációját.*

Kulcsszavak: *érezhető hűtőteljesítmény, teljes hűtőteljesítmény fan-coil*

Abstract: *In this article, the fan-coil and chilled beam cooling-heating system are compared. The comparison was first made according to the literature and then based on the results of the planned systems. In the comparison, we took into account several factors. The considered aspects were design, comfort, energy consumption and cost. In addition, we investigated a critical problem in the cooling plant. This problem is, condensation of the air moisture content.*

Keywords: *sensible cooling capacity, total cooling capacity, fan-coil*

1. BEVEZETÉS

A cikk egy érdekes kérdést vizsgál. Két olyan rendszert hasonlít össze, melyeket egyre gyakrabban használnak. Mind a két rendszer képes hűteni, fűteni, és ellátni a friss levegő igényeket, így akár egymás alternatívái is lehetnének. Ennek ellenére a gyakorlat a klímagerendákat magasabb komfort fokozatú, míg a fan-coil-okat alacsonyabb komfort fokozatú helyiségekben használja.

A cikkben összehasonlítjuk a két rendszert elsőnek a szakirodalmi összefoglalók alapján, majd a hűtési üzem működésének egy sarkalatos kérdésén keresztül. Végül bemutatjuk, egy ugyanabba az épületbe tervezett rendszereken keresztül az energiafelhasználási, tervezési, komfort és gazdaságossági különbségeket.

2. ÖSSZEHASONLÍTÁS A SZAKIRODALOM ALAPJÁN

A szakirodalom ritkán foglalkozik a két megoldás összehasonlításával. A két rendszerben vannak hasonlóságok és különbségek, akárcsak a felhasználásukban.

A *fan-coil* berendezés egy ventilátor és egy hőcserélő célszerű tartozékokkal kiegészített összeépítése. A hőcserélők száma alapján megkülönböztetünk egy hőcserélős (kétcsöves) és két hőcserélős (négycsöves) készülékeket. Az előző cikkünkben összehasonlítottuk a két megoldást, jelen munkákban a négycsöves típussal foglalkozunk tovább.

A *klímagerenda* egy mennyezet alá, vagy fölé beépített hőcserélő, melyhez a levegő természetes úton (passzív) vagy mesterségesen (aktív, indukciós hatás) jut el. Ezekbe a készülékekbe nincs beépítve ventilátor. Mivel egy magas komfort fokozatú irodát kívántunk tervezni emiatt az aktív klímagerendát választottuk. Az aktív klímagerendák lehetnek nyitottak vagy zártak. A nyitott hűtőgerendákban az indukált légáram az álmennyezeti térből lép a gerendába, a zárt gerendák esetében a hőcserélőn keresztül áramlik. A primer levegő bevezetése a szellőző levegő kamrából történik, a kamra oldalán elhelyezett fúvókákon át. Az összehasonlítás során a zárt, aktív klímagerendát használtunk.

Hasonlóság a felépítésben az, hogy mindkettőnél külön-külön van fűtési és hűtési hőcserélő, továbbá az, hogy biztosítani kell a rendeltetésszerű használatához megfelelő hőmérsékletű vizet, valamint képes a helyiség friss levegő ellátására is. Számunkra mégis a különbségek az érdekesebbek.

Az egyik nyilvánvaló különbség, hogy a friss levegő ellátáshoz hogyan viszonyul. A fan-coil-nál ez opcionális, és viszonylag ritkán használt lehetőség, míg az aktív klímagerendáknál meghatározó funkció. Mindkettőnél a készülékben történik a helyiség levegő és a friss levegő keverése. A keveredést a fan-coil-nál ventilátor, a klímagerendánál az indukciós hatás hozza létre a hőcserélő előtt illetve után. Ezen működésből további különbségek vezethetők le.

Az egyik ilyen a zajosság, mely a ventilátor megléte miatt a fan-coil készülékeknél számottevőbb. Szintén ezen elem növeli meg a huzathatás kockázatát. Viszont az elhelyezést is szabadabbá teszi. Míg a klímagerendát a mennyezet alá, vagy felé kell elhelyezni, addig a fan-coil-t akár a falra is helyezhetjük.

Még egy fontos különbség a hűtési üzemben található. Míg a fan-coil készülékek rendelkeznek csepptálcával, és így elvezethető belőlük a hidegebb felületen kicsapódó légnedvesség, addig ez a klímagerendáknál nem lehetséges. A kicsapódás szárítja a helyiség levegőjét, így a benn keletkező (felesleges) nedvességtartalom elvezetéséről (részben) gondoskodunk, addig ezt a klímagerendáknál szárazabb friss levegővel tudjuk csak megoldani (természetesen ez a lehetőség fennáll a fan-coil rendszernél is). Mivel a fan-coil hidegebb, nagyobb exergiatartalmú hűtővízzel működhet, ezért nagyobb hűtőkapacitást tudunk létrehozni azonos méretű felülettel. Viszont a harmatpontnál hidegebb víznél biztosítani kell azt a hőelvonást (rejtett hő) is, mely a levegő nedvességtartalmának kondenzálódásához szükséges. Ezeket az állításokat foglalja össze táblázatos formában az *1. táblázat*.

1. táblázat. A négycsöves fan-coil rendszer és az aktív klímagerendás rendszer összehasonlítása.

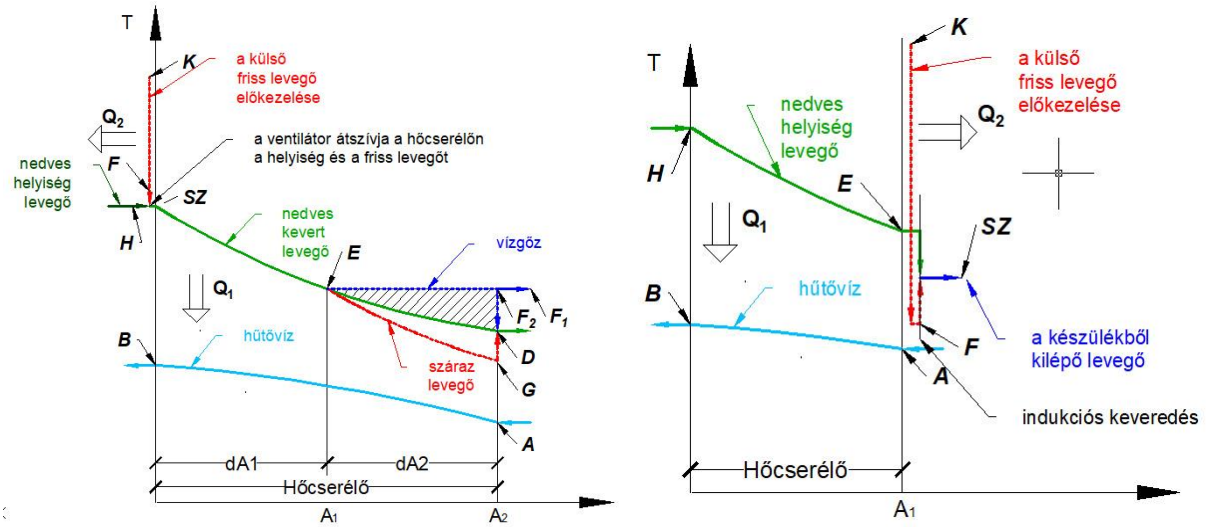
Szempont	**Négycsöves fan-coil**	**Aktív klímagerenda**
Hőcserélők száma	*2*	*2*
Friss levegő ellátás	*Opcionális, de nem jellemző*	*Meghatározó*
A friss és a helyiség levegő keverése	*Hőcserélő előtt, ventilátorral*	*Hőcserélő után, indukciós elven*
Zajosság	*Zajosabb*	*Halkabb*
Huzatveszély	*Fennáll*	*Nincs*
Elhelyezhetőség	*Falon, mennyezeten, nyílászáró alatt*	*Csak mennyezet*
Páratechnikai szabályozás	*Nehézkesebb*	*Könnyebb*
Jellemző hűtési vízhőmérséklet	*7/12 °C; harmatpont alatt*	*16/19 °C; harmatpont felett*
Hűtőkapacitás igény	*Nagyobb*	*Alacsonyabb*

3. HŰTÉSI MÜKÖDÉS ÉRDEKESSÉGE

Az előző pontból látható, hogy érdemes alaposabban megvizsgálni a két típusú készülék működését hűtési üzemállapotban. A friss levegőt is biztosító négycsöves fan-coil berendezések hűtési működését az *1. ábra a) része* segítségével, míg az aktív, zárt klímagerendás rendszerét a *b) résszel* szeretnénk bemutatni.

A fan-coil hőcserélőjébe *„A”* állapotú hűtővíz lép be, majd a hőcsere megtörténte után *„B”* állapotban távozik. A tömegárama nem változik, de a hőmérséklet az előremenő víz hőmérséklet szintjéről (≈7°C) a visszatérő víz hőmérséklet szintjére (≈12°C) emelkedik.

A *„K”* állapotú külső levegőt (t_K≈32°C) szív be a gépházban található légkezelő, melyet a helyiség állapotú levegőre (≈26°C) hűt vissza a *„Q_2”* hőenergia elvonásával. Ezt az előkezelt friss levegőt fogjuk a légcsatornahálózattal szétosztani és a fan-coil készülékhez vezetni (*„F”* állapot, *„m_{friss}”*). A fan-coil berendezésben található ventilátor átszívja a hőcserélőn ezt és a helyiség levegőt (*„H”* állapot, t_H≈26°C) A hőcserélőn ez a keveredett levegő (*„SZ”* állapot, ≈26°C, *„$m_{szell,1}$”*) halad át. A keveredett nedves levegő a harmatpontig (*„E”*, ≈17°C, „$m_{szell,1}$”) hűl, ezután megkezdődik a levegő nedvességének kicsapódása, és ezáltal a levegő száradása. Bár a folyamat innen egyenletesen halad a *„D”* állapot felé, de a megértéshez ketté bontjuk, a nedves levegő két összetevőjére (száraz levegő és a vízgőz). A száraz levegő egyenletesen hűl a tényleges kilépési léghőmérsékletnél (*„$t_{szell,2}$”*) alacsonyabb hőmérsékletre (*„G”* állapot). A száraz levegő tömegárama nem változik a folyamat során. A légnedvesség állandó hőmérsékletű marad a kondenzáció miatt. A kondenzátum a hőcsere végén *„F_1”* mennyiségű és állapotú, míg a le nem kondenzált légnedvesség (*„F_2”* állapot) „hozzákeveredik” a hűtött száraz levegőhöz (*„G”* állapot). Így kapjuk meg a készülékből távozó hűtött levegőt (*„D”* állapot). A kondenzálódás miatt a fan-coil készülék hőcserélőjébe belépő közeg tömegárama (*„$m_{szell,1}$”*, *„SZ”* állapot) nagyobb, mint a belőle távozó (*„$m_{szell,2}$”*, *„D”* állapot). A folyamat során a hőcserélőben *„Q_1”* hőenergiát vonunk el időegység alatt.



1. ábra a) a négycsöves fan-coil készülék *b)* a zárt, aktív klímagerenda működének bemutatása hűtési állapotban

Ez a folyamat az aktív, zárt klímagerendáknál egy kicsit másképp játszódik le. A gerenda hőcserélőjébe itt is *„A”* állapotú hűtővíz lép be, majd a hőcsere megtörténte után *„B”* állapotban távozik. A különbség két állapot hőmérséklet szintjében van. A klímagerendánál az előremenő (≈17°C) és a visszatérő (≈21°C) víz hőmérséklet szintje is magasabb a fan-coil-hoz képest. A készülékbe a helyiségből *„H”* állapotú levegő emelkedik fel, melyből a hűtővíz

„Q_1” hőenergiát von el időegység alatt. Ennek hatására a nedves levegő az *„E”* állapotba jut, melynek hőmérséklete (≈22 °C) magasabb a levegő harmatponti hőmérsékleténél. Ehhez keverjük hozzá az előkezelt friss levegőt (*„F”* állapot). A *„K”* állapotú külső friss levegőt (t_K≈32°C) szívja be a gépházi légkezelő, melyet a helyiség állapotúnál hidegebbre, de a harmatpontnál melegebbre hűtjük elő (≈17°C) a „Q_2” hőenergia elvonásával. Ezt az előkezelt friss levegőt fogjuk a légcsatornahálózattal szétosztani és a fan-coil készülékhez vezetni (*„F”* állapot). A keveredés indukciós elven megy végbe, és így alakul ki a készülékből kilépő szellőző levegő (*„SZ”* állapot)

Mindkét módszerrel túlnyomás keletkezik a helyiségbe, melynek csökkentése a természetes filtráción keresztül történik. („elszivárog” a többlet). A működése alapján egyenértékűnek gondolnánk a folyamatot, de a két hőelvonás értéke nem egyezik meg. Míg a fan-coil készüléknél a *„Q_1”* hőenergiát magas exergiatartalmú közeggel vonjuk el, addig a klímagerendánál alacsony exergiatartalmúval. Így a fan-coil készülékben nagyobb hőenergiát vagyunk képesek elvonni. Ugyanakkor a légkezelőben ugyanolyan hőmérsékletű közeggel (7/12°C hűtővíz) végezzük az előhűtést. Ez azt jelenti, hogy ugyanakkora állapot létrehozásához a klímagerendánál nagyobb mennyiségű levegőt kell előkezelni, így ott *„Q_2”* hőelvonásnak nagyobbnak kell lennie.

4. ÖSSZEHASONLÍTÁS A TERVEZETT RENDSZEREK ALAPJÁN

4.1. A tervezett rendszerek

Az összehasonlításhoz választott irodaház kétszintes, emeltenként 686, összesen 1373 [m^2] hasznos alapterületű. Az épület lapostetős. A helyiségek belmagassága 3,5 [m], az álmennyezeté 2,7 [m], így 0,8 [m] jut a gépészeti szerelésre. Az épület szerkezetei megfelelnek az érvényben lévő 7/2006 TNM rendelet aktuális előírásainak (2018.01.01).

A hőszükséglet számítást az MSZ EN 12831-es szabvány szerint elvégzett, értéke 62,97 [kW]. Az épület hőveszteségtényezője 1.799 [W/K], a fűtési hőfokhíd 67.667 [hK], míg a fűtési idény hossza 194 nap. Ezekből a fűtési energiaigénye az épületnek 121,74 [MWh]. A nyári hőterhelés az MSZ 04-140-4-78–as szabvány szerint meghatározott. A számítások során figyelembe vettük, hogy a 90 irodai alkalmazott reggel 7 órakor érkezik munkába és átlagosan délután 17 órakor végez. Az épületben a legnagyobb hőterhelés értéke 48,17 [kW]. A hűtési idény hosszára 120 napot vettünk fel, míg a munkaidőt figyelembe véve ez 1200 óra tényleges hűtési óraszám. Az irodák, a tárgyalók és a porta hűtött és fűtött egyaránt, míg az étkezők, a konyhák, a lépcsőház és a mosdók csak fűtöttek. Az alárendelt helyiségekben egyszerű radiátoros fűtés lett kialakítva.

Az első rendszer a *fan-coil* rendszer, radiátoros (25 db) kiegészítő fűtéssel. Az épület hűtéséhez 34 db állmennyezetbe épített (L_W=34 [dB]) és 4 db lábakon álló parapetes készülék (L_W=34 [dB]) lett választva. Utóbbi döntés oka, hogy a kisebb irodákba az álmennyezeti típusok túl nagy hűtőteljesítményűek voltak. A választott készülékek összesen 50 [kW] érezhető, 64,76 [kW] teljes hűtő-, és 57,24 [kW] fűtőteljesítményűek. Mindezt 7/12, illetve 50/45 [°C]-os hűtő illetve fűtővíz mellett. A készülékek PIBVC szelepekkel ellátottak. A 2760 [m^3/h] friss levegő előkezeléséhez további 7,5 [kW] hűtési és 5 [kW] fűtőteljesítmény szükséges (83,5%-os forgódobos hővisszanyerő mellett). A hőenergiát két kondenzációs kazán biztosítja mely egyenként maximum 35 [kW] fűtőteljesítményű. A hűtést két folyadékhűtő látja el, 30,9 illetve 41,5 [kW] névleges hűtőteljesítménnyel. A két készülék hűtési jelzőszámai közül az EER 2,29 illetve 2,69, míg az ESSER 3,62 illetve 4,24. A zajosságuk 80, illetve 81 [dB].

A második rendszer a *klímagerendás* rendszer, itt is radiátoros (30 db) kiegészítő fűtéssel.

(A darabszám azért tér el a fan-coil-os rendszertől mert a tervezés sajátosságai miatt a két földszinti két nagyterű helyiségben kiegészítő radiátorok alkalmazásával lehetett elkerülni a nyári túlhűtést.) A hűtő fűtő energia leadók hasonlóak, de három méretet kellett használni. A legnagyobb méretet (L=2,4m) 24 esetben, a közepest (L=1,8m) 9, míg a legkisebbet (L=1,2m) 4 esetben kellett választani. A klímagerendák összesen 35,65 [kW] hűtő és 57,82 [kW] fűtőteljesítményűek. Ezt 16/19 illetve 50/42 [°C]-os vízzel biztosítjuk. A páratechnikai méretezési is figyelembe véve, a készülékekhez összesen 5375 [m^3/h] előkezelt levegőt kell juttatni. Az előkezelt levegő hűtési üzemben 16 [°C]-os és 80 [%] relatív páratartalomú, míg fűtésnél 20 [°C]-os és 42 [%] relatív páratartalomú. Ehhez további 24,3 [kW] hűtő illetve 6 [kW] fűtőkapacitás szükséges. A fűtési igényeket ugyanolyan kazánokkal szolgáljuk ki, mint a fan-coilos rendszernél. A hűtést viszont meg lehetett oldani egy készülékkel is. Ennek névleges hűtőkapacitása 62,3 [kW], 2,27-es EER és 3,78-as ESEER szám mellett. A zajossága 84 [dB].

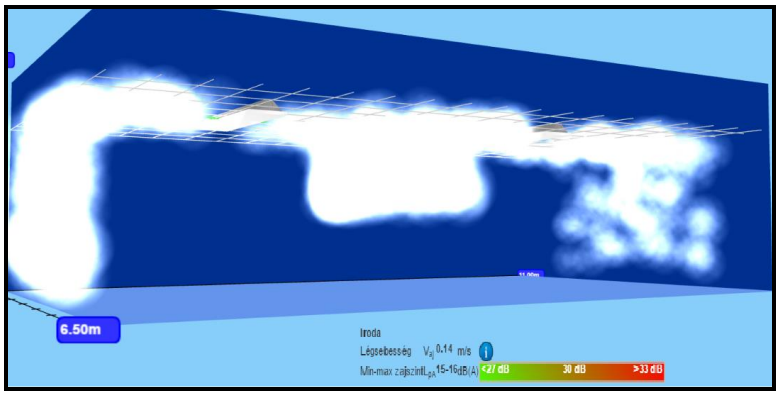
4.2. A komfort szempontok

Az ember életének jelentős részét zárt térben tölti, ezért fontos, hogy az itt kialakított környezetben milyen komfortot tudunk fenntartani. Az emberi komfortot sok szempont befolyásolja, mint például az akusztikai tényezők, színek, szaglás, légzés, hőmérséklet, nedvesség, áramlás. A két rendszerünk összehasonlításánál ezek közül a léghőmérséklet, a zajosság és a huzathatás érdemel figyelmet.

Az ember hőérzetére legjobban a megfelelő *levegő hőmérséklettel* tudunk hatni. A nagy épületek különböző égtáj felé néző helyiségeiben átmeneti időszakban kialakulhat olyan állapot, hogy az egyik helyiségben még fűteni kell, a másikban hűteni kell. Mindkét rendszerben az energialeadók(elvonók) két hőcserélővel rendelkeznek, ezért alkalmasak arra, hogy egyik helyiségben fűtést, a másikban hűtést biztosítson. Így ebből a szempontból nincs különbség a két rendszer között.

Mivel a fan-coil készülékeket és a klímagerendákat is igényesebb helyiségekben alkalmazzák, ezért meghatározó szerepe van a kibocsájtott *zajszintnek*. A felhasználók számára a hőmérséklet után ez okozhat könnyen érzékelhető kellemetlen diszkomfortot. Ezzel a problémával nem szembesülünk a klímagerendáknál, mivel üzemi hangnyomásszintjük 16 dBA a tervezett rendszerben, mely kevesebb, mint az MSZ CR 1752-es szabvány által előírt „A”-kategóriás irodaház maximális zajszintje (30 dBA). A tervezett rendszer fan-coil készülékei igényes kiválasztásnál is 34 dBA lettek, a bennük található ventilátorok miatt. Emiatt ezekkel legfeljebb „B” komfort kategóriájú (35 dBA a megengedett) irodát tudunk hűteni-fűteni.

A helyi diszkomfort tényezők szempontjából fontos megemlíteni még a *huzathatást*, ahol a szakirodalom alapján a fan-coil készülékeknél okozhat gondot. A választott klímagerendás rendszer hatására kialakuló áramlási viszonyokat szoftveresen vizsgáltuk. (*2. ábra*) Az áramlási sebességek és az áramlási kép optimálisan alakult méretezési állapotban. A helyiségben tartózkodási terében 0,14 [m/s]-os légsebesség illetve 16 [dBA] hangnyomásszint alakult ki. A huzat 5,68%-os. A fan-coil készülékeknél kialakuló legnagyobb huzat értéke 19,9%, 0,7 m/s kilépő légsebesség mellett. Így a fan-coil-ok így is megfelelnek az MSZ EN ISO 7730 „B” komfortkategóriás irodáinak.



2. ábra. A 111-es iroda áramlási képének vizsgálata klímagerendás rendszer esetében

A teljesség kedvéért illik megemlíteni, hogy az emberi komfortot a levegő páratartalma is befolyásolja. Ez az érték a két rendszernél megegyezik, mivel a méretezés során a páratartalom kiinduló adat volt mindkét rendszer esetén (RH=50%)

4.3. A gazdaságossági szempontok

A tervek készítésekor törekedtünk ugyanazon elemeket kiválasztani a *beruházási költség* összehasonlíthatósága miatt. A fan-coil rendszer teljes beruházási költsége 41.795.127 HUF, míg a klímagerendás rendszeré 36.189.445 HUF. Azaz a fan-coil rendszer 5.605.682 [HUF]-tal drágább megalkotni. Ennek oka, hogy a fan-coil rendszernél nagyobb hűtőgép teljesítményt kell beépíteni a látens hő fedezése miatt ugyanakkora hőterhelés mellett, és a vizsgált teljesítmény tartományban ezt már csak két folyadékhűtővel tudtuk létrehozni.

Az épület rendszereinek *üzemeltetési energiaigénye*inél a fűtési, a hűtési és a légkezelés energiaigényét vettük számításba. Az épület fűtéséhez a kazánnak 438,28 GJ hőenergiára van szüksége földgázból. A fűtési rendszer működtetéséhez további elektromos segédenergiaigény kell. A fan-coil ventilátorok folyamatos működését (levegő szűrése) feltételezve, az első rendszerben ez 4310,4 kWh, míg a klímagerendás rendszernél ez csak 332,8 kWh. A hűtési energiaigényeket ellátó rendszereket elektromos árammal működtetjük mindkét megoldásnál. A folyadékhűtő és a puffert ellátó primer szivattyú ennél kevesebbet üzemel. A folyadékhűtő működését óránként 30 percre felvéve, a működési idejük 600 munkaóra. Ezeket figyelembe a fan-coil rendszer elektromos munkaigénye a hűtési szezonban 25,35 MWh, a klímagerendásé 19,39 MWh. A fan-coil rendszer légkezelő gépének energiafogyasztása 1,79 MWh, míg a klímagerendásé 3,68 MWh.

Az *üzemeltetési költségek* meghatározásához a gáz árát 2,957 HUF/MJ-lal és 34,38 MJ/m^3 alsó fűtőértékkel vettük figyelembe. Az elektromos áram árát 37,75 HUF/kWh-val számoltuk. Ezek alapján a fan-coil rendszer éves üzemeltetési költsége 2.542.173 HUF, míg a klímagerendás rendszeré 2.238.403 HUF.

Az üzemeltetési költség mellett jelentős szerepet töltenek be a tervezett karbantartási munkálatok költségei. Ennek a költségének a meghatározása összetett folyamat. A klímagerendák karbantartási igénye minimális, mivel általában 5 évente igényelnek a gerendák tisztítást. . Ellentétben a fan-coil készülékekkel, ahol általában évenként kétszer kell szűrőt cserélni illetve háromszor kondenzvíz elvezető rendszert tisztítani. A két tervezett rendszer közötti *karbantartási költség*különbség évenként közel 1,3 millió forint.

5. EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE, ÖSSZEGZÉS

A megtervezett két rendszer esetén, minden szempontból a klímagerendás rendszer jött ki jobbnak. A képet viszont szükséges árnyalni.

Egyfelől a fan-coil berendezések alkalmasak kifejezetten nagy hőterhelés elvonására. Mivel a mintaépületünk esetén a helyiségek hőterhelése viszonylag alacsony volt, emiatt tudtuk mindkét rendszerrel kihűteni. Másfelől a rendszerek beruházási költségének alakulása nagymértékben függ, hogy az egyes gépészeti elemek választása melyik gyártótól származik. A két rendszer legfontosabb elemeit nem tudtuk egy gyártótól beszerezni, így szükséges ezt is figyelembe venni a különbségek értékelésénél.

Mindezek ellenére, kijelenthető a meglévő rendszerek alapján, hogy a klímagerendás rendszerrel képesek vagyunk magasabb komfortfokozatú teret létrehozni. Másik ilyen jellemző az, hogy mivel a fan-coil rendszerek alacsony hőmérsékletű hűtővízzel üzemelnek emiatt nagyobb hűtőkapacitást kell a rendszerbe építeni. Ez 4,07 MWh-t jelent a tervezett rendszerek esetén, amely azt jelenti, hogy a fan-coil rendszernek hűtési szezonban 17,64% több hidegenergiára van szüksége.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **ROZGONYI, V., L.SZABÓ, G., BODÓ, B.:** *A két- és négycsöves fan-coil rendszerek összehasonlítása.* Magyar Épületgépészet 60:9, p. 3-8, 2017., ISSN:1215-9913

[2] **VIRTA, M. (EDITOR):** *Hűtőgerendák – Alkalmazástechnikai kézikönyv,* Rehva, Európai Épületgépészek szövetsége, Épületgépészeti Kadó Kft., 2004., ISBN 978-963-06-2238-7

[3] **KESZY-HARMATH, Z.; VÁRJON, D.:** *Klímatervezés*, Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1974, ISBN: 963-10-0581-X

[4] **VÁRJON, D.:** *Gazdaságos lég- és hűtőtechnikai berendezések*, Műszaki könyvkiadó, Budapest, 1985. ISBN: 963 10 6255 4

[5] **VINKLER, K.:** *Kézben tartott áramlás*, PI InnovációsKft., Budapest. 2013, ISBN: 978-615-5193-13-6

[6] **MSZ 24140:2015**: *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai* (Power Engineering Dimensioning Calculuses of Buildings and Building Envelope Structures)

[7] **MSZ CR 1752-2000**: *Épületek szellőztetése. Épületek belső környezetének tervezési alapjai* (Ventilation for buildings – Design criteria for the indoor environment)

[8] **CSÁKY, I.:** *Épületek nyári hőterhelésének energetikai vizsgálata*, egyetemi doktori értekezés, 2015., Debreceni Egyetem

[9] **CSÁKY, I.:** *Belső léghőmérséklet mérések a Debreceni Egyetem Műszaki Karán*. Magyar Épületgépészet 60:9, 3-8, 2015., ISSN:1215-9913

[10] **MSZ EN ISO 13790-2008**: *Épületek energetikai teljesítőképessége. A fűtési és hűtési energiaigény számítása*. (Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling)

[11] **MSZ EN 12831:2003:** *Épületek fűtési rendszerei. Hőszükséglet-számítási módszer* (Heating systems in buildings. Method for calculation of the design heat load)

[12] **L. SZABÓ, G., KALMÁR, F.:** *Egy irodaépület hőterhelésének meghatározása az MSZ 04-140-4-78 és az MSZ EN ISO 13790 szerint*. Energiagazdálkodás 58:3, 6-10, 2017., ISSN: 0021-0757

[13] **CSÁKY, I., – KALMÁR, T. K.:** *Analysis of degree day and cooling energy demand in educational buildings.* Environmental Engineering and Management Journal 13:11, 2765-2770, 2014, ISSN:1582-9596 1843-3707

[14] **SZODRAI F., LAKATOS, Á.:** *Különböző éghajlati viszonyoknak kitett épületek fűtési energiafelhasználásának csökkentése hőszigeteléssel*. Energiagazdálkodás 57:3-4, 26-29, 2016, ISSN: 0021-0757

[15] **KALMÁR, T.:** *Alacsony energia igényű fűtési rendszerek*. A „Műszaki Tudomány az Észak-

Alföldi Régióban 2007" konferenciakiadványa, Debreceni Akadémiai Bizottság Műszaki szakbizottsága, 39-46, 2007, ISBN 978-963-7064-18-0

[16] **KALMÁR, F.:** *Központi fűtési rendszerek energetikai elemzése*. Debreceni Műszaki Közlemények, 5:2, 23-31, 2006, ISSN: 1587-9801

[17] **KALMÁR, T.:** *Családi házak fűtési energiaigényének elemzése*. Magyar Épületgépészet. 9, 4-8, 2009., ISSN: 1215-9913

[18] **SZODRAI, F., LAKATOS, Á.:** *Effect of the air motion on the heat transport behaviour of wall structures*. International Review of Applied Sciences and Engineering, 8:1, 67-73, 2017., ISSN: 2062-0810 2063-4269

WC–Co FELÜLETI RÉTEG VIZSGÁLATA SPEKTRÁL ANALITIKAI MÓDSZEREKKEL

INVESTIGATION OF WC–Co SURFACE LAYER WITH SPECTRAL ANALYSIS METHODS

RUGÓCZKY Péter[1], LASSÚ Gábor [2], LAKATOS János [3]

[1]PhD hallgató, bevonatoló részleg vezetője, prugoczky@gmail.com
Kémiai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Fraisa Hungária Kft.,

[2]Tudományos segédmunkatárs, feklassu@uni-miskolc.hu
Metallurgiai Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros

[3]Egyetemi docens, mtasotak@uni-miskolc.hu
Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: *WC–Co típusú keményfémek savas oldással módosított felületi rétegét vizsgáltuk. A felületi rétegből kioldott kobalt mennyiségét az oldószerben atomabszorpciós spektrofotométerrel (AAS) határoztuk meg. A mért kobalttartalmat alapul véve számítási módszert dolgoztunk ki a kobalt oldásban érintett felületi réteg vastagságának meghatározására. A módosított felületi réteg összetételének direkt vizsgálatára ködkisüléses optikai spektrofotométeres (GD-OES) módszert alkalmaztunk. A kapott mélységprofi, mint második módszer lehetővé tette a kobaltban elszegényített réteg vastagságának meghatározását. Igazoltuk, hogy az AAS ill. GD-OES módszerek egyformán jól használhatók a savas oldással módosított felületi réteg jellemzésére. Kimutattuk, hogy a keményfémek szemcseméretének, kobalttartalmának függvényében a módosított felüteti réteg vastagsága változik.*

Kulcsszavak: *WC–Co fémkompozit, AAS, GD-OES, kobalt oldódás*

Abstract: *We have investigated the modified surface layer of the WC–Co metal matrixes composite materials (hardmetals) by acidic selective cobalt etching. The quantity of the removed cobalt was measured by Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS). Based on the removed cobalt measurement we worked up a calculation method to determine the thickness of the modified outermost layer of the hardmetals. We have verified the goodness of the calculation method by Glow discharge optical emission spectrometry (GD-OES) deep profiling. Comparing the layer thickness of the modified layer of the hardmetals determined by calculation method and GD-OES profiling the results are very similar so we can say that the two methods are equivalent. We demonstrated that the same acidic treatment on different hardmetals results different modified outermost layer depending on the cobalt content of the hardmeatals and the grain size of the WC.*

Keywords: *WC–Co composite material, AAS, GD-OES, cobalt dissolution*

1. BEVEZETÉS

WC–Co típusú fémkompozitok a megmunkáló szerszámok, a nagy koptató igénybevételnek kitett alkatrészek széles körben használt alapanyaga. Ezen anyagok felületét gyakran tovább módosítják a szerszámok/alkatrészek előállításakor, vagy életciklusuk végén az újrahasznosítás során.

WC–Co fémkompozit egyik fontos felületmódosítását a gyémánt bevonat kialakítás jelenti. A bevonat kialakítás azonban nem valósítható meg a felület mechanikai megmunkálás után nyert állapotában. A gyémánt réteg leválasztás kémiai felület előkészítést tesz szükségessé, ami szelektív kobalt oldást jelent. A gyémánt képződés elősegítése érdekében a Co-ot a grafitleválást katalizáló hatása miatt ugyanis a felületi rétegből el kell távolítani. [1-4].

Ez savas oldással valósítható meg. A művelet tervezéséhez segítségként használható a más

nem bevonatképzés területén szerzett tapasztalat, a különböző szerves és szervetlen savas szelektív és nem szelektív kobalt oldó eljárásokat ugyanis a WC–Co hulladék anyagok újra hasznosításánál is alkalmazzák [5-7].

A kobalt szelektív eltávolításával módosított keményfém felületi rétegek vizsgálata spektrálanalitikai módszereket alkalmaztunk. Az oldat kobalt tartalmának meghatározása segítségével követtük a kioldás előrehaladását. Ehhez lángatomabszorpciós (FAAS) módszert alkalmaztunk. A kioldási művelet végén kapott felületi réteg összetételének direkt vizsgálatát a felületet folyamatosan ledolgozó és elemi összetételét atomemissziós elven megadó GD-OES) módszerrel végeztünk.

A fent említett módszerekkel feltárt jelenségek, megszerzett új ismeretek segíthetik a hatékonyabb keményfém felület módosító eljárások fejlesztését.

2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. Keményfém felületek előkészítése

Vizsgálatainkhoz háromféle a Ceratizit S.A.-tól származó keményfémen végeztük, melyekben a WC szemcseméretе és a kobalt mátrix mennyisége különböző volt. A minták előkészítésénél az ipari és laboratóriumi gyakorlatban egyaránt széles körben elterjedt két lépéses, gyémánt leválasztást megelőző és lehetővé tevő módszert alkalmaztuk melynek első lépésében a keményfémek felületén a WC-ot oldják szelektíven Murakami-reagens (100 g $K_3[Fe(CN)_6]$, 100 g KOH, és 1000 ml H_2O) felhasználásával, majd a keményfém kobalttartalmát oldják szelektíven kénsav, hidrogén-peroxid, víz rendszerben, közismert nevén Caro savban. Az alkalmazott Caro sav vizes oldatának koncentrációja a következő volt: $c(H_2SO_4)$ = 0,287 mol/l, $c(H_2O_2)$ = 2,05 mol/l. A vizsgált keményfémek jellemző szemcseméretét, kobalttartalmát és a továbbiakban használt elnevezését az *1. táblázat* tartalmazza.

A keményfém minták előkészítését korábbi munkánkban [8] ismertetjük részletesen.

1. táblázat. A vizsgált keményfémek jellemzői, a [9] alapján.

Kereskedelmi név	CTF12E	CTS12D	TSF22
„Carbide grades”	***fine***	***submicron***	***ultrafine***
Co tartalom, m/m %	6,0	6,0	8,2
Tipikus WC szemcseméret, µm	0,8-1,3	0,5-0,8	0,2-0,5

2.2. Módosított felületi réteg vastagságának meghatározása

A vizsgált keményfémek kobalt kioldás által érintett felületi rétegének a vastagságát a savas oldatok kobalt tartalma ismeretében a (3) egyenlet felhasználásával határoztuk meg.

A keményfém teljes térfogatának azon része, amelyből kioldottuk a kobaltot:

$$V_\Sigma = V_{Co} + V_{WC} = \frac{m_{Co}}{\rho_{Co}} + \frac{m_{WC}}{\rho_{WC}} \quad (1)$$

ahol

V_Σ – keményfém térfogat, amelyből a kobaltot kioldottuk, m^3,

V_{Co} – a keményfémből kioldott kobalt térfogata, m^3,

V_{WC} – a keményfémben lévő WC térfogata, m^3 (azon térfogatrészben, melyből a Co-t kioldottuk),

m_{Co} – a keményfémből kioldott kobalt tömege, kg,

m_{WC} – a kioldás által érintett térfogatrészben lévő WC tömege, kg,

ρ_{Co} – a kobalt sűrűsége, 8900 kg m^{-3},

ρ_{WC} – a volfrám karbid sűrűsége, 15800 kg m^{-3}.

Továbbá a keményfémben lévő WC tömege, az eredeti kobalt tartalom ismeretében kifejezhető a következő egyenlettel:

$$m_{WC} = \frac{m_{Co}}{x}(100 - x) \quad (2)$$

ahol x a keményfém százalékos kobalttartalma m/m %-ban.

A fenti két egyenletet kombinálva és elosztva a minták felületével kaptuk meg annak a rétegnek a vastagságát, melyből a kobaltot kioldottuk:

$$\frac{V_\Sigma}{A_m} = \frac{\left[\frac{m_{Co}}{\rho_{Co}} - \frac{m_{Co}\cdot(x-100)}{x\,\rho_{WC}}\right]}{A_m} = d \quad (3)$$

ahol

A_m – a minta felülete, m^2,

d – a felületi réteg vastagsága, amelyből a kobaltot kioldottuk, m.

A módosított felületi réteg vastagságának meghatározása a kezelési idő függvényében akkor lehetséges a fent bemutatott számítási módszerrel, ha ismert a keményfém kiindulási kobalttartalma, valamint az oldott kobalt mennyisége. Előbbit röntgen fluoreszcens spektrofotometriás módszerrel, utóbbit atomabszorpciós spektrofotométer alkalmazásával határoztuk meg.

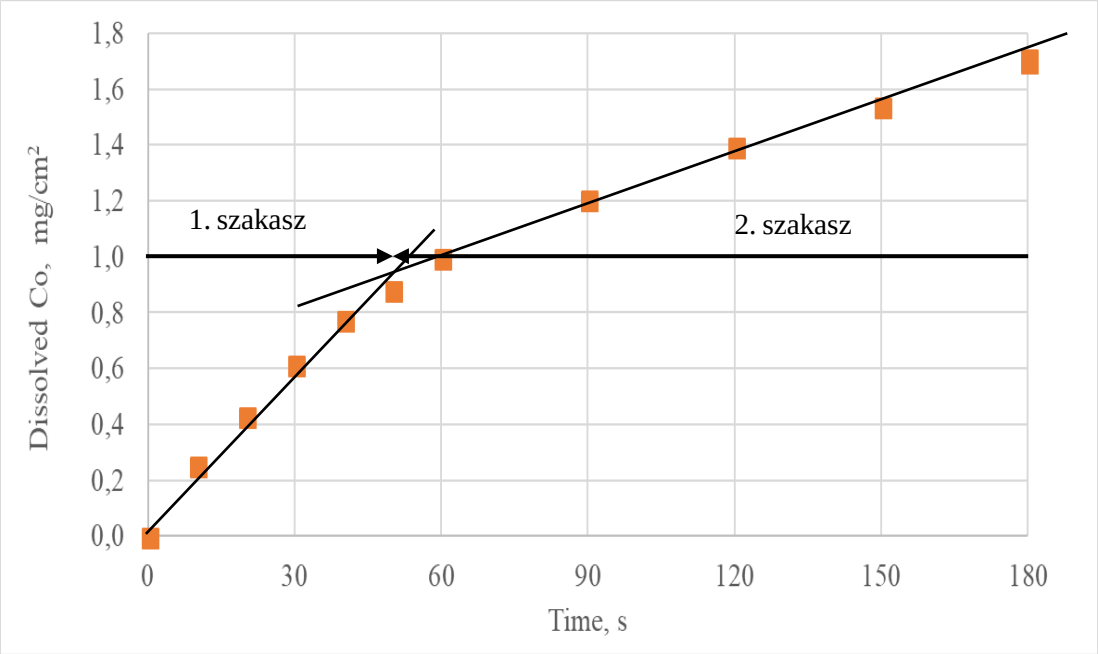
Egy másik alkalmas módszer a kobaltban elszegényített réteg vastagságának mérésére a mélységprofil-vizsgálatra is alkalmas GD-OES (Ködkisüléses Optikai Emissziós Spektroszkópia). Melynél a katódként kapcsolt minta felülete folyamatosan porlasztódik a katódporlasztás során, a ledolgozott anyag ködkisüléses gerjesztése folyamatos emissziós jelet produkál, amiből a réteg elemösszetételének mélységprofilja meghatározható.

3. WC–CO FÉMKOMPOZIT ANYAGOK MÓDOSÍTOTT FELÜLETI RÉTEGÉNEK VIZSGÁLATA

A szelektív kobalt oldással pórusossá tett felületi réteg vastagsága meghatározható a kioldott kobalt mennyiségének ismeretében annak ellenére, hogy a keményfém másik fő komponense, a WC is oldódik. Tulajdonítható ez annak, hogy a WC oldódása akkor válik lehetségessé, ha a szemcséit összetartott kobalt kioldódott, továbbá a WC oldódási sebessége jelentősen kisebb a kobaltétól, amint azt a korábbi munkánkban bemutattuk [4]. A számításnál figyelembe kell venni azt, hogy a mintákat a szelektív Co oldás előtt előkezeltük, vagyis a felületen lévő WC-ot szelektíven oldottuk Murakami-reagensben, így a minták felületén egy

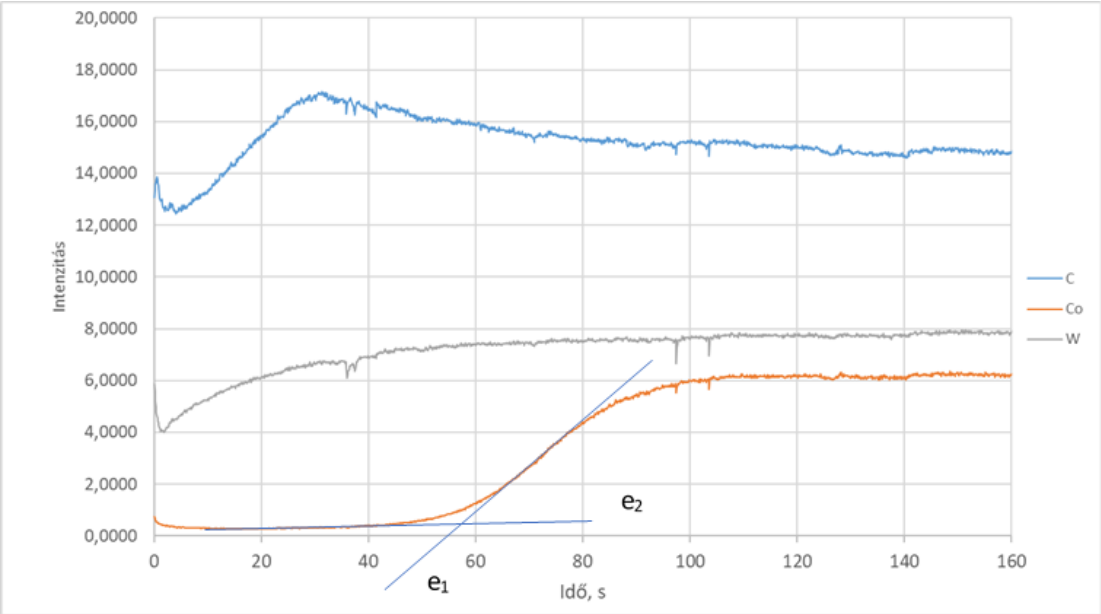
hálós kobalt szerkezet jön létre. Ennek a hálós szerkezetnek meghatároztuk a kobalt tartalmát az idő – oldott kobalt mérési pontokra fektetett egyenes egyenlete segítségével és az elvégzett számításoknál a hálós kobalt szerkezet kobalttartalmát kivontuk az oldott kobalt mennyiségéből. Az *1. ábra* szemlélteti a hálós szerkezetű felületi kobalt oldódási szakaszát (a görbe 1. szakasza), valamint az oldódás azon szakaszát, amelyben a WC szemcsék közötti kobalt oldódik (a görbe 2. szakasza). Az ábra tanulsága szerint az oldódás két szakasza jól elkülönül a szakaszok eltérő meredeksége alapján, ennek oka az oldódás eltérő mechanizmusában keresendő [10].

A módosított felületi réteg vastagságának meghatározására szolgáló számítási módszer helyességének igazolására GD-OES mélységprofil-elemzést végeztünk. Az elporlasztott réteg vastagságának időfüggését Mahr Surf M400-as profilométer adatainak felhasználásával végeztük el.



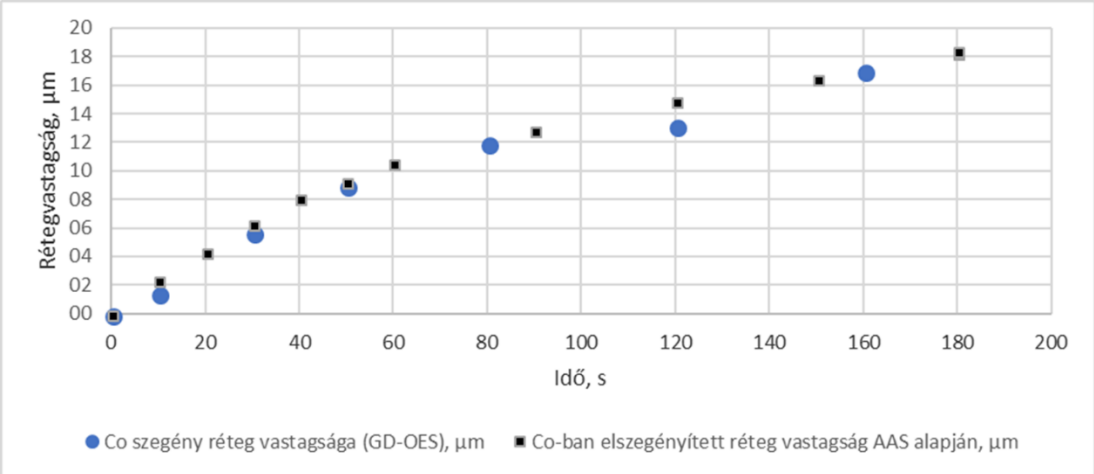
1. ábra: Oldott kobalt időfüggése fine szemcseméretű keményfémen, szobahőmérsékleten. Az 1. szakaszban a felületen lévő hálós szerkezetű köbalt oldódik, míg a második szakaszban a WC szemcsék közötti kobalt. (100 ml Caro savban, a minta felülete 5,28 cm2, AAS mérés alapján.)

A *2. ábrán* a karbon, volfrám és kobalt mélységprofilja látható 10 s-ig kezelt 6 % kobaltot tartalmazó fine szemcseméretű keményfémen. A mélységprofilok segítségével úgy határoztuk meg azt a rétegvastagságot, amelyből a kobalt kioldódott, hogy a kobalt intenzitásgörbéjére a *2. ábrán* látható módon két egyenest illesztettünk (e1 és e2) és az egyenesek metszetének függőleges vetületéhez tartozó időt vettük a kobalt megjelenéséhez tartozó időnek az intenzitásgörbén. A meghatározott időket megszoroztuk a profilométerrel megállapított porlasztási sebességgel.



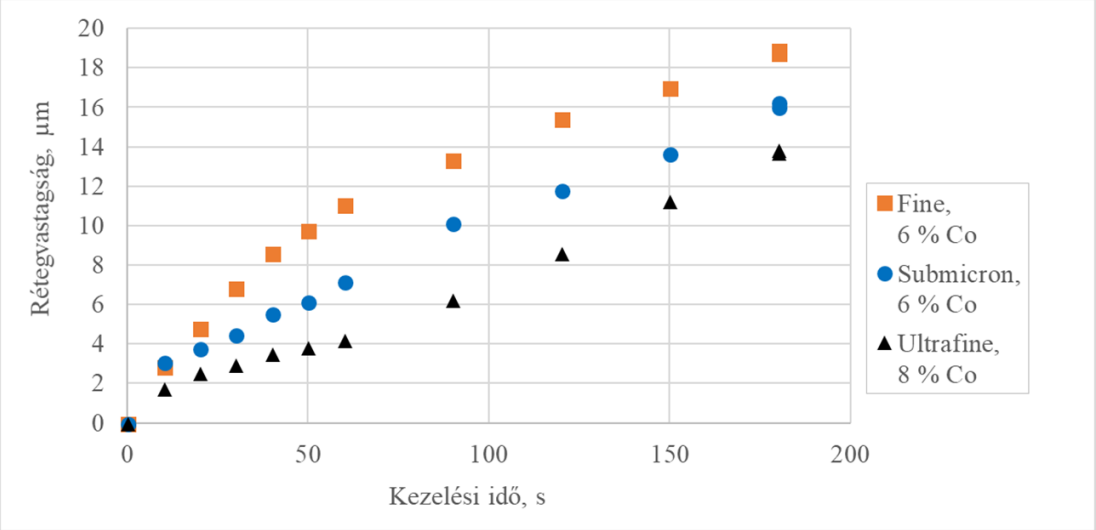
2. ábra: Módosított felületű keményfém minta GD-OES módszerrel meghatározott C, Co és W mélységprofilja. 100 ml Caro savban, szobahőmérsékleten, 10 s-ig kezelt, „fine" szemcseméretű, 6% Co-t tartalmazó minta. A sputtering idő transzformálása rétegvastagságra LASER profilométeres mérés alapján történt

A *3. ábrán* az oldott kobalt mennyiségéből számított, az idő függvényében kialakuló módosított felületi réteg vastagsága, valamint ugyanezen felületi réteg GD-OES módszerrel mért vastagsága látható. Az ábrán jó egyezés figyelhető meg a két különböző módszerrel meghatározott rétegvastagság között.



3. ábra: A kioldott kobalt mennyiségéből számított, az oldási idő függvényében kialakuló módosított felületi réteg vastagsága, valamint a GD-OES módszerrel meghatározott rétegvastagságok. Caro savas Co oldás, szobahőmérsékleten, 100 ml Caro savban, a minták felülete 5,28 cm^2. „Fine" szemcseméretű keményfém, 8 % Co tartalom.

A *4. ábra* tanulsága szerint az azonos kezelési idők különböző kobaltban elszegényített rétegvastagságot eredményeznek különböző keményfémeken a szemcseméret és a keményfém eredeti kobalttartalmának függvényében



4. ábra: A kioldott kobalt mennyiségéből számított, az oldási idő függvényében kialakuló módosított felületi réteg vastagsága. Caro savas Co oldás, szobahőmérsékleten, 100 ml Caro savban, a minták felülete 5,28 cm^2.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A bemutatott eredményeink hozzájárulhatnak a WC–Co típusú fémkompozitok savas kobalt oldáson alapuló felületmódosító eljárása mechanizmusának jobb megértéséhez.

Kimutattuk, hogy:

- A GD OES mélységprofil elemzéssel meghatározott módosított felületi réteg vastagsága egyenértékű a kidolgozott AAS mérésen alapuló rétegvastagság számítási módszerrel.
- Azonos kezelési idő különböző keményfémek esetén különböző vastagságú módosított felületi réteget eredményez. Az adott idő alatt kialakuló módosított réteg vastagsága, illetve a kioldott kobalt mennyisége függ a keményfém kobalttartalmától és a volfrám-karbid szemcseméretétől.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **R. HAUBNER, W. KALSS:** *„Diamond deposition on hardmetal substrates – Comparison of substrate pre-treatments and industrial applications,”* Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials, kötet: 28, 475–483, 2010.

[2] **R. POLINI, F. BRAVI, F. CASADEI, P. D'ANTONIO, E. TRAVERSA:** *„Effect of substrate grain size and surface treatments on the cutting properties of diamond coated Co-cemented tungsten carbide tools,”* Diamond and Related Materials, kötet:11, 726-730, 2002.

[3] **B. LUX, R. HAUBNER, P. RENARD:** *„Diamond for tooling and abrasives,”* Diamond and Related Materials, kötet: 1, 1035-1047, 1992.

[4] **P. RUGÓCZKY, G. LASSÚ, J. LAKATOS:** *„Characterisation of the structure of WC–Co composite support layer of diamond coatings,”* in ISER-343rd International Conference on Nanoscience, Nanotechnology & Advanced Materials , Krakow, Poland, 2018.

[5] **S. KIM, B. SEO, S.-HO SON:** *“Dissolution behavior of cobalt from WC–Co hard metal scraps by oxidation and wet milling process,”* Hydrometallurgy, 143, 28-33, 2014.

[6] **JAE-CHUNLEE, EUN-YOUNG KIM, JI-HYE KIM, WONBAEK KIM, BYUNG-SOO KIM, BANSHI D.PANDEY:** *“Recycling of WC–Co hardmetal sludge by a new*

hydrometallurgical route," Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 29, 365-371, 2011.

[7] **B. SEO, S. KIM:** *"Cobalt extraction from tungsten carbide-cobalt (WC-Co) hard metal scraps using malic acid,"* International Journalof Mineral Processing, 151, 1-7, 2016.

[8] **P. RUGÓCZKY, G. MURÁNSZKY, J. LAKATOS:** *"Gyémánt felületi réteg leválasztását lehetővé tevő előkészítő műveletek WC–Co kompozit anyagokon,"* in Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban, Szolnok, 2018.

[9] **CERATIZIT LTD:** *"Ceratizit Carbide Grades,"* [Online]. Available: https://www.ceratizit.com/en/products/rods-preforms/carbide-grades/. [Accessed May 2018].

[10] **P. RUGÓCZKY, G. MURÁNSZKY, J. LAKATOS:** *„Co fém és WC–Co fémkompozit anyagok savas oldódásának összehasonlító vizsgálata,"* in PEME XVI. PhD - Konferencia, Budapest, 2018.

GYÉMÁNT FELÜLETI RÉTEG LEVÁLASZTÁSÁT LEHETŐVÉ TEVŐ ELŐKÉSZÍTŐ MŰVELETEK WC–Co KOMPOZIT ANYAGOKON

PRETREATMENT METHODS PRIOR THE CHEMICAL VAPOR DEPOSITION OF DIAMOND TO WC–Co COMPOSITE MATERIALS

RUGÓCZKY Péter[1], MURÁNSZKY Gábor [2], LAKATOS János [3]

[1]PhD hallgató, bevonatoló részleg vezetője, prugoczky@gmail.com, Kémiai Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Fraisa Hungária Kft.,

[2]Egyetemi adjunktus, gabor.muranszky@gmail.com, Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros
[3]Egyetemi docens, mtasotak@uni-miskolc.hu, Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: *A kobalt mátrixba színterelt volfrám-karbid kompozit, közismert nevén keményfém, közkedvelt alapanyag a nagy koptató igénybevételnek kitett alkatrészek előállításánál. Az alapanyag kedvező tulajdonsága, amely egyrészt a kobalt szívósságának, másrészt a volfrám-karbid nagy keménységének köszönhető tovább javítható a felhasználás igényeihez igazodó bevonatokkal. Ezen bevonatok között, nagy jelentőségű a kémiai gőzfázisú módszerrel leválasztott gyémánt bevonat. Közismert, hogy WC–Co fémkompozitok felületén előkezelés nélkül kémiai gőzfázisú módszerrel nem választható le gyémánt réteg. A gyémánt réteg leválasztása előtt a gyémánt képződését gátló folyamatokat a felület előkezelésével minimalizálni kell. Vizsgálataink a gyémánt leválasztást megelőző műveletek törvényszerűségeit igyekszik feltárni. a Co eltávolításán alapuló módszert alkalmazva a kezelési időtől függő mélységű felületi rétegeket alakítottunk ki. A felületi rétegben a WC szemcsék rögzítettségének változását, a bevonatok tapadásának jellemzésére elterjedten alkalmazott, Rockwell C lenyomat indukálta réteglevválásos tapadásvizsgálattal, követtük. A vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy ez az eljárás alkalmas a szelektív kobaltoldással elvégzett felületelőkészítés minősítésére is.*

Kulcsszavak: *gyémánt, keményfém, bevonatok tapadása*

Abstract: *Cobalt sintered tungsten carbides (hardmetals) are widely used material for wear resistant component. Hardmetals have advantageous combination of a brittle but very hard, wear resistant ceramic and a ductile cobalt. Further improvement of the wear and friction properties of the functional surface of WC–Co component are possible using coating deposited from vapor phase. The chemical vapor diamond deposition is an attractive method for producer. In our study we are showing our results on subject of the pre-treatment steps on hardmetals prior CV diamond deposition. Our examination confirmed that the CV diamond deposition onto hardmetals is not possible without pre-treatment. The pre-treatment of the hardmetals based on Co dissolution method produce a some μm thick Co-depleted layer which results a mechanically unstable support layer of the diamond coating. The Rockwell C indentation-based adhesion test, commonly used for the classification of the goodness of the coatings, was applied for the characterisation of the treated surface. The method was found applicable for the classification of the treated layers as well.*

Keywords: *diamond, hardmetal, coating adhesion*

1. BEVEZETÉS

A gyémánt egy széles körben alkalmazott anyag a műszaki életben kiváló optikai, termikus, kémiai és fizikai tulajdonságainak köszönhetően. Ezen előnyös tulajdonságok hasznosíthatósága a különböző gyémánt formák: vékonyrétegek, szemcsék ipari szintű előállíthatóságának függvénye.

Felületre leválasztott gyémánt rétegeket széleskörűen használnak a szélsőséges terhelésnek kitett megmunkáló szerszámok élettartamának, a megmunkált darabok felületi minőségnek és a megmunkáló technológia biztonságának növelése érdekében. Ezen szerszámok alapanyaga a

gyakorlatban szinte kizárólag valamilyen fém mátrixú kompozit (MMC), jellemzően kobalt mátrixba ágyazott volfrám-karbid típusú fémkompozit [1, 2]. A gyémánt réteget, ill. rétegeket gázfázisú leválasztással hozzák létre. A bevonatok kialakítása a megmunkáló szerszámokon az ipari gyakorlatban immár három évtizede használatos. A bevonatok készítése főleg kísérleti alapon kifejlesztett technológián alapszik. A jól alkalmazható gyakorlat ellenére számos kutató foglalkozik a gyémánt bevonatok kialakításának elméleti kérdéseivel, ugyanis sok vonatkozásában máig tisztázatlan a gyémánt-hordozó kapcsolat, különös tekintettel a felhasználás során alapvető fontosságú adhézióra, valamint a hordozó hatása a kémiai módszerekkel növesztett gyémánt szerkezetére.

A gyémánt bevonattal ellátott megmunkáló szerszámok az estetek többségében kobaltba ágyazott volfrámkarbid fémkompozit, úgynevezett keményfém alapúak. A fémkompozit több mint egy bevonat hordozója. Fontosak ugyanis a megmunkáló szerszám kialakítása, használata során igényelt optimális tulajdonságai. E mellett, mint kémiai tulajdonságokkal bíró felület hat a gyémánt képződés folyamatára, a felületének fizikai sajátosságaival együtt meghatározza a leválasztott réteg tapadását.

A keményfém-gyémánt rendszer olyan anyagkombináció, amelyben az alkalmazott anyagok kémiai és mechanikai tulajdonságai szélsőséges módon eltérnek egymástól. Példaként említhető itt a keménység, hőtágulási együttható, vagy akár a kobalt gyémántképződést ellehetetlenítő hatása [3-4].

Napjainkban nem ismeretes olyan módszer, mellyel valamilyen felületmódosító módszer alkalmazása nélkül leválasztható lenne gyémánt a fenti keményfém felületen. Ennek fő oka a kobalt gyémántképződésre kifejtett káros hatásában keresendő, ugyanis kobalt felületen grafit, vagy grafithoz hasonló szénmódosulat leválása a kedvezményezett. Ezért keményfémek felületére direkt módon csak akkor választható le jól tapadó gyémánt réteg, ha a keményfémet valamilyen módon előkezelik. Ennek egyik módja az átmeneti rétegek alkalmazása, amely gátolja a karbon diffúzióját a kobalt felé, valamint átmenetet képez a két anyag eltérő hőtágulása között [5]. Másik módja a keményfémek előkészítésének a kobalt eltávolítása a felületi rétegből termikus, illetve oldószeres úton. Az agresszív oldószerekkel végrehajtott felület előkészítés tűnik napjainkban is a leginkább alkalmazott eljárásnak. Ennek okai a művelet viszonylag jó reprodukálhatóságában, illetve alacsony költségében keresendők. Munkánk során ez utóbbi módszert a Caro savaval (kénsav, hidrogén-peroxid vizes oldata) végrehajtott változatát tanulmányoztuk. A Co kioldással felszámoljuk a gyémánt képződés gátját, ugyanakkor létrehozunk egy olyan réteget, amelyből a kobaltot, azaz a keményfém kötőanyagát oldjuk ki, ezzel gyengítve, mechanikailag kevésbé stabillá téve a gyémántréteg hordozóját. Munkánk során ezt a Co mentesített réteget jellemezzük a réteg szilárdsága szempontjából.

2. KÍSÉRLETI ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

2.1. Keményfém felületek előkészítése

A kobalt oldási kísérletek háromféle, a Ceratizit S.A.-tól származó keményfém felhasználásával végeztük. A keményfémek gyémánt leválasztás és megmunkáló szerszámkénti felhasználás szempontjából fontos tulajdonságait a 2.1.1. táblázatban láthatók.

A keményfém mintákat ø14 mm rúdanyagból, precíziós vágógép alkalmazásával, 5 mm vastagságúra daraboltuk. A darabolást követően a mintadarabok mindkét sík felületét automata metallográfiai csiszoló berendezésben csiszoltuk. Ezt követően a mintákat Eurocold V411 típusú, ipari ultrahangos berendezésben tisztítottuk.

Minden minta esetében, a csiszolást és UH tisztítást követően Murakami-reagenssel

történő WC oldást alkalmaztunk. (A Murakami-reagens összetétele: 100 g $K_3[Fe(CN)_6]$, 100 g KOH, és 1000 ml H_2O.) A WC oldást 45 °C hőmérsékleten, 25 percig végeztük minden minta esetén. A WC oldás jelentősége a köszörülés/vágás, csiszolás következtében károsodott felületi réteg eltávolításában és a felület homogenizálásában van.

A kobalt oldási kísérleteket megelőzően és azt követően a mintákat szárítószekrényben, tömegállandóságig szárítottuk. A szárítást követően a tömeg meghatározására mind az oldások előtt, mind utána négy tizedesjegy pontosságú analitikai mérleget alkalmaztunk.

Az idő függvényében végzett oldási kísérleteket temperálatlan, a labor hőmérsékletével azonos hőmérsékletű oldatokban végeztük mely minden esetben 19-21 °C között volt.

Az oldási kísérletek a következő koncentrációjú vizes oldatokban történtek: $c(H_2SO_4)$ = 0,287 mol/l, $c(H_2O_2)$ = 2,05 mol/l.

Az oldási kísérleteket követően a mintákat desztillált vízzel öblítettük, majd 120 °C-os szárítószekrényben tömegállandóságig szárítottuk.

A minták tömegének változása az oldási kísérletek előtt és után négy tizedesjegy pontosságú analitikai mérleggel határoztuk meg. A savas kezelésekkel kioldott kobalt mennyiségét az oldószerben mért kobalt atomabszorciós spektrofotométer (AAS) alkalmazásával, a minták felületének kobalttartalmát pedig röntgen fluoreszcens spektrofotométerrel (XRF) határoztuk meg.

1. táblázat. A vizsgált keményfémek jellemzői[6].

Keményfém neve	WC szemcsék leírása, (szemcsemérete)	Co matrix mennyisége, m/m %	Sűrűség, g/cm^3	Keménység, HV30	K_{ic},* MPa$\sqrt{m}$
CTF12E	***fine*** (0,8-1,3 μm)	6,0	14,95	1620	9,9
CTS12D	***submicron*** (0,5-0,8 μm)	6,0	14,80	1820	9,3
TSF22	***ultrafine*** (0,2-0,5 μm)	8,2	14,55	1930	7,5

2.2. Kobaltban elszegényített felületi réteg integritásának vizsgálata keményfémeken

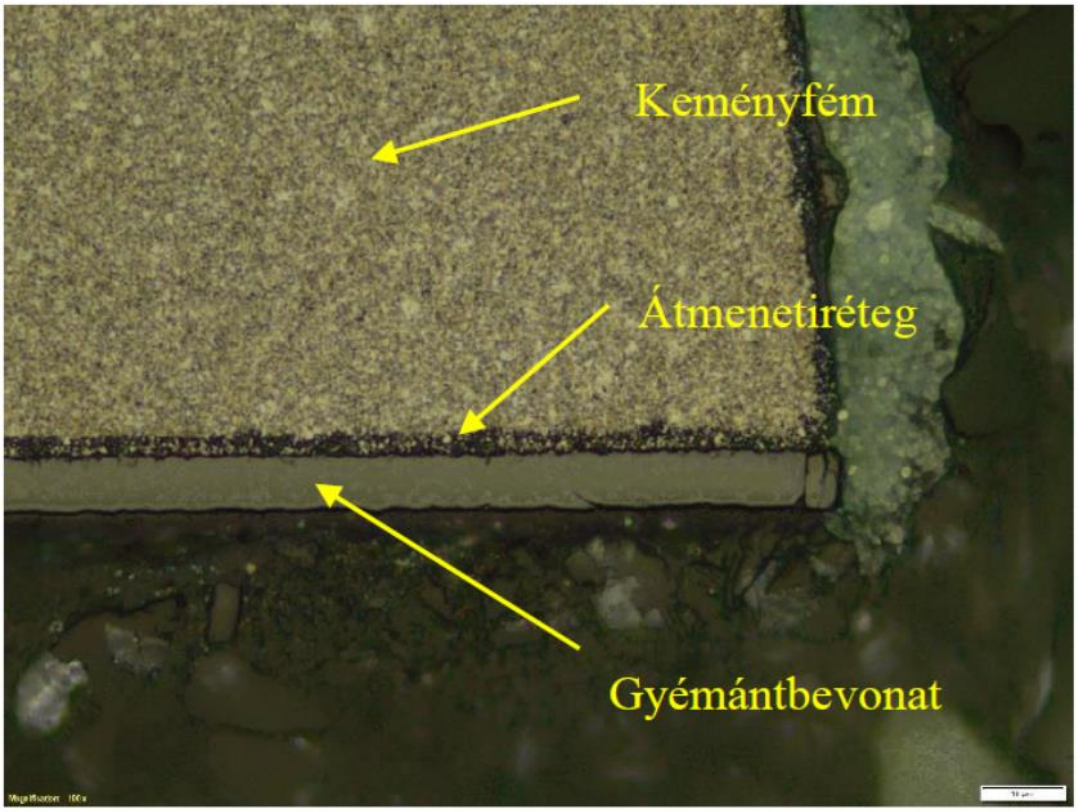
A bevonatok jellemzésére széleskörűen elterjedt valamely keménységmérő módszerrel készített lenyomatok alkalmazása. A benyomótest által előidézett képlékeny alakváltozás hatására a gyenge adhéziójú bevonatok leválnak a hordozóról az erősen tapadó bevonatok viszont nem. Megfelelő összehasonlító képsorozat alkalmazásával egyszerű és gyors módszerként alkalmazható bevonatok ellenőrzésére a keménységmérő lenyomatának mikroszkópos vizsgálata [7].

Vizsgálataink szerint a módszer, egyes keményfémek esetén, kiterjeszthető keményfémek felületi előkészítésének minősítésére is. Vizsgálataink alapján ugyanis megállapítható volt, hogy a kobalt kioldással előkészített keményfém felület a bevonatokhoz hasonlóan viselkedik, rétegesen leválik a keménységmérő által létrehozott lenyomat pereme körül, amennyiben tapadása nem megfelelő a túl sok kioldott kobalt miatt. A kezelt keményfémek felületi integritásának vizsgálatára, standard, Rockwell C keménységmérő módszert alkalmaztuk.

3. WC–Co FÉMKOMPOZIT ANYAGOK ELŐKÉSZÍTÉSE GYÉMÁNT LEVÁLASZTÁST MEGELŐZŐEN

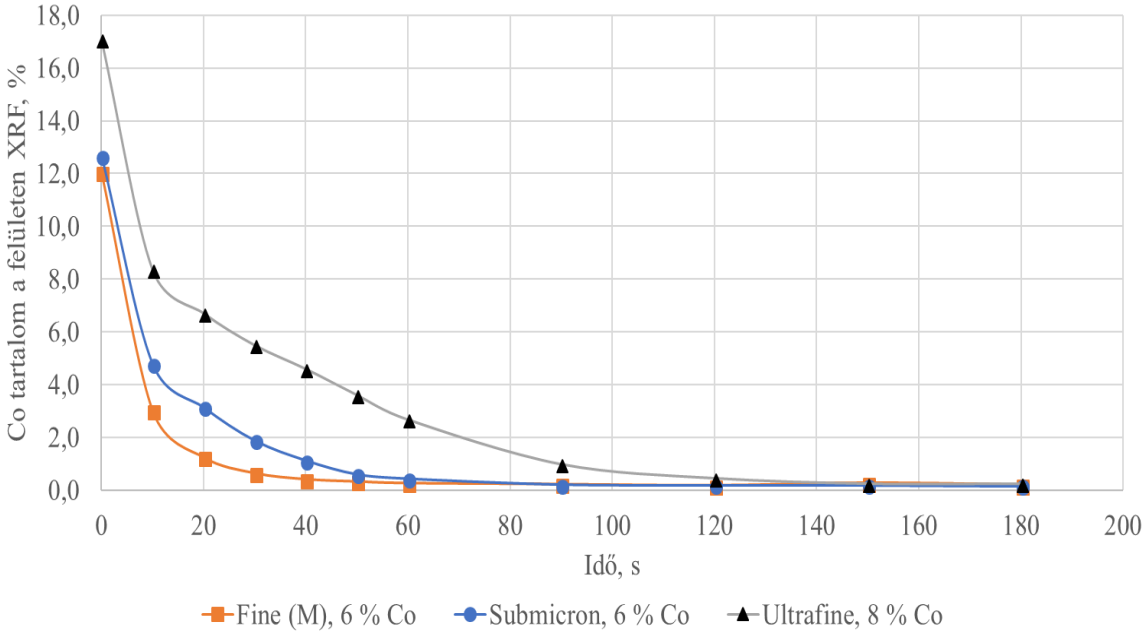
3.1. A kobaltban elszegényített felületi réteg integritása a keményfém típusának és a kioldott kobalt mennyiségének függvényében

A keményfémek savas kezelése mindig egy kobaltban elszegényített réteget hoz létre a kezelésben érintett felületi rétegben. Erre mutat példát az 1. ábra, melyen gyémánt bevonattal ellátott, ultrafine szemcseméretű, 8 % kobaltot tartalmazó keményfém keresztmetszet csiszolatának fénymikroszkópos képe látható. Az ábrán jól megfigyelhető a Co oldásos kezelésnek alávetett keményfém felületi réteg, melyből a kobaltot kioldottuk. Annak ellenére szükséges ez az előkezelési mód gyémánt leválasztást megelőzően, hogy a keményfém WC szemcséit összetartó kobaltot oldjuk ki a felületi rétegből, ezzel gyengítve a gyémántot hordozó réteget, ugyanis a gyémánt leválasztásnál a kobalt jelenléte hátrányos (kobalt felületén grafitszerű karbon szerkezetek leválása preferált, amit alátámaszt a karbon nanocsövek előállítása, ahol a kobalt katalizátorként használható [8].



1. ábra: Gyémánt bevonattal ellátott keményfém keresztmetszete (fénymikroszkópos felvétel, nagyítás 1000 x).

A felület kobalt tartalmának változását a kezelési idő függvényében AAS és XRF módszerrel követtük, az XRF mérések eredményeit a *2. ábra* mutatja. A *2. ábra* alapján megállapítható, hogy a keményfém szerkezetétől függően a kobaltmentesítés különböző időt igényel. Ha a keményfém típustól függetlenül ugyanazt az előkezelési protokollt alkalmazzuk változó mélységű kobaltmentesített felületi réteget alakítunk ki, ami eltérően hathat a gyémántképződésre, de biztosan különböző vastagságú gyengített átmeneti réteget eredményez. Célszerű ezért az előkezelést a keményfém alapanyagra optimálni.



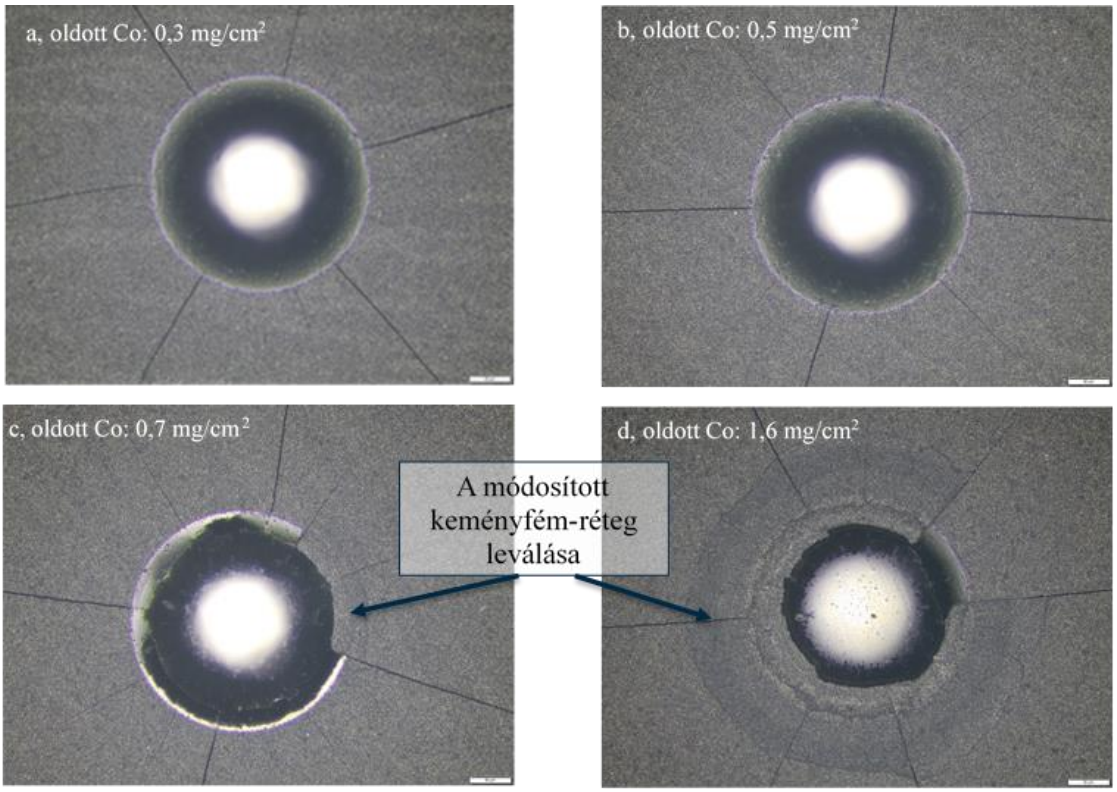
2. ábra: Co tartalom a keményfém minták felületén a kezelési idő függvényében, XRF mérés alapján.

Azt, hogy milyen mélységig kell a Co-ot a felületi rétegből eltávolítani a Co gyémánt képződésre kifejtett gátlása fogja meghatározni. Azt, hogy meddig lehet eltávolítani a Co- ot a felületi rétegből annak a réteg szilárdsága szab határt. Ez utóbbi kérdésre a lenyomatok mikroszkópos vizsgálatával adhatunk választ. A kezelt keményfémeken Rockwell C keménységmérő géppel, 1471 N terhelőerővel hoztunk létre lenyomatokat. A kioldott kobalt mennyiségét az oldatok Co tartalmának adataiból számoltuk.

A lenyomatok körüli felületi réteg mikroszkópos vizsgálatával minősítettük a kezelésnek alávetett felületi réteget. A *3. ábrán* az általunk vizsgált ultrafine szemcseméretű keményfémen végzett integritás vizsgálatok láthatók. A képeken megfigyelhető, hogy rövidebb kezelési idők esetén, amikor a kioldott kobalt mennyisége 0,5 mg/cm^2 értéket nem haladta meg a lenyomatok körüli területen nem figyelhető meg a kezelt felületi réteg leválása, míg ennél nagyobb értéknél növekvő területű levált réteg figyelhető meg.

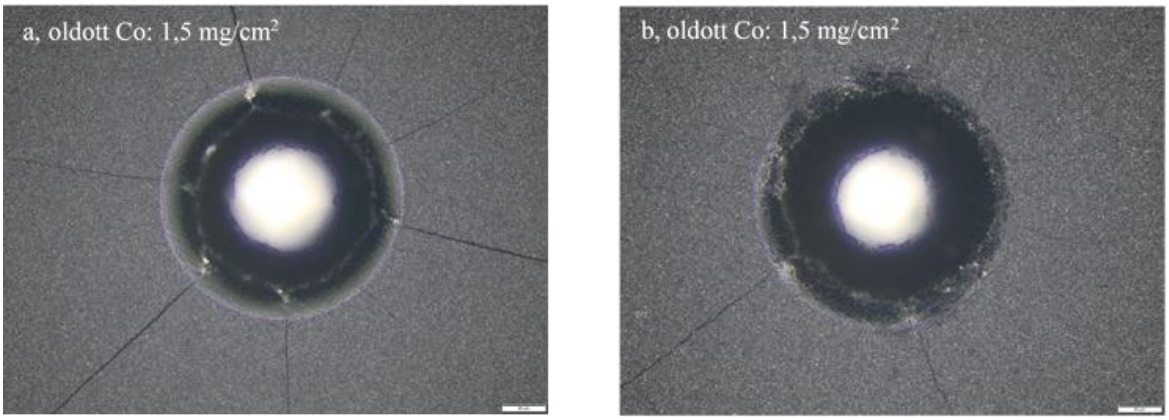
Az általunk vizsgált keményfémek közül az ultrafine szemcseméretűek mutatták ezt a viselkedést, a fine és submikron szemcseméretűek nem mutattak ilyen viselkedést még viszonylag nagy kioldott kobaltmennyiség esetén sem, ahogy azt a 4. ábrán is bemutatjuk. A bemutatott képeken nem figyelhető meg a Rockwell C lenyomatok körül réteges leválás.

A fentiek alapján kijelenthetjük, hogy az ultrafine szemcseméretű keményfémek esetén az optimális kezelést valahol 0,5 mg/cm^2 és 0,7 mg/cm^2 felületről kioldott kobalt mennyiségnél kell keresni, ahol a kioldott kobalt mennyisége már lehetővé teszi a gyémánt leválását, de a felületi réteg elégé stabil ahhoz, hogy a gyémántréteg hordozója lehessen.



3. ábra: Rockwell lenyomat ultrafine szemcseméretű keményfém mintákon, melyek felületi rétegéből különböző mértékben lett kioldva a Co (nagyítás 200x). Az a, és b, képeken nem látható réteges leválás a lenyomat körül, míg a c, és d, képeken, a nagyobb kioldott kobalt esetén növekvő mértékű réteges leválás látható.

Az eddigi eredményeink alapján azt a megállapítást tehetjük, hogy a Rockwell C lenyomatok körüli felületrészek vizsgálatával megállapíthatjuk, hogy egy adott előkezelés esetén nem hozható létre jól rögzített gyémánt bevonat a keményfém hordozó felületén (réteges leválás), azt viszont akkor sem jelenthetjük ki, hogy jól rögzített gyémánt bevonatot állíthatunk elő, ha a keményfémen nem tapasztalunk réteges leválást a kezelt felületen. Az utóbbi esetben további vizsgálatok, illetve technológiai próbák szükségesek a kezelés minősítésére.



4. ábra: Rockwell lenyomat submicron (balra) és Fine (jobbra) szemcseméretű keményfém mintákon, melyek felületi rétegéből nagymértékű Co lett eltávolítva. A lenyomatok körüli felületen nem látható réteges leválás a nagymértékű Co eltávolítás ellenére sem.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A gőzfázisú gyémánt leválasztást lehetővé tevő előkészítő műveletek közül a savas kobalt oldásos eljárást vizsgáltuk. Az eredményeink alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- A keményfém szerkezetétől függően a kobaltmentesítés különböző időt igényel. Ha a keményfém típustól függetlenül ugyanazt az előkezelési protokollt alkalmazzuk változó mélységű kobaltmentesített felületi réteget alakítunk ki, ami eltérően hathat a gyémántképződésre, de biztosan különböző vastagságú gyengített átmeneti réteget eredményez. Célszerű ezért az előkezelést a keményfém alapanyagra optimálni.
- A Co eltávolításán alapuló módszerek alkalmazásakor kialakul egy néhány µm vastag felületi réteg, amelyben a WC szemcsék rögzítettsége csökken. Bevonatok tapadásának jellemzésére elterjedten alkalmazzák a Rockwell lenyomat indukálta rétegleválásos tapadásvizsgálatot. A bemutatott vizsgálatok alapján megállapítható volt, hogy ez az eljárás, korlátozottan kiterjeszthető a szelektív kobalt oldással előkészített felületek minősítésére is. Az ultrafine szemcseméretű mintákon létrehozott lenyomatok képanalízise alapján megállapítható, ha a kioldott kobalt mennyisége 0,5 mg/cm^2 értéket nem haladta meg a lenyomatok körüli területen nem figyelhető meg a kezelt felületi réteg leválása, míg ennél nagyobb értéknél növekvő területű levált réteg figyelhető meg, azaz a réteg valószínű nem alkalmas gyémánt bevonat hordozó rétegként.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **B. LUX, R. HAUBNER, P. RENARD:** „*Diamond for tooling and abrasives*,” Diamond and Related Materials,1, 1035-1047, 1992.

[2] **F. DEUERLER, O. LEMMER, M. FRANK, M. POHL, C. HEßING:** „*Diamond films for wear protection of hardmetal tools*,” Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 20, 115-120, 2002.

[3] **R. POLINI, F. BRAVI, F. CASADEI, P. D'ANTONIO, E. TRAVERSA:** „*Effect of substrate grain size and surface treatments on the cutting properties of diamond coated Co-cemented tungsten carbide tools*,” Diamond and Related Materials, 11, 726-730, 2002.

[4] **R. HAUBNER, W. KALSS:** „*Diamond deposition on hardmetal substrates – Comparison of substrate pre-treatments and industrial applications*,” Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials, 28, 475–483, 2010.

[5] **K. PETRIKOWSKI, M. FENKER, J. GÄBLER, A. HAGEMANN, S. PLEGER, L. SCHÄFER:** „*Study of CrNx and NbC interlayers for HFCVD diamond deposition onto WC–Co substrates*,” Diamond & Related Materials, 34, 38-44, 2013.

[6] **CERATIZIT LTD:** „*Ceratizit Carbide Grades*” [Online]. Available: https://www.ceratizit.com/en/products/rods-preforms/carbide-grades/. [Accessed May 2018].

[7] **PREM C. JINDAL, DENNIS T. QUINTO GEORGE J. WOLFE:** “*Adhesion measurements of chemically vapor deposited and physically vapor deposited hard coatings on WC-Co substrate*,” Thin Solid Films, 154, 361-375, 1987.

[8] **S.S. MADANI, K. ZARE, M. GHORANNEVISS, A. SALAR ELAHI:** „*Synthesis of carbon nanotubes using the cobalt nanocatalyst by thermal chemical vapor deposition technique*,” Journal of Alloys and Compounds, 648, 1104-1108, 2015.

SZÉN NANOCSÖVEKKEL ERŐSÍTETT POLIURETÁN NANOKOMPOZIT ELŐÁLLÍTÁSA ÉS VIZSGÁLATA

POLYURETHANE NANOCOMPOSITE MATERIALS REINFORCED BY CARBON NANOTUBES- AN EXPERYMENTAL STUDY

SÁNDOR Zoltán Barnabás[1], TAMÁSI Kinga [2], VANYOREK László [3]

[1]Bsc. hallgató, szb1989@gmail.com
[1]Miskolci Egyetem, Kémia Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

[2] PhD. hallgató, polkinga@uni-miskolc.hu
[2] Miskolci Egyetem, Kerámia és Polimermérnöki Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

[3] Adjunktus, kemvany@uni-miskolc.hu
[3] Miskolci Egyetem, Kémia Intézet, 3515 Miskolc-Egyetemváros

Kivonat: *A munkám során katalitikus (CCVD) eljárással készített szén nanocsövek (BCNT) felhasználásával poliuretán lágyhabokat állítottam elő. A különböző nanocső tartalmú haboknak megmértem a nyomószilárdságát és azt tapasztaltam, hogy a BCNT mennyiségének növelésével a nyomószilárdság is nő. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a szén nanocsövek jól alkalmazahtóak PUR anyagokban, mint szilárdság növelő komponens.*

Kulcsszavak: *poliuretán, szén nanocső, polimer kompozit*

Abstract: *During our work We produced polyurethane soft foams using carbon nanotubes (BCNT) produced by a catalytic (CCVD) process. We have measured the compressive strength of the various nanoparticulate foams, and We found that by increasing the amount of BCNT, the compressive strength is increased. On the basis of the results it can be stated that carbon nanotubes are well used in PUR as a strength enhancing component.*

Keywords: *polyurethane, carbon nanotube, polymer composite*

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a különböző műanyagok alkalmazása megjelenik az élet minden területén az építőipartól, a csomagolástechnikán át az egészségügyi felhasználásokig. Számtalan példát említhetünk ezen anyagoknak a használatára, mindenhol és mindenkor találkozunk velük, mára mindennapi életünk részévé váltak. A polimerek igazi jelentősége a sokrétű felhasználásukon, a gazdaságos és tömeges előállításukon túl abban rejlik, hogy azok fizikai, kémiai és mechanikai jellemzői a felhasználási céloknak megfelelően tág határokon belül változtathatók. Tulajdonságaik alakítására nem csupán a polimerek kémiai módosításával van lehetőségünk, hanem töltőanyagok, adalékok alkalmazásával is. Napjainkban a polimer kompozitok fejlesztése mindinkább kezd eltolódni a nano technológia által kínált lehetőségek kiaknázásának irányába, több kutatócsoport foglalkozik olyan nanoszerkezetű adalékanyagok fejlesztésével és vizsgálatával, amelyek segítségével a műanyagok mechanikai jellemzői javíthatók. A nano mérettartomány jelentősége abban rejlik, hogy ebbe a mérettartományba tartozó töltőanyagok nagymértékben diszpergálhatók el a polimer mátrixban. A nano méretek további pozitív hatása az, hogy a nagy fajlagos felületek illetve a szerkezeti jellemzők segíthetik különböző kémiai és fizikai kölcsönhatások kialakulását a polimer illetve a nano töltőanyag között. A szén nanocsövek felfedezésétől kezdődően központi kérdéssé vált, hogy milyen módon lehet felhasználni azok nagy mechanikai stabilitását különböző anyagok erősítésére [1]. A többfalú szén nanocsövek nagy szakítószilárdsággal rendelkeznek és

rendkívül rugalmasak és éppen ezért ígéretes polimer erősítő adalékok lehetnek [2]. A többfalú szén nanocsövek ugyan nagy mechanikai stabilitással rendelkeznek, viszont azok szerkezetében kevés olyan adszorpciós pont található, amely felhasználható lenne kölcsönhatások és fizikai kapcsolatok kialakítására a polimer mátrixon belül. Sokan polimer erősítési szempontból elhanyagolják a szén nanocsövek különleges típusát, a bambusz szerkezetű szén nanocsöveket. Az említett nanocső típus jelentős szerkezeti eltérést mutat hagyományos társaiktól [3-5]. A bambuszszerkezetű nanocsövek (BCNT) struktúráját fél fullerén szerkezetek egymásba illesztésével tudjuk származtatni elméleti síkon. Elektron mikroszkópos felvételek támasztják alá, hogy a BCNT külső falán megtalálhatók azok az élek, amelyek a fél fullerén szerkezetek széleiből adódnak. Az említett élek olyan szén atomokat jelentenek, amelyek vagy H atommal vagy oxigén tartalmú funkciós csoportokkal rendelkeznek. Az említett élek nagy energiájú adszorpciós helyeket jelentenek polimerek számára, a különböző molekulacsoportok jelentős mértékben képesek befolyásolni a nanocsövek nedvesíthetőségét a polimerek számára. Az említett élek további előnye, hogy bizonyos mechanikai kapcsolat is kialakulhat polimerláncok valamint BCNT-k között. A hagyományos több falú szén nanocsövek ezzel szemben csak a végeiken tartalmaznak éleket azaza olyan szén atomokat, amelyeken keresztül kölcsönhatások alakulhatnak ki köztük és a polimer között. Kutató munkánk során arra a kérdésre szeretnénk választ találni, hogy olyan szén alapú nanoszerkezetek, mint a bambusz szerkezetű szén nanocsövek, milyen mértékben képesek javítani a poliuretán alapú lágyhabok mechanikai tulajdonságait. A szén nanocsövek előállításának elterjedt módja a CCVD (Catalytic Chemical Vapour Deposition), ennek lényege az, hogy széntartalmú vegyületeket bontunk el katalizátoron, magas hőmérsékleten [6-7]. A bambusz szerkezetű szén nanocsövek előállítására hatékonyan alkalmazható a szénforrás célirányos megválasztásával van lehetőségünk [8-10]. Munkánk során katalitikus eljárással előállítottunk olyan szén nanocső struktúrákat, amelyek szerkezetükben és ez által fizikai, valamint kémiai tulajdonságaikban is jelentős eltérést mutatnak a hagyományos szerkezettel rendelkező társaiktól. Az említett struktúrától azt várjuk, hogy annak felületi tulajdonsági miatt, nagyobb mértékben oszlathatók el poliuretán mátrixban, ezáltal javítva annak mechanikai szilárdságát.

2. KÍSÉRLETI RÉSZ

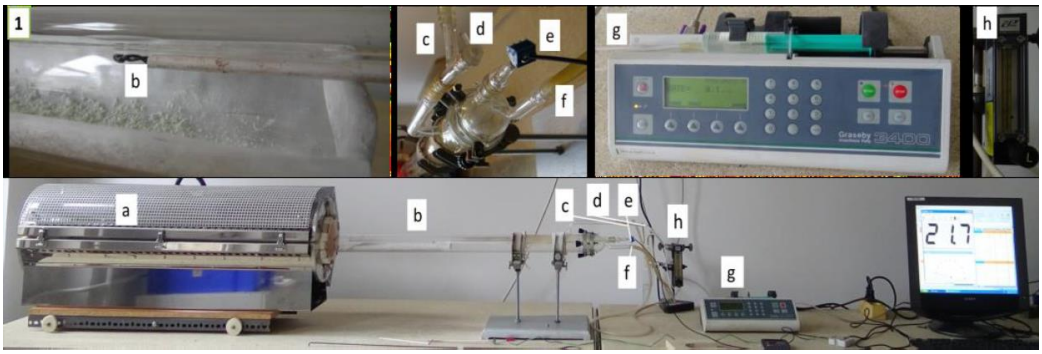
2.1. Anyag és módszer

A Szén nanocsövek szintéziséhez nikkel(II)-nitrát hexahidrát, $Ni(No_3)_2$ x $6H_2O$ (Sigma Aldrich) és magnézium oxid, MgO (Reanal) került felhasználásra a katalizátor készítés során, a szén forrás n-butilamin (Sigma Aldrich) volt. A CCVD szintézist követően 37 m/m% koncentrációjú sósav oldatot használtunk (VWR) a katalizátor eltávolítására a nanocsövek mellől. A poliuretán kompozitok elkészítéséhez Ongronat XP-1003 metilén-difenil-diizocianátot (Wanhua Borsodchem Zrt.) és PCTH 1001 (Wanhua Borsodchem Zrt.) poliolt használtunk.

Az előállított szén nanocsövek tisztaságát termogravimetriás mérésekkel ellenőriztük, a TG görbéket levegő atmoszférában 35-900°C hőmérséklet tartományban, 10°C/perc fűtési sebesség mellett vettük fel, MOM Derivatograph C típusú készüléket használtunk. A szén nanocsövek morfológiai jellemzésére FEI TECNAI G2 nagyfelbontású elektron mikroszkópot (HRTEM) használtunk, a minta előkészítés alkoholos diszperzióból felcseppentéssel történt (Cu Grid 300 Mesh, Carbon). Az elkészített BCNT/PUR kompozitok nyomószilárdságát Instron 3308 típusú készülékkel mértük. A méréseket szobahőmérsékleten végeztük.

2.2. A Nitrogén dópolt bambusz szerkezetű szén nanocsövek előállítása

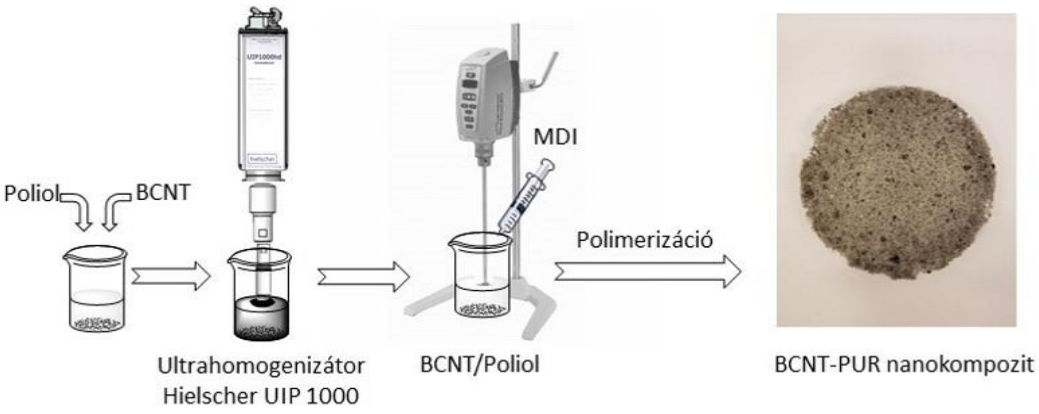
A CCVD szintézis során 5% Ni tartalmú MgO hordozós katalizátort használtunk amelyet nedves közegű impregnálással állítottunk elő $Ni(No_3)_2$ x $6H_2O$ só felhasználásával. A szintézist 700°C-ra felfűtött csőkemencébe helyezett kvarc reaktorban hajtottuk végre. A szén forrást, Butil-amint infúziós pumpa adagolta a reaktorba 8ml/h sebességgel, a vivőgáz, N_2 áramlási sebessége 100ml/perc volt, amelyet rotaméterrel szabályoztunk (1. ábra). A felhasznált katalizátor mennyisége minden szintézis során 2 g volt. A szintézis idő 30 perc volt. Az előállított katalizátor tartalmú terméket 6 órán keresztül tömény sósav oldatban forralva tisztítottuk. A termék tisztaságát későbbiekben termogravimetriás méréssel határoztuk meg.



1. ábra: CCVD reaktor, a) csőkemence b) reaktor c) nitrogén betáplálás) d) szénforrás beinjektálás e) hőmérsékletmérés f) gázelvezetés g) infúziós pumpa h) rotaméter

2.3 BCNT/PUR nanokompozit előállítása

Különböző szén nanocső tartalmú lágyhabokat állítottunk elő (2. ábra). A szén nanocső tartalom 0,5 m/m%; 1 m/m%; 1,5 m/m% volt. Első lépésként 37,5 g poliolban oszlattam el a számított mennyiségű nanocsöveket nagy hatékonyságú ultrahangos homogenizátor (Hielscher UIP1000hdt) segítségével. Majd az elkészített poliol közegű BCNT diszperzióhoz nagy sebességű keverőmotor használata mellett hozzáadtam 22,5g MDI komponenst, és 10s ideig kevertettem. A kevertetés befejeztével a mintát félre tettem, majd 24 óra elteltével a teljes polimerizációt követően eltávolítottam a pohárból.

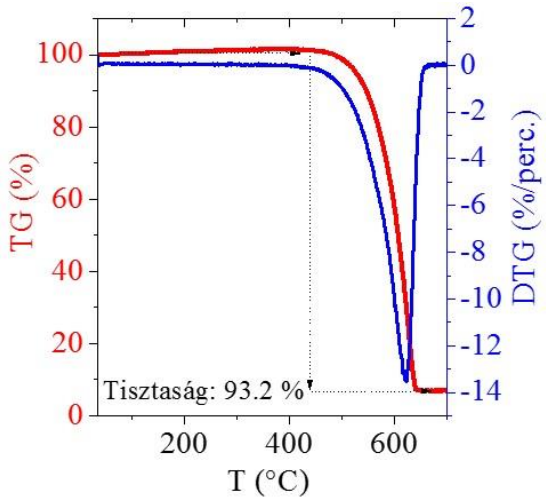


2. ábra: A kompozit előállításának sematikus ábrája

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. A szén nanocsövek tisztaságának ellenőrzése termogravimetriával

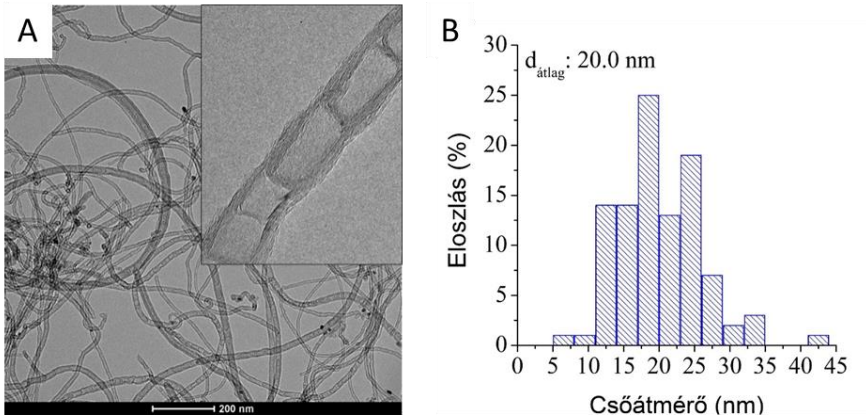
A tisztítást követően a tömegállandóságig szárított BCNT mintát TG vizsgálatoknak vetettük alá a TG-DTG görbék alapján megállapítható, hogy a minta széntartalma 93,2 m/m% volt (3. ábra). A szén nanocsövek égésének kezdeti hőmérséklete 435 °C volt. A szén nanocsövek gyulladási hőmérsékletét a szerkezeti hibákon túl a katalizátorból visszamaradt fém és fém oxid szennyezők az alacsonyabb tartományok irányába tolják el, katalitikus hatásuknak köszönhetően.



3. ábra: BCNT termogravimetriás görbéi

3.2. A szén nanocsövek jellemzése elektronmikroszkópiával

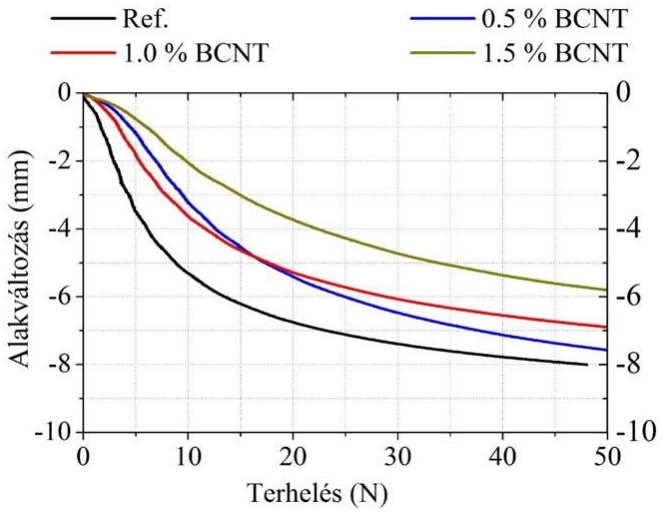
Elvégeztük a szén nanocsövek morfológiájának vizsgálatát nagy felbontású elektronmikroszkópiával. Az elektronmikroszkópos felvételen jól megfigyelhető a csövek bambusz szerkezetű felépítése (4. ábra). Jól láthatók nagyobb felbontáson azok az élek amelyek a csövek teljes hosszában, annak palástján megtalálhatók ezek az élek játszanak fontos szerepet a megfelelő kölcsönhatások kialakulásában a nanocsövek és a polimer mátrix között. Elvégeztük a szén nanocsövek csőátmérőinek kiértékelését, a HRTEM felvételek méretskáláját felhasználva, ImageJ program segítségével. Az elkészített méreteloszlás függvény alapján megállapítható, hogy a csőátmérők 5 nm - 45 nm tartományon belül változnak, a legnagyobb mennyiségű nanocső 15 és 20 nm közötti átmérővel rendelkezik. A csövek külső átmérőjének átlaga 20 nm-nek adódott.



4. ábra: (A) bambusz szerkezetű szén nanocső HRTEM felvétele (B) BCNT méreteloszlás függvénye

3.3. A BCNT/PUR kompozitok nyomószilárdság vizsgálati eredményei

A minta előkészítés során mind a referencia mintából mid pedig a három különböző BCNT tartalommal rendelkező habból 1x1 cm-es mintadarabokat vágtunk ki. A mintadarabok mindegyikén nyomószilárdság vizsgálatokat végeztünk. Az alakváltozást ábrázolva a terhelés függvényében a kapott grafikon jól szemlélteti azt, hogy a nanocsövek adagolásával növelhető a poliuretán habok szilárdsága növelhető (5. ábra). Az eredmények függvényében kijelenthető az is, hogy az alkalmazott szén nanocsövek mennyisége és a nyomószilárdság növekedése között egyértelmű tendencia figyelhető meg. Az említett tendencia 1 m/m% BCNT tartalom felett válik jelentőssé. Az előállított habok mindegyike homogén eloszlást mutatott. Ezek alapján a bambusz szerkezetű szén nanocsövek alkalmasak polimer erősítő adalékként történő felhasználásra.



5. ábra: A minták alakváltozása terhelés hatására

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatómunkánk során előállítottunk nitrogén dópolt bambusz szerkezetű szén nanocsöveket. Elektronmikroszkópiával bizonyítottuk a bambuszszerű szerkezet meglétét. Az általunk előállított nanocsövek átlagos külső átmérője 20 nm volt. Ezeket poliuretán alapú kompozit habok előállítására használtuk fel. A szén nanocső tartalom 0,5 m/m%; 1 m/m%; és 1,5 m/m% tömegszázalék volt a habokban. A mintákon nyomószilárdság vizsgálatot végeztünk és ennek eredményeként megállapítottuk, hogy BCNT adagolásával növelhető a PUR lágyhabok keménysége. A kompozit erősítőhatás 1 m/m% vagy afölötti adagolásnál válik jelentőssé. Eredményeink alapján a bambusz szerkezetű szén nanocsövek ígéretes polimer erősítő adalékok.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 jelű projekt finanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **IIJIMA, S.:** *Helical microtubules of graphitic carbon.* Nature 354, 56–58, 1991., ISSN 1745-2473

[2] **DALTON, A.B., COLLINS, S., MUNOZ, E., RAZAL, M., EBRON, V., FERRARIS, J. P., COLEMAN, N.J., KIM, B.G., BAUGHMAN, R. H.:** *Super-tough carbon-nanotube fibres*. Nature, 423, 703–706, 2003., ISSN 1745-2473

[3] **XU, F., MINNITI, M., BARONE, P., SINDONA, A., BONANNO, A., OLIVA, A.:** *Controllable N-Doping of Graphen.* Carbon, 46, 1489–1496, 2008., ISSN 0008-6223

[4] **MHLAMG, S.D., NXUMALO, E.N., COVILLE, N.J., SRINIYASU, V.V.:** *Nitrogen doping of CVD multiwalled carbon nanotubes: Observation of a large g-factor shift.* Mat. Chem. Phys., 130, 1182–1186, 2011., ISSN 0254-0584

[5] **DOYMAZ, I., KIPCAK, A.S., PISKIN, S.: CHETTY, R., KUNDU, S., WEI X, BRON, M., SCHUHMANN, W., CHIRILA, V., BRANDL, W., REINECKE, T., Muhler M.:** *Nitrogen-doped Carbon with Hierarchical Porous Structure for Electrocatalysis of Oxygen Reduction Reaction.* Electrochimica Acta, 54, 4208–4215, 2009., ISSN 0013-4686

[6] **YACAMAN, M., YOSHIDA, M., RENDON, L., SANTIESTEBAN, J.:** *Catalytic growth of carbon microtubules with fullerene structure.* Appl. Phys. Lett., 62, 202–204, 1993., ISSN 0003-6951

[7] **GREEF, N., ZHang, L., MAGREZ, A., FORRÓ, L., LOCQUET, J.P., VERPOEST, I., WON SEO, J.:** *CVD Treatment of Carbon Fibers and Evaluation of Their Dispersion in CFRC*. Diamond and Related Materials, 51, 39–48, 2015., ISSN 0925-9635

[8] **LIU, H., ZHANG, Y., LI, R., SUN, X., DE´SILETS, S., ABOU-RACHID, H., JAIDANN M., SIMON, L.S.:** *High concentration nitrogen doped carbon nanotube anodes with superior Li+ storage performance for lithium rechargeable battery application.* Carbon, 48, 1498–1507, 2010., ISSN 0008-6223

[9] **KOVALEVSKI, V., SAFRONOV, A.:** *Pyrolysis of hollow carbons on melted catalyst.* Carbon, 36, 963–968, 1998., ISSN 0008-6223

[10] **ANTAL A., DOWLING, M., JURKSCHAT, K., CROSSELY, A., GROBERT, N.:** *Effect of the experimental parameters on the structure of nitrogen-doped carbon nanotubes produced by aerosol chemical vapour deposition.* Carbon, 47, 30–37, 2009., ISSN 0008-6223

KLORÁTMENTESÍTÉSRE ALKALMAS HIDROGÉNEZŐ KATALIZÁTOROK FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF HYDROGENATION CATALYSTS FOR CHLORATE ELIMINATION

SIKORA Emőke[1], PREKOB Ádám[2], VANYOREK László[3], MURÁNSZKY Gábor[4] , BÁNHIDI Olivér[5], HUTKAINÉ GÖNDÖR Zsuzsann[6], PEKKER Péter[7]

[1]tanszéki mérnök, kemsik@uni-miskolc.hu
[2]tanszéki mérnök, kempadam@uni-miskolc.hu
[3]Ph.D., adjunktus, kemvanyi@uni-miskolc.hu
[4]Ph.D., adjunktus, gabor.muranszky@gmail.com
[5]Ph.D., egyetemi docens, banhidio@freemail.hu
6mérnöktanár, fkmhut@uni-miskolc.hu

[1,2,3,4,5,6] Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

[7]tudományos munkatárs, pekkerpeter@gmail.com
[7]Anyagtudományi Kutatócsoport, MTA-ME

Kivonat: *Kutatócsoportunkkal klorátmentesítésre alkalmas hidrogénező katalizátorok fejlesztését és tesztelését végeztük el. A katalizátorok alapját aluminium-oxid-tartalmú testek adták, melyekre CCVD (széntartalmú vegyületek gőzfázisú katalitikus bontása) szintézissel nitrogén-dópolt bambusz szerkezetű nanocsöveket növesztettünk, majd Pd nanorészecskéket szintetizáltunk rájuk. Az előállított katalizátorokat megvizsgáltuk derivatográf és SEM - EDS segítségével is. Katalitikus aktivitásukat először butén, majd klorát hidrogénezési reakciójában teszteltük. Utóbbihoz megterveztünk és kialakítottunk egy áramlásos rendszerű katalitikus mérőkört.*

Kulcsszavak: *hidrogénezés, kompozit katalizátor, bambusz szerkezetű szén nanocső*

Abstract: *During our work, hydrogenation catalysts have been developed and tested for chlorate removal. Nitrogen-doped bamboo-like carbon nanotubes (BCNTs) were grown on aluminium oxide containing carriers by CCVD (Catalytic Chemical Vapour Deposition) synthesis, then Pd nanoparticles were created on their surface. The prepared catalysts were tested by derivatography and SEM - EDS. Their catalytic activity was first tested in the hydrogenation reaction of butene and then chlorate removal.*

Keywords: *hydrogenation, composite catalyst, bamboo-like carbon nanotube*

1. BEVEZETÉS

A membráncellás klór alkáli elektrolízis során a sóoldatban klorátok keletkeznek, amelynek az eltávolítása környezetvédelmi és technológiai szempontból egyaránt fontos. A halogenát illetve klorát eltávolításra többféle lehetőséget is kidolgoztak, az egyik ilyen a katalizátor alkalmazásával elvégzett hidrogénező redukció [1-2].

Katalizátorhordozóként legtöbbször alumínium-, szilícium-, illetve zeolit alapú anyagokat használnak, de gyakori a szén alapú anyagok alkalmazása is, ilyen például az aktív szén. A kutatásunk során egy különleges szerkezetű szén alapú anyagot használtunk, nitrogén-dópolt bambusz szerkezetű szén nanocsöveket (BCNT). A szén nanocsövek elektronszerkezetükből és tulajdonságaikból adódóan számos előnnyel rendelkeznek. A görbült felület miatt torzult π elektronfelhőnek köszönhetően különleges fém-hordozó kölcsönhatások alakulnak ki. Oxidációs eljárásokkal funkciós csoportok alakíthatók ki felületükön, melyek segítségével

megköthetők a katalitikusan aktív fémek ionjai. Nem rendelkeznek mikropórusokkal, így nagyobb sebességgel történik meg a katalízis, és ellenállóbbak az oxidációval szemben, mint az eddig népszerű katalizátorhordozó az aktív szén.

A szén nanocsövek előbb felsorolt előnyeik miatt számos katalitikus folyamatban jól alkalmazhatók. Sikerrel használták őket hordozóként például Fischer-Tropsch eljárásban [3]. Környezetvédelmi eljárásokban is hasznosnak bizonyultak, J. Garcia és társai MWCNT hordozós ruténium katalizátort használtak szennyvíztisztítási kísérleteikben [4]. Az irodalmi források alapján a nanocsövek hidrogénezési reakciókban is megfelelő katalizátorhordozónak bizonyultak [5-7]. A nanocső hordozós katalizátorok esetén lényeges, hogy a katalitikus aktivitásért felelős fém milyen mértékben képes kötődni a CNT hordozóhoz. Ha heteroatom épül a nanocsövek szerkezetébe, megváltozik a csövek elektroneloszlása, amely az idegen elemek széntől különböző mértékű elektronegativitásának köszönhető. Ilyen heteroatom lehet a nitrogén, bór, foszfor és a kén. Ezek beépítésével - más néven dópolással - létrehozhatók bambusz szerkezetű nanocsövek. Li és kollégái tapasztalatai alapján a nitrogén nagy elektronaffinitásának köszönhetően segíti a Pt-atomok kötődését a nitrogénnel dópolt bambusz nanocsövekhez [8].

Chen és társai alumina hordozós palládium katalizátort használtak bromát-ionok hidrogénezésére [9]. A hidrogénezési reakciót szobahőmérsékleten atmoszférikus nyomáson hajtották végre batch rendszerben, a bromát átalakulást pedig ionkromatográfiával követték. A 2 m/m% Pd-tartalmú katalizátor esetében már 40 perc alatt elérték a 100 %-os bromát konverziót 2-es pH mellett.

Kuznetsova és kollégái Sibunit márkanevű mezopórusos aktív szén felületén iridium nanorészecskéket alakítottak ki különböző Ir tartalommal, majd tesztelték az így elkészített katalizátorokat [10]. A katalizátorokat 70 °C hőmérsékleten légköri nyomáson használták. A koncentrált NaCl oldatban elvégzett nátrium-klorát hidrogénezése során a ClO_3^- -ionok Cl^- -ionokká alakultak. Legrövidebb idő alatt az 5 m/m% Ir tartalmú katalizátor eredményezett 100 %-os klorát átalakulást 2,6 pH mellett.

2. CÉLKITŰZÉS

Munkánk során olyan nanoszerkezetű kompozit katalizátorok kifejlesztését tűztük ki célul, melyek eredményesen alkalmazhatók redukciós úton történő halogenát-mentesítésre. A katalizátorok esetében gyakorlati szempontból lényeges a könnyen kezelhető, visszanyerhető forma kialakítása, ezért ezen igényeknek megfelelő katalizátortöltetek előállításával foglalkoztunk.

Ezen töltetek alapjaként aluminium-oxid-tartalmú testeket használtunk fel. A hordozókon nitrogénnel dópolt szén nanocsöveket alakítottunk ki, majd ezek felületére katalitikusan aktív palládium nanorészecskéket impregnáltunk.

Az előállított katalizátorok katalitikus aktivitását két folyamat során is teszteltük. Az első tesztreakció butén hidrogénezése volt, majd a kielégítő eredmények után tértünk át a vízminták halogenát-tartalmának csökkentésére. A halogenát ion mennyiségének csökkentésére szintén katalitikus hidrogénezési eljárást alkalmaztunk. A kísérletek elvégzéséhez szükség volt egy laboratóriumi méretű klorátmentesítő reaktorrendszer tervezésére és kialakítására is, hogy megfelelően nyomon tudjuk követni a folyamatot.

3. KÍSÉRLETI RÉSZ

3.1. Felhasznált anyagok

Az alábbi 1. táblázat tartalmazza a munkánk során alkalmazott anyagokat képletükkel és forgalmazójukkal.

1. táblázat. A felhasznált anyagok

Felhasznált anyag:	Képlet:	Forgalmazó:
But-1-én (tisztaság: 2.5)	C_4H_8	MOL Petrolkémia Zrt.
Butil-amin	$C_4H_{11}N$	Merck Chem
Hidrogén (tisztaság:3.8)	H_2	Messer
Kénsav	H_2SO_4	Scharlau
Kálium-jodid	KI	Acidum-2
Kálium-klorát	$KClO_3$	Reanal
Nikkel (II)-nitrát-hexahidrát	$Ni(NO_3)_2*6H_2O$	Merck Chem
Nitrogén (tisztaság: 3.5)	N_2	Messer
Palládium (II)-klorid	$PdCl_2$	Chinoin
Patosolv (77-82% etanol, 16-22% 2-propanol, 0,5-1% terc-butanol elegy)	$C_2H_5OH + C_3H_7OH + C_4H_9OH$	Molar
Sósav (36%-os)	HCl	Molar

3.2. Katalizátorok előállítása

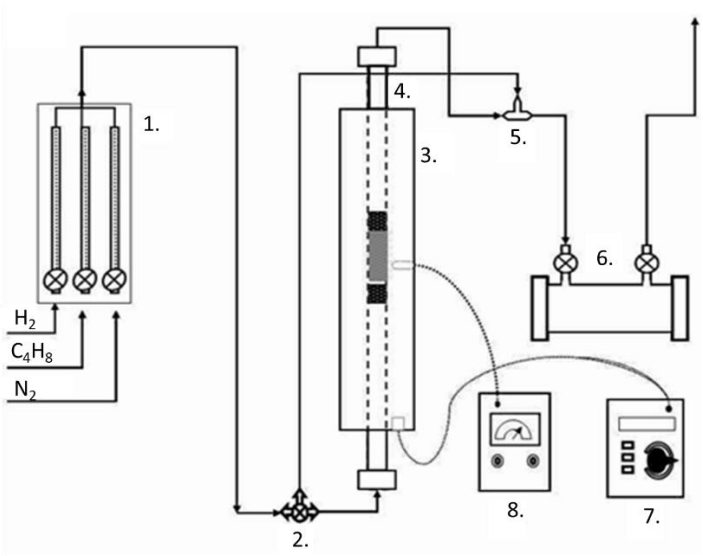
Ahhoz, hogy bambusz szerkezetű nanocsöveket tudjuk növeszteni a templátokra, szükséges bevonni a felületüket nanocsövek növekedését katalizáló anyaggal. Ez estünkben a nikkel(II)-nitrát-hexahidrát volt. A felületre juttatást alkoholos közegű impregnálással oldottuk meg a következők szerint: Kimértünk megfelelő mennyiségű $Ni(NO_3)_2$ -ot, és feloldottuk 100 ml patosolvban. Ezután beletettük az oldatba a kerámiahordozókat, majd pár percig állni hagytuk. Ezután rotációs vákuumbepárlóban szárazra pároltuk, majd egy éjszakán keresztül szárítószekrényben 105 °C-os hőmérsékleten szárítottuk. A nikkel-nitrát szükséges mennyiségét úgy határoztuk meg, hogy a hordozó 5 m/m% Ni-t tartalmazzon.

A szén nanocsövek szintéziséhez CCVD (Catalytic Chemical Vapour Deposition) módszert használtunk. A szintézis során szénforrásként butil-amint alkalmaztunk, inert közegnek, valamint vivőgáznak pedig nitrogént használtunk. A szintézist az előző pontban említett 5 m/m% nikkel-tartalmú hordozó katalizálta. A nanocsövek szintézisét 700 °C-os hőmérsékleten végeztük 20 percen keresztül. A vivőgáz áramlási sebessége 100 ml/perc, a butil-amin beadagolási sebessége 16,2 ml/perc volt.

Ezután a nanocsövekkel borított templátok felületén palládium nanorészecskéket alakítottunk ki úgy, hogy elméletben mindegyik katalizátor 2 m/m% nemesfémet tartalmazzon. Megfelelő mennyiségű $PdCl_2$-t oldottuk desztillált víz és kevés sósav segítségével, majd az oldatba tettük a nanocsöveket tartalmazó hordozókat. Az így elkészített keveréket vákuumbepárlón szárazra pároltuk és szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk. Ezt követően 400 °C - on, 10 percen keresztül nitrogén atmoszférában hőkezeltük, majd hidrogén áramban 20 percen át redukáltuk a terméket. E folyamat során a Pd-ionok katalitikusan aktív Pd nanorészecskékké alakultak át.

3.3. Kompozit katalizátorok tesztelése

Az első katalizátor teszt butén gáz fázisú hidrogénezési reakciója volt. Ez egy előteszt volt, hogy a klorátmentesítés előtt megvizsgáljuk mutat-e katalitikus aktivitást az előállított katalizátor. A folyamathoz használt berendezés vázlata a 1. ábrán látható.



1. ábra. A hidrogénezéshez használt berendezés vázlata: 1) áramlásmérők 2) szelep 3) csőreaktor 4) kvarccső 5) szelep 6) gázcella 7) hőfok szabályzó 8) hőmérő

A gázok elvezetése egy gázküvettán keresztül történt, így lehetővé téve a gázelegy vizsgálatát IR spektroszkópiával. A katalizátorból kimértünk 0,5 g-ot, majd ezt a kvarccsőbe helyeztük két üveggyapot réteg közé. Ezután elindítottuk a rendszer fűtését. A meghatározott összetételű $8{,}16 \cdot 10^{-3}$ mol/dm^3 butén tartalmú nitrogén/hidrogén gázelegy spektrumát tekintettük kiindulási állapotnak, és az itt meghatározott butén koncentrációt használtuk fel a konverzió számítások során. Ekkor a szelepek olyan állásban voltak, hogy a gázok magát a reaktorteret, azaz a katalizátort kikerüljék. Miután ellenőriztük a csőkemence hőmérsékletét, a szelep átfordításával átáramoltattuk a gázelegyet a katalizátor ágyon, és 10 percen keresztül percenként felvettük a gázelegy IR színképét. Valamennyi minta infravörös spektrumát KBr ablakkal ellátott gázcellával vettük fel. A butén átalakulását a C=C kettőskötés vegyértékrezgéséhez tartozó abszorpciós sáv területének integrálásával követtük nyomon.

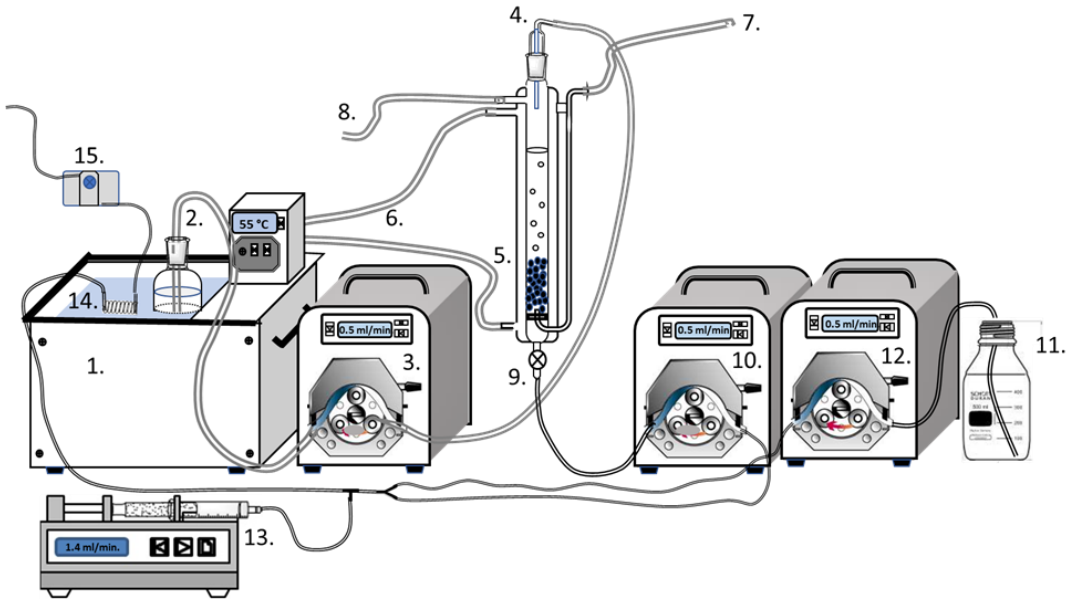
A mérésekhez Bruker Vertex 70 típusú spektrométert használtunk. A spektrumokat 500 – 3500 cm^{-1} hullámszám tartományban vettük fel, 4 cm^{-1} felbontást alkalmazva, 16 s^{-1} pásztázási sebesség mellett.

A gázfáisú hidrogénezés után tértünk át a klorátmentesítési reakcióra. A kompozit katalizátorok tesztelését az általunk összeállított, 2. ábrán látható reaktorrendszerben végeztük el. A reaktorban játszódik le a klorát redukciója, hidrogénezése, mely során a klorát-ionokból klorid-ionok keletkeznek. Hogy megtudjuk mennyi a klorát-tartalma a reaktort elhagyó elegynek, egy olyan redoxi reakciót alkalmazunk, mely során a klorát-ionok elemi jóddá oxidálják a jodid-ionokat. A reakció követését egy spektrofotometriás elven működő átfolyó rendszerű mérőcellával oldottuk meg, amely beépítésre került a mérőkörbe. A klorátionok jodidos redukciója az alábbi reakció szerint megy végbe:

$$KClO_3 + 6\ KI + 3\ H_2SO_4 = 3\ K_2SO_4 + KCl + 3\ I_2 + 3\ H_2O$$

Tehát a visszamaradt, nem redukált kálium-klorát reagál a kálium-jodiddal kénsavas közegben, amely következtében elemi jód képződik. Ennek mennyiségét mérjük, ebből pedig kiszámítható a KI-dal reagált klorát mennyisége, amely a hidrogénes redukálás után visszamaradt az oldatban.

A mérés menete: A reaktorba helyezzük a tesztelni kívánt, adott mennyiségű katalizátort és feltöltjük klorát oldattal, valamint elindítjuk a fűtőközeg keringetését is a köpenyrészben. A kloráttartalmú oldatot termosztáljuk és az egyik pumpa segítségével áramoltatjuk a rendszerben először még csak katalizátor alkalmazása nélkül, majd felvesszük a hátteret, illetve kalibráljuk a rendszert. A kénsav- valamint a KI-oldatot szintén pumpák segítségével továbbítjuk a klorát ionokat tartalmazó folyadékáramba. Amint beállt a koncentráció egyensúly, elindítjuk a hidrogénáramot. A gáz átbuborékol a katalizátorágyon, és a katalizátor segítségével redukálja a jelenlévő kálium-klorátot. A reaktorból az egyik pumpa folyamatosan továbbítja a hidrogénnel reagáltatott kloráttartalmú oldatot egy elágazáshoz, ahol találkozik a kénsav-oldattal és a KI-oldattal. Innen az oldat a termosztált (50 °C) keverőhurokba jut, ahol lejátszódik a redoxi reakció. Az utolsó állomás a mérőcella, ami a keletkezett I_2 koncentrációnak megfelelő jelet szolgáltatja és a kalibrációnak köszönhetően kiszámítható a minta kloráttartalma.



2. ábra. Klorátmentesítéshez épített reaktorrendszer részei:
1.) termosztát 2.) ClO_3^- tartalmú minta 3.) perisztaltikus pumpa a minta reaktorba történő adagolására 4.) minta betáplálás 5.) katalizátor, 6.) termosztáló közeg keringetése 7.) hidrogén betáplálás 8.) gázelvezetés 9.) hidrogénezett minta elvételi pontja 10.) perisztaltikus pumpa a minta reaktorból történő szállítására 11.) KI mérőoldat 12.) KI mérőoldat adagolás perisztaltikus pumpával 13.) kénsavoldat adagolása perfúzorral 14.) termosztált keverőhurok 15.) mérőcella

4. EREDMÉNYEK

4.1. A katalizátorhordozók szén nanocső tartalmának meghatározása termogravimetriával

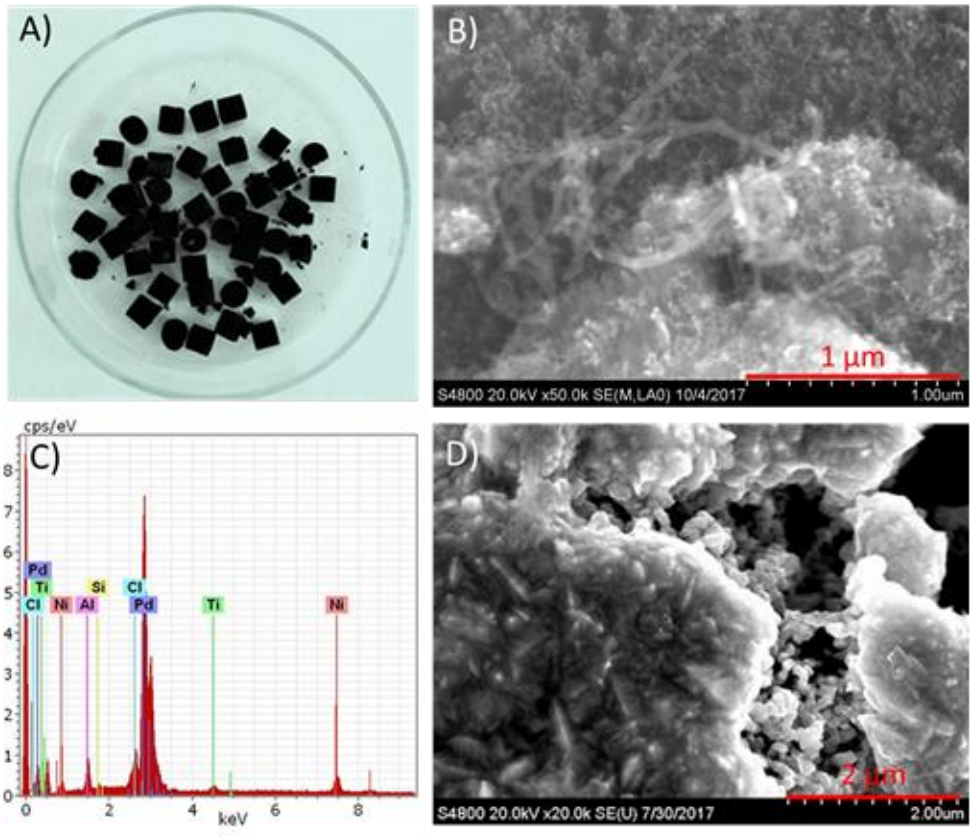
A katalizátorok széntartalmának meghatározására termogravimetriát (TG) alkalmaztunk. A mérések kerámia tégelyben alumínium-oxidot használva referenciaanyagként, levegő

atmoszférában történtek, MOM Derivatográf C típusú készülékkel. A felfűtési sebesség 5 °C/min, a maximális felfűtési hőmérséklet 900 °C volt. A bemért minta tömege 15,11 mg volt, a széntartalom pedig 16,5 m/m%-nak adódott.

4.2 A katalizátorok felületének és kémiai összetételének jellemzése pásztázó elektronmikroszkópia és energiadiszperzív röntgen spektrometria segítségével

A szén nanocsövek, illetve a Pd nanorészecskék jelenlétét pásztázó elektronmikroszkópiás (SEM) felvételekkel és energiadiszperzív röntgen spektrometria (EDS) segítségével támasztottuk alá. A vizsgálatok Hitachi S 4800 típusú pásztázó elektronmikroszkóp segítségével, Bruker X Flash 4010 EDS analizátorral történtek. A 3. ábra B) SEM felvételén a hordozók felületén kialakult nanocsövek láthatók, a D) felvételen pedig kitűnően látszik, hogy a katalizátor gazdagon borított Pd részecskékkel.

Az energiadiszperzív spektroszkópia segítségével vizsgáltuk a katalizátorminták kémiai összetételét (3./C ábra). Az EDS spektrumok szintén alátámasztják a Pd jelenlétét a mintákban. Többek között klór és nikkel jelenlétére utaló csúcsok is láthatók a spektrumokon. Ezek az elemek az előállítási lépések során maradtak vissza a katalizátorokon, mivel a nanocsövek növesztésének katalizálásához nikkel-nitrátot használtunk, a Pd felületre impregnálásához pedig palládium-kloridot. A mintákban található további elemek a templátok összetevői.

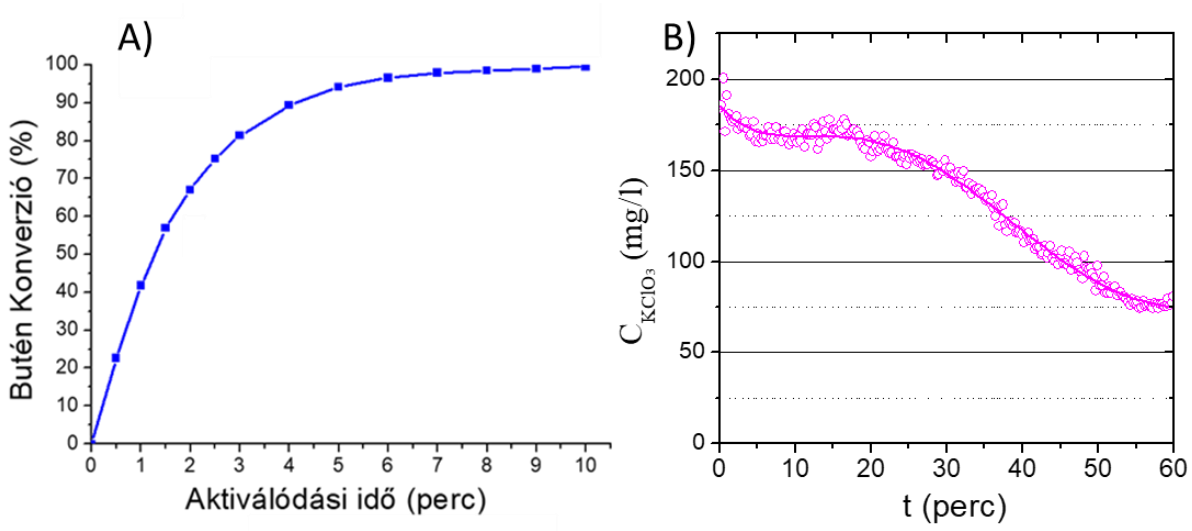


3. ábra. A) Az elkészült 2 m/m % Pd-tartalmú katalizátorok, B) SEM felvétel a hordozókra szintetizált szén nanocsövekről, C) EDS vizsgálat eredménye D) SEM felvétel a Pd tartalmú katalizátorokról

4.3. A katalizátorok tesztelési eredményei

Az első teszt butén gázfázisú hidrogénezése volt, mely során remekül teljesítettek a 2 m/m% Pd tartalmú katalizátorok. A 10 percen keresztül vizsgált folyamatban a katalizátor 98,3 % -os konverziót ért el (4./A ábra).

A rendszer kalibrálását követően teszteltük a katalizátorokat a klorátmentesítési folyamatban is. A klorát oldatot addig áramoltattunk az üres reaktoron keresztül, amíg be nem állt az állandó klorát-tartalom. Ezt követően a katalizátorból 10 g mennyiséget töltöttünk a reaktorba és elindítottuk a hidrogénáramot. A mérési pontokat 30 s-ként vettük fel. A klorát koncentráció időbeli változását a 4./B ábrán mutatom be. A kiindulási koncentráció jelentős mértékű csökkenést mutatott, mivel egy óra alatt 75 mg/l értékre csökkent.



4. ábra. A) Butén konverziója a hidrogénezés során, B) Klorát koncentráció időbeli változása

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során aluminium-oxid alapú hordozó felhasználásával állítottunk elő katalizátorokat. A hordozókra bambusz szerkezetű szén nanocsöveket növesztettünk, majd Pd nanorészecskéket alakítottunk ki felületükön. Jellemeztük azokat, majd teszteltük butén hidrogénezési reakciójában, mely során 98,3 %-os konverziót ért el.

Ezt követően megterveztünk és kiépítettünk egy olyan katalitikus mérőrendszert, amely lehetővé teszi a kloráttartalom folyamatos követését áramlásos rendszerben. Az eredményekből megállapítható, hogy a kutatómunka során kifejlesztett katalizátorok alkalmasak lehetnek vegyipari kloráttartalmú szennyvizek kezelésére, kloráttartalmának csökkentésére.

A továbbiakban szeretnénk fejleszteni a katalizátorokat, hogy még nagyobb mértékben tudjuk csökkenteni a klorát koncentrációt, illetve ródium, platina, irídium, és nikkel tartalmú mag-héj szerkezetű katalizátor töltetek előállításával és vizsgálatával is tervezünk foglalkozni.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet Dr. Koncz-Horváth Dánielnek a Fémtani, Képlékenyalakítási és Nanotechnológiai Intézetben dolgozó tudományos munkatársnak az elkészített SEM felvételekért. Köszönettel tartozunk Koós Tamás Lászlónak az Energia- és Minőségügyi

Intézetben dolgozó tanszéki mérnöknek a termogravimetriai mérésekért. Végül, de nem utolsó sorban köszönet Dr. Viskolcz Béla intézetigazgató Úrnak, hogy a kutatómunkát támogatta és biztosította a Kémiai Intézet infrastrukturális hátterét.



AZ EMBERI ERŐFORRÁSOK MINISZTÉRIUMA ÚNKP-17-1 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

7. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **PALOMARES, A. E.; FRANCH, C.; YURANOVA, T.; KIWI-MINSKER, L.; GARCÍA-BORDEJE, E.; DERROUICHE, S.:** *The use of Pd catalysts on carbon-based structured materials for the catalytic hydrogenation of bromates in different types of water.* App. Cat. B, 2014, 146, 186–19.

[2] **SOARES, O. S. G. P.; FREITAS, C. M. A. S.; FONSECA, A. M.; ÓRFÃO, J. J. M.; PEREIRA, M. F. R.; NEVES, I. C.:** *Bromate reduction in water promoted by metal catalysts prepared over faujasite zeolite.* Chem. Eng. J., 2016, 291, 199–205.

[3] **FARZADA, S.; RASHIDIB, A.; HAGHTALABC, M. A.; MANDEGARID.:** *Study of effective parameters in the Fischer Tropsch synthesis using monolithic CNT supported cobalt catalysts.* Fuel, 2014, 132, 27-35.

[4] **GARCIA, J.; GOMES, H. T.; SERP, PH.; KALCK, PH.; FIGUEIREDO, J. L.; FARIA J. L.:** *Carbon nanotube supported ruthenium catalysts for the treatment of high strength wastewater with aniline using wet air oxidation.* Carbon, 2006, 44, 2384-2391.

[5] **SÁPI ANDRÁS:** *Nanorészecske-szén nanocső nanokompozitok előállítása, jellemzése és katalitikus tulajdonságainak vizsgálata*. Doktori értekezés, Szegedi Tudományegyetem, 2012.

[6] **LIAO, H. G.; XIAO, Y. J.; ZHANG, H. K.; LIU, P. L.; YOU, K. Y.; HEAN, C.; LUO, W.:** *Hydrogenation of nitrocyclohexane to cyclohexanone oxime over Pd/CNT catalyst under mild conditions.* Catal. Comm., 2012. 19, 80–84.

[7] **AYALA, P.; ARENAL, R.; RÜMMELI M.; RUBIO A.; PICHLER, T.:** *The doping of carbon nanotubes with nitrogen and their potential applications.* Carbon, 2010, 48, 575-586.

[8] **LI, Y. H.; HUNG, T. H.; CHEN, Y. H.:** *A first-principles study of nitrogen- and boron-assisted platinum adsorption on carbon nanotubes.* Carbon, 2009, 47, 850–855.

[9] **CHEN, H.; XU, Z.; WAN, H.; ZHENG, J.; YINB, D.; ZHENG, S.:** *Aqueous bromate reduction by catalytic hydrogenation over Pd/Al2O3 catalysts.* App. Cat. B, 2010, 96, 307-313.

[10] **KUZNETSOVA, L. I.; KUZNETSOVA, N. I.; KOSCHEEVA, S. V.; ZAIKOVSKII, V. I.; LISITSYN, A. S.; KAPRIELOVA, K. M.; KIRILLOVA, N. V.; TWARDOWSKI, Z.:** *Carbon-supported iridium catalyst for reduction of chlorate ions with hydrogen in concentrated solutions of sodium chloride.* App. Cat. A, 2012, 427– 428, 8-15.

AZ ÓN-NIKKEL FORRASZANYAG NEDVESÍTÉSVIZSGÁLATA RÉZ SZUBSZTRÁTON

INVESTIGATION OF THE WETTABILITY OF TIN-NICKEL SOLDER ALLOY ON COPPER SUBSTRATE

SOMLYAI-SIPOS László[1], BAUMLI Péter [2]

[1]tanszéki mérnök, femsomlyai@uni-miskolc.hu
[1]Nanotechnológiai Tanszék, Miskolci Egyetem, H-3515, Miskolc, Egyetemváros

[2]PhD, egyetemi docens, fembaumli@uni-miskolc.hu
[2]Nanotechnológiai Tanszék, Miskolci Egyetem, H-3515, Miskolc, Egyetemváros

Kivonat: *Publikációnk témája ólommentes ón-nikkel lágyforrasz anyagok nedvesítési vizsgálata. Napjainkban számos forrasztott kötéssel készített termékkel találkozhatunk, amelyek készítésénél a kötést kialakító forraszanyag kisebb-nagyobb mértékben ólmot tartalmaz. Az Európai Uniós előírásoknak megfelelően azonban ezeket az ólomtartalmú forraszanyagokat fokozatosan ki kell vezetni a technológiákból. A forraszanyagokból az ólom kivonása viszont technológiai problémákat vet fel, ugyanis a réz alapanyag forrasztása esetén, a forraszanyag/réz szubsztrát határfelületen Sn_5Cu_6 intermetallikus fázis keletkezik, amely a kötés mechanikai tulajdonságait csökkenti. Kutatómunkánk során forraszanyagként 0,1; 0,2 és 0,4% m/m nikkelt tartalmazó ón-nikkel ötvözetet használtunk, amelyeket réz szubsztráton olvasztottunk meg.*

Kulcsszavak: *nedvesítésvizsgálat, ólommentes forraszanyag, lágyforrasztás*

Abstract: *The subject of our publication is the investigation of the wettability of leadfree tin-nickel solder alloys. In these days we can meet such products what are made by soldered joint which the solder contain more-less lead in. These lead content solders are had to lead out from technologies because of the directives of the European Union. The drawing of the lead from the solders causes technological problems because if we use copper to substrate then the interface of solder/copper is formed Sn_5Cu_6 intermetallical phase which decreases the mechanical quality of the joint. In our research we have used tin-nickel alloys as a solder which there were 0,1; 0,2 and 0,4 weight percent nickel in. we melted these alloys on copper substrate.*

Keywords: *investigation of wettability, lead-free solder, soldering*

1. BEVEZETÉS

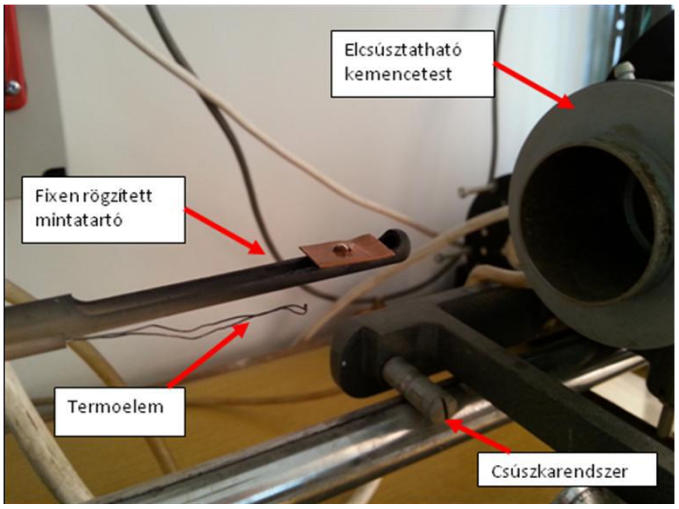
Az ón (Sn) alapú forraszanyagok fejlesztésénél azért kezdtek ólmot (Pb) ötvözőként használni, mert az csökkenti az intermetallikus fázis mennyiségét. Az Európai Unió direktíváinak – RoHS (veszélyes anyagok korlátozása) és WEEE (az elektromos és elektronikai berendezések hulladékainak kezelése) – korlátozzák a toxikus Pb használatát. Ezért az elektronikai- és járműiparnak fokozatosan át kell állnia az ólommentes forraszötvözetek használatára. Az ón alapú lágyforrasz anyagok ma legtöbbet vizsgált rendszerei a réz (Cu), ezüst (Ag) **[1]**, bizmut (Bi) **[2]** tartalmú kétalkotós ötvözetek, valamint a háromalkotós ötvözetek közül a Sn-Cu-Ag **[3, 4]** és a nikkel (Ni) mikro ötvözésű Sn-Cu-Ni ötvözetek **[5]**, valamint az arany-indium-ón (Au–In–Sn) és bizmut-indium-ón (Bi–In–Sn) **[6]**. A forrasztott kötés kialakítására szánt ötvözetek fizikai- és kémiai tulajdonságai közül egyik fontos kérdés, hogy a forraszanyag a forrasztandó felületeket milyen mértékben nedvesíti. Emellett természetesen a vizsgálatok központi kérdése a kötés során kialakult mikroszerkezet is. Kutatómunkánk során ezt a két szempontot vizsgáltuk a nikkel ötvözésű ón alapú forraszanyagok esetén.

2. KÍSÉRLETI KÖRÜLMÉNYEK

A nedvesítési vizsgálatokat nyugvócsepp módszerrel végeztük el. A kísérletnél 99,9m/m % tisztaságú, 2 mm vastagságúra hengerelt réz lemez volt a szubsztrát, melyet 10 x 15 x 2 mm-es darabokat használtunk. A forraszanyagunk Sn-Ni ötvözet volt 0,1; 0,2 és 0,4m/m % nikkel tartalommal, melyekből 0,1 g-os darabokat vágtunk.

A vizsgálat előtt mind a szubsztrát, mind pedig a forraszanyag egy tisztítási folyamaton esett keresztül: 10m/m %-os nátrium-hidroxidos (NaOH) oldatba helyeztük, hogy a szennyeződéseket eltávolítsuk róla. Ezután desztillált vízzel, majd etil-alkohollal átmostuk és levegőn szárítottuk.

A nedvesítési vizsgálatokat levegő atmoszférán végeztük. A forraszötvözet 0,1 g-os darabját a réz szubsztrát közepére helyeztük, majd egy csepp forrasztófolyadékot (DIN EN 29454) cseppentettünk rá, amellyel a forrasztás során a minta oxidációja elkerülhető. A mintát a vízszintes csőkemence mintatartójára helyeztük, melyet már a vizsgálati (350°C) hőmérsékletre előmelegítettünk, majd egy sínrendszer segítségével ráhúztuk azt a mintára. A minta elhelyezkedését és a kemence felépítését az *1. ábra* szemlélteti.

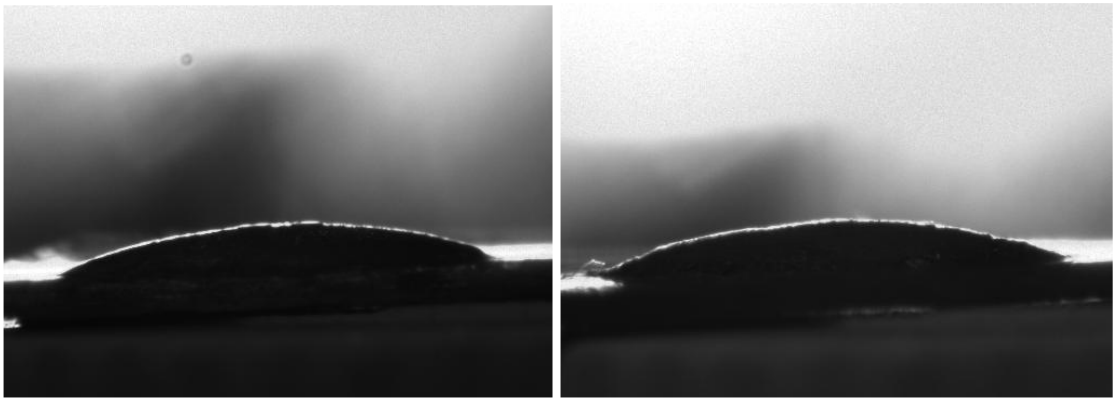


1. ábra. A vízszintes csőkemencéről készített felvétel nyitott állapotban a mintával

Vizsgálataink során a mintákat a kemencében különböző ideig hőn tartottuk a kísérleti hőmérsékleten. A hőntartási idő 1, 2, 3, illetve 4 perc volt. Ezután a kemencét a mintáról lehúztuk, és hagytuk levegőn spontán kihűlni. A kihűlt mintát etil-alkohol segítségével megtisztítottuk a forrasztófolyadék maradványaitól és sziluettes felvételeket készítettünk róluk, majd KSV szoftver segítségével elvégeztük a peremszög mérést. Végezetül a mintadarabokat műgyantába ágyaztuk, csiszoltuk, políroztuk és fénymikroszkópos, valamint pásztázó elektronmikroszkóp – energiadiszperzív röntgenspektrometriás (SEM-EDS) vizsgálatoknak vetettük alá.

3. EREDMÉNYEK

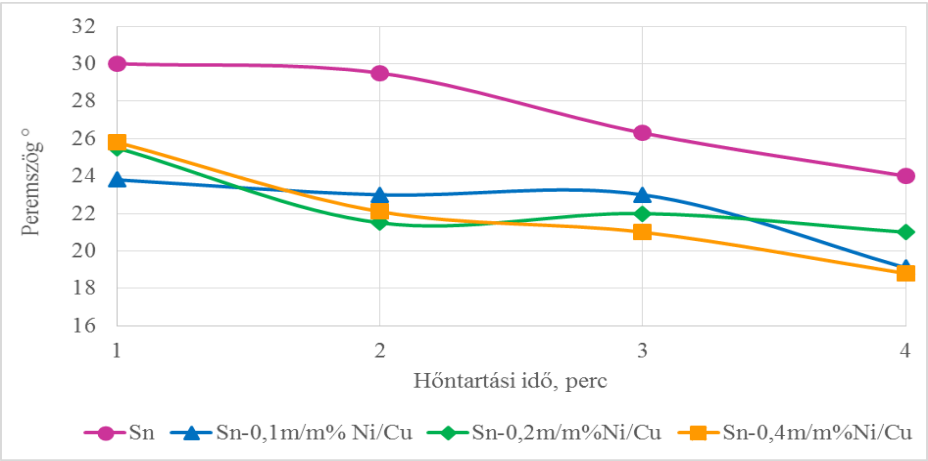
Az Sn-Ni forraszötvözetek és a Cu szubsztrát közötti peremszög meghatározásához a KSV szoftverrel készített sziluettes felvételeket használtuk (2. ábra).



(a) (b)

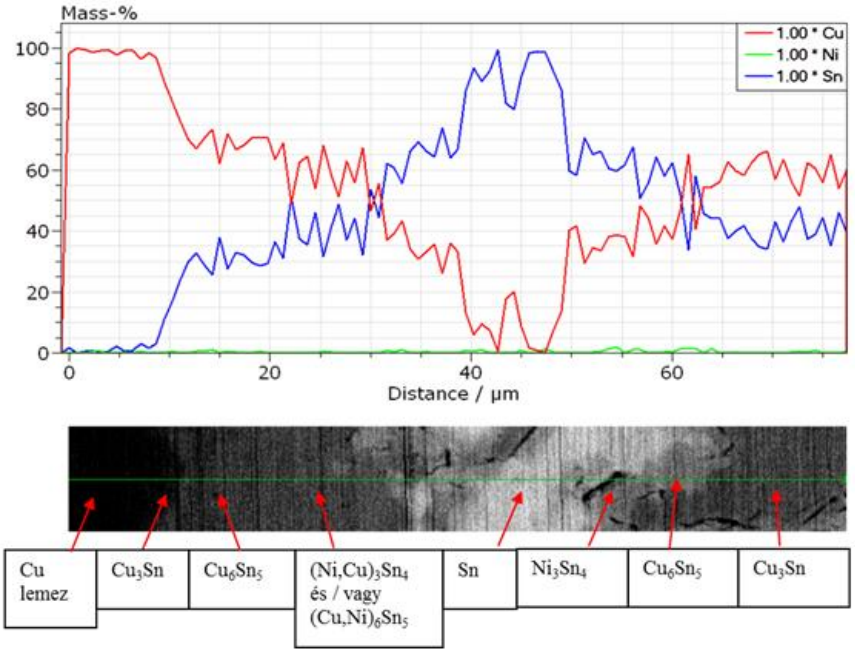
2. ábra: A KSV szoftver segítségével készített sziluettes felvételek (Sn-0,4m/m%Ni/Cu, 1 percig hőntartott (a), Sn-0,2m/m%Ni/Cu 5 percig hőntartott (b))

A peremszög értékek a hőntartási idő függvényében a *3. ábrán* láthatóak. A peremszög értéke a Ni tartalom növekedésével csökken. A tiszta Sn esetében mért peremszög értéke 30° volt, mely lecsökkent 25±1°-ra a Ni hozzáadásával 1 perces hőntartás esetén. Ez abban az esetben lehetséges, ha az Sn-hoz hozzáadott Ni csökkenti a felületi feszültséget, vagy ha a Ni felületaktív elem és csökkenti a felületi energiát. A különböző koncentrációjú Sn-Ni ötvözetek között azonban nem tudtunk detektálni különbséget a peremszögek tekintetében. Ennek oka lehet, hogy a Ni koncentrációjának növelésével növelte az Sn-Ni ötvözet felületi feszültségét, mellyel párhuzamosan csökkentette a felületi energiát. Ebben az esetben a két effektus kompenzálta egymást és ennek következtében nem történt változás a mért peremszögek értékeit tekintve. A 4 perces hőntartás eredményeként az Sn-Ni ötvözetek peremszöge 25±1°-ról 20±1°-ra csökkent.



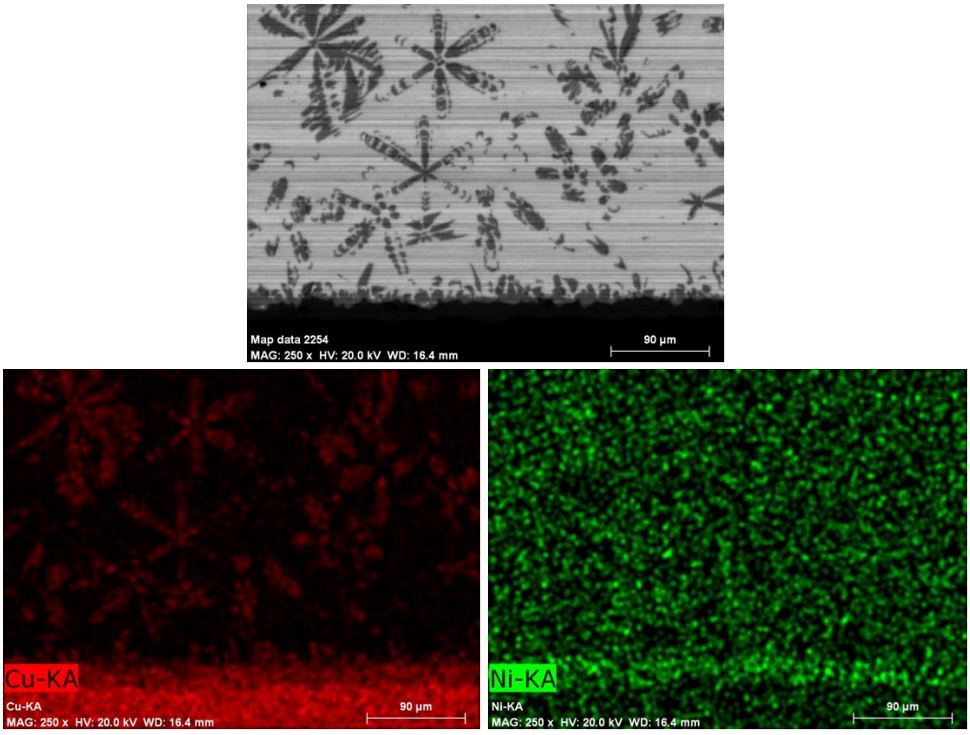
3. ábra: A peremszög értékek az Sn-Ni/Cu rendszerben a hőntartási idő függvényében

A forraszcseppről készített keresztmetszeti csiszolatok SEM-EDS felvételeinek Cu elemtérképein látható, hogy a réz fokozatosan oldódik be a cseppbe. Távolodva a határfelülettől a Cu mennyisége fokozatosan csökken, melynek oka, hogy a Cu az Sn-Ni ötvözetben diffúzió útján tud bejutni, mely a mérés elején még gyorsabban lejátszódó folyamat. Amint a Cu koncentrációja elér egy kritikus pontot, intermetallikus fázissá alakul egy része, mely egy Sn-Cu határfelületi réteget képez (4. ábra).



4. ábra: Az Sn-0,4m/m% Ni/Cu mintadarab vonalmenti analízise

A Ni koncentrációja a cseppben fokozatosan változik. A forraszanyag-szubsztrát határfelülettől távolodva megmértük a különböző intermetallikus fázisokban a Ni mennyiségét. Arra a megállapításra jutottunk, hogy a határfelület közelében a Ni feldúsul, valamint onnan távolodva fokozatosan csökken annak mennyisége (5. ábra). Ez azt támasztja alá, hogy a Ni felületaktív elem ebben a rendszerben.



5. ábra: A Ni és a Cu koncentráció változása az intermetallikus fázisokban a Cu-forraszanyag határfelülettől távolodva

A kísérletek elején egyenletesre hengerelt Cu lemez veszít keresztmetszetéből a forraszcsepp alatt a Cu beoldódásának köszönhetően. Ennek eredményeként egy ún.

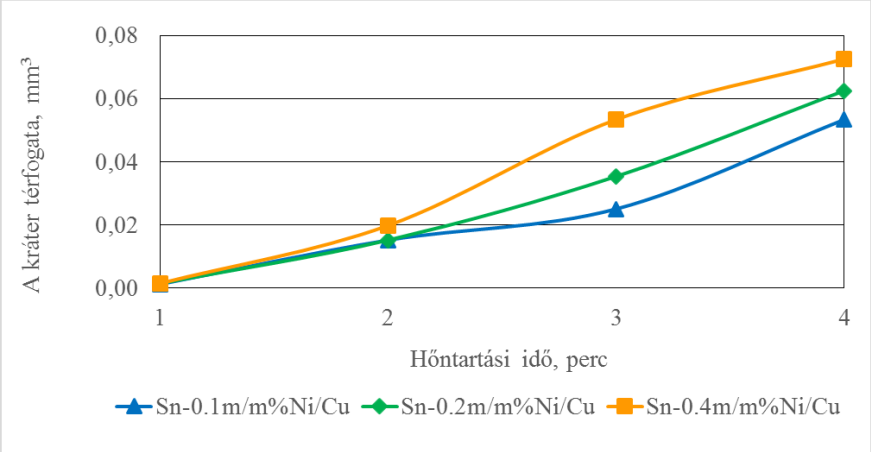
kráterképződés figyelhető meg ebben a rendszerben, mely a hőntartási idő növekedésével párhuzamosan nőtt. Méréseket végeztünk annak érdekében, hogy meghatározzuk a cseppek alatt kialakult kráterek térfogatát. Első lépésben megmértük a cseppek átmérőjét, majd a cseppek alatt található kráter mélységét. Második lépésben feltételeztük, hogy a cseppek alatti kráterek gömbsüveg alakúak, illetve, hogy a rézlemez – az egyenletes hengerlésnek köszönhetően – mindenhol ugyanolyan vastagságú. Számításunkhoz a gömbsüveg térfogatának meghatározására használt algebrai képletet alkalmaztuk:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot m \cdot (3 \cdot r^2 + m^2) \qquad (1)$$

ahol:

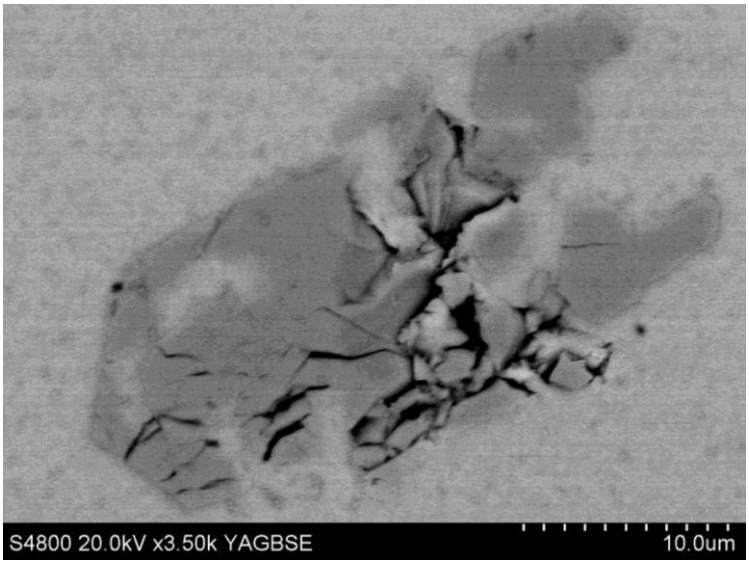
V – a kráter térfogata (mm^3);
m – a kráter mélysége (mm);
r – a gömbsüvegnek feltételezett csepp alaplapjának sugara (mm).

A mért és számított adatok alapján megállapítható, hogy a kráter térfogata a hőntartási idő növekedésével párhuzamosan nőtt (6. ábra).



6. ábra: A réz szubsztrátban kialakult kráter térfogatának változása a hőntartási idő függvényében

A kialakuló intermetallikus fázisokban repedéseket (7. ábra) figyeltünk meg a SEM felvételeken. Ezen repedések kialakulásának oka a Ni, ugyanis a rendszerben elsőként a magasabb Cu tartalmú Cu_3Sn fázis kristályosodik, majd erre nő rá a Cu_6Sn_5 fázis, amelyben Ni is megjelenik és ezt veszi körül az Sn-Cu szilárd oldat. A Ni tartalmú fázisoknak a hőtágulása más, mint a mátrixként szolgáló szilárd oldat és ez mechanikai feszültséget okozva eredményezi a mintában a repedések megjelenését.



7. ábra: Az Sn-0,2m/m%Ni/Cu rendszerben kialakult repedések 1 perces hőntartás esetén

A párhuzamosan készített minták segítségével megvizsgáltuk, hogy a hőkezelés hatására hogyan változik a rendszer szövetszerkezete. A mintákat 6, illetve 24 órára 100°C-os kemencébe helyeztük ezzel szimulálva a forraszanyag gyakorlati felhasználása során kialakult maximális hőterhelést. A vizsgálataink eredményei azt mutatták, hogy nem történt változás sem a fázisok mennyisége, sem pedig azok eloszlása között a hőkezelések hatására.

4. ÖSSZEGZÉS

Kutatómunkánk témája nedvesítés vizsgálat volt Sn-Ni/Cu rendszerben, alacsony Ni koncentrációjú forraszanyag mellett. Ezen vizsgálatok eredményei alapján összességében megállapíthatjuk, hogy

- a Ni tartalom emelkedésével az ötvözet nedvesíthetősége, vagyis a peremszög értékek csökkentek a tiszta Sn-Cu rendszerhez viszonyítva (30°-ról 25°-ra a 0,1 m/m% Ni-t tartalmazó minta 1 perces hőntartása mellett),
- a hőntartási idő és a Ni koncentráció emelkedésével a peremszög értékek csökkentek (az Sn-0,4m/m%/Cu rendszerben 4 perces hőntartás mellett 25°-ról 19°ra)
- a hőntartási idő növekedésével nőtt:
    - a Cu beoldódása,
    - a kráter mélysége,
    - a cseppben lévő fázisok mérete,
    - illetve a Ni dúsulás is a szilárd/folyadék határfelületen.
- a cseppben található fázisokon repedések jelentek meg, azaz a Ni tartalmú ötvözetek nem szerencsések forraszanyagnak.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk kifejezni köszönetünket Márkus Zoltánnénak a minta előkészítéseknél nyújtott segítségéért, valamint Kissné Dr. Svéda Máriának és Dr. Anna Sychevának a SEM vizsgálatok elvégzéséért. A kutatás a GINOP-2.3.2-15-2016-00027 jelű „Kristályos és amorf nanoszerkezetű anyagok kutatásával és fejlesztésével foglalkozó kiválósági műhely fenntartható működtetése" című projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BAUMLI, P., VASKÓ, G., LACZKÓ, S., SYCHEVA, A., SVÉDA, M.:** *Ólommentes forraszanyagok nedvesítési vizsgálata*, BKL 147, 2, 21-25, 2014.

[2] **RONTÓ, V., TRANTA, F., SVÉDA, M., BAUMLI, P., CZAGÁNY, M.:** *Ólommentes forraszanyagok vizsgálata: Sn-Bi ötvözetek*, BKL 147, 2, 7-12, 2014.

[3] **DEZSŐ, A., KAPTAY, GY.:** *Rézforrasztásra használt ón-ezüst-réz rendszer egyensúlyi vizsgálata*, BKL 147, 2, 2-6, 2014.

[4] **MOLNÁR, A., KARDOS, I., MOLNÁR, I., GÁCSI, Z.:** *Az ezüsttartalom hatása ólommentes forraszanyagok tulajdonságaira*, BKL 147, 2, 17-20, 2014.

[5] **GYENES, A., LANSZKI, P., NAGY, E., GÁCSI, Z.:** *Nikkellel mikroötvözött Sn-0,7Cu ólommentes forraszanyagok vizsgálata*, BKL 147, 2, 12-17, 2014.

[6] **GNECCO, F., RICCI, E., AMORE, S., GIURANNO, D., BORZONE, G., ZANICCHI, G., NOVAKOVIC, R.:** *Wetting behaviour and reactivity of lead free Au–In–Sn and Bi–In–Sn alloys on copper substrates*, International Journal of Adhesion and Adhesives, 27, 5, 409–416, 2007.

HŐSZOLGÁLTATÓK KÖRNYEZETI ELEMZÉSE - TECHNOLÓGIAI ÉS TERMÉSZETI TÉNYEZŐK

THE MAIN TECHNOLOGICAL AND ECOLOGICAL FACTORS OF THE DISTRICT HEAT SUPPLY

SÜVEGES Gábor Béla

tanársegéd, suveges.gabor@uni-miskolc.hu
Pénzügyi Intézeti Tanszék, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A távhőszolgáltatás megítélése eltérő a különböző országokban. Többek között a környezetvédelmi előnyei miatt a fejlettebb nyugati országokban kedvezőbb megítélés alá esik, hazánkban elsősorban a múlt „öröksége" következtében a társadalmi megítélése inkább kedvezőtlen. Ezen kívül az elmúlt évek gazdálkodási adatait vizsgálva a magyarországi távhőszolgáltatók vagyoni, pénzügyi és jövedelmezőségi helyzetében jelentős különbségeket figyelhetünk meg. A különbözőségek okinak feltárása többek az iparágat meghatározó környezeti elemek feltárásával lehetséges. Jelen tanulmány arra keresi a választ, hogy melyek azok technológiai és természeti környezeti elemek és keretek, melyek alapvetően befolyásolják a hőszolgáltatók működési lehetőségeit. Ezen környezeti elemeket az iparág főbb szereplőihez – távhőtermelő, távhőszolgáltató, felhasználók- rendeli és adja meg az alapot a kutatás folytatásához.*

Kulcsszavak: *távhőellátás, távhőszolgáltatás, távhőtermelés, távhőszektor, természeti és környezeti elemek*

Abstract: *The judgement about district heat supply is different in every country. While it is viewed positively in the more developed western countries because of its environmental advantages, in Hungary a rather negative picture was created in people's mind due to the importance of national heritages. Furthermore, analysing the economic data of the past few years, we can identify significant differences considering the pecuniary, financial and profitability situation of Hungarian district heat suppliers. The reasons of these differences can be found through the examination of the environmental elements of the industry. The aim of this study is to find answers regarding the technological and environmental elements and limits that affect the functioning of heat suppliers. These environmental elements are connected to the main elements of the industry - district heat producers, district heat suppliers, consumers - and gives a base to continue the research.*

Keywords: *District heat supply, District heat producers, District heat suppliers, technological and ecological enviroment*

1. BEVEZETÉS, CÉLOK

A távhőszolgáltatás megítélése eltérő a különböző országokban [1]. Többek között a környezetvédelmi előnyei miatt a fejlettebb nyugati országokban kedvezőbb megítélés alá esik, hazánkban elsősorban a múlt „öröksége" következtében a társadalmi megítélése inkább kedvezőtlen, sokaknak az elavult lakótelepi fűtések, panelházak jutnak róla eszébe. A távhőszolgáltatás előnyeiről nemzetgazdasági szinten beszélhetünk, az ott megjelenő fejlesztések a környezet és klímavédelem miatt elsősorban társadalom egészére, általános életminőségének javulására hatnak, joggal tekinthetjük társadalmi innovációnak. Az iparág gazdálkodási megítélése sem egyértelmű, hiszen az elmúlt évek gazdálkodási adatait vizsgálva a magyarországi távhőszolgáltatók vagyoni, pénzügyi és jövedelmezőségi helyzetében jelentős különbségeket figyelhetünk meg [2][3]. A különbözőségek okinak feltárása többek az iparágat meghatározó környezeti elemek megismerésével lehetséges. Jelen tanulmány arra keresi a választ, hogy melyek azok technológiai és természeti környezeti elemek és keretek, melyek alapvetően befolyásolják a hőszolgáltatók működési lehetőségeit. A tanulmány eredményének az iparágat meghatározó legfontosabb környezeti elemek

azonosítása tekinthető, mely a későbbi elemzések és kutatói munka kiindulási alapjának tekinthető.

2. A TECHNOLÓGIAI ÉS TERMÉSZETI TÉNYEZŐK MEGISMERÉSÉNEK IRODALMI HÁTTERE

Egy adott vállalat(csoport) környezetének legfontosabb tényezőit a szisztematikus tevékenység során elvégzett makrokörnyezet vizsgálattal tudjuk feltárni. A makrokörnyezet elemzése közben a vállalatoknak hat[1] fő erőre kell különösen figyelniük- ennek bemutatására szolgál strukturált formában a PESTEL elemzés. Bár jelen tanulmány a hat elemből a műszaki-technológiai elemekre fókuszál, nem szabad szem elől téveszteni a tényezők kölcsönhatásait, „mivel ezekből alakulnak ki az új lehetőségek és veszélyek" [5].
Ezen elemzési eszközök a vállalat vezetésén kívül az iparágat megismerőnek is világos képet nyújtanak, hiszen „a vizsgálat eredményeit bemutató átfogó vállalati diagnózis egy körültekintően összeállított vállalati helyzetkép, mely nem csupán felsorolja a főbb gazdasági jellemzőket, hanem elemzi és értékeli is a tevékenység minden részterületét" [6]. A diagnózis készítése során meg tudjuk találni a „jónak minősülő területeket és megoldásokat" [6]. A megfelelő és követendő technológiai háttér megtalálása a vállalati környezet ezen két elemének vizsgálata azért kiemelten fontos, hiszen csökkenthető a környezetterhelés és növelhető a vállalat/iparág társadalmi haszna.

A technológiai környezet vizsgálata során a vállalatok működését alakító új technológiák mellett a „technológiai infrastruktúra terjedésének mértékét és sebességét" is érdemes figyelembe venni [4].
A technológiai környezet elemein Incze (2014) a következőket érti:

- Technológia jelentősége az iparágban és helyi önkormányzati szinten
- Technológiai fejlettség szintje
- Fejlesztési támogatások mértéke
- Innovációk, fejlesztések
- Tecnológia-transzfer sebessége
- Elavulási sebesség [7]

Józsa (2014) kiegészíti a K+F kiadások és a termékéletciklus vizsgálatával is [8].

A természeti környezet tényezői közé a Föld klímájához és erőforrásaihoz kapcsolódó tényezők tartoznak, amelyek közül „számos inkább hosszabb távon van az üzleti környezetre hatással, a végleges kőolajtartalékok például új technológiák megjelenését hívták életre" [4]. Olyan tényezőket érdemes vizsgálni, mint a „környezetvédelmi szabályok, a hulladékeltávolítással és energia-fogyasztással kapcsolatos rendelkezések" [4], de az energiafogyasztás alakulása, a fogyasztók környezettudatossága és a társadalmi felelősségvállalás szintje is azon elemek közé tartozik, melyek nem kerülhetik el figyelmünket. A közműszolgáltatók esetében különösen fontos a természeti környezet vizsgálata, hiszen ezen környezeti elem világszinten megfigyelhető romlása aggodalomra adhat okot, a szennyezettség sok helyen veszélyes mértékeket öltött, ezért ezen vállalatoknak komoly beruházásokat kell végrehajtaniuk a környezetszennyező fűtőanyagok helyettesítésre vonatkozóan [3]

A technológiai és a társadalmi környezet elemzésének végrehajtása során lényeges

[1] Demográfiai, gazdasági, szociolkulturális, természeti, technológiai, politika-jogi tényezők [4].

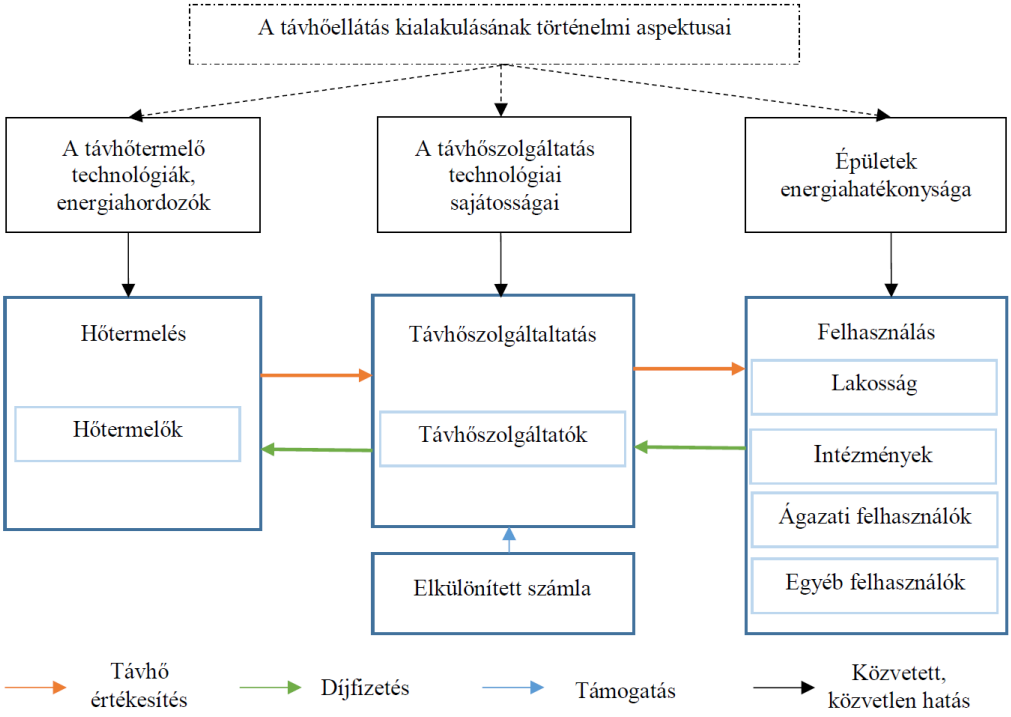
válaszokat kaphatunk a következő kérdések megvizsgálásával, melyet Miles (1980) fejlesztett ki:

- Milyen bonyolult a környezet?
- Milyen kölcsönhatással rendelkeznek az egyes környezeti tényezők?
- Mennyire dinamikus és előre jelezhető a vállalkozásokra, a szervezetekre hatást gyakorló tényezők változása?
- Mennyire fogékony a menedzsment a környezeti hatások megértésére, a változások megtételére, a lehetőségek kihasználására?
- Milyen korlátok akadályozzák a vállalkozásokat új irányok, lehetőségek felé történő elmozdulásukban? [8]

A technológia és a természeti tényezők sajátos kapcsolódási pontjaként egy új problémakör, az ökológia rajzolódik ki, mely a „környezetben megjelenő erőforrások viszonyrendszerét" [8] jelenti.

3. A TÁVHŐELLÁTÁS TECHNOLÓGIAI ÉS TERMÉSZETI KÖRNYEZETELEMZÉSÉNEK LEGFONTOSABB ASPEKTUSAI

A távhőellátásra ható technológiai és természeti környezetelemzés legfontosabb jellemzőit az *1.ábra* fogalja össze.



1. ábra: A távhőellátásra ható természeti és környezeti elemek kapcsolatrendszere (A Magyar Távhőszektor 2016.évi adatai alapján saját szerkesztés [9])

A távhőellátást meghatározó természeti és környezeti hatásokat három szinten kell vizsgálni:

- hőtermelő vállalatok
- távhőszolgáltató vállalatok
- felhasználók

Ezen három fő működési és gazdálkodási környezetét közvetlenül meghatározó tényezőket szintén három csoportba lehet sorolni. A közvetlenül befolyást gyakorló tényezők mögött a jelenlegi távhőellátás múltbeli „öröksége" az akkor kialakított műszaki megoldások határozzák meg a jelenlegi helyzetet és lehetőségeket.
Bár a magyarországi távhőellátás kezdetei 1899-ig nyúlnak vissza – ekkor helyezték üzembe azt a távfűtési rendszert, mely az országház ellátásáért felelt-, a távhő alkalmazásának igazi kezdetét az 1950-es évekre tehetjük, amikor megkezdődött a lakossági kommunális távhőellátás, majd a 1960-as években meginduló állami lakásépítési program indította meg elterjedését [10]. A magyar távhőszolgáltatás létrejöttekor még az ipari távhőszolgáltatás szerepe volt a meghatározó [11]. Majd az 1960 és 1990 közötti időszakban összesen 1,2 millió lakás megépítését tűzték ki célul az I. és II. lakásépítési program keretében[2] [12]. Az akkoriban megépült panelépületek esetében egycsöves, átkötő szakaszok nélküli belső fűtési rendszereket építettek a lehető leggyorsabb és „leggazdaságosabb" építés érdekében [13]. A szakemberek nem tartották kivitelezhetőnek a lakások egyedei fűtöttségi szintre történő szabályozását [10].

„Annak érdekében, hogy a lakásépítési programok magas tervszámait tartani lehessen, a minimális beruházási igényű megoldásokat részesítették előnyben mind a lakások építése, mind a távfűtési rendszerek kialakítása során. Ezt támasztotta alá az akkoriban elterjedt építészeti felfogás is, miszerint a panellakások egyenletes hőigénnyel rendelkeznek, a lakások különböző fűtöttségének lehetőségét nem tartották megengedhetőnek a hőtágulás különböző mértéke miatt. Emellett Magyarország rendkívül olcsón jutott az orosz földgázhoz, így nem volt szükség takarékoskodásra." [14]
Mivel a távhőszolgáltatás sok településen –többek között Miskolcon is- egy-egy ipari létesítmény – Miskolcon például a Lenin Kohászati Művek - hulladékhőjének elvezetésére szolgált, így a feladat „hatékonyabb" ellátása miatt nem volt szükséges a csövek szigetelése sem.

A rendszerváltást követően a piacgazdasági viszonyok megteremtésével az ország energiagazdálkodása is átalakult, megszűnt a korábbi olcsó energiahordozók beszerzésének lehetősége, jelentősen növekedtek az árak és az üzemeltetési költségek, „átalakultak a tulajdonviszonyok – közcélú erőművek kerültek külföldi tulajdonba, a távhőszolgáltatók önkormányzati, a lakások pedig magántulajdonba" [15] és jelentős változás következett be a működtetés és fenntartás területén. A korábban „hatékony" hulladékhő elvezetőnek számító csőrendszerek a rendszer veszteségforrásaivá váltak. Hasonló módon szűk keresztmetszetté, veszteségforrássá vált a lakások egyedi fűtöttségre szabályozásának hiánya is, hiszen ennek hiányában a lakásokban kialakult túlságosan magas hőmérsékletet a lakók szellőztetéssel oldották, amely bár a korábbi időszakban elfogadható volt, a piaci viszonyok megváltozásával jelentős hatékonyság romboló tényezővé alakult. A távhőellátás magyarországi kialakulásának történelmi, műszaki öröksége meghatározólag hat mind a hőtermelő, mind a hőszolgáltató, mind pedig a felhasználókra nézve.

A távhőszolgáltatók eredményességét alapvetően befolyásolhatja az ár, amiért a hőhöz hozzájuthatnak, ezt pedig befolyásolják a hőtermelők által felhasznált

- energiahordozók és
- energiatermelési technológiák.

[2] A lakásépítési program a rendszerváltással véget ért, a tervezett 1,2 millió lakásból összesen 890 ezer házgyári technológiával készülő lakás került megépítésre, melynek túlnyomó többsége távfűtéses otthon volt.
A távfűtési rendszereket nagy kapacitásúra tervezték, jellemzően túlméretezték, bízva abban, hogy a lakásépítés lendülete tovább fog folytatódni. [12]

A *2. táblázat* a távhőtermelők által felhasznált energiahordozó mennyiségeket és arányokat mutatja.

1. táblázat. A távhőtermelők által felhasznált energiahordozó mennyiségek és arányok

Energiahordozók megnevezése	**Tüzelőhő felhasználás [TJ]***	**Arány [%]**	**Tüzelőhő felhasználás [TJ]***	**Arány [%]**	**Tüzelőhő felhasználás [TJ]***	**Arány [%]**
	2014		**2015**		**2016**	
Összes energiahordozó felhasználás**	**64 415**	**100,00**	**64 299**	**100,00**	**63 494**	**100,00**
Földgáz	40 877	63,46	43 510	67,67	44 786	70,54
Fűtőolaj	285	0,44	165	0,26	149	0,23
Tüzelőolaj	1	0,00	9	0,01	5	0,01
Propán-bután gáz	2	0,00	1	0,00	4	0,01
Depóniagáz	15	0,02	11	0,02	7	0,01
Szennyvíziszap-gáz	46	0,07	50	0,08	59	0,09
Visszanyert gázok és hulladékhő	5 269	8,18	6 194	9,63	4 679	7,37
Biomassza	6 844	10,63	9 821	15,27	10 024	15,79
Széntermékek	7 794	12,10	1 254	1,95	812	1,28
Kommunális hulladék	3 281	5,09	3 283	5,11	2 968	4,67

* Az adatok a nem távhőszolgáltatási célú hő, valamint kapcsolt technológia esetén a villamos energia előállításához felhasznált tüzelőhő mennyiségeket is tartalmazzák.
** Nem tartalmazza az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. adatait.

Forrás: A Magyar Távhőszektor 2016.évi adatai alapján saját szerkesztés [9]

A magyarországi távhőtermelésről elmondható, hogy döntő mértékben fosszilis tüzelőanyagokat használ és azon belül is meghatározó a földgáz felhasználás mennyisége és aránya. A földgáz felhasználás emelkedése volt megfigyelhető a vizsgált három évben, ugyanakkor örvendetes, hogy a biomassza felhasználás aránya is növekedést mutatott.

Determinisztikus a kapcsolat az energiahordozók és a termelési technológiák között.
A 2. táblázat a megújuló energiahordozót felhasználó technológiák teljesítményét mutatja.

2. táblázat. Megújuló energiahordozót felhasználó technológiák távhőszolgáltatási célú hőteljesítménye

Megújuló energiahordozó alapú energiatermelési technológiák	Távhőszolgáltatási célú névleges hőteljesítmény					
	2014		**2015**		**2016**	
	MW	**Arány (%)**	**MW**	**Arány (%)**	**MW**	**Arány (%)**
Depóniagáz alapú technológia	1,89	0,20	1,89	0,20	1,89	0,19
Szennyvíziszap-gáz alapú technológia	0,23	0,02	0,23	0,02	0,23	0,02
Napenergia alapú technológia	0,60	0,06	0,60	0,06	0,60	0,06
Termálvíz alapú technológia	115,50	12,48	119,28	12,75	177,86	17,82
Biomassza alapú technológia*	807,03	87,22	813,33	86,96	817,73	81,91
Összesen	**925,25**	**100,00**	**935,32**	**100,00**	**998,31**	**100,00**

Forrás: A Magyar Távhőszektor 2016.évi adatai alapján saját szerkesztés [9]

Magyarország 2015-ben elkészített 2020-ig tervezett Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terve meghatározta azokat a főbb intézkedési pontokat, melyek hozzájárulnak a távhő hatékonyságához és az energiahordozók arányának változásához. Kiemelt intézkedésként jelennek meg a KEHOP 2014-2020-as programjában az „épületek energiahatékonysági korszerűsítései mellett a magyarországi távhőrendszerek primer oldali energiahatékonysági korszerűsítései, megújuló alapokra helyezése, valamint ezek kombinált fejlesztései (primer oldali energiahatékonyság korszerűsítés és megújuló alapra helyezés)” [16].

4. KÖVETKEZTETÉSEK, TOVÁBBI KUTATÁSI IRÁNYOK

A magyarországi távhőszolgáltatók vagyoni, pénzügyi és jövedelmezőségi helyzetében jelentős különbségeket figyelhetünk meg. Jelen tanulmány egy folyamatban lévő kutatás részeként azt a célt tűzte ki, hogy feltérképezze azokat a technológiai irányvonalakat és hatásokat, melyek magyarázó, csoportképző ismérvként jelenhetnek meg a gazdálkodók elemzése során.

A lehetséges ismérvek a következők:

- A gazdálkodó által igénybe vett hőenergia energiahordozói forrása
- A hőenergia előállítása során igénybe vett energiatermelési technológia
- A hőszolgáltatás technológiai sajátossága
- A felhasználók, épületeinek energiahatékonysági jellemzője
- Az adott településen kialakult távhőellátás történelmi aspektusai

További figyelmet érdemelnek azok az Energiapolitikai cselekvési tervek, melyek a távhőellátás műszaki környezetére és kereteire hatnak ill. hogyan járulhat hozzá a hatékonyabb feladatellátáshoz az önköltség kalkuláció pontosítása termelési folyamatban [17].

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **TÁVHŐ:** *a finnek ezért kedvelik* https://www.karpatinfo.net/gazdasag/2012/01/02/tavho-finnek-ezert-kedvelik Letöltés dátuma: 2018.06.29

[2] **SÜVEGES, G.:** *Hőszolgáltatók gazdálkodási sajátosságai a vagyoni, pénzügyi és jövedelmezőségi helyzet tükrében*. Konferenciakiadvány: A közgazdászképzés elindításának 30. évfordulója alkalmából. Miskolci Egyetem Gazdaságtudományi Kar. 2017.

[3] **MUSINSZKI, Z.:** *Innovations and cost systems - trends and ways in the cost accounting* In: M Bezpartochnyi (szerk.) Organizational and economic mechanisms of development of the financial system: Collective monograph. 221. Riga: ISMA University, 209-219, 2016.

[4] **KESZEY, T., GYULAVÁRI, T.:** *Marketingtervezés*. Budapest: Akadémiai Kiadó. 2016.

[5] **KOTLER, P., KELLER, K.:** *Marketingmenedzsment*. Budapest: Akadémiai Kiadó. 2006.

[6] **ILLÉS, M.:** *Vállalati gazdaságtan*. Miskolc: Miskolci Egyetemi Kiadó. 2016

[7] **BALATON, K., HORTOVÁNYI, L., INCZE, E., LACZKÓ, M., SZABÓ, ZS. R., TARI, E.:** *Stratégiai és üzleti tervezés*. Budapest: Akadémiai Kiadó. 2007

[8] **JÓZSA, L.:** *Marketingstratégia – A tervezés gyakorlata és elmélete*. Budapest: Akadémiai Kiadó. 2014

[9] **MAGYAR TÁVHŐSZOLGÁLTATÓK ORSZÁGOS SZÖVETSÉGE:** *A magyar távhőszektor 2016. évi adatai*

[10] **CSELÉDES, K,:** *Távhőszolgáltatás 40 éve a Bükk kapujában*, 2009., MIHŐ Miskolci Hőszolgáltató Kft., Miskolc, 118.

[11] **LÁZÁR, R., ORBÁN, T.:** *A távhő jelene és jövője az újonnan bevezetett intézkedések tükrében.* Magyar Energetika, XVIII, 6. 2-5.

[12] **HEGEDŰS, M. (SZERK.):** *A magyar távhőszolgáltatás*, Budapest: GKI Magyar Energiakutató és Tanácsadó Kft. 2005.
[13] **EGEDY, T.:** *A lakótelep rehabilitáció helyzete hazánkban*, 2003., Földrajzi Értesítő LII., 1–2, 107–121.
[14] **KÁDÁRNÉ HORVÁTH, Á.:** *A távfűtés áralakító tényezőinek vizsgálata a magyarországi távhőszolgáltató vállalatok körében*, Ph.D. értekezés, 2010. Miskolci Egyetem, Miskolc, 227.
[15] **VADÁSZ, SZ.:** *A MIHŐ Miskolci Hőszolgáltató Kft. gazdálkodási sajátosságainak jellemzése, különös tekitntettel a vállalat tőkeszerkezetére*, Diplomamunka, Miskolci Egyetem, 2015.
[16] **NEMZETI FEJLESZTÉSI MINISZTÉRIUM:** *Magyarország Nemzeti Energiahatékonysági Cselekvési Terve 2020-ig*, 2015.
[17] **MOLNÁR V, TUMIK Á:** *Várakozási veszteségből adódó költségek Lean Six Sigma megközelítésben: egy ABC-alapú döntési modell*, Controller Info, 5(1), 35-40, 2017.

ÜZEMI JELLEMZŐK VIZSGÁLATA POWERSHIFT NYOMATÉKVÁLTÓK TENGELYKAPCSOLÓINÁL

TESTING OF OPERATING CHARACTERISTICS WITH POWERSHIFT MULTI-DISC CLUTCHES

SZEGEDI Attila[1], KOVÁCS Zoltán[2]

[1] főiskolai adjunktus szegedi.attila@nye.hu,
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

[2] intézetigazgató, főiskolai docens PhD zoltan.kovacs@nye.hu,
Műszaki és Agrártudományi Intézet, Nyíregyházi Egyetem

Összefoglaló: *A szerteágazó követelmények összetett igénybevételeket támasztanak napjaink mezőgazdasági erőgépeivel szemben. Az eredményes munkavégzés megköveteli, hogy egy korszerű dízelmotorhoz hatékony és sokoldalú teljesítményátviteli szerkezet csatlakozzon, hiszen a motor teljesítményét a lehető legkisebb veszteséggel kell eljuttatni a talaj és a kerék kapcsolatához. Mindezt úgy, hogy a pillanatnyi áttétel az egyébként széles sebességtartományban is optimális motorterhelést biztosítson az alacsony hajtóanyag fogyasztás eléréséhez. Ennek érdekében alkalmazzák leggyakrabban a korszerű terhelés alatt kapcsolható – Powershift - nyomatékváltókat. Ezek üzemének kritikus pontja a terhelés alatti áttételváltás a - sebességváltás – folyamata, melyet több tárcsás olajban futó tengelykapcsolók szabályozott csúszásával valósítanak meg. A kutatási munka elsősorban ezekre a tengelykapcsolókra fókuszál, a váltást vezérlő elektromos jeltől kiindulva a hidraulikus működtető elemek nyomásváltozásain keresztül figyelemmel a kifejtett vonóerő időbeni változására.*

Kulcsszavak: *traktor hajtáslánc, powershift nyomatékváltó, tengelykapcsoló*

Abstract: *The diverse requirements pose complex demands on today's agricultural tractors. Effective work requires that a modern diesel engine has an efficient and versatile powertrain, since the engine's performance must be minimized to the ground and to the wheel. All this so that the instantaneous gear ratio ensures optimum engine load in the otherwise wide range of speeds to reach low fuel consumption. For this reason, Powershift - transmissionss are most often used under modern loads. The critical point of their operation is the gear shifting under load - the gear shifting process, which is achieved by the controlled sliding of multiple disc clutches. The research work focuses primarily on these clutches, starting from the electric signal controlling the shift, due to the displacement of the hydraulic actuation elements, taking into account the change in the drawbar force exerted.*

Keywords: *tractor powerain, powershift transmission, clutch*

1. BEVEZETÉS

Világszerte a sebességváltók kialakításával foglalkozó kutatások fő célja a hajtásátvitel veszteségeinek csökkentése. Míg korábban a fejlesztések fő irányvonala a motorteljesítmény optimális kihasználása és a gépkezelő kényelme volt, ma a teljesítményveszteségek minimalizálása a legjellemzőbb. A traktorok fokozatmentes hajtóműveinek sajátosságai precíz szimulációkkal megvizsgálva *Joóri, Kerényi és Farkas* [2] megállapították, hogy a fokozatmentes traktorváltók szélesebb alkalmazási körben kihasználhatók, és a motor optimális terhelésének biztosításán keresztül kisebb fajlagos fogyasztást biztosítanak, mint a fokozatonként kapcsolható nyomatékváltók. Egy későbbi, mélyrehatóbb vizsgálatban *Kerényi és Farkas* [3] arra a megállapításra jutott, hogy a traktoroknál alkalmazott fokozatmentes, teljesítmény-elágaztatásos hajtóművek a fokozatmentes tag i=0,85-2,4 áttételtartományában biztosítják a legkedvezőbb, η=0,90-0,94 közötti hajtásátviteli hatásfokot. A nyomatékváltók veszteségeinek feltárása elő-

zetes számításokkal, és valós tesztekkel történik, ahogyan azt *Mc Carthy és Kolozsi* [4] szakirodalmi munkájukban megjelenítették. A traktor nyomatékváltó energetikai veszteségeit feltáró vizsgálatok eredményei több szakirodalomban is fellelhetők. *Molari és Sedoni* [1] a traktorok energetikai veszteségeinek feltárására végzett vizsgálataikban rámutattak arra, hogy a mechanikus hajtásátviteli elemek súrlódási veszteségein túl –különösen nagyobb haladási sebességek esetén- jelentős nagyságú a kenőolaj viszkozitásából, valamint a váltó saját hidraulikarendszerének működtetéséből adódó veszteségek.

Szakirodalmi közleményeikben *Bietresato* [5] és *Molari–Sedoni*[1] utalnak arra, hogy a powershift váltó saját hidraulikus rendszere még terheletlenül is a behajtó teljesítmény 4%-át emészti fel. Vizsgálataikkal rámutattak arra is, hogy ennek 51%-át a kenőolajtöltet viszkozitásából fakadó veszteségek adják. A nyomatékváltó vizsgálatánál a szakirodalomban közöltek szerint az olajtöltetet 10%-os csökkentése, 13%-kal kisebb súrlódási ellenállást eredményezett*Molari* [1] ugyanazon típusú nyomatékváltó súrlódási veszteségeinek megállapítását végezte, mely a dolgozathoz kapcsolódóan a vizsgált traktorba is beépítésre került. Szintén aktív kutatási terület az áttételváltás folyamatának sebességfüggővé tétele. A sebességváltás folyamatában az áttétel megváltoztatásának időbeni lefolyásától is függő súrlódási veszteségek csökkentik az átvitt teljesítményt. A váltási időtartam növekedésével a sebesség csökkenése miatt nő az erőgép mozgási energiavesztesége. Ezen folyamatok összefüggéseinek feltárásához pontosan és részletesen meg kell vizsgálni a sebességváltási folyamat időbeni lejátszódását, ami az irányító jelek jellemzőivel adhatók meg a legmegbízhatóbban. A témában elvégzett kísérleteink ezeknek az irányító jeleken keresztüli bemutatásával foglalkozik a mérési eredményekből levonható következtetéseken keresztül.

1.2. A traktor nyomatékváltó veszteségei

1.2.1. A nyomatékváltó mechanikai veszteségei

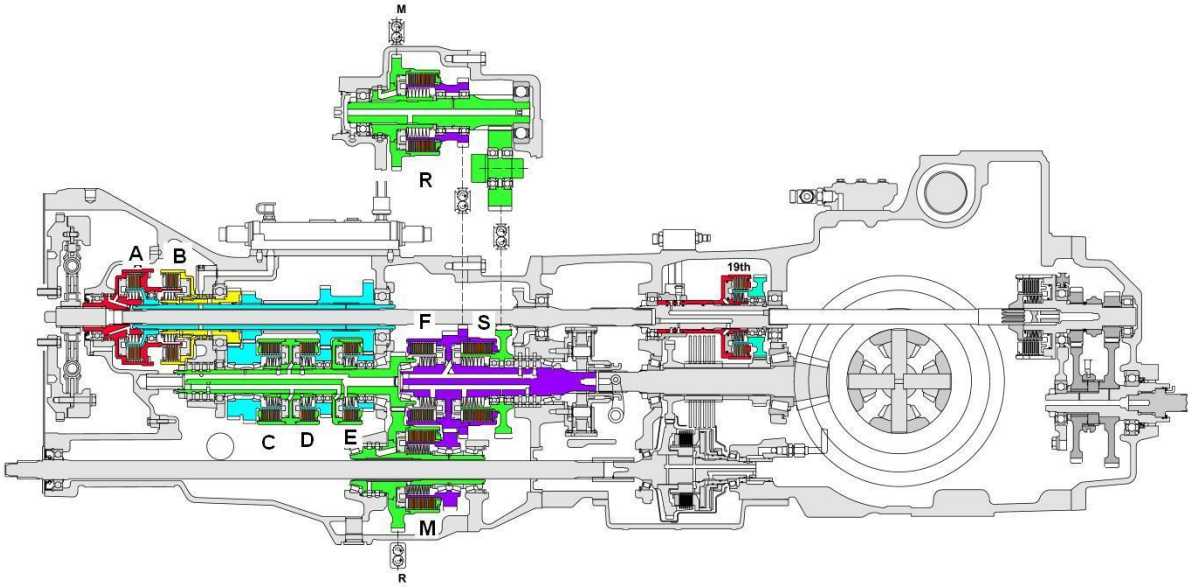
- A fogaskerék kapcsolatoknál jelentkező súrlódási veszteségek
- A csapágyazásoknál jelentkező veszteségek
- Tengelytömítések súrlódási veszteségei
- Teljesítmény-elágaztatásos nyomatékváltók fokozatmentes elemeinek (variátor, toroid dörzstárcsa, stb.) veszteségei(Újabban hidromechanikus, ill. elektromechanikus)
- Többtárcsás tengelykapcsoló súrlódási veszteségei (indulásnál és terhelés alatti áttételváltásnál)

1.2.2. Hidraulikai veszteségek a nyomatékváltóban

- a nyomatékváltó saját hidraulikus körének veszteségei
- kenőolaj áramoltatásra, porlasztásra
- tengelykapcsolók működtetésére (TLT, POWERSHIFT)
- hidrosztatikus kormányzás és fékezés működtetésére
- oldott fék és tengelykapcsoló lamellák közötti folyadéksúrlódás

2. A MÉRÉS MÓDSZERE ÉS ESZKÖZEI

A részletes vizsgálathoz egy New Holland T7040 típusú traktorral végeztük, mely erőgép teljesítményátviteli rendszerének hosszmetszeti rajza az *1. ábrán* látható

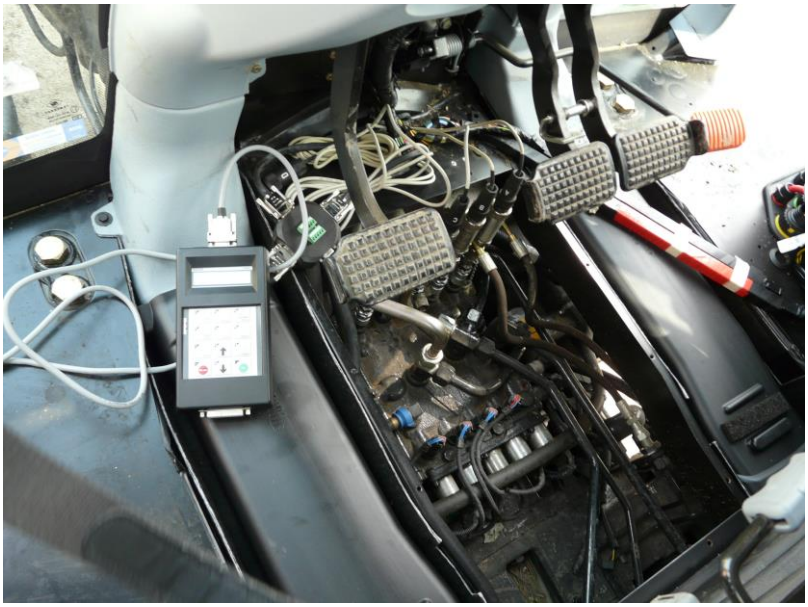


1. ábra: A nyomatékváltó hosszmetszete

A nyomatékváltó Full Powershift rendszerű, amely lehetővé teszi 19 előremeneti és a 6 hátrameneti fokozat terhelés alatti kapcsolhatóságát. Ezzel a sebességváltóval talajművelésnél a 3-9 km/h, illetve 5-13 km/h, míg szállítási munkáknál a 40 km/h körüli sebességek biztosíthatók. A fokozatok kapcsolása 9 darab hidraulikusan vezérelt többtárcsás, nedves tengelykapcsolóval történik. A váltó sajátossága, hogy szállítás során a 19. fokozatba kapcsolva kedvező hatásfokú, közvetlen hajtás vihető át a lendkeréktől a TLT meghajtó tengelyen keresztül, csökkentve ez által a melegedést és a súrlódási veszteségeket [1].
A mérések Szerencs város külterületén egy 9800 kg össztömegű pótkocsi közúti vontatásánál történtek. A mérés egy gyorsítási ciklusában a vonószerkezetben elhelyezett hidraulikus munkahengerrel történt a közvetett vonóerő mérés. A mérési folyamatban a vezérlőáram és a fokozatkapcsolást végző tengelykapcsolót működtető hidraulika nyomás értékeit rögzítettük az idő függvényében.
A méréseket két szakaszban végeztük.

Első lépésben a hidraulikát müködtető vezérlőelem elektromos jelét közvetlenül az erőgép vezérlő áramköréből olvastuk ki a traktor CAN hálózatán keresztül, a New Holland gyári szoftverével (New Holland Electronic Service Tool). A programmal elmentettük a többtárcsás hidraulikus kapcsolású tengelykapcsoló mágnesszelepére kivezérelt áram nagyságának időbeni változását.

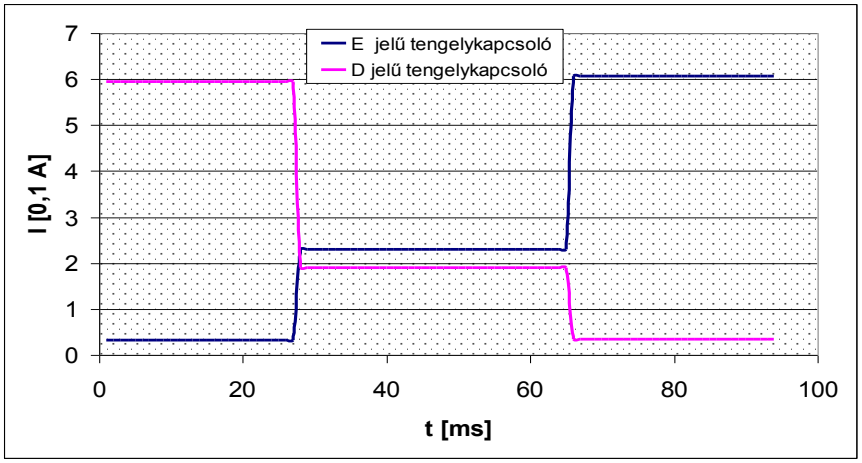
A második mérési szakaszban a hidraulikai nyomás változásait vizsgáltuk. Az áttételváltás alatt a tengelykapcsolót működtető nyomás mérésére Hydac gyártmányú hidraulikavizsgáló berendezést /mérő+ adatgyűjtő/ alkalmaztunk. A ***Hydac HDA 3444-A-600-000*** nyomásmérő jeladókat a nyomatékváltó vezérlőtömbjén a B D és E jelű tengelykapcsolók nyomásmérő szervizcsatlakozóira kötöttük rá. Ez a hidraulikus vezérlőkörben közvetlenül a proporcionális útváltó szelep után található, így közvetlenül az egyes tengelykapcsolókat működtető nyomás nagyságát vizsgálhattuk. Pontos adatokat kaptunk arról, hogy milyen időben és meredekségi eltérések vannak az elektromos vezérlőáram és az általa kivezérelt nyomás között. A mért nyomásértékeket Hydac HMG 2020 mérő-adatgyűjtő segítségével rögzítettük, melyből PC-re való importálás után az adatok feldolgozhatóvá váltak.



2. ábra: A nyomás jeladók és a mérő-adatgyűjtő csatlakoztatása a vezérlőtömbre

3. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

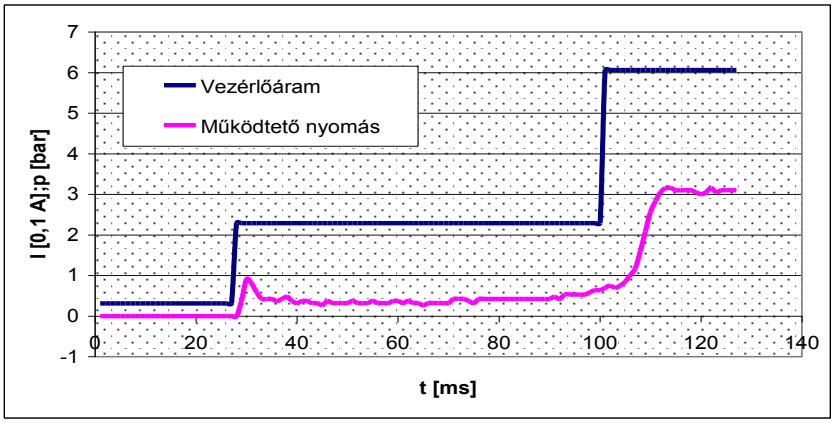
A vezérlőjelek minden tengelykapcsoló esetében rögzítésre kerültek, amelyek száma a vizsgálat során elérte a 80000 darabot. A mért adatok szerinti áramerősség változást egy sebességváltási folyamatban a *3. ábra* mutatja.



3. ábra: Az egymást követő fokozatok elektromos vezérlőjelinek időbeni lefolyása a váltás során

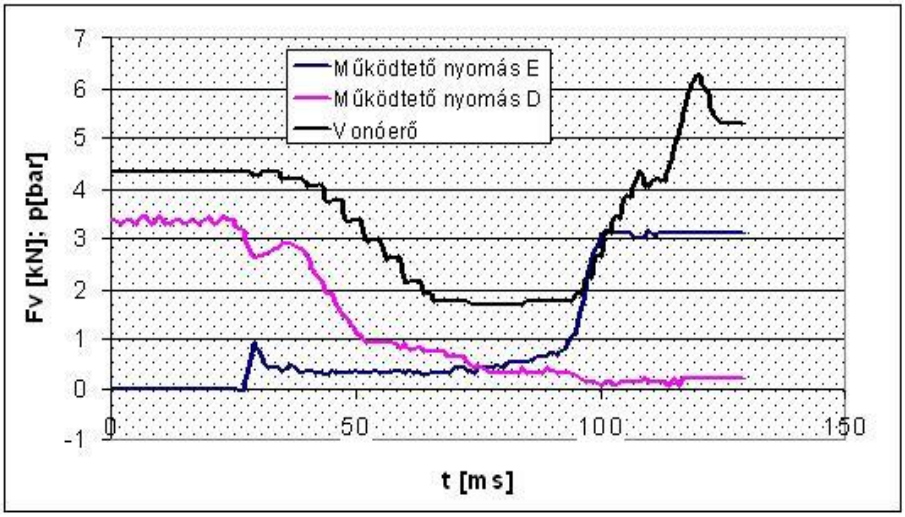
A D jelű tengelykapcsoló bekapcsolt állapotában a hidraulikus rendszer 0,6 A nagyságú vezérlőárama a kapcsolás ideje alatt 0,2 A-ra csökken, miközben a következő fokozat bekapcsolásához a hidraulikus tengelykapcsoló útváltóját is ilyen nagyságú vezérlőáram kezdi bekapcsolni. A kapcsolási rendszert működtető szoftverben beállítható idő (jelen esetben 47 ms) elteltével a D jelű tengelykapcsoló teljesen kikapcsol, s közben a vezérlőárama 0,05 A értékre csökken. Ezzel szemben az E jelű tengelykapcsoló teljesen bekapcsolt állapotba kerül, így 0,6 A nagyságúra nő a vezérlőárama.

A vezérlési folyamat összefüggéseinek elemzéséhez az adott tengelykapcsolónál mért elektromos jelet és hidraulikus vezérlőnyomást azonos időskálán ábrázoltuk



4. ábra: Az E jelű tengelykapcsoló elektromos vezérlőjelének és hidraulikus működtető nyomásának időbeni lefolyása a váltás során

A 4. ábrán jól látszik, hogy a hidraulikus rendszer nyomásának felépülése 10-15 milliszekundum késéssel, a vezérlőjel változásait követve történik. Ennek magyarázata, hogy a tengelykapcsoló lamelláinak az összenyomásakor bizonyos elmozdulások vannak, aminek megtételéhez időre van szükség, illetve a fokozatváltás rángatásmentes megvalósítására a rendszerbe épített nyomástárolónak is fel kell töltődni.

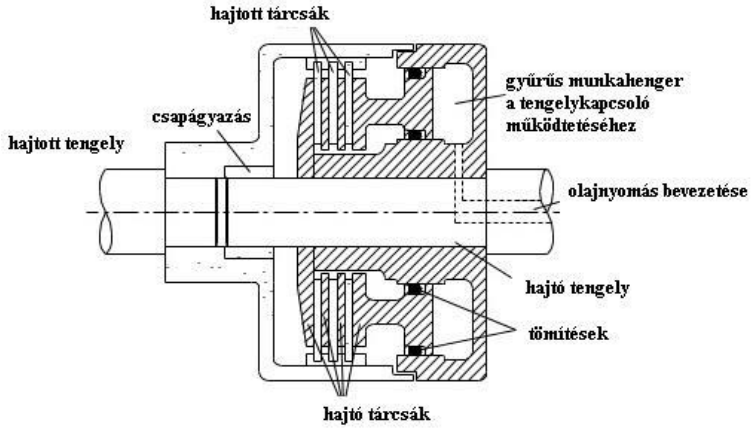


5. ábra: A hidraulikus működtető nyomások és a vonóerő időbeni lefolyása a váltás során

Az *5. ábrán* a mért vonóerő változása van feltüntetve, melyből megállapítható, hogy a tengelykapcsoló vezérlőnyomását az erőgép által kifejtett vonóerő pontosan követi.
A néhány milliszekundum késedelem elsősorban az erőgép tömegtehetetlenségének tudható be, mivel a vonóerőt nem a talaj-kerék kapcsolatban vizsgáltuk, hanem az erőgép és a vontatmány között. A kapcsolás végén mutatkozó vonóerő csúcs jól mutatja a munkagép visszagyorsításához szükséges többlet erőt.

4.KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A többtárcsás tengelykapcsoló (6. ábra) működési viszonyait tanulmányozva a működtető nyomás és az átvitt nyomaték változásait elemezve az alábbi következtetésre jutottunk:



6. ábra: A többtárcsás, hidraulikus működtetésű tengelykapcsoló szerkezete

Minden hidraulikus (és pneumatikus) működtetésű többtárcsás tengelykapcsoló geometriai és súrlódási jellemzőiből képezhető egy olyan együttható (fajlagos nyomatékátvitel), mely a működtető nyomással szorozva megadja a pillanatnyilag átvitt forgatónyomaték nagyságát.

$$C_{MP} = \left(D_h^2 - d_h^2\right) \cdot \pi \cdot z \cdot \mu \cdot D_k \qquad (1)$$

Ahol: D_h a gyűrűs munkahenger külső átmérője,
d_h a gyűrűs munkahenger belső átmérője,
D_k a súrlódótárcsák közepes átmérője
z a súrlódótárcsák száma

Az olajban futó többtárcsás tengelykapcsolók oldott állapotában is ébred a tárcsák között súrlódó erő a kenőolajtöltet dinamikai viszkozitásából adódóan:

$$F = \eta \frac{dv}{dx} A \qquad (2)$$

Ahol : η a kenőolaj dinamikai viszkozitása,
dv a súrlódótárcsák közepes sebességkülönbsége,
dx az oldott állapotú tengelykapcsoló tárcsái közötti átlagos hézag
A a súrlódótárcsa homlokfelülete

A tárcsák közepes sebességkülönbsége a

$$dv = q_i \cdot n \cdot \left(D - d\right) \cdot \pi \qquad (3)$$

Ahol: q_i a vizsgált tengelykapcsolóhoz tartozó sebességfokozat és a pilanatnyilag bekapcsolt fokozat áttételének a hányadosa,
N a behajtó fordulatszám

D a súrlódótárcsa külső átmérője
d a súrlódótárcsa belső átmérője

A súrlódótárcsák közötti átlagos hézag:

$$dx = \frac{x_z}{z} \tag{4}$$

Ahol: x_z a gyűrűs munkahenger üzemi lökethossza,
z a súrlódótárcsák száma

A súrlódótárcsák összes felülete:

$$A = \frac{(D^2 - d^2) \cdot \pi \cdot z}{4} \tag{5}$$

Az előzőekben részletezett (3),(4),(5) összefüggéseket a (2) egyenletbe behelyettesítve, szorozva a tengelykapcsoló közepes sugarával, egyszerűsítés után az oldott tengelykapcsolón ébredő folyadéksúrlódási nyomaték nagysága az alábbi összefüggés segítségével az adott nyomatékváltó konstrukciós és az alkalmazott kenőolaj viszkozitási jellemzői alapján kiszámítható.

$$M_s = \frac{n \cdot q_i \cdot (D-d)^2 \cdot (D^2 - d^2) \cdot \pi^2 \cdot z \cdot \eta \cdot \varphi}{8 \cdot x_z} \tag{6}$$

Ahol kiegészítésként a súrlódó felületek közötti rés olajtelítettségének jellemzésére bevezetésre került a φ töltöttségi fok, melynek értéke 0 (száraz tengelykapcsoló) és 1 (teljesen olajba merül) közötti lehet.

Az erőgépeknek széles sebességtartományban kell változó nagyságú vonóerőt kifejteni. Az általunk mért adatok alapján feltérképezhetők az összefüggések az elektromos vezérlőjel és a váltási folyamat lefolyása között. Megállapítottuk, hogy a vizsgált erőgép a sebességtől és a kifejtett vonóerőtől függetlenül azonos időtartamú és áramerősségű vezérlőjelekkel dolgozik. Energetikai szempontból célszerű lenne a terhelés alatti fokozatkapcsolás lefolyását vezérlő hidraulikus nyomás vonóerő és haladási sebességtől függő differenciálása. A módosított vezérléssel a várható (egyébként csekély) hajtóanyag megtakarításon túl a minimalizált súrlódásnak köszönhetően számottevően nőhet a tengelykapcsoló alkatrészeinek élettartama, csökkenhet a kenőolaj üzemi hőmérséklete, valamint az üzemi viszonyoktól függően nő a váltási komfort.

A felvázolt összefüggésekből az alábbi megoldások lehetnek alkalmasak a veszteségek csökkentésére:

A sebességfokozatok kapcsolásának vezérlését a haladási sebesség és vonóerő függővé kell tenni.

A hidraulikai veszteségek csökkentése lehetséges:

- száraz tengelykapcsolók alkalmazása
- kisebb viszkozitású kenőolaj
- kevesebb olajtöltet (+aktív kenés)
- nagyobb lamellarés
- kevesebb tengelykapcsoló alkalmazása

Kutatási munkánk folytatásával végeredményben szeretnénk hozzájárulni az optimálisabb kapcsolásvezérlő jelsor kialakításához.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **MOLARI G., SEDONI E**.: *Experimental evaluation of power losses in a power shift agricultural tractor transmission* Biosystems Engineering, 100, 177-183, 2008.

[2] **JOÓRI, J.I., KERÉNYI, GY., FARKAS, ZS.:** *The application and modelling possibilities of CVT in tractor,* 5th International Multidisciplinary Conference Baia Mare, (2003), II. 145-150, 2003.

[3] **KERÉNYI, GY., FARKAS, ZS**: *Power flows an efficiency analisys of out- and inout coupled IVT.* Periodica Politechnica, Mechanical Engineering, 53 (2) 61-68, 2009, ISSN 034-6051

[4] **Mc CARTHY, T. T., KOLOZSI, Z.**: *The Measurement of tractor transmission losses*. Journal of Agricultural Engineering Research, 19, 71-75, 1974.

[5] **BIESTRATO, M.**: *Assessment of the efficiency of tractor transmissions using acceleration tests.* Biosystems Engineering, 112, 171-180, 2012.

OFFSZET NYOMÓGÉPEK BELSŐ LÉGÁLLAPOTÁNAK BEFOLYÁSA A PAPÍRRA

OFFSET PRINTING MACHINES INNER AIR CONDITIONS AFFECT ON PAPER

SZŐLLŐSY Zsófia[1], BODÓ Béla [2]

[1]tanuló,
szollosy.zsofia@gmail.com
[1] Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszék, Debreceni Egyetem Műszaki Kar

[2]mesteroktató,
bela.bodo@eng.unideb.hu
[2] Épületgépészeti és Létesítménymérnöki tanszék, Debreceni Egyetem Műszaki Kar

Kivonat: *A nyomógépek nyomtatás közben nedvesítő anyagot és festéket juttatnak a papírra. Ezek az anyagok a papírra kerülve pótolják a nedvességveszteséget, melyet a papír a száradási folyamat alatt az üzemben, a gépben uralkodó alacsony relatív nedvességtartalom és a magasabb hőmérséklet okozta intenzív párolgás miatt elveszít. A vizsgálat célja meghatározni azt, hogy természetes szellőzésű, párásítás nélküli üzemben, milyen légállapotok uralkodnak a gépben és ez milyen hatással van a nyomatra.*

Kulcsszavak: *Nyomtatás, páratartalom, hőmérséklet, papír, nedvességtartalom*

Abstract: *Printing machines get water and ink onto the paper during the printing process. These materials make up the loss of moisture of paper during drying process in the plant, and the low relative humidity and the intensive evaporation by high temperature cause inside the printing machine. The aim of research is to determine the inner air conditions of printing machines and it affects on impression in a plant with natural ventilation without humidification.*

Keywords: *Printing, relative humidity, temperature, paper, moisture*

1. BEVEZETÉS

A gépben történő nedvesítés célja többek között az, hogy a festék száradása közben maga a papír ne veszítsen a nedvességtartalmából. A hidegen száradó festékek esetében, a címoldal kinyomtatása után, a raklapon található ívek a nyomóüzem területén száradnak. Ezután történik a címoldal ellenőrzése, majd átfordítás után kezdődik a hátoldal nyomtatása. Megfelelő légállapot mellett a papír pont annyi nedvességet veszít száradáskor, amennyi a gépben történő nedvesítéssel pótolva van. A 2015 ASHRAE Handbook 24-27 °C közötti hőmérsékletet és a 43-47 %-os relatív nedvességtartalmat írja elő. A 3-7 %-kal 50 % alatt választott relatív nedvességtartalom elég ahhoz, hogy a festék megfelelő sebességgel száradjon, de a papír ne veszítsen saját nedvességtartalmából.

2. NYOMÓGÉPEK BELSŐ LÉGÁLLAPOTA

A méréseket a KIMO KHT 300 adatrögzítőjével végeztem. A műszer tartozéka egy 2 méter hosszú vezetékkel ellátott, rozsdamentes acél szonda, melyben egy Pt 100 érzékelő került elhelyezése. Az érzékelőt, az ábrán látható módon, a nyomógép fordítója felé bevezettem, gyorskötözővel rögzítésre kerül. Ezután a gépet lezártuk, a nyomómű oldalára az adatrögzítőt felhelyeztem és csatlakoztattam a szondához. A nyomtatási folyamat ezután

folytatódott, a mérés rögzítésével párhuzamosan.



1. ábra: A mérőműszer elhelyezése, rögzítése a nyomógép piros hengerrel jelölt fordítójánál, gépfelépítés [15]

2.1. Téli állapot

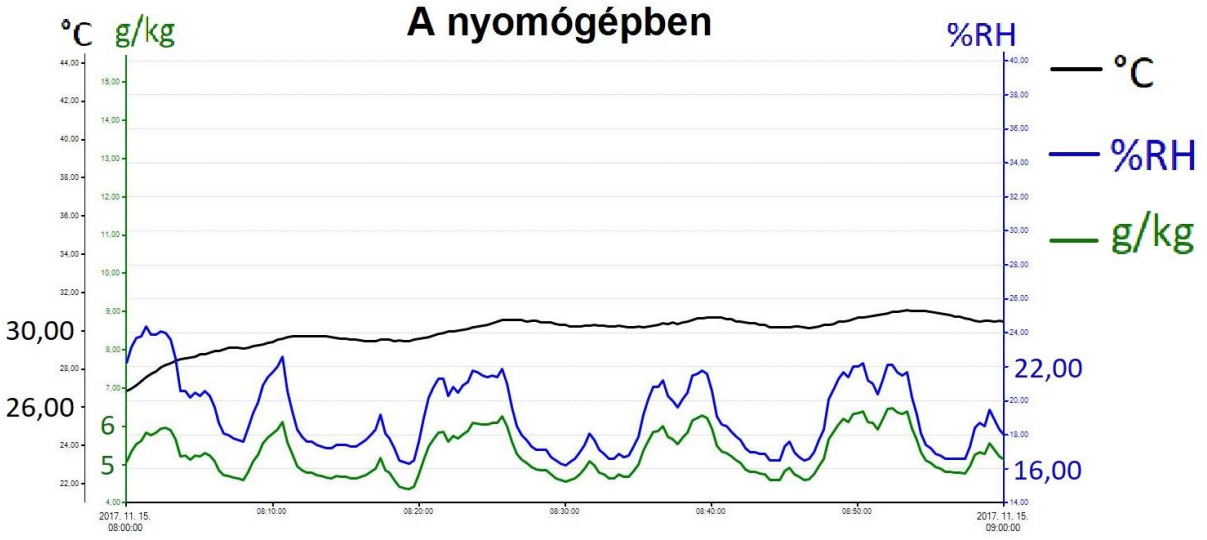
A nyomógép belső abszolút nedvességtartalma mindig magasabb lesz a csarnokénál, annak ellenére, hogy a kompresszorok által befújt levegő száraz levegő, a beszívott levegő nedvességtartalma kondenzvízként elvezetésre kerül. Ez csak a nyomtatási folyamat ideje alatt igaz. Méréseket végeztem téli és nyári üzemállapot mellett, így számszerűen látható mi történik a gép belsejében nyomtatás során.

Alacsony relatív nedvességtartalom mellett több probléma is felmerül. Ezek közül az egyik az elektrosztatikus feltöltődés. Abban az esetben, ha a levegő relatív páratartalma nem éri el a 40 %-os értéket, a légnedvesség nem képes a gép által gerjesztett töltéseket elvezetni. Ennek következménye többek között a papírpálya elmozdulása és az ívek összetapadása.

Az előbbi két következménnyel jár. Az egyik, hogy a papírpálya elmozdulásának okán, a ferdén a gépbe került ív elakad, a gép megáll. A rendszeres elakadás miatt többlet selejt képződik, a munkafolyamat megnyúlik. A másik eset, hogy a gép ugyan elviszi a papírt, de a nyomat ferdén kerül az ívre, és/vagy az ív kissé meggyűrődik. Ebben az esetben a gép ugyan nem áll meg, de a válogatási folyamatot, mely egy kézi művelet, jelentősen megnyújtja. Ebből következik, hogy lassabban készül elő a munka a hátoldal kinyomtatására, rosszabb esetben a

gép álló helyzetben várja ki a válogatás végét.
Az utóbbi esetben viszont összetapadnak az ívek, így az adagoló egység több ívet ad tovább. Ennek következménye, hogy az alsó ív nyomatlan marad. Ezeket az üres íveket a kézi válogatás esetén szintén el kell távolítani. Az is előfordulhat, hogy adagolás során kimarad egy ív. Ebben az esetben a gépbe beépített érzékelő ezt észleli, így mikor az adott szakasz a nyomóműhöz ér, a rendszer leveszi a nyomást, hogy ne kenődjön át a festék az ellennyomó hengerre.

Téli állapotban mindössze 2-3 °C-kal magasabb a hőmérséklet a gépben, mint a csarnok területén. A mérés kis példányszám mellett történt, ez okozza a nedvességtartalom szakaszos megemelkedését. A diagramból egyből szembe tűnik, hogy a nyomtatási folyamat elkezdésekor a levegő relatív nedvességtartalma egyből 4-5 %-ot ugrik a nyugalmi állapothoz képest. Ez a festékező és nedvesítő hengerek mozgása által megnövekedett párolgó felület és a papír párolgása által felszabadult nedvességből adódik. Az így elért 22 %-os nedvességtartalom még mindig rendkívül alacsony, így a papírpálya folyamatos párolgása elkerülhetetlen. A papír 4 nyomóműből folyamatosan kapja a nedvesítést, melynek mértéke egy bizonyos intervallumon belül növelhető. A túlzásba vitt nedvesítés viszont a színek torzulását okozhatja, mivel a papír gyorsabban szívja be a nedvesítő anyagokat, mint magát a beívódással száradó festéket. Amikor a festés és a nedvesítő anyag összekeveredik a nyomaton, a szín megfelelő árnyalata és intenzitása kiszámíthatatlan lesz, ezáltal egymástól és az előre megszabott mintától is eltérő színek kerülnek az ívekre.



2. ábra: Hőmérséklet, relatív és abszolút páratartalom téli üzemállapot mellett

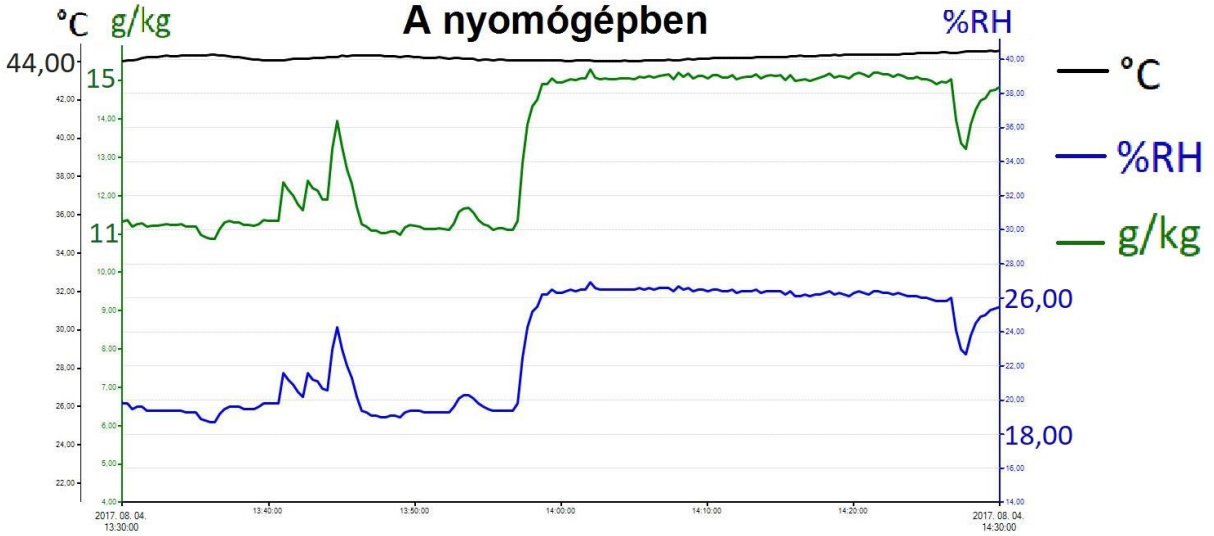
2.2. Nyári állapot

A nyomógépek levegőhűtés elven működnek. A csarnok belső levegőjét szívja be a kompresszor, és ezt juttatja a gépbe. A nyomómű temperálásáért ezzel szemben vízhűtési rendszer felel. A 14 °C-os hűtővíz a hűtőhengerekbe jutva tartja 28 °C-on tartja a festékezőművet, így állandó állagú, kiszámítható szakadású festéket biztosít.

Nyári állapotban 5 °C-ot ugrik a hőmérséklet a nyomógépben. Hiába jelentősen magasabb az abszolút nedvességtartalom, mint télen, a magas hőmérséklet miatt ez százalékos értékben alig 2-3 %-kal mutat nagyobb értéket. A száraz levegő mellett további problémát okoz a magas hőmérséklet, mely jelentősen csökkenti a maximális nyomtatási.
A 40 °C feletti hőmérséklet több gondot is okoz a nyomtatási folyamatban. Az egyik

probléma, hogy a gép elektronikája nehezen viseli a folyamatos terhelést, a gépelemek 50-55 °C hőmérsékletre is felmelegednek. A gép folyamatos hibaüzeneteket jelez ki, és nehéz kiszűrni a valós és a valótlan hibákat.

A másik problémát a hűtővíz rendszer okozza. A megnövekedett hőmérséklet hatására a rendszer túlhűti az előremenő vizet, ami a hűtőhengerekbe érve harmatfoki hőmérséklet alatt tartja a hűtőhengereket. Ennek az a következménye, hogy a hűtőhengerekre lecsapódó nedvesség belekeveredik a festékezőműre tapadt festékbe, mellyel torzítja a színeket.



2. ábra: Hőmérséklet, relatív és abszolút páratartalom nyári üzemállapot mellett

3. PAPÍR NEDVESSÉGVESZTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

A vizsgálat alatt a csarnok légállapota 25 °C; 30 RH%. A nyomógép négy nyomóművel rendelkezik. Mielőtt az első átengedés megtörtént volna, az íveket egyesével lemértem. A méréshez NAGEMA Owa Labor 34.004 típusú mérleget használtam, mellyel a papír súlya század pontossággal meghatározható. Fontos figyelni a csarnok légmozgására, mert a legkisebb huzat is befolyásolja a mérést. Emellett a nyomtatás során keletkezett rezgések miatt is ajánlott biztos helyet választani a mérleg kalibrálásához. A vízmérték beállítása után a mérőműszer a mérésre készen áll.

3.1. Kiindulási állapot

Az íveket egy üres, feltekert állapotban, hengerszerűen tartóként szolgáló ívbe helyezve mértem le, annak érdekében, hogy a papír minél stabilabb állapotban maradjon a mérleg tányérján. Ezeket a tartókat szintén mind a négy állapotban lemértem, és a súlya a vizsgált ívek súlyából levonásra került, így a tartó papír mivoltából adódó súlyvesztesége, nem befolyásolta a mérés eredményét. A vizsgált papír típusa Matt Maxi Silk, mérete 490x700, súlya 90g/m2, nedvességtartalma maximum 5,5-6 %. Ez ívenként átlagosan 1,85 g nedvességet jelent.

3.2. Nyomás nélkül

Az első átengedés lényege az, hogy megnézzük nedvességterhelés és festékezés nélkül, pontosan mennyi nedvességet veszít a papír az alatt, míg áthalad a gépen. A fent említett nedvességtartalomnak átlagosan 5 %-át (0,01 g) minden ív elveszíti alacsony terhelés és kis

gépsebesség mellett. A nedvesítőmű ezt a veszteséget hivatott megakadályozni, és azt a minimum pluszt biztosítani, mely a csarnokban történő száradás során a festék nedvességtartalmával együtt elpárolog.

3.3. Címoldal nyomtatása után

A papír egyik oldalára nedvesítő anyag és nyomdafesték kerül, ezután a kirakóba érkezik. A vizsgált ívek között volt egy, mely így is veszített nedvességtartalmából, többségben azonban 0,01-0,2% plusz súlyt nyertek az első nyomtatási folyamat letelte után. Azt viszont mindenképpen figyelembe kell venni, hogy ebben a pozitív súlyváltozásban, már benne van a festék és a befújt síkpor súlya is. A síkpor feladata, hogy minimális távolságot biztosítsanak az ívek között, mely elősegíti a száradási folyamatot, és meggátolja az egymásra került ívek összetapadását.

3.4. Hátoldal nyomtatása után

Miután az íveket lemértem, ismét nyomtatási folyamatnak vetjük alá, ezúttal a hátoldal kerül fel a papírra. Ekkor már a 20 ívből 14 ív esetében, azaz a vizsgált papír közel 75 %-ánál, nedvességcsökkenés megy végbe. Hiába került a papír mind két oldalára festék, síkpor, nedvesítő anyag is. A festék még kenődik, száradási folyamat szükséges az érintés biztos állapot eléréséig.

1. táblázat. A NAGEMA Owa Labor 34.004 típusú mérleggel mért eredmények.

	I.	II.	III.	IV.	A papír súlyváltozása grammban			A papír súlyváltozása %-ban			Az I. állapotú papír nedvességtartalma grammban 6%-os nedvességtartalom esetén	A papír nedvességének csökkenése %-os értékben az első átengedés után
	[g]	[g]	[g]	[g]								
Tartó	4,98	4,97	4,94	4,94	II-I.	III-II.	IV-III.	II-I.	III-II.	IV-III.		
1	31,63	31,51	31,56	31,59	-0,12	0,05	0,03	-0,38%	0,16%	0,10%	1,90	6%
2	30,96	30,82	30,83	30,85	-0,14	0,01	0,02	-0,45%	0,03%	0,06%	1,86	8%
3	31,51	31,37	31,37	31,37	-0,14	0	0,00	-0,44%	0,00%	0,00%	1,89	7%
4	31,40	31,26	31,27	31,25	-0,14	0,01	-0,02	-0,45%	0,03%	-0,06%	1,88	7%
5	30,83	30,77	30,80	30,76	-0,06	0,03	-0,04	-0,19%	0,10%	-0,13%	1,85	3%
6	30,98	30,94	30,94	30,90	-0,04	0	-0,04	-0,13%	0,00%	-0,13%	1,86	2%
7	31,73	31,63	31,65	31,60	-0,1	0,02	-0,05	-0,32%	0,06%	-0,16%	1,90	5%
8	31,00	30,92	30,91	30,91	-0,08	-0,01	0,00	-0,26%	-0,03%	0,00%	1,86	4%
9	31,31	31,16	31,22	31,22	-0,15	0,06	0,00	-0,48%	0,19%	0,00%	1,88	8%
10	31,40	31,25	31,27	31,28	-0,15	0,02	0,01	-0,48%	0,06%	0,03%	1,88	8%
11	31,96	31,87	31,89	31,92	-0,09	0,02	0,03	-0,28%	0,06%	0,09%	1,92	5%
12	30,95	30,83	30,88	30,85	-0,12	0,05	-0,03	-0,39%	0,16%	-0,10%	1,86	6%
13	31,32	31,20	31,24	31,22	-0,12	0,04	-0,02	-0,38%	0,13%	-0,06%	1,88	6%
14	31,02	30,93	30,96	30,97	-0,09	0,03	0,01	-0,29%	0,10%	0,03%	1,86	5%
15	31,00	30,92	30,97	30,93	-0,08	0,05	-0,04	-0,26%	0,16%	-0,13%	1,86	4%
16	31,63	31,57	31,60	31,57	-0,06	0,03	-0,03	-0,19%	0,10%	-0,09%	1,90	3%
17	30,71	30,61	30,67	30,65	-0,1	0,06	-0,02	-0,33%	0,20%	-0,07%	1,84	5%
18	31,52	31,45	31,50	31,51	-0,07	0,05	0,01	-0,22%	0,16%	0,03%	1,89	4%
19	31,14	31,10	31,15	31,14	-0,04	0,05	-0,01	-0,13%	0,16%	-0,03%	1,87	2%
20	30,26	30,24	30,29	30,29	-0,02	0,05	0,00	-0,07%	0,17%	0,00%	1,82	1%

I.- Kiindulási érték; II.- Első átengedés; III.- Második átengedés; IV.- Harmadik átengedés

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálat során bizonyítást nyert a feltételezés, miszerint alacsony relatív nedvességtartalom mellett, a nyomógépek nem képesek biztosítani azt a nedvesség mennyiséget, melyet a

nyomatok száradása során veszítenek. A párásítás során a csarnokban megemelhető a relatív nedvességtartalom, de ez a gép belsejében a légállapotot nem módosítja, mivel a kompresszor száraz levegőt juttat a gépbe. Ha a csarnok levegőjét nem csak nedvesítjük, hanem hűtést is alkalmazunk, a kompresszor által befújt hűvösebb levegő beengedésével a gépben a relatív nedvességtartalom növelhető.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **IRÁNYI I.:** *Nyomdaipari anyag- és áruismeret*, Budapest: Műszaki könyvkiadó, 1997.
[2] **HRITSCH, L., MENYHÁRT, J., TÖRÖK, D.:** *Ipari üzemek fűtése, szellőzése és klimatizálása*, Budapest: Népszava Lap- és Könyvkiadó, 1987.
[3] **SZILÁGYI, T.:** *Száz éves az ofszetnyomtatás*, Budapest, PrintConsult Kft., 2004.
[4] **MARCSÓ, S.:** *A légtechnika elméleti alapjai, szellőztető berendezések*, Debrecen: 2010.
[5] **ASHRAE HANDBOOK:** *HVAC Applications*, Atlanta: 2015.
[6] **SZILÁGYI, T.:** Szerk.; *Nyomdavilág*, 2014, 1, 6.
[7] **BARTA, T.:** *A papír összetételi, szilárdságtani tulajdonságai*, Budapest: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 2008.
[8] *3/2002 SZCSM- EÜM együttes rendelet*
[9] **FALUDI, V., SZILI J.,** 2008, 3, 113-116, 2008.
[10] **ADAMS-FREIDAY, T., PORTER, P.O., TUROVSKI**, **Z.:** *Tracey Introduction to Printing Processes*, Fall Instrumentation Report #1 (Tests #1, #2, #7, & #8): Wednesday, October 29th, 2003.
[11] **DIGNES, P.R, KRISHNAN**, S., **RAJASEKARAN**, V., **KUMAR, V.**: *Prevention of Board Curl;* Research J. Engineering and Tech. 4(3), 2013
[12] **FALUDI, V., NÉMETH, N.:** Magyar Grafika, 2014/3,, 38-40, 2014.
[13] **KRAWCZYK, J., HERYAN, A., WAWSZCZAK, L.**: *Czasopismo Techniczne Mechanika,Enviormental interaction assessment of VOC's emission from printing plant hot rotary heat-set*. 2-M/2016, 159-166.o.
[14] https://www.heidelberg.com/global/de/index.jsp

SZÉN NANOCSŐVEL ÉS IPARI KOROMMAL ERŐSÍTETT GUMIKEVERÉKEK TERMO-MECHANIKAI TULAJDONSÁGAINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF CARBON NANOTUBE AND SOOT REINFORCED RUBBER MIXTURES AND THEIR THERMO-MECHANICAL PROPERTIES

TAMÁSI Kinga[1], SÁNDOR Zoltán Barnabás[2], ZSOLDOS Gabriella[3]

[1]PhD hallgató, polkinga@uni-miskolc.hu
1Kerámia és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

[2]BSc. hallgató, szb1989@gmail.com
[2] Kémiai Intézet, Miskolci Egyetem

[3]Docens, femzsgab@uni-miskolc.hu
[3]Kerámia és Polimermérnöki Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *Munkánk során különböző mennyiségekben adagolt egyfalú szén-nanocsövek (SWCNT) és normál ipari korommal erősített, kivulkanizált természetes kaucsuk alapú gumilemezek termomechanikai vizsgálatait végeztük UV-öregítés vizsgálat előtt és után. A mechanikai teszteket Shore A típusú keménységmméréssel, illetve FT-IR és SEM-EDS vizsgálatokkal hajtottuk végre vulkanizálás után azonnal. A próbatestek lőállítása: t=10 percig; T=145°C-on és 220 bar nyomáson történt. A degradációs vizsgálatok pedig t= 30; 60; 90 perces UV kamrás öregítés után ismétlődtek. Eredményeinket legnkább a keménységi mutatók reprezentálták leginkább, ahol a mintasorozatok között akár 10%-os eltérés is tapasztalható volt.*

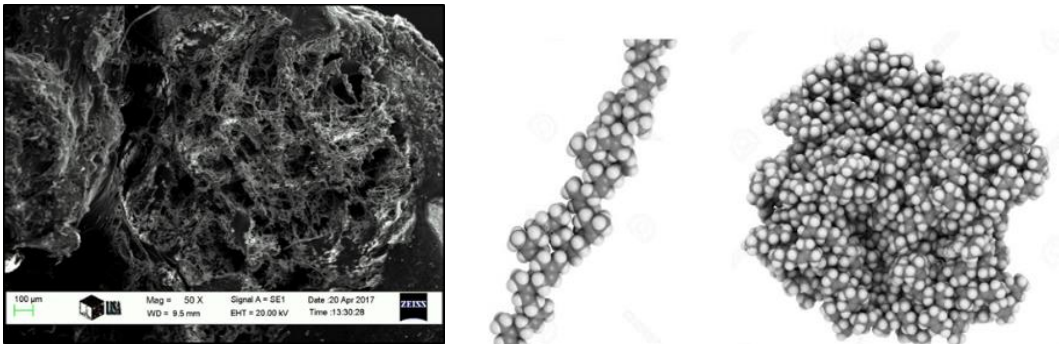
Kulcsszavak: *gumi, szén-nanocső, UV fény, öregedés, korom*

Abstract: *In our study, we investigated 2 different natural rubber mixtures with CNT's and shoot. The aim was to compare the results of samples and their mechanical effects with an Shore A hardness tester, a tensile strength intrument before and after vulcanisation (t=30; 60; 90) during the UV-ageing processes. The hardness results represented the differents after the degradation process, that was 10 % different between the samples.*

Keywords: *rubber, CNT, UV light, degradation, soot.*

1. BEVEZETÉS

Az elasztomerek korunk széles körben elterjedt műszaki anyagaivá váltak. Ez többek között annak köszönhető, hogy kis feszültségek hatására is jelentős, akár több 100 százalékos reverzibilis alakváltozásra képesek, valamint szilárdsági és egyéb tulajdonságaik az alapanyag -kaucsuk- és az egyéb összetevők helyes megválasztásával kimagaslóan széles spektrumon változtathatók. Fizikai és mechanikai tulajdonságaik például aktív töltő- és erősítőanyagokkal jelentős mértékben javíthatók, a megfelelő lágyítószer hozzáadásával pedig technológiailag kezelhetők (pl. csúsztatóként is funkcionál). Bár a különböző adalékanyagok kulcsszerepet játszanak a kész gumi tulajdonságait illetően, nem lehet az adalékanyagok mennyiségét és arányát tetszőlegesen megváltoztatni, ugyanis míg az egyes komponensek bizonyos tulajdonságokra pozitív hatást gyakorolnak (korom, mint töltőanyag- kopásállóság [1]), másokat nagymértékben képesek rontani (pl. túlvulkanizálás megnövelt kénmennyiséggel) [2].



1. ábra: A nyers kaucsuk SEM felvétele 50x-es nagyításban és modellezett szerkezete [1]

1.1. Gumiiparban alkalmazott hagyományos töltő és erősítőanyagok

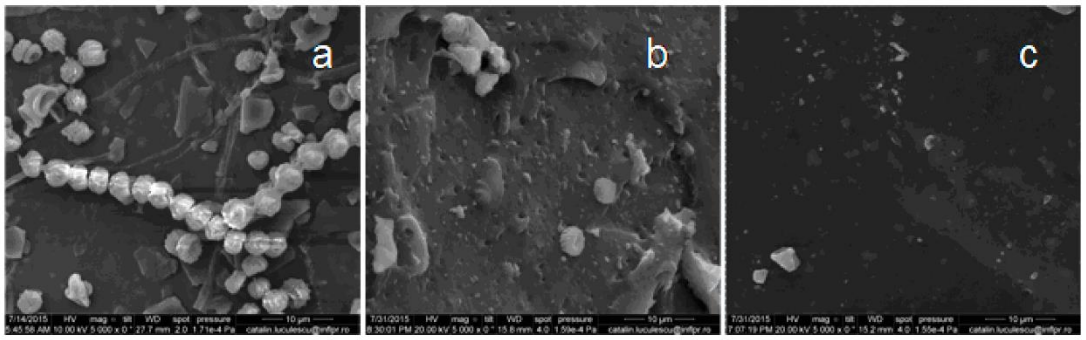
A töltőanyagok izodimenziós szilárd részekből álló, mátrixban nem oldódó és abban külön szilárd fázist alkotó rendszerek. Felhasználásuk igen tekintélyes múltra tekint vissza, a 19. század első negyedéből már van utalás töltőanyagok kaucsukban történő alkalmazására [3, 4].

A gumiipar egyik legnagyobb mennyiségben és legrégebb óta alkalmazott erősítő-töltőanyagaként a különféle kormok szolgálnak. Ezek osztályozására a manapság legelterjedtebb módszer az **ASTM D1765** szabvány szerinti 4 tagból álló jelölés [3]. Vizsgálatain során a 326 N típust választottuk, amelynek főbb paraméterei az 1. táblázatban láthatók:

1. táblázat. A 326 N típusú gumiipari korom tulajdonságai

ASTM osztályozás	**OAN szám, tömörítettség** [10^{-5} m^3/kg]	**Színezet** [%]	**Sűrűség** [kg/m^3]	**Modulus** [MPa]
N326	68-69	110-113	446-470	-4,2 és -3,0

Forrás: ASTM Standard Classification System for Carbon Blacks Used in Rubber Products, p. 4



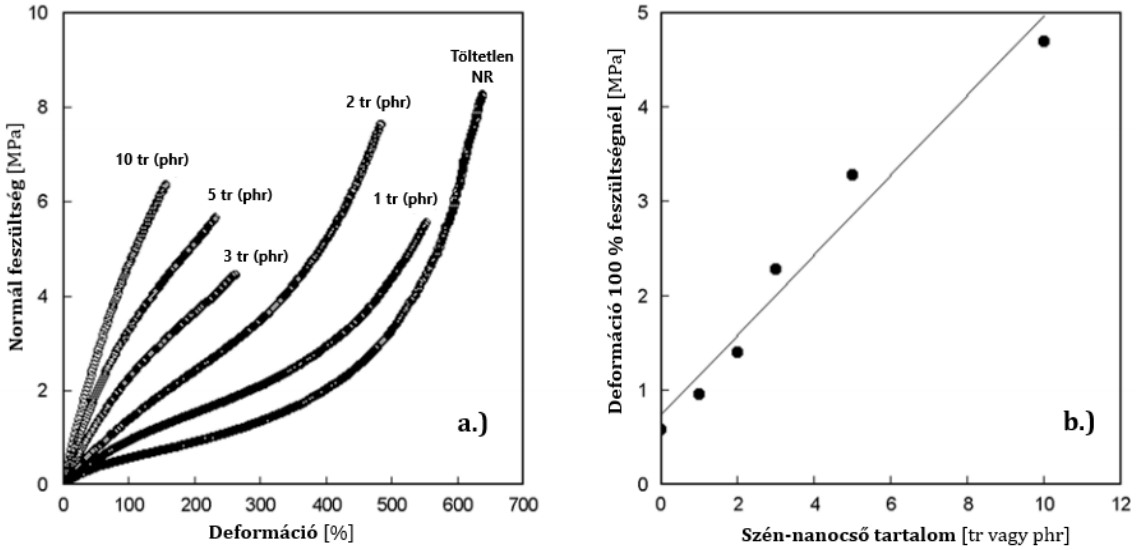
2. ábra: Aktív töltőanyagokkal kezelt NR gumikeverékek SEM felvételei 10 µm-es nagyságban [4]

1.2. Szén nanocsövekkel erősített gumikeverékek

A korom felhasználásának több, mint egy évszázados történetéhez képest a modern nano erősítőanyagokban rejlő lehetőségek intenzív kutatása az elmúlt 1-2 évtizedre korlátozódik. Ezek a töltőanyagok lehetnek aktívak, illetve inaktívak, ásványi, szén alapúak, illetve biológiai eredetűek, alakjukat tekintve pedig megkülönböztethetünk lemezes, kvázi-szférikus (gömbszerű) és szálas szerkezeteket.

Lopez-Manchado és társai [5] NR mátrixú SWCNT erősítésű hengerszékes keverési eljárással előállított nanokompozitokat vizsgáltak, ahol megállapításra került, hogy az SWCNT jelentős gyorsítóhatást gyakorolt a vulkanizációra, valamint erősítőhatása is jelentkezett, ami a tárolási modulus növekedésében és a nanokompozitok üvegesedési

hőmérsékletének növekedésében nyilvánult meg. Ezek a hatások a legtöbb korom töltőanyag esetén is megfigyelhetők, ám a kutatók eredményei alapján SWCNT töltés esetén sokkal jelentősebb mértékben. Bokobza és társai [6, 7] oldatos eljárással állítottak elő NR-MWCNT nanokompozitokat toluol segítségével, majd mechanikai és vezetőképességi vizsgálatokat végeztek rajtuk. Az összehasonlítás alapját ebben az esetben is a töltetlen keverékek adták:



3. ábra: Feszültség-deformáció görbék (**a**) és az NR-MWCNT kompozit feszültség-deformáció görbéje (**b**) a szén-nanocső tartalom függvényében [7]

1.3. Alkalmazott receptúra és próbatestek előállítása

A töltőanyagok aktivitásuktól függően változtatják a keverék viszkozitását, az aktív kormok, szilícium-dioxidok, növelik a viszkozitást, bekeverhetőségük nehéz volt.

2. táblázat. Saját receptúra irodalmi adatok és empirikus tapasztalok alapján

Felhasznált anyagok	**Bemért mennyiségek** [tr]	**Keverési fázisok** [min.]
NR	100,00	60
Sztearinsav	3,00	5
ZnO	5,00	5
ALTAX® (MBTS)	0,60	5
Kén	2,50	5
Korom/CNT	50,70	20
NO	10,00	20

NO= növényi olaj — Összesen: 120 min./ keverék

A nyerskeverék készítésének legelső, illetve meghatározó lépése az alap- és adalékanyagok precíz bemérése, szobahőmérsékleten (T=25°C ± 1°C) és normál relatív páratartalmú (50% ± 1%) környezetben történt. A nyerskeverékeinket hengerszéken homogenizáltuk 35-40 °C között, a vulkanizációs folyamat pedig T=145°C-on, p=220 bar nyomáson és t=10 perc időtartamon keresztül történt.

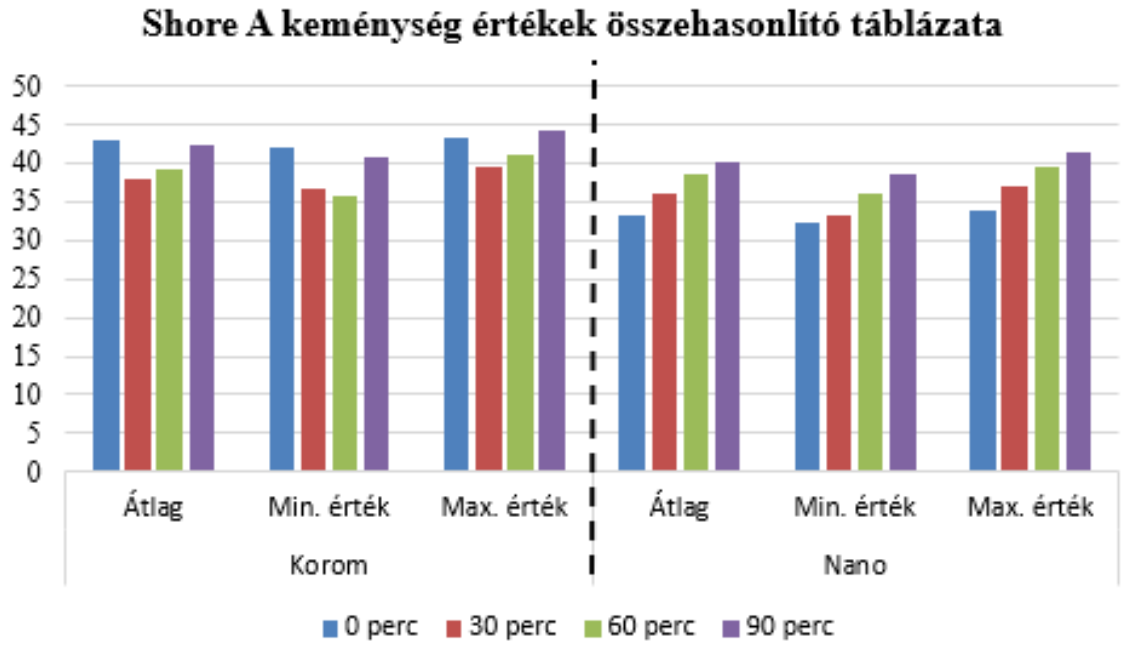
2. AZ ALKALMAZOTT VIZSGÁLATOK

2.1. Mechanikai vizsgálat: shore a keménységmérés

Általánosságban elmondható, hogy erősítő töltőanyagokból lényegesen kevesebb szükséges egységnyi keménység növekedéshez, mint félaktív vagy inaktív töltőanyagból. A kormok jobban emelik a keménységet, mint a fehér töltőanyagok. Tehát durva közelítéssel elmondható, hogy a kisebb részecske átmérőjű, nagyobb fajlagos felületű töltőanyagok hatásosabbak, mint a nagyobb részecske átmérőjű, kisebb fajlagos felületű töltőanyagok [1, 7]. A töltőanyagok keménységre gyakorolt hatása ugyanakkor függ az alkalmazott kaucsuk típusától is [3], a nagyobb sűrűségű kaucsukokhoz kevesebb töltőanyag szükséges egységnyi keménység növekedéshez, mint a kisebb sűrűségű kaucsukhoz. Ahogyan a korábbi fejezetekben ismertettem, teoretikálisan az olajok, lágyítók, belső csúsztatók csökkentik a gumi keménységét, illetve a gumi keménysége emelhető a kén mennyiségének növelésével.

3. táblázat. Vizsgálati eredmények az öregítési folyamatok előtt és után

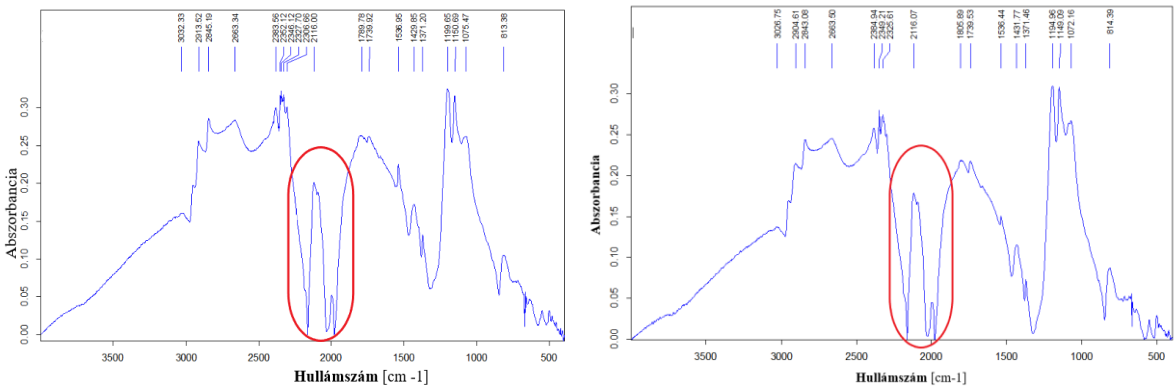
	Eredmények	**Öregítés előtt**	**30 perc**	**60 perc**	**90 perc**
Korom	Átlag	42,8	37,9	39,3	42,3
	Min. érték	42,0	36,7	35,7	40,9
	Max. érték	43,4	39,5	41,2	44,1
Nano	Átlag	33,1	35,9	38,5	40,2
	Min. érték	32,3	33,3	36,1	38,6
	Max. érték	33,9	37,0	39,6	41,3



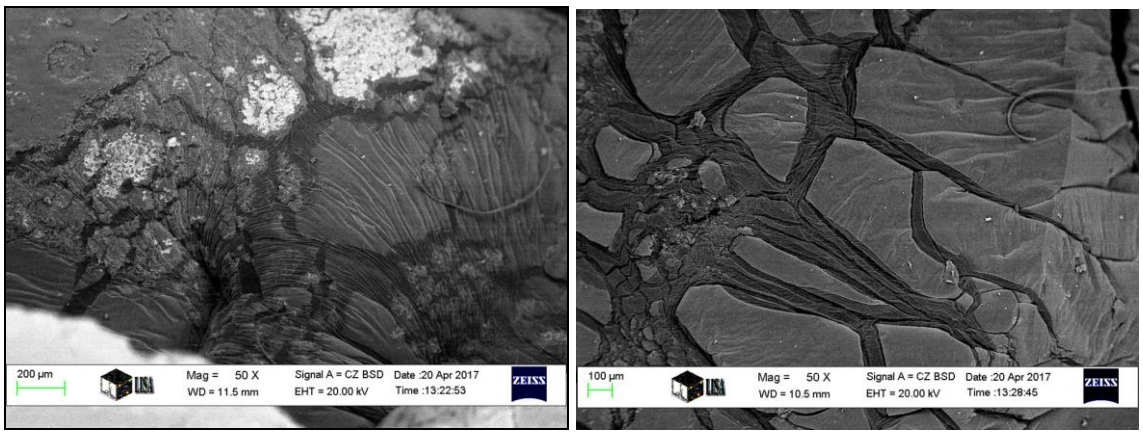
4. ábra: A keverékek Shore a keménységértékeinek összehasonlított értékei

2.2. A morfológiai-felületi vizsgálatok

Vizsgálataink következő állomása a vulkanizátumok felületi-mikroszkópos ellenőrzése volt. Célunk minden esetben az adalékanyagok diffúziójának, esetleges migrációjának megfigyelése, illetve az öregítési folyamatok nyomonkövetése volt. Sikeresen megállapítottuk, hogy az elegyedés (keverés) hatékonysága sikeres volt, mindkét töltőanyag rendszer összeférhető a nyers kaucsukkal. A felületi analízisekhez egy Bruker Tensor FT-IR berendezés, míg a nagyobb felbontást igénylő műveletekhez egy Zeiss típusú SEM-EDS eszköz volt segítségünkre.



5. ábra. A korommal kezelt (a.) és a nanocsővel kezelt (b.) vulkanizált minták abszorbancia-hullámszám spektrumai öregítés előtt



6. ábra: A korommal kezelt (a.) és a nanocsővel kezelt (b.) vulkanizált minták SEM felvételei 50x-es nagyításban öregítés után 90 perccel

Ahogyan a mellékelt ábrák is mutatják, az öregítési folyamatok mindkét mintára hatással voltak, amely repedések formájában jelentkeztek a felületen, illetve a korommal kezelt mintán (a.) látható szürkés-fehéres területek jelenléte, amelyek sztearinsav kiválására adhatnak okot. Ezt alátámasztják a SEM mikroszkóp által készült felvételek, 50-szeres nagyításban, míg a FT-IR berendezés csupán a jelenlétét igazolták a töltőanyagoknak a rendszerben, adekvát mennyiségi értéket szolgáltatni nem tud, ami bizonyos, hogy 2000 cm^{-1}-nél látható hasonló

intenzitású csúcs mindkét minta esetén, ez a kormot, illetve nanocsövet alkotó szénatomok vegyértékrezgéseinek hullámhossz tartománya.

3. ÖSSZEGZÉS

Vizsgálataink célja két gumikeverék mechanikai és öregedésállósági tulajdonságainak vizsgálata volt, amely során az egyiket közönséges ipari korommal, míg a másik mintát egyfalú szén-nanocsővel töltöttük. A mechanikai vizsgálat egy Shore A keménységmérés sorozat volt, amelyet öregítés előtt, és öregítés után is megismételtünk (30, 60 és 90 percig).

Az eredmények alátámasztották elvárásainkat, miszerint az UV fény és ózon okozta felületi degradációs folyamatok nyomonkövethetők a gumikeverékek mechanikai tulajdonságainak változásával. Ezen kívül a felületi-morfológiai berendezések segítségével is sikerült alátámasztani az állapotromlást, amelyek repedések formájában voltak jelen a minták felületén. Ugyanakkor nem várt probléma lépett fel a korommal erősített keverék esetén, itt a SEM felvételeken látható szürkés „kivirágzások” jelenléte, amelyek feltehetően a stabilizátorként alkalmazott sztearinsav kiválását detektálta. Ezzel a jövőben komolyabban szeretnénk foglalkozni, hiszen a stabilizátor összeférhetősége az alapanyaggal kifejezetten mérvadó, ugyanis a gumi gyorsított öregedését iniciálhatja, ami nagyfokú teljesítményromláshoz vezethet, élettartamot csökkenthet.

4. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

"A cikkben/előadásban/tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg" illetve a *„Korszerű anyagok és intelligens technológiák FIEK létrehozása a Miskolci Egyetemen (GINOP-2.3.4.-15-2016-00004)”.*

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **TAMÁSI, K., ZSOLDOS, G.:** *The effect of different soot compositions on the mechanical properties of rapeseed-oil treated rubber mixtures*, XI. National Materials Science Conference, Hungary, Balatonkenese, 125., 2017.

[2] **TAMÁSI, K., KOLLÁR, M.:** *Effect of different Sulphur content in Natural Rubber mixtures on their mechanical and surface properties,* International Journal of Engineering Research and Science, India, 4:(2), 1-10., 2018.

[3] **BARTHA, Z.:** *Gumiipari kézikönyv*, Taurus-OMIKK, Budapest, 3.f., 1988.

[4] **STELESCU, M.**, **MANAILA, E.**, **CRACIUN, G.**, **CHIRILA, C.:** *Development and Characterization of Polymer Eco-Composites Based on Natural Rubber Reinforced with Natural Fibers*, Materials, 10 (7), 787, 2017.

[5] **LOPEZ-MANCHADO, M. A.**, **BIAGIOTTI, J.**, **VALENTIN, L.**, **KENNY, J. M.:** *Dynamic mechanical and raman spectroscopy studies on interaction between single walled carbon nanotubes and natural rubber***,** Journal of Applied Polymer Science, 92, 3394-3400., 2004.

[6] **BOKOBZA, L.**; **KOLODZIEJ, M.:** *On the use of carbon nanotubes as reinforcing fillers for elastomeric materials*, Polymer International, 55, 1090-1098, 2006.

[7] **KOLODZIEJ, M.**, **BOKOBZA, L., BRUNEEL, J.L.:** *Investigations on natural rubber filled with multiwall carbon nanotubes,* Composite Interfaces, 14, 215-228, 2007.

ICL8038 TÍPUSÚ PRECÍZIÓS HULLÁMFORMA-GENERÁTOR DISZKRÉT ALKATRÉSZEKBŐL FELÉPÍTETT FUNKCIONÁLIS MODELLJÉNEK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF CIRCUIT MODEL OF PRECISION WAVEFORM GENERATOR TYPE ICL8038

TÓTH Lajos[1], ERDŐSY Dániel[2]

[1]Ph.D., egyetemi docens, elklll@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

[2]Villamosmérnök MSc hallgató, elkedani@uni-miskolc.hu
Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet

Kivonat: *A félvezetőgyártók adatlapjaikon közlik az általuk gyártott áramkörök legfontosabb paramétereit. Ezek a villamos, termikus és dimenzionális paraméterek, melyek a tervezési folyamatot segítik. Bonyolultabb áramkörök esetében az adatlapban rendszerint csak a blokkvázlatot, egyszerűbb áramkörök esetében a funkcionális vagy helyettesítő kapcsolást találjuk meg. Az ICL8038 esetében a gyártó adatlapján közölte az alkatrészértékekkel ellátott teljes kapcsolási rajzot. Ezzel lehetőség nyílik egy tömeggyártásban gyártott, kevert módú integrált áramkör belső felépítésébe és működésébe betekintést nyerni. Jelen munkában megvizsgáltuk az áramkör felépítését, működési elvét. A kapcsolási rajz alapján megépítettük az áramkör tranzisztor szintű funkcionális modelljét. Tesztméréseket végeztünk a megépített modellen és az eredeti integrált áramkörön. Összehasonlítottuk a mért eredményeket a gyártói adatlapon közölt adatokkal. Annak ellenére, hogy az integrált áramkör tranzisztor paraméterei nem ismertek a megépített modell működési paraméterei az elvégzett vizsgálatok tekintetében elfogadhatóan közelítik az integrált áramkör paramétereit.*

Kulcsszavak: *áramkörépítés, mérés, ICL8038, hullámforma generátor*

Abstract: *The semiconductor manufacturers' data sheets show the most important parameters of the circuits they produce. These are electrical, thermal and dimensional parameters that help the design process. In case of more complex circuits, only the block diagram is used in the datasheet. In case of simpler circuits, functional or representative circuit is shown. For the ICL8038, the manufacturer's data sheet provided the complete wiring diagram with component values. This allows you to gain insight into the interior design and operation of a mass-produced mixed mode integrated circuit. In the present work we have examined the internal structure and operation of the circuit. We built the full functional model of the integrated circuit based on the provided schematic. We performed measurements on the model and on the integrated circuit. We compared the test results to datasheet values. Though the transistor parameters were unknown, measured parameters of the functional circuit model and of the integrated circuit are in a good correlation in terms of measured quantities.*

Keywords: *circuit building, measurement, ICL8038, waveform generator*

1. BEVEZETÉS

A hullámforma előállítás az elektronikai alkalmazások esetében nélkülözhetetlen eljárás. Az analóg áramkörök frekvenciatartománybeli viselkedését szinuszos vizsgálójellel, tranziens átvitelét négyszög jellel vizsgáljuk. Ezen hullámformák előállításra alkalmas eszközöket hullámforma generátoroknak nevezzük. A hullámforma generátorok az elektronikai laborok nélkülözhetetlen eszközének tekinthető függvénygenerátorok alap építőelemei.

A hullámforma előállítása történhet diszkrét áramköri elemekből felépített kapcsolások vagy céláramkörök segítségével. Az integrált áramköri formában megvásárolható céláramkörök számos előnnyel rendelkeznek a diszkrét áramköri elemekből felépített áramkörökkel szemben. Egyrészt az integráltság miatt ezek nagyságrendekkel kisebb helyet

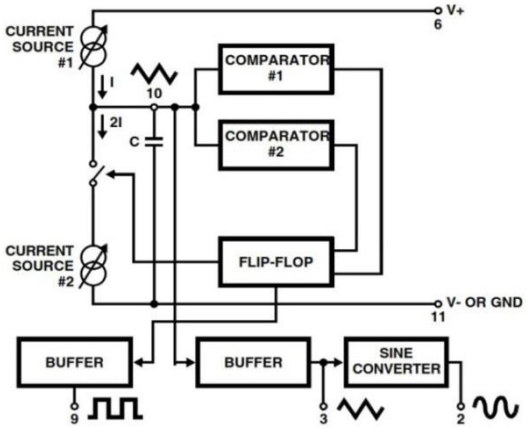
foglalnak el a nyomtatot áramköri lapon, másrészt áruk a sorozatgyártásnak köszönhetően sokkal olcsóbb, mint a sok alkatrészből összeállított társaiké. Ráadásul az áramkörök árának nagy részét a tokozások ára teszi ki.

A cikkben az ICL8038 precíziós hullámforma generátor felépítésének és működésének vizsgálatát mutatjuk be egy diszkrét alkatrészekből megépített funkcionális modell segítségével.

2. AZ ÁRAMKÖR FELÉPÍTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Az ICL8038 precíziós hullámforma generátor egy monolit technológiával készült integrált áramkör melyet az amerikai székhelyű Intersil félvezetőgyártó gyártott. Az Intersil tápmenedzsment áramkörök, analóg és kevert módú félvezető-áramkörök fejlesztésével és gyártásával foglalkozik. A cég napjainkra a világ első számú mikrovezérlő gyártójának, a Tokiói székhelyű Reneseas-nak egyik tengerentúli leányvállalata lett [1].

Az IC képes szinusz, háromszög, négyszög, fűrészjel és feszültség impulzusok nagypontosságú előállítására. A frekvenciatartomány az eszközön kívülről állítható a 0.001Hz és 300kHz között ellenállások és kondenzátorok segítségével. Az eszközt alacsony frekvencia drift (250ppm/°C), alacsony torzítás (1% - szinusz kimenet esetén), nagy linearitás (0.1% - háromszögjel esetén), 2% és 98% között változtatható kitöltési tényező és nagy kimeneti feszültségtartomány (TTL - 28V) jellemzi. Az áramkört kétsoros furatszerelt (DIP) műanyag vagy kerámiatokozásban gyártották [2].



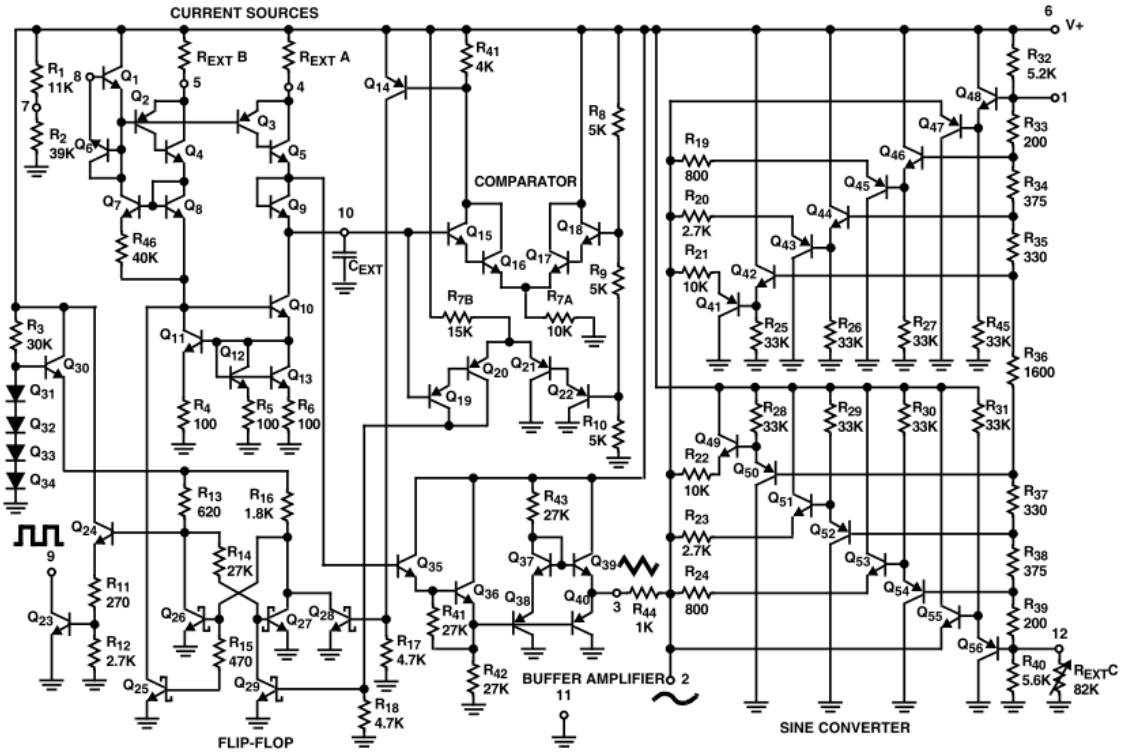
1. ábra: Az ICL 8038-as funkciógenerátor blokkvázlata [2]

Az áramkör blokkvázlata az *1. ábrán*, kapcsolási rajza a *2. ábrán* látható. Az áramkör funkcionális egységek szempontjából tartalmaz két áramgenerátort, két áramtükröt, egy indítóáramkört, egy Flip-Flop-ot, két komparátort két buffer áramkört és egy háromszög-szinusz konvertert.

Az IC indító áramkörét a Q30 tranzisztor, Q31-Q34 diódák és az R3 ellenállás alkotják (2. ábra). A Start-up áramkör ebben az esetben feszültséggenerátorként működik, emitter követő kapcsolásban. Az R3 ellenállás a diódák áramát állítja be. A Q30-as tranzisztor emitterén 1.5V feszültség jelenik meg. Az áramkör nem kapcsol ki mint a szokásos Start-up áramkörök, hanem folyamatosan táplálja a Flip-Flop áramkört.

A Q2-Q5 tranzisztorok valamint az RextA és RextB alkotta áramgenerátorok az IC-hez kívülről csatlakoztatható Cext kondenzátort töltik és sütik ki konstans árammal. A töltőáram nagyságát az RextA, a kisütő áram értéket pedig az RextB ellenállás értéke határozza meg. Mivel egy kondenzátort állandó árammal töltve annak feszültsége az időben lineárisan, az

áram nagyságával arányosan nő, a kondenzátor háromszög vagy fűrész jelalak előállítására felhasználható.



2. ábra: Az ICL8038-as IC belső felépítése [2]

A töltő- és kisütő áram nagyságának változtatásával a periodikus jel kitöltési tényezője és így frekvenciája változtatható. Ez az alapja az IC frekvencia modulációs képességének is.

A komparátorokat a Q15-Q22 tranzisztorok valamint az R7A és R7B ellenállások alkotják. A komparátor összehasonlítja az áramgenerátorok által töltött és kisütött Cext kondenzátor feszültségét az előre beállított referencia feszültségekkel. A referenciafeszültséget az R8-R10 ellenállásokból álló feszültségosztó szolgáltatja. A felső komparátor a töltési folyamat leállításáért-, az alsó annak indításáért felelős. A komparátor kapcsolja az áramgenerátorokat a Flip-Flop (FF) áramkörön (Q25-Q27, R13-R18) keresztül.

A Wilson áramtükröt a Q10-Q13 tranzisztorok és R4-R6 ellenállások alkotják. A töltőáramot a korábban említett Q3 és Q5-ből felépítet komplementer Darlington tranzisztor vagy más néven Sziklai pár, valamint a RextA ellenállás állítja elő. A kisütő áram iránya a Cext kondenzátor szempontjából a töltőárammal ellentétes. Ezt az áramot a Q2 és Q4-ből felépített Sziklai pár és az RextB hozza létre. A töltőáramot előállító áramgenerátor állandóan működik. A Cext kondenzátor kisütéséhez az RextB áramát Wilson áramtükör segítségével megkétszerezzük. Ez az áram a töltőárammal szemben folyik és a Q9, Q10 közös pontjára nézve összegződve - RextA és RextB egyenlősége esetén - a töltőáram nagyságával egyezik meg. Az első áramgenerátorba történő visszatáplálást a Q9 tranzisztorból kialakított dióda akadályozza meg. A Wilson áramtükör csak a kisütési fázisban működik. Ennek vezérlése a Flip-Flop Q25 tranzisztorán keresztül történik.

A Q7 és Q8 tranzisztorok a R46 ellenállással Widlar áramtükröt alkotnak. Ez az egység az áramgenerátor munkapontját stabilizálja. A Q6 tranzisztorból kialakított dióda a Q1 bemeneti, tranzisztort védi az emitter bázis letörési feszültség túllépése ellen.

A háromszög-szinusz konvertert a Q41-Q56 tranzisztorok és az R19-R45 ellenállások alkotják. Az áramkör működési elve a szinusz hullám törtvonalas közelítésén alapul. Minél

több töréspontot veszünk fel annál jobb lesz a közelítés jósága. Ennek mértéke a Teljes harmonikus torzítás (THD). A [3] szerint 12 töréspontos közelítéssel már 0.8%-os torzítási tényezőt is el lehet érni. Az R32-R40 ellenállások feszültségosztót alkotva nyolc referencia feszültséget állítanak elő szimmetrikusan a tápfeszültséglábak közé maximálisan kapcsolható 36V feszültségből. Az IC lehet kéttelepes (+V és –V) vagy egytelepes táplálású (+V és GND).

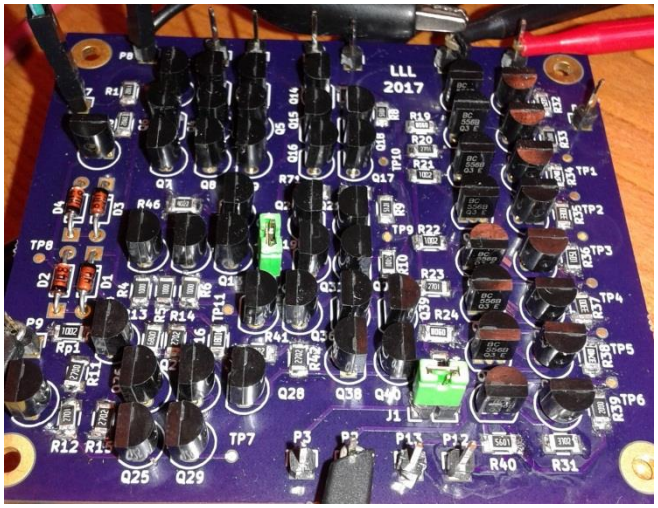
A konverter jól láthatóan két egyforma részre bontható, melynek alsó része a szinusz jel negatív, míg a felső része a szinusz jel pozitív részét állítja elő. Az R19-R24 ellenállások az R44 ellenállással feszültség osztót képeznek. A kimeneti jel meredeksége az ellenállások arányától függ. A negatív fél periódust ugyan ezen az elven felépített áramkör szolgáltatja.

A buffer áramkör feladata az áramkörben az impedancia illesztés. Az egyik buffer a FF áramkört illeszti az IC négyszögjel kimenetére, a másik a kondenzátorhoz illeszti a háromszögjel kimenetet és a háromszög-szinusz konvertert. A Q24-es tranzisztor emitter követő kapcsolásban kapcsolja a pozitív tápfeszültséget az R11 és R12 osztón keresztül a Q23 tranzisztor bázisára. Az IC négyszögjel kimenete nyitott- kollektoros kapcsolású. A másik buffer áramkört a Q35-Q40 és R41-R43 ellenállások alkotják. A háromszög-szinusz konverter bemeneti árama a milliamperes tartományba esik. Az áramgenerátorok a Cext kondenzátort mikroamper nagyságú árammal töltik és sütik ki. Ennek optimális értéke a [2] szerint 10µA és 1mA között van. Azért, hogy sem a háromszög- szinusz konverter sem a háromszögkimenetre kívülről csatlakoztatható terhelés ne terhelje le az áramgenerátorokat nagy bemeneti impedanciájú buffer kapcsolást alkalmaznak.

3. A FUNKCIONÁLIS MODELL MEGÉPÍTÉSE

Az áramkör megépítése előtt leellenőriztük a kapcsolás működőképességét szimulációval [4]. Mivel a gyártói adatlap nem tartalmazott a félvezetők paramétereire vonatkozó semmilyen információt ezért a tranzisztorokat általános felhasználású BC546B és BC556B, a diódákat általános felhasználású, kisjelű 1N4148 alkatrészekkel helyettesítettük. A szimuláció és megépítés után emiatt az eredmények előreláthatólag is csak jellegében tudják leírni az áramkör működését. Kíváncsiak voltuk azonban arra, hogy az eltérés mennyire lesz számottevő.

Az áramkör működése szempontjából kritikus részek azonos paraméterekkel rendelkező és azonos hőmérsékleten lévő tranzisztorokból kell felépüljenek. Ilyenek az áramgenerátorok és az áramtükrök. Diszkrét elemekből történő áramkörépítés esetén sem a tökéletes paraméteregyezőség sem az azonos réteghőmérséklet nem biztosítható.



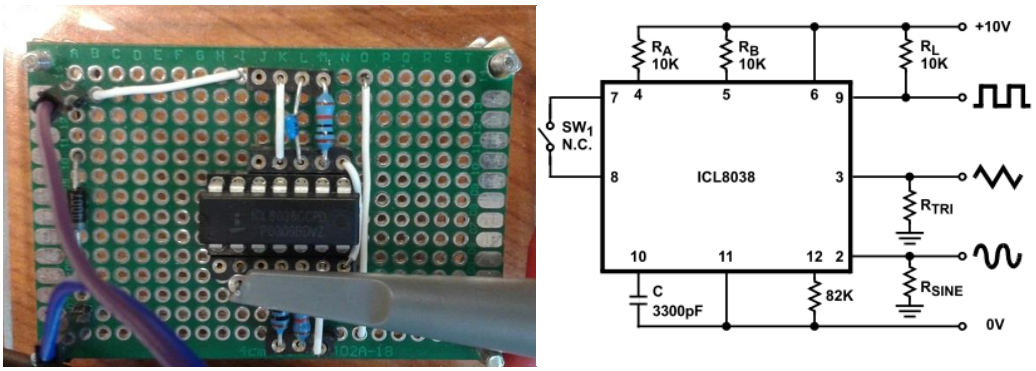
3. ábra: Az elkészített áramkör

A paraméteregyezőség megközelítésére párba válogattuk a tranzisztorokat. A közel azonos réteghőmérséklet eléréséhez a tranzisztor párokat a lehető legközelebb helyeztük el a nyomtatott áramköri lapon. Lehetőség lenne még hővezető pasztával vagy ragasztóval közös fémfelületre rögzíteni őket, de a tokozások miatt a teljesen azonos hőmérséklet így sem érhető el. Léteznek integrált áramköri kivitelben kapható tranzisztor párok és tranzisztor mezők, viszont a kihívást a diszkrét elemekből felépített áramkör jelentette.

Az ellenállásoknak 1%-os tűrésű, 1/4W-os, 1206-os méretű fémréteg ellenállásokat választottunk. A megtervezett és beültetett nyomtatott áramkör a 3. ábrán látható.

3. A FUNKCIONÁLIS MODELL VIZSGÁLATA

A megépített funkcionális modell paramétereinek kiértékeléséhez Kínából rendeltünk remélhetőleg eredeti integrált áramkört (4.a ábra). Az IC-t és a megépített modellt a gyártói adatlapban közölt tesztkapcsolásban vizsgáltuk (4.b ábra).

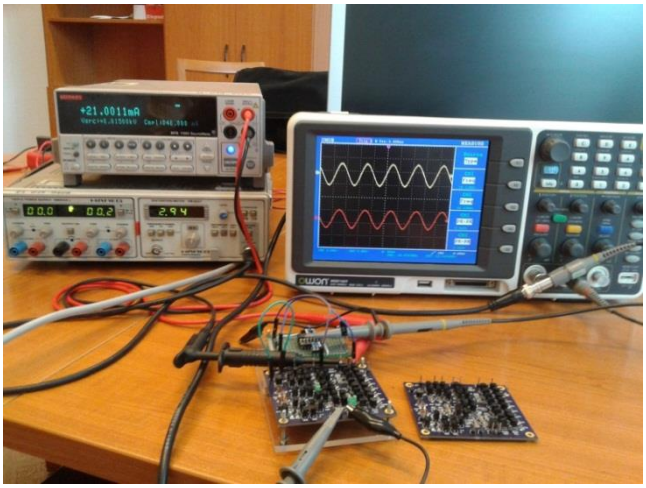


a) IC tesztáramkör b) Tesztáramkör kapcsolási rajza [2]

4.ábra: Az IC-vel felépített tesztáramkör és kapcsolási rajza

A mérésekhez az alábbi eszközöket használtuk:

KEITHLEY 2410 Sourcemeter
HAMEG HM8027 Distortion Meter
OWON MSO7102T 100MHz DSO

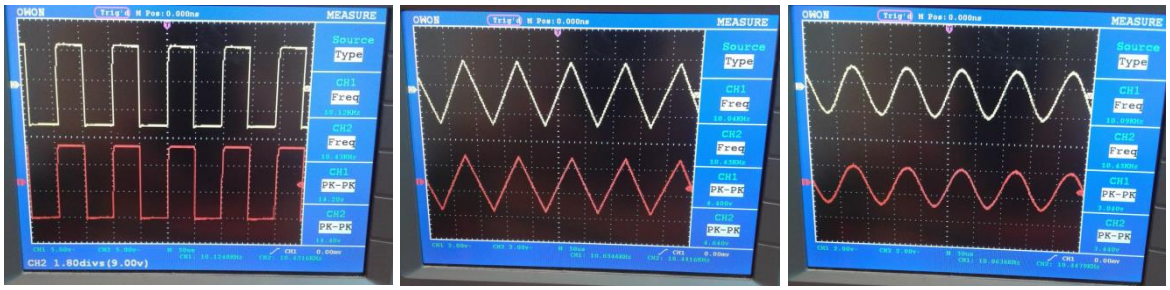


5. ábra: Mérési összeállítás

Az adatlapban közölt összes paraméter vizsgálatára a rendelkezésünkre álló műszerek miatt nem volt lehetőségünk. A mérési összeállítás az *5. ábrán* látható.

Az elkészített funkcionális modellt és az IC-ből felépített teszt áramkört közös plexi lapra szereltük és minden mérést a két áramkörön egyidejűleg párhuzamosan végeztünk.

Elsőként az áramkörök élesztését hajtottuk végre. Eltávolítottuk a forrasztás során keletkezett rövidzárakat és megvizsgáltuk a kimeneti hullámformák alakját (6. ábra). A felső jelalak (sárga) az IC-s áramkör, az alsó (piros) a funkcionális modell kimeneti jelei.



6. ábra: Kimeneti jelalakok

Következő lépésként megvizsgáltunk az áramkörök tápfeszültség igényét. A gyártói adatlap szerint az IC működtetéséhez egytelepes táplálás esetén min. 10V, kéttelepes táplálás esetén min. ±5V szükséges. A tipikus áramfelvétel 12mA (7. ábra).

Electrical Specifications V_{SUPPLY} = ±10V or +20V, T_A = 25°C, R_L = 10kΩ, Test Circuit Unless Otherwise Specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC			ICL8038BC			ICL8038AC			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Supply Voltage Operating Range	V_{SUPPLY} V+	Single Supply	+10	-	+30	+10	-	+30	+10	-	+30	V
	V+, V-	Dual Supplies	±5	-	±15	±5	-	±15	±5	-	±15	V
Supply Current	I_{SUPPLY}	V_{SUPPLY} = ±10V (Note 2)		12	20	-	12	20	-	12	20	mA

7. ábra: Tápfeszültség igény [2]

Azt tapasztaltuk, hogy az IC 10.2V-nál indult el. Az áramfelvétele indulás után 9.17mA volt. Később ez a bemelegedést követően lecsökkent 10.1V-ra és 8.9mA-re. A modul már 3.3V-tól elindult, de a négyszögjel kimeneten megjelenő jelalak kitöltési tényezője 92%!!! volt. Ez a kimeneti pont nyitott kollektoros, ami tápfeszültség szintre van húzva egy 10kΩ –os ellenállással. A kimeneti periodikus jel ebben az állapotban valójában egy ismétlődő, rövid lefutó impulzus volt. Az 50%-os kitöltési tényező 5.4V-os tápfeszültségnél volt elérhető és efölött csökkent annak értéke.

A felvett áram tápfeszültség függését a *8. ábra* szemlélteti. A mérést csak szobahőmérsékleten tudtuk elvégezni, melynek pontos értékét nem mértük. A görbék lineáris jellege hasonlít az adatlapi eredményekhez, de az IC áramfelvétele eltér az abban közölt adattól. A modul áramfelvétele természetesen sokkal nagyobb, mint az integrál áramköri formában kialakított kapcsolásé.

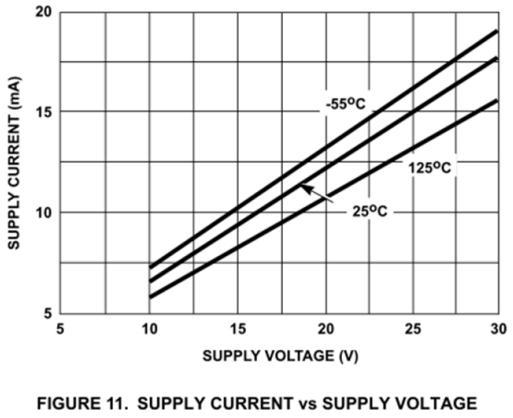
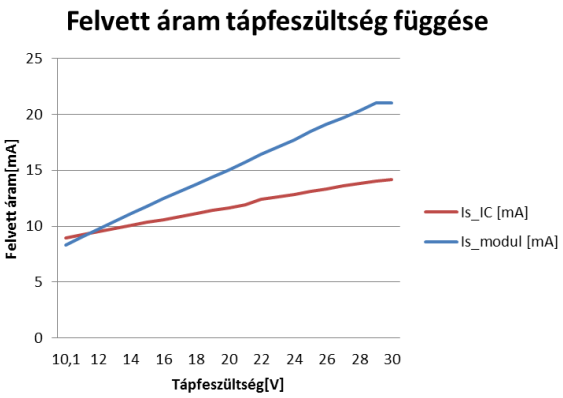


FIGURE 11. SUPPLY CURRENT vs SUPPLY VOLTAGE



a) Adatlapi adatok [2] b) Mérési eredmény

8. ábra: Az IC-vel és a funkcionális modellel felépített tesztáramkör áramfelvételének tápfeszültség függése

Megvizsgáltuk a két áramkör normalizált frekvencia - tápfeszültség függését a kimeneti négyszögjel vonatkozásában (9. ábra).

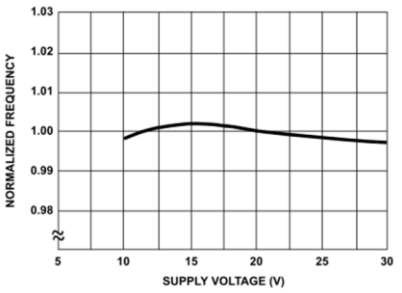
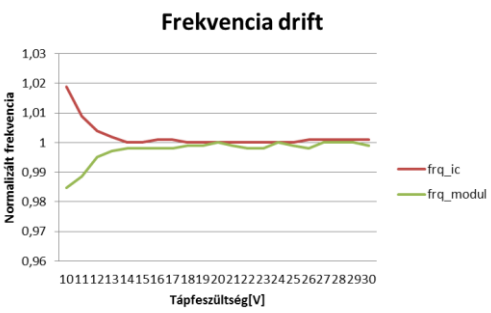


FIGURE 12. FREQUENCY vs SUPPLY VOLTAGE

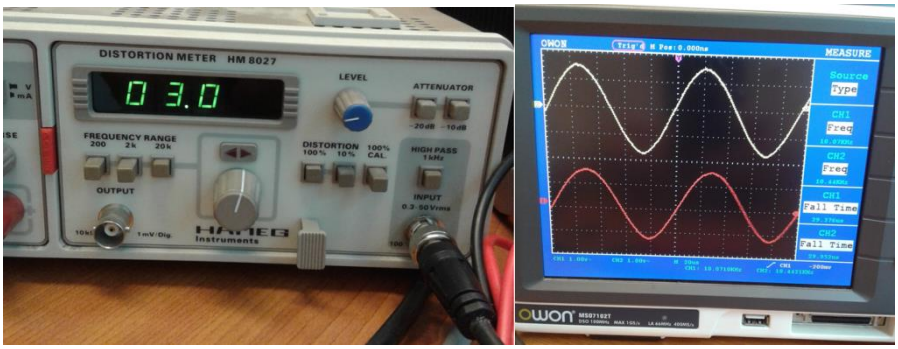


a) Adatlapi adatok [2] b) Mérési eredmény

9. ábra: Az IC-vel és a funkcionális modellel felépített tesztáramkör frekvencia - tápfeszültség függése

A modul frekvencia stabilitása természetesen rosszabb, mint az integrált áramköré, de még így is az adatlapban megadott 0.05%/V-os értéken belül van.

Utolsó lépésben megvizsgáltuk a kimeneti szinusz jel Teljes Harmonikus Torzítás (THD) mutatóját. A vizsgálatot HAMEG gyártmányú HM8027 műszerrel végeztük (10. ábra).



10. ábra: Harmonikus torzítás mérése 10kHz-es szinuszjelen

A méréseket különböző tápfeszültség értékek esetében (egytelepes táplálás) is elvégeztük. A mérési eredményeket az 1. Táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Teljes Harmonikus Torzítás értékei

THD [%]	Vs = 10V	Vs = 15V	Vs = 20V	Vs = 30V
IC	3,75%	3,00%	3,00%	3,00%
Modul	3,46%	3,08%	3,08%	3,09%

Az *1. táblázatból* látható, hogy a legnagyobb torzítás érték alacsony tápfeszültség mellett fordul elő. A maximális tápfeszültség felső kétharmadában ennek értéke közel állandó.

Electrical Specifications V_{SUPPLY} = ±10V or +20V, T_A = 25°C, R_L = 10kΩ, Test Circuit Unless Otherwise Specified **(Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	ICL8038CC MIN	ICL8038CC TYP	ICL8038CC MAX	ICL8038BC MIN	ICL8038BC TYP	ICL8038BC MAX	ICL8038AC MIN	ICL8038AC TYP	ICL8038AC MAX	UNITS
Sine Wave												
Amplitude	V_{SINE}	R_{SINE} = 100kΩ	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	0.2	0.22	-	xV_{SUPPLY}
THD	THD	R_S = 1MΩ (Note 4)	-	2.0	5	-	1.5	3	-	1.0	1.5	%
THD Adjusted	THD	Use Figure 4	-	1.5	-	-	1.0	-	-	0.8	-	%

NOTES:
2. R_A and R_B currents not included.
3. V_{SUPPLY} = 20V; R_A and R_B = 10kΩ, f ≅ 10kHz nominal; can be extended 1000 to 1. See Figures 5A and 5B.
4. 82kΩ connected between pins 11 and 12, Triangle Duty Cycle set at 50%. (Use R_A and R_B.)

11. ábra: Harmonikus torzítás adatlapi értéke 10kHz-es szinusz jel esetére [2]

Ha összevetjük a mért értékeket az adatlapban közölt információkkal, azt látjuk, hogy mind az IC-s tesztáramkör mind a megépített funkcionális modell harmonikus torzítása a maximális érték alatt van.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben részletesen bemutattunk az Intersil gyártmányú ICL8038 precíziós hullámforma generátor felépítését. Megépítettük a gyártói adatlapon közölt kapcsolási rajzból az IC funkcionális modelljét. Összehasonlítottuk a funkcionális modell és az IC néhány villamos paraméterét a gyártói adatlapon közölt tesztparaméterek szempontjából. Azt találtuk, hogy a vizsgált IC áramfelvételének feszültségfüggése jelentősen eltért a gyári adatlapon közölt értéktől. Mivel mi csak egyetlen IC-n végeztük el a mérést, nem pedig egy teljes gyártási sorozaton ezért a hiba oka ez is lehet. A többi vizsgát paraméter a modul esetében is benne volt a specifikációban közölt tartományban. Természetesen a modult további vizsgálatoknak lehetne még alávetni, de kijelenthető, hogy működőképes és ugyanazon funkciókkal bír, mint az integrált áramkör.
Egyetlen szépséghibája a dolognak csak az, hogy a modul alkatrészköltsége hozzávetőlegesen 35-szöröse volt az Kínából berendelt IC árának.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **RENESAS, ELECTRONICS EUROPE HONLAPJA:** https://www.renesas.com/en-eu/

[2] **INTERSIL:** *ICL8038 Precision Waveform Generator/Voltage Controlled Oscillator datasheet*, https://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/icl8/icl8038.pdf

[3] **TIETZE, U., SCHENK, C. H., GAMM, E.:** *Electronic Circuits, Handbook for Design and Application*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002, ISBN: 978-3-540-00429-5

[4] **TÓTH, L., NÉMETH, S.:** *ICL8038 típusú precíziós hullámforma generátor felépítésének és működésének szimulációs vizsgálata,* Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2017, Nyh., 563-570, 2017. ISBN:978-963-7064-35-7

NEONIKOTINOID NÖVÉNYVÉDŐ SZEREK OXIDATÍV LEBONTÁSÁRA IRÁNYULÓ MÓDSZERFEJLESZTÉSEK

METHODS DEVELOPMENT FOR OXIDATIVE DEGREDATION OF NEONICOTINOID PESTICIDES

TRUZSI Alexandra[1], BODNÁR Ildikó[2], VARGA József[3]

[1]PhD hallgató, kutató-fejlesztő, truzsi.alexandra@eng.unideb.hu
[1]IMSYS Kft., Debreceni Egyetem Környezetmérnöki Tanszék H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

[2]Ph.D., tanszékvezető főiskolai tanár, bodnari@eng.unideb.hu
[2]Debreceni Egyetem Környezetmérnöki Tanszék H-4028, Debrecen, Ótemető u. 2-4.

[3]ügyvezető, varga.jozsef@imsys.hu
[3]IMSYS Kft. H-1033, Budapest, Mozaik u. 14/A.

Kivonat: *A kutatás során két neonikotinoid hatóanyag (clothianidin, imidakloprid) ferráttal történő oxidatív kezelését vizsgáltuk modelloldatos kísérletek segítségével. A vizsgált neonikotinoidok kinyerésére szilárd fázisú extrakción (SPE) alapuló minta-előkészítési eljárást alkalmaztunk. A minták analízisét, az oxidáció hatékonyságának nyomon követését és a melléktermékek keletkezésének meghatározását folyadékkromatográfiás elválasztáson alapuló (LC) tömegspektrometriás (MS) detektálást alkalmazó kapcsolt analitikai méréstechnikával valósítottuk meg.*

Kulcsszavak: *ferrát-technológia, HPLC-MS módszerfejlesztés, neonikotinoidok*

Abstract: *During the research, the oxidative treatment of two neonicotinoid pesticides (clothianidin, imidacloprid) with ferrate was investigated using model solution experiments. A sample preparation procedure based on a solid phase extraction (SPE) method and it was used to extract the examined neonicotinoids. The analysis of the samples, the monitoring of the oxidation efficiency and the determination of by-products were accomplished by a liquid chromatography–mass spectrometry (LC-MS) combined analytical technique.*

Keywords: *ferrate technology, HPLC-MS method development, neonicotinoids*

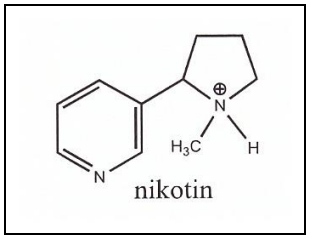
1. BEVEZETÉS, TÉMAFELVETÉS

Az utóbbi időszak jelentős világméretű problémája a környezetszennyezés növekvő mértéke. Az egyik nagyobb problémát a természetes úton nem vagy nehezen lebomló szerves anyagok okozzák. Ezen hosszú ideig megmaradó, ún. perzisztens szennyezők között jelentős számban fordulnak elő növényvédő szerek is. A növényvédő szereket idegen szóval peszticideknek hívjuk. A kémiai növényvédelem zömmel vegyi úton előállított, szintetikus molekulákat alkalmaz. Növényeink védelme érdekében permetezéssel juttatjuk ki a környezetünkbe ezeket a szintetikus vegyszereket, de egyúttal károsíthatjuk vele a talajt, a talajok élővilágát, a felszíni és felszín alatti vizeket egyaránt. A peszticidek csoportjába tartoznak többek között a neonikotinoid hatóanyagok is. Tudományos kutatások bebizonyították, hogy ezek a hatóanyagok károsíthatják az egészséget és a környezetet, elszivárgásuknak komoly következményei lehetnek az ivóvíz és a felszíni vizek minőségére, valamint más vizes élőhelyekre is [1, 2]. Az ilyen szennyeződések eltávolítására, vagy a koncentrációjuknak a csökkentésére különböző tisztítási technológiákat alkalmaznak. Az egyik ilyen eljárás, mely hatékonyságának köszönhetően széles körben alkalmazott, az az oxidáció általi víztisztítás. Kutatómunkánk során két neonikotinoid hatóanyag (clothianidin, imidakloprid) ferrát-technológiával történő oxidációját vizsgáltuk HPLC-MS módszerrel.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

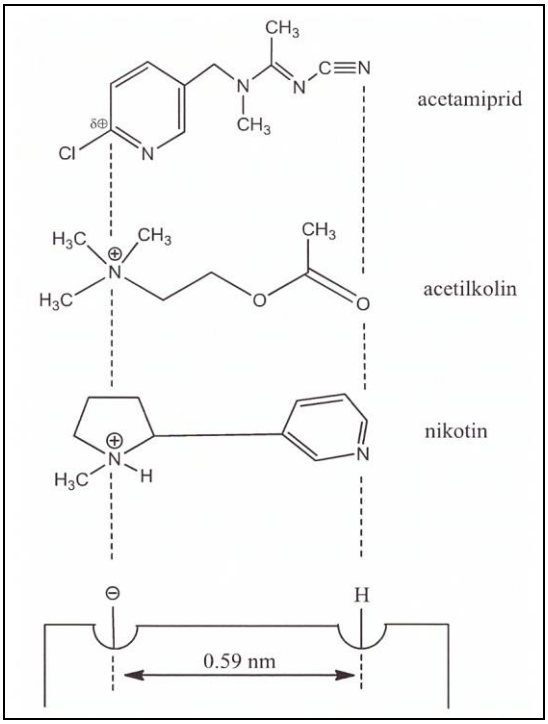
2.1. Neonikotinoid típusú növényvédő szerek kialakulása

Hosszú ideig a nikotint és analógjait használták a növényi kártevők elleni védekezésben. A nikotin a dohánylevél alkaloidja, a növény leveléből és gyökeréből desztillációval vonható ki. Vízzel elegyedő bázis, savakkal sót képez. A nikotin két, erősségében különböző bázikus nitrogént tartalmazó vegyület (1. ábra). Ezzel a fontos tulajdonsággal indokolható hatásmechanizmusa is. A két nitrogén közül erősebb bázis a pirrolidin gyűrű nitrogénje (pK_a=8,2), amely a környezeti pH-n protonált [3].



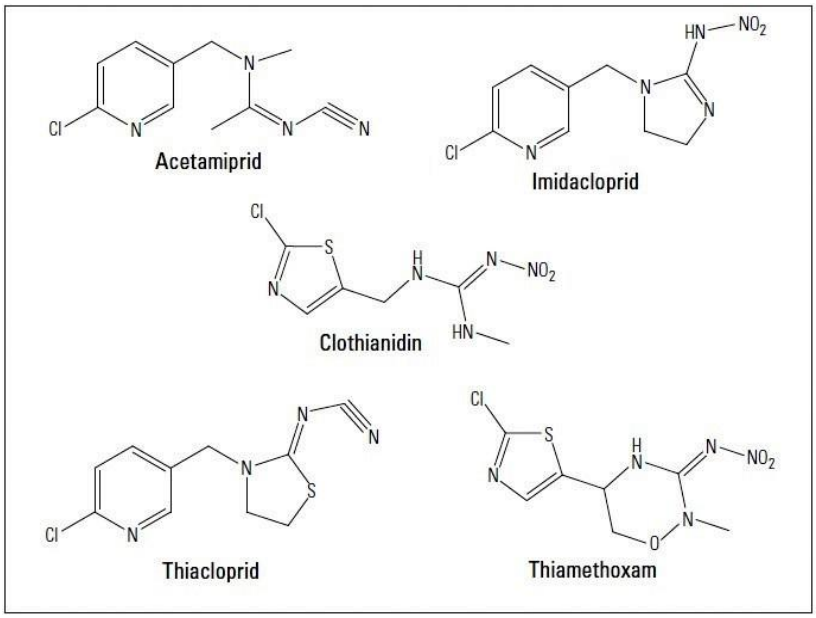
1. ábra: A nikotin bázikus jellegének bemutatása [3]

A piridin gyűrű nitrogénje ennél lényegesen gyengébb bázis. Ennek következtében a nikotin a *2. ábrán* bemutatott módon kötődik a nikotinos acetilkolin receptor aktív kötőhelyeihez. A kötőhelyek egyike anionos kötőhely, amely az acetilkolin illetve a nikotin kvaterner nitrogénjével létesít elektrosztatikus kölcsönhatást. Az ettől kb. 0,59 nm távolságban elhelyezkedő másik, hidrogéndonor kötőhely az ACh karbonil oxigénjéhez illetve a nikotin piridin nitrogénjéhez kapcsolódik H-híd kötéssel. A két vegyület közti analógiát a két hasonló karakterű molekularész egyforma távolsága okozza. A bázikus jelleg azonban a biológiai rendszerekben kinetikai szempontból nem ideális, mivel az ionos molekula lipofil penetrációja elképzelhetetlen [3].



2. ábra: A nikotinos acetilkolin receptor (nAChR) kötődési pontjai [3]

A kinetikai nehézségek az 1980-as évektől a neonikotinoidok felfedezésével látszottak megoldódni (3. ábra). Sikerült a nikotin szerkezetét oly módon változtatni, hogy a molekula toxofórjai azonos távolságban maradjanak, de az erős bázicitás csökkenjen. Ezt a feladatot a piridin (vagy más heterociklikus) gyűrű klórozásával tudták megoldani, amely nagy elektronvonzó hatásával a tercier nitrogéntől elektront húz el, ezáltal annak bázicitását csökkenti. Ez azért fontos, mert a nem-ionos molekulák már könnyen penetrálnak mind a növényi, mind a rovar kutikulán [3].



3. ábra: A neonikotinoidok kémiai szerkezeti képlete [4]

2.2. Jogszabályi háttér

A felszíni vizek megfelelő védelme érdekében szükség van bizonyos paraméterek állandó monitorozására. Hazánkban jelenleg a felszíni vizekre vonatkozóan a **31/2004. (XII. 30.) KvVM rendelet (A felszíni vizek megfigyelésének és állapotértékelésének egyes szabályairól)** van érvényben. Ez a kormányrendelet meghatározza, hogy mely anyagokat, milyen időközönként és mely vizsgálati helyszínen kell rendszeresen vizsgálni. A kutatáshoz kiválasztott neonikotinoid típusú rovarölőszerek is megtalálhatóak a kormányrendelet megfigyelési listájában. A rendeletben megadott indikatív elemzési módszer az SPE-LC-MS-MS kapcsolt méréstechnika, melynek a legnagyobb elfogadható kimutatási határa 9 ng/l.

2.3. A ferrát (VI) tulajdonságai

A ferrátban a vas +6-os oxidációs állapotban van, ezért rendkívül erős oxidálószer (redoxpotenciálja savas közegben +2,2V). A ferrát-technológia előnye, hogy melléktermékként vas(III)-hidroxid csapadék keletkezik, mely nagy fajlagos felületének köszönhetően megköti az oxidációs bomlástermékeket és további szennyezőket, javítva ezzel a tisztítás hatékonyságát [5]. Míg a ferrát pH=9 érték felett képes órákig stabil maradni, addig ez alatti pH értékeken gyorsan – néhány másodperc és néhány perc közt változó időtartam alatt – elbomlik. A bomlás sebessége a pH csökkentésével nő, a ferrát protonált formáinak képződése közben. A ferráttal végzett eddigi vizsgálatok azt bizonyítják, hogy az egyszeresen protonált forma a legreaktívabb, több kinetikai tanulmány szerint ez az ionforma játszik kiemelt szerepet az oxidációs/fertőtlenítési folyamatokban [6].

A ferrát (VI)-ion előállítása történhet elektrokémiai módszerrel vagy kémiai módszerrel (száraz és nedves oxidációs eljárás). Az elektrokémiai módszer során lúgos közegbe vas anódot merítenek, így az elektrokémiai oxidáció révén állítják elő a ferrát (VI)-ot [7].

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

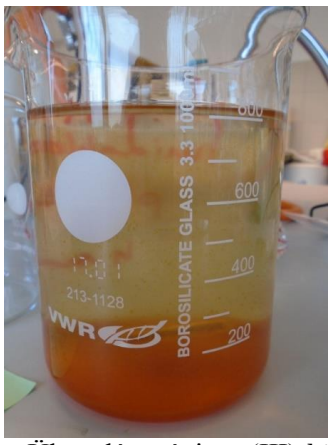
3.1. A minták kezelése ferrát (VI)-tal

Kísérleteink alatt 1000, 2000, 3000 és 5000 ppm ferrát (VI)-ion koncentrációt alkalmaztunk 100 ppm koncentrációjú clothianidin és imidakloprid nagytisztaságú ionmentes vízből és felszíni vízből készített modelloldatok kezelésére. Az oxidálószer hozzáadása után szükség volt a minták pH-ját savas, semleges és lúgos tartományba állítani, melyet 5 M H_2SO_4 hozzáadásával végeztünk. A nagytisztaságú ionmentes vízből készített modelloldatokhoz $NaHCO_3$-t adagoltunk, hogy a víz puffer kapacitását növeljük.



4. ábra: Oxidatív kezelés a pH érték beállítása után

Az oxidatív kezelés minden esetben 30 percig tartott (4. ábra). A kezelés ideje alatt a mintákat mágneses keverővel kevertettük, melyhez üveg bevonatú keverőelemeket használtunk. Ezt követően további 30 percen keresztül ülepedett minden minta. Ez idő alatt a főzőpohár aljára leülepedett a vas(III)-hidroxid csapadék, így a minta felső részét vittük tovább az SPE minta-előkészítésre, melyet szűrőpapíron keresztül leszűrtünk (5. és 6. ábra).



5. ábra: Ülepedés utáni vas(III)-hidroxid csapadék kiválása

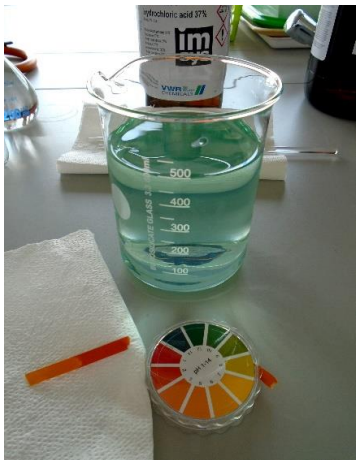


6. ábra: Ülepedés utáni szűrés szűrőpapíron

3.2. Szilárd fázisú extrakció (SPE) minta-előkészítés

A kutatás során alkalmazott minta-előkészítési eljárás alkalmas savas típusú növényvédő szer hatóanyagok meghatározására felszíni, felszín alatti és ivóvíz mintákból. Alapvetően az SPE minta-előkészítési eljárást 5 nagyobb fázisra lehet bontani.

Az **első fázis**ban szűréssel eltávolítottuk a vízmintában található lebegő, szilárd szennyeződéseket. Ezután a minta kémhatását tömény sósav oldattal pH=1-2 értékre állítottuk, melyet indikátorpapírral ellenőriztünk (7. ábra). A reagens vak céljára továbbá nagytisztaságú vizet mértünk be, melyet szintén szűrőpapíron átszűrünk.



7. ábra: A minta kémhatásának beállítása



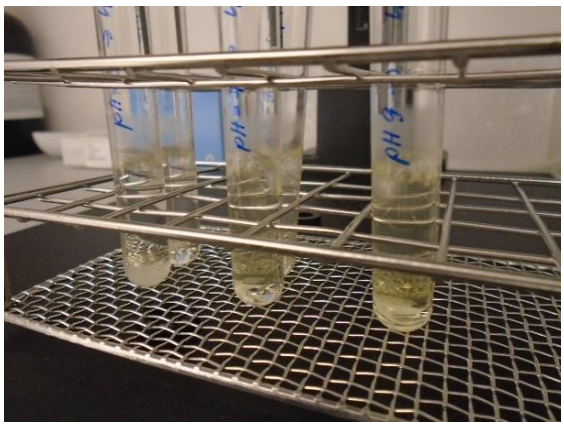
8. ábra: SPE extrakció

A **második fázis**ban a szilárd fázisú extrakcióhoz használt ISOLUTE ENV+ (C18) patronok előkészítése történt. Első körben 5 ml metanollal (5 ml/perc sebességgel), ezt követően pedig 2x5 ml pH=1-2 nagytisztaságú vízzel (5 ml/perc sebességgel) átmostuk a patronokat.

A **harmadik fázis**ban történt az SPE extrakció, azaz a megfelelően előkészített oszlopon az előkészített vízmintából a vizsgálat céljának megfelelően 500 ml-t 10-15 ml/perc sebességgel, vízsugárszivattyú segítségével átszívattunk (8. ábra).



9. ábra: Minták leoldása az SPE oszlopról



10. ábra: Minták bepárlása nitrogén gázzal

A **negyedik fázis**ban a patronokat 2x2 ml aceton:etil-acetát (50:50 v/v) eleggyel eluáltuk, melyet előzőleg 2%-os hangyasavval savanyítottunk meg. Az első 2 ml-t hagytuk beszivárogni a patronokba, majd pár perc múlva hozzáadtuk a második 2 ml-t (9. ábra).

Végül az **ötödik fázis**ban az eluátumokat együttesen centrifugacsövekben fogtuk fel, majd megfelelő térfogatra bepároltuk nitrogén gáz segítségével (10. ábra). A bepárlás után, szükség esetén oldószercserével a műszeres mérés igényeinek megfelelően, valamint a hatóanyagok várható koncentrációjának ismeretében állítottuk be a mintakoncentrációkat az extraktumban.

3.3. Alkalmazott műszeres analitikai méréstan

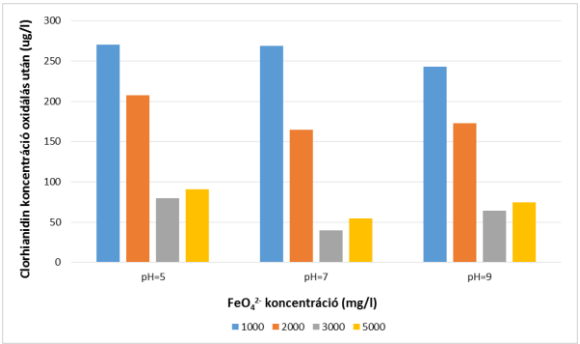
A peszticidek meghatározása során felmerülő érzékenységi, szelektivitási és detektálási problémák áthidalásának legígéretesebb megoldását egy tömegspektrometriás (MS) detektáláson alapuló folyadékkromatográfiás (HPLC) módszer kidolgozásában láttuk. A komponensek elválasztása és UV-VIS detektálása egy Agilent gyártmányú 1260 Infinity I UHPLC rendszeren történt, majd a kolonnát elhagyó folyadékáramot egy kapillárisscsövön keresztül egy tömegspektrométerbe vezettük. Ionforrásként pneumatikus ESI (Electrospray Ionization) ionforrást alkalmaztunk.

A műszeres analitikai vizsgálatokhoz a következő üzemeltetési paramétereket alkalmaztuk:

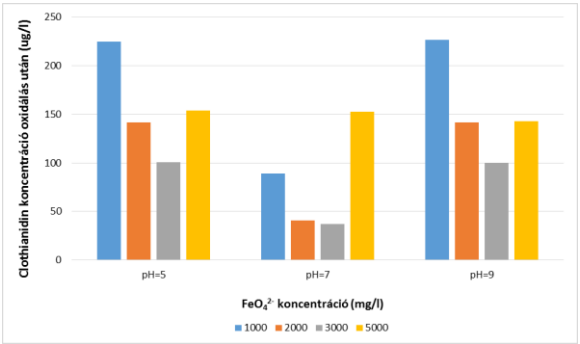
Folyadékkromatográfiás paraméterek: Analitikai oszlop: *Agilent Zorbax Eclipse Plus C18 (méret: 100 x 4,6 mm, töltetátmérő: 3,5 µm)*; Oszlophőmérséklet: *30°C*; Injektálási térfogat: *10 µl*; Eluensek: *A - ionmentes víz + 0,1 V/V% hangyasav, B - acetonitril*; Eluens térfogatáram: *600 µl perc^{-1}*
Tömegspektrometriás paraméterek: Porlasztó gáz: *20 psi*; Szárító gáz hőmérséklete: *300°C*; Szárító gáz áramlási sebessége: *3 l/min*; Kapilláris feszültség: *2500 V*

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

Az alábbi két diagramon a **clothianidin** hatóanyag ferráttal történő oxidációjának az eredményei láthatóak. A 11. ábrán a 100 ppm-es koncentrációjú nagytisztaságú ionmentes vízből készített modelloldat pH=5, pH=7 és pH=9 kémhatáson történő oxidálást követő koncentrációi követhetőek nyomon, míg a 12. ábrán a 100 ppm-es koncentrációjú felszíni vízből készített modelloldat pH=5, pH=7 és pH=9 kémhatáson történő oxidálást követő koncentrációit tüntettük fel. A színek az adagolt ferrát oxidálószer (1000, 2000, 3000 és 5000 mg/l) koncentrációját szemléltetik.

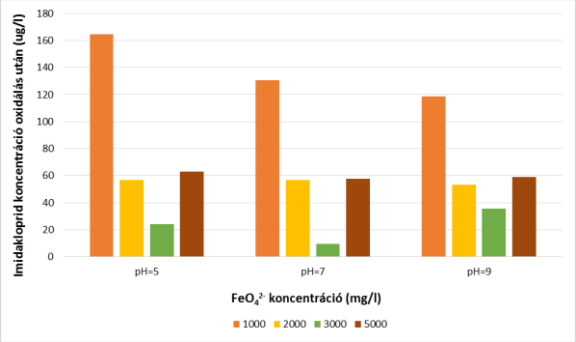


11. ábra: Clothianidin koncentrációk oxidálás után nagytisztaságú ionmentes vízből készített modelloldatból

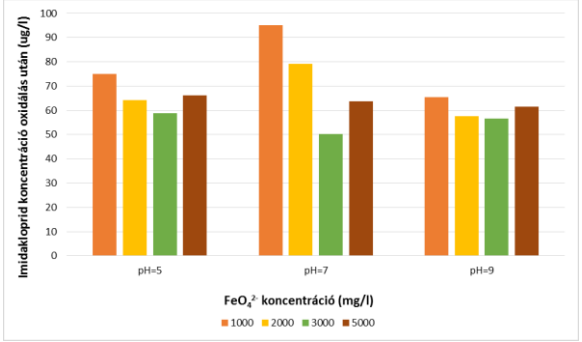


12. ábra: Clothianidin koncentrációk oxidálás után felszíni vízből készített modelloldatból

A 13-14. ábrán az **imidakloprid** hatóanyag ferráttal történő oxidációjának tapasztalatai láthatóak. A 13. ábrán a 100 ppm-es koncentrációjú nagytisztaságú ionmentes vízből készített modelloldat pH=5, pH=7 és pH=9 kémhatáson történő oxidálást követő koncentrációit, míg a 14. ábrán a 100 ppm-es koncentrációjú felszíni vízből készített modelloldat pH=5, pH=7 és pH=9 kémhatáson történő oxidálást követő koncentrációit tüntettük fel. A színek szintén az adagolt ferrát oxidálószer (1000, 2000, 3000, 5000 mg/l) koncentrációját jelölik.



13. ábra: Imidakloprid koncentrációk oxidálás után nagytisztaságú ionmentes vízből készített modelloldatból



14. ábra: Imidakloprid koncentrációk oxidálás után felszíni vízből készített modelloldatból

Az kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a korábban említett különböző protonált formák közel azonos hatékonysággal működtek az oxidáció során beállított különböző pH értékeken, a 3000 mg/l koncentrációjú ferrátadagolás esetében volt legeredményesebb az oxidatív kezelés. A vizsgálathoz kiválasztott neonikotinoid hatóanyagok esetében a mérési eredmények alapján arra tudunk következtetni, hogy ezen rovarölőszerek oxidálása nem függ a közeg pH-jától, mivel a 11.-14. ábrán látható adatok mind a nagytisztaságú ionmentes vízből, mind pedig a felszíni vízből készített modelloldatok esetében egyaránt 95,5% feletti eltávolítási hatékonyságot mutatnak.

5. ÖSSZEFOGLALÁS, TOVÁBBI TERVEK

Munkánk során neonikotinoid hatóanyagok nagytisztaságú ionmentes vízből és felszíni vízből készített modelloldatokból való eltávolítását vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között ferrát oxidációs reagens és egy folyadékkromatográf-tömegspektrométer alkalmazásával. Első lépésként az analitikai kémiai vizsgálatok elvégzéséhez optimáltuk a minta-előkészítést és a mérőberendezés üzemi paramétereit. Vizsgáltuk a ferrát (VI)-kezelés hatását különböző pH-tartományban, illetve különböző adagolással. A neonikotinoid hatóanyagokra vonatkozóan több mint 95,5%-os eltávolítási hatásfokot értünk el a beállított savas, semleges és lúgos pH tartományban, már 1000 ppm ferrát (VI) koncentráció alkalmazásánál. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a ferrát hatékonyan oxidálta a vizsgálatokhoz kiválasztott két neonikotinoid hatóanyagot.

Terveink között szerepel, hogy az alkalmazott analitikai módszert tovább optimáljuk a mérőrendszer változtatható paraméterei mellett elsősorban nyomnyi szennyezők eltávolítására. Célunk továbbá, hogy az oxidatív kezelésekhez felhasznált ferrát oxidálószer adagolását beállítsuk, meghatározzuk a kezelés során keletkező bomlástermékeket, valamint a ferrát oxidálószer mellett más oxidációs módszereket is kipróbáljunk. A kutatási eredmények kellő alapként szolgálhatnak különböző in-situ kármentesítési megoldások kidolgozásához.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Méréseinket az IMSYS Mérnöki Szolgáltató Kft. és a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszék által koordinált laboratóriumokban végeztük, melyet a **GINOP-2.1.1-15-2015-00582** számú projekt támogatott.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BONMATIN, J.M., GIORGIO, C., GIROLAMI, V.:** *Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil,* Environmental Science and Pollution Research, 22:35–67, 2015. DOI 10.1007/s11356-014-3332-7

[2] **PETER, J., RALF, N., MICHAEL, S., ALFRED, E.:** *Overview of the Status and Global Strategy for Neonicotinoids,* Journal of Agricultural and Food Chemistry, 59, 2897–2908, 2011. dx.doi.org/10.1021/jf101303g

[3] **SÖRÖS, CS.:** *Növényvédelmi Kémia és Toxikológia,* Tantárgyi segédlet, Szent István Egyetem, Budai Campus, Alkalmazott Kémia Tanszék, 2018.

[4] **MICHELLE, L. H., DANIEL, L. C.:** *Analysis of the herbicide diuron, three diuron degradates, and six neonicotinoid insecticides in water - Method Details and Application to Two Georgia Streams,* U.S. Geological Survey, Scientific Investigations Report, 2012.

[5] **KANARI, N.:** *Synthesis of potassium ferrate using residual ferrous sulfate as iron bearing material,* Journal of Physics: Conference Series, 416, 2013**.**

[6] **SHARMA, V. K.:** *Ferrate (FeO_4^{2-}): Environmentally-Friendly Oxidant, Coagulant and Disinfectant for Water and Wastewater Treatment***,** Symposium 332nd ACS National Fall Meeting, San Francisco, 2016.

[7] **ALSHEYAB, M.:** *On-line production of ferrate with an electrochemical method and its potential application for wastewater treatment,* Journal of Environmental Management, 1350-1356, 2009.

SORBANÁLLÁSI MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA LEAN SZEMLÉLETBEN MŰKÖDŐ KÖZSZOLGÁLTATÓKNÁL

APPLICABILITY OF QUEUEING MODELS AT LEAN PUBLIC UTILITY ORGANISATIONS

TUMIK Ábel

PhD hallgató, szvabelt@uni-miskolc.hu
Vezetéstudományi Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A közszolgáltatások nyújtása során felmerülő költségek csökkentésére, valamint minőségük javítására való törekvés általánossá vált nemzetközi szinten a kormányok részéről. Ezen célok eléréséhez a termelő vállalatoknál már bevált menedzsment rendszerek alkalmazása egyre gyakoribb a közszférán belül. A lean menedzsment használata a közszolgáltatások támogatására nemzetközileg is hatékony. Ennek egyik sarkalatos eleme a veszteségek csökkentése, melyek közül a várakozási veszteségek csökkentésére a sorbanállási rendszerekkel eredményesen véghez vihető. Átfogó szakirodalmi összefoglalás után a tanulmány bemutat egy keretmodellt arra vonatkozóan, hogy milyen lean eszközökkel támogatható a sorbanállási rendszerek alkalmazása a közszférán belül.*

Kulcsszavak: *sorbanállási modellek, lean menedzsment, közszolgáltatók, keretmodell*

Abstract: *The endeavour to reduce cost and improve quality of public services has become general for governments on international level. To reach these aims application of management systems which already operate reliably at manufacturing enterprises is more and more common in the public sector. Lean management has provided a well-established base for supporting such ambition internationally. One of the key principles of this management system is to reduce waste. Among waste, waiting can be effectively reduced by the application of queueing models. After a comprehensive literature review a framework is demonstrated in this paper, in which the possible lean tools that support queueing systems applied within the public sector is described.*

Keywords: *queueing models, lean management, public utility organisations*

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a szolgáltatások minősége egyre hangsúlyosabb, főleg a magas vevői vagy felhasználói kört magáénak tudó iparágakban. A minőség egy olyan meghatározó út az üzleti tevékenység teljesítményének javítására, mely igazolja a különböző – általában a termelőszférából eredeztethető – menedzsment rendszerek elterjedését [1]. Jelenleg a világ vezető államainak kormányai azon dolgoznak, hogy az általuk biztosított szolgáltatások költségeinek gátat szabjanak, illetve csökkentsék azokat. Emellett további céljuk ezen szolgáltatások minőségének fenntartása, sőt, javítása is [2]. Ezért a vezetők olyan eszközökhöz nyúlnak, melyek már más iparágakban bizonyítottak, magasabb produktivitást [3], nagyobb költség-hatékonyságot [4], [5] biztosítva a termelés és szolgáltatás nyújtás teljesítési folyamataiban. Ilyen menedzsment rendszerek például a lean menedzsment, valamint a six sigma. Ezeket az eszközöket a teljesítmény fokozására [6] a közszolgáltatók is megismerték és elmozdultak alkalmazásuk irányába. A közszolgáltatók óriási nyomásnak vannak kitéve, hiszen az állampolgárok napi szinten találkoznak a szolgáltatások minőségével, és azokkal a problémákkal, melyek ezen szolgáltatások igénybevétele során felmerülnek [7]. Az ilyen szolgáltatások javítása kulcsfontosságú nem csak a kormányok számára, hanem azok számára is, akik ezekben a folyamatokban nap mint nap részt vesznek a vevői oldalról.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 Lean menedzsment

A lean szemlélet egy központi eleme a veszteségek meghatározása, melynek során a folyamatokban felmerülő veszteségek kategorizálásának segítségével könnyebben határozhatjuk meg ezek gyökérokait, foganatosíthatunk ellenintézkedéseket, és alkalmazhatjuk azokat. A veszteségek tipizálására a szakirodalom két leginkább használt módszere a TIMWOOD és a 3MU. A TIMWOOD egy mozaikszó, a módszer a veszteségeket hét részre bontja: szállítás (T – Transportation), készlet (I – Inventory), mozdulatok (M – Motion), várakozás (W – Waiting), túltermelés (O – Overproduction), túlzott feldolgozás (O – Over processing) és hibák (D – Defects) [8]. A 3MU módszer a veszteségek három nagy csoportját különbözteti meg: a Muda a folyamatokból eredetezhető veszteségeket, a Mura a folyamatok kiegyenlítettlenségét, a Muri a túlterheltséget jelenti [9].

A veszteségek beazonosításán túl szükség van az öt alapelv használatára, illetve betartására is, melyhez azonban, mivel a menedzsment rendszer a termelőszférában alakult ki, transzformációra van szükség. Az érték meghatározása a vevő illetve a szolgáltató szempontjából is kritikus, az értékáram segítségével feltárhatók a veszteséges folyamatok, műveletek a szolgáltatásnyújtás során. Az áramlás a szolgáltatási folyamat közben fellépő várakozások megszűntetését segítheti elő. A vevői húzás szolgáltatások esetén megvalósul, hiszen a szolgáltatást igénybe vevő generálja a teljesítés bekövetkeztét. A folyamatos fejlesztés a vevők kiszolgálásának, valamint a szolgáltatásteljesítési folyamatok folyamatos javítását foglalja magában. A sorbanállási modellek leginkább az áramlás javítására használhatóak, hiszen segítségükkel a folyamatközi várakozások csökkenthetők.

2.2 Lean menedzsment a közszférában

A lean menedzsment közszférában való alkalmazására számos példát találhatunk a szakirodalomban, azonban fontos megemlíteni a lean bevezetésének alapját adó feltételeket, melyek a következőképpen definiálhatóak [10]:

- az érték valamint veszteség definiálása a vevő szemszögéből,
- az érték arányának növelése, mely lehetséges a folyamatokban jelenlévő veszteségek csökkentésével – ezáltal a szolgáltatás költségének csökkentésével, vagy az értékteremtő műveletek növelésével – nem fokozva a szolgáltatás költségét,
- a nem értékteremtő műveletek elhagyása által biztosított pontosan meghatározható és mérhető előnyök felismerése,
- erőforrások felszabadítása a nem értékteremtő műveletekből az üzleti tevékenységet támogatván,
- annak felismerése és tudatosítása, hogy a lean központi koncepciója a vevői érték.

A lean megközelítésű alkalmazási területekről Molnár és Kerchner [11] közölt egy modellt, mely kiterjed a közszféra és a lean menedzsment kapcsolatára, hazai alkalmazási lehetőségeire. Ezen kívül számos külföldi szakcikk foglalkozik a lean közszférabeli adaptálásával, melyekből néhányat az *1. táblázatban* foglaltam össze. Jól megfigyelhető, hogy a legtöbb publikáció a lean az egészségügyben való bevezetéséről számol be és közöl elemzéseket.

1. táblázat. Lean alkalmazások eredményei a közszférában

Terület	Módszer	Eredmény
Egészségügy [12]	Lean menedzsment	– a betegszám növekedése ellenére a sürgősségi osztályon eltöltött idő csökkent – a betegek elégedettsége növekedett
Önkormányzat [13]	Lean Six Sigma	– a bérelszámolás ideje 60 %-kal csökkent – a kimenő számlák feldolgozási ideje 40%-kal, a bemenő számlák feldolgozási ideje 90%-kal csökkent
Egészségügy [14]	Lean menedzsment és klinikai kockázatmenedzsment	– a gyógyszerkiadás adminisztrációs folyamataiban 80%-kal csökkentették a zavarokat
Egészségügy [15]	Lean menedzsment	– az ellátás és ágykihasználtság 24%-os növekedése – túlórák 81%-os csökkentése – az alkalmazottak produktivitásának 12%-os növekedése

2.3 Sorbanállási modellek

A sorbanállási modellek a sokrétű alkalmazásuknak köszönhetően bőséges szakirodalmi háttérrel rendelkeznek. A sorbanállás annyira gyakori és sokféle az életben, hogy gyakran nehéz őket pontosan definiálni. Sorbanállási rendszerek keletkeznek minden olyan esetben, amikor „vevők” „szolgáltatást” igényelnek valamilyen szervezettől, melynek során általában mind a beérkezési mind a kiszolgálási idők véletlenszerűek. Ha az összes kiszolgáló foglalt amikor új vevők érkeznek, többnyire egy sorban várakoznak addig a pontig, amíg a kiszolgáló elérhető állapotba kerül. A „vevők” kifejezés széles skálát fed le, hiszen vonatkozhat akár egy telefonhívás beérkezésére, géphibára, processzor idő igényre, vagy betegek érkezésére a kórházba. Természetesen ugyanez vonatkozik a szolgáltatás és a kiszolgáló kifejezésre is [16].

A sorbanállási rendszereket a következő paraméterek írják le [17] (1):

$$a/b/c/d/e/f \tag{1}$$

ahol:

a: A beérkezések jellege.
b: A kiszolgálási idő jellege.
c: A kiszolgálók száma.
d: Sorbanállási rend.
e: A rendszerben megengedett maximális igény mennyisége.
f: Az igények forrásául szolgáló sokaság nagysága.

A szakirodalmi publikációk számtalan sorbanállással kapcsolatos optimalizációs problémát határoznak meg, melyek csoportosításuk után következőképpen foglalhatóak össze [18]:

- Optimális topológiai probléma (Optimal Topological Problem - OTOP): Stratégiai tervezésű, a hálózat kialakítására való összpontosítással megtervezett eljárások, meghatározva a csomópontok és ívek számát valamint helyüket és összekapcsolódásai pontjaikat.
- Optimális irányítási probléma (Optimal Routing Problem - OROP): Taktikai tervezésű, a „vevők" irányításának igényével kialakított eljárások, melyekben adott egy már előre meghatározott hálózat, valamint az erőforrások irányításának és útvonaltervezési döntések által előidézett torlódás.
- Optimális erőforrás allokációs probléma (Optimal Resource Allocation Problem - ORAP): Operatív tervezésű eljárások az erőforrások optimális allokációjára való fókusszal, melynek feltétele, hogy az OTOP és az OROP már meg van oldva.

2.4 A sorbanállási modellek és a közszolgáltatások kapcsolata

A szakirodalomban számos olyan eredményt publikáltak, melyek a sorbanállási modellekkel, és a közszolgáltatókkal kapcsolatosak. Elsősorban ebben a halmazban is az egészségügy dominál, főleg a betegek útvonalának / mozgásának fejlesztésére, és a várakozási idők csökkentésére használják a szakirodalmi publikációkban a sorbanállási rendszereket. A késések, vagy várakozások jelentik az egyenlőtlenséget a szolgáltatás nyújtása és teljesülése között, azonban ez az esetek többségében csak átmeneti, és az igények fellépésének és a szolgáltatásnyújtás idejének varianciája okozza ezt az állapotot. Ez a variancia, valamint a beérkezési és szolgáltatási folyamatok nagyon komplexszé teszik a szolgáltatási rendszer dinamikáját [19]. A 2. táblázatban összefoglaltam néhány sorbanállási rendszert az egészségügyre vonatkozóan.

2. táblázat. Sorbanállási rendszerek alkalmazása az egészségügyben

Sorbanállási rendszer kódja	Alkalmazás
M/M/1	Optimális teljesítmény elérése az ambulancián [20]
M/M/3	Sürgősségi osztály várakozási idejének csökkentése [21]
M/M/s	Szívelégtelenséggel küzdő betegek ellátásának javítása [22]
	Sürgősségi osztály alkalmazottainak beosztásának javítása a betegek időben történő kiszolgálása érdekében [23]
M/M/c	Sürgősségi, és baleseti osztály optimális áramlásának és ágyszámának biztosítása [24]
M/G/c	A sürgősségi osztály várakozási ideje miatt a rendszerből ellátás nélkül kilépő betegek számának csökkentése [25]
M/PH/c	Kórházi ágyak kihasználtságának növelése [26]
G/G/1	Egészségügyi intézmények folyamataiban található várakozási veszteségek csökkentése [27]
GI/G/m	Kórházi teljesítmény növelés [28]

3. A LEAN MENEDZSMENT ÉS A SORBANÁLLÁSI MODELLEK KAPCSOLATA

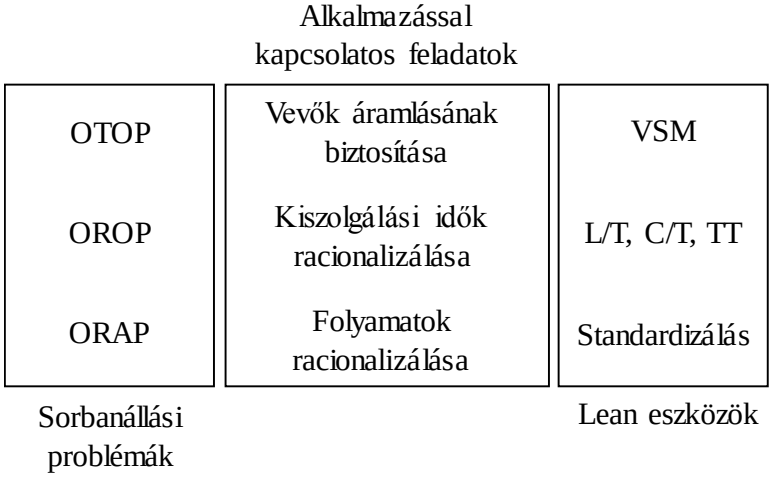
A lean menedzsment alapelvei közül az áramlás, valamint veszteségtípusai közül a várakozási veszteség az, mely összekapcsolható a sorbanállási modellekkel. A szolgáltatásnyújtás folyamatában számos olyan eset lehetséges, melynek során várakozással találkozhatunk. Azonban a várakozási veszteségek esetén több probléma is felmerül. Egyrészt a várakozást a legtöbb esetben csak valószínűségi változókkal írhatjuk le, másrészt a termelő és szolgáltató szervezetek az esetek többségében nem csak egyféle termékkel illetve szolgáltatással szerepelnek a piacon.

A szakirodalmi elemzést követően elkészítettem egy keretmodellt arról, hogy milyen lean eszközökkel lehetséges a sorbanállási elméletek alkalmazásának megkönnyítése a közszolgáltatóknál. Az *1. ábrán* látható modell fő struktúráját a Kerbache és Smith [18] által meghatározott optimalizációs problémák adják, ezekhez rendeltem hozzá logikai alapon azokat a feladatokat és lean menedzsmenttel kapcsolatos eszközöket, melyek megvalósítása a hatékony alkalmazás érdekében kulcsfontosságú.

Stratégiai időhorizonton a megfelelő sorbanállási rendszer kiválasztása, a sorbanállási hálózat csomópontjainak megtervezése tartozik a sorbanállási problémák (OTOP) megoldandó feladatai közé. Alkalmazási feladatkörként a vevők áramlásának biztosítása került hozzárendelésre, hiszen a cél az egydarabos áramlás elérése, melynek során jelentősen lecsökkenthetők, illetve akár el is hagyhatók a várakozás által generált veszteségek. Ehhez hozzájárul a komplex értékáramtérkép készítés, melynek használatával a folyamatok feltérképezésének segítségével kialakíthatók azok a kapcsolódási pontok, melyek a sorbanállási hálózat egészét a későbbiekben kiteszik. Folyamatos fejlesztés mellett a cél a rendszerben kialakuló szűk keresztmetszetek folytonos beazonosítása, valamint a feloldása.

Kerbache és Smith logikáját követve a következő lépés a taktikai időhorizonthoz tartozó problémák megoldása (OROP), azaz a vevők irányítása az adott rendszerben. Szolgáltatói oldalról a vevők irányítását olyan kiszolgálási mutatószámokkal lehet elősegíteni, mint az átfutási idő, ciklusidő, vagy ütemidő. Ezek a mutatószámok olyan kapaszkodóként szolgálhatnak a vevők irányításának biztosítása során, melyre a termelőszféra évtizedek óta biztonságosan támaszkodhat. Megjegyzendő, hogy például az egészségügy esetén, ahol a szolgáltatások különbözősége miatt a szolgáltatási idők szórása nagymértékű, szükséges ezek idők ingadozásának csökkentése is.

Az operatív időhorizonton megvalósítandó folyamatracionalizálási feladatok támogatását nagyban segítheti a folyamatok standardizálása. A folyamatok standardizálása a termelő-, illetve a szolgáltatószférában is sikeresnek mondható, hiszen abban nyújt segítséget, hogy racionalizálni lehessen a meglévő folyamatokat, ezáltal egy keretet biztosítva a megfelelő működésnek, továbbá biztosítja az előírttól való eltérés mérhetőségének lehetőségét.



1.ábra: Sorbanállási modellek alkalmazhatósági modellje lean közszolgáltatóknál

4. ESETTANULMÁNY

Egy kisebb vidéki kórházban a betegek kiszolgálásán szeretnének javítani. A fejlesztés tárgyául a szemészeti vizsgálatot választják. A folyamat első lépéseként a beteg meglátogatja háziorvosát és beutalót kér tőle a szemészeti vizsgálatra. Ezzel a beutalóval először felhívja a recepciót, ahonnan átirányítják a szemészeti osztályra, és időpontért folyamodik. Miután a vizsgálatra időpontot kapott, kivárja az adott időintervallumot, mely után ellátogat a kórházba. A recepción leadja beutalóját, és kitölti az űrlapot személyes adataival. Ezután sorszámot kap, majd várakozik, amíg sorra kerül. Amint a vizsgálat befejeződött, a doktor eldönti, hogy van-e szükség további ellátásra. Ha nem, a folyamat véget ér a beteg távozásával. Amennyiben szükséges a további betegellátás, a beteg időpontot kap problémája ellátására, majd ismét várakozik. Mikor elérkezik az ellátás időpontja a beteg újra ellátogat a kórházba, és megkapja a megfelelő kezelést, melynek végeztével újra távozik az egészségügyi intézményből, és a folyamat a végéhez ér.

A kórház vezetése úgy találta, hogy az ORAP megoldására új standardok kialakítására van szükség. A háziorvosok beutaló nélkül, a beteg adatainak segítségével előre regisztráljanak időpontot a beteg részére a szemészeten. A jövőben az időpontok menedzselésére külön kollégát foglalkoztatnak majd, aki összeköttetésben áll az ellátandó terület háziorvosaival. A kiszolgálási idők racionalizálása érdekében az OROP megoldására több hónapon keresztül megfigyelik és felmérik a folyamatok meghatározó időit. Miután kellő mennyiségű adat összegyűlik, terveik szerint képesek lesznek az időpontok pontosabb meghatározására, a várakozási idők csökkentésének, ezáltal a veszteségek minimalizálásának érdekében. A páciensek áramlásának biztosítását több éves tervezéssel és teszteléssel kívánják végrehajtani. A megfelelő sorbanállási rendszer kialakításához szükséges jelenállapot értékáramtérkép elemzése után az OTOP megoldására a teljes folyamat fejlesztésére kerül sor, akár a kiszolgálási helyek fizikai helyének megváltoztatásával, a kiszolgálási idők pontos hosszának tudatában, a betegek szemszögéből az optimális kialakításra törekedve. Az esettanulmányban szereplő intézkedési lehetőségeket a *3. táblázat* foglalja össze.

3. táblázat. A kidolgozott modell bemutatása az esettanulmányhoz kapcsolódóan.

Sorbanállási probléma	Megoldás
OTOP	Kiszolgálási helyek logikusabb elrendezése
OROP	Átfutási idő, folyamatidő, ütemidő mérése és elemzése
ORAP	Időpont-foglalási rendszer átalakítása

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Mind a sorbanállási modellek használata, mind a lean menedzsment alkalmazása jellemző a közszolgáltatóknál, azonban a két terület kapcsolatáról részletes szakirodalmi publikációt találni nehéz. Ahogyan a keretmodell illusztrálja, a két terület szorosan összekapcsolható, hiszen léteznek olyan lean eszközök, melyek segítségével kialakítható egy teljes egészében jól funkcionáló sorbanállási rendszer, mely képes lehet a veszteségek csökkentésére. Érdemes a folyamatok racionalizálásával, akár műveleti szintre való lebontásukkal kezdeni, hiszen a

vevői igénynek való megfelelés, a folyamatok vevői érték-centrikus kialakítása a szolgáltató szervezet alapjául kell hogy váljon.

A modell gyakorlati alkalmazásához mind az egészségügyben, mind más közszolgáltató szervezeteknél további kutatás szükséges.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást az EFOP-3.6.2-16-2017-00007 azonosító számú, Az intelligens, fenntartható és inkluzív társadalom fejlesztésének aspektusai: társadalmi, technológiai, innovációs hálózatok a foglalkoztatásban és a digitális gazdaságban című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap és Magyarország költségvetése társfinanszírozásában valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **NEWMAN, K.:** *Interrogating SERVQUAL: A Critical Assessment of Service Quality Measurement in a High Street Retail Bank*. International Journal of Bank Marketing, 19 (3), 126–139, 2001.

[2] **RADNOR, Z., BOADEN, R.:** *Lean in the public services: panacea or paradox*. Public Money and Management, 28 (1), 3–6, 2008.

[3] **KUNDRAK, J., MOLNAR, V., DESZPOTH, I.:** *Analysis of Machining Time and Material Removal Performance as Factors Influencing Efficiency and Profitability*. Proceedings of the 2nd VAE2018, Miskolc, Hungary, 268–279, 2018.

[4] **MOLNAR, V.:** *Indirect Impacts of Drastic Scrap Rate Reduction on Costs of Production Process in Precision Machining*. Solid State Phenomena, 261, 487–494, 2017.

[5] **MUSINSZKI, Z.:** *Innovations and cost systems trends and ways in the cost accounting*. In: Bezpartochnyi, M. (szerk.): Organizational and economic mechanisms of development of the financial system: Collective monograph. Latvia, Riga: ISMA University, 209–219, 2016.

[6] **KOCZISZKY, GY., VERES-SOMOSI, M.:** *Opportunities for Increasing Efficiency by Public Utility Organizations*. In: Ahmet Ecirli et. al. (szerk.): ICSS XI 2017: 11th International Conference on Social Sciences: Conference Proceedings, 1, Helsinki: European Center for Science, Education and Research, 142–153, 2017.

[7] **VERES-SOMOSI, M., KOCZISZKY, GY.:** *Performance-based management of public utility organizations*. In: Zeman, Z., Magda, R. (szerk): Controller Info Studies II., Budapest: Copy & Consulting Kft., 146–152, 2018.

[8] **KUMAR, M., RODRIGUES, V. S.:** *Synergetic effect of lean and green on innovation: A resource-based perspective*. International Journal of Production Economics, 2017, DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.04.007

[9] **MIKVA, M., PRAJOVA, V., YAKIMOVICH, B., KORSHUNOV, A., TYURIN, I.:** *Standardization - one of the tools of continuous improvement*. Procedia Engineering, 149, 329–332, 2016,

[10] **RADNOR, Z. J., OSBORNE, S. P.:** *Lean: a failed theory for public services?*. Public Management Review, 15 (2), 265–287, 2013.

[11] **MOLNÁR, V., KERCHNER, A.:** *A lean menedzsment alkalmazási lehetőségei a közszférában*. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban konferencia, Miskolc, 425–432, 2016.

[12] **DICKSON, E. W., SINGH, S., CHEUNG, D. S., WYATT, C. C., NUGENT, A. S.:** *Application of Lean Manufacturing Techniques in the Emergency Department*. The Journal of Emergency Medicine, 37 (2), 177–182, 2009.

[13] **FURTERER, S., ELSHENNAWY, A. K.:** *Implementation of TQM and lean Six Sigma tools in local government: a framework and a case study*. Total Quality Management, 16 (10), 1179–1191, 2005.

[14] **CREMA, M., VERBANO, C.:** *How to combine lean and safety management in health care processes: A case from Spain*. Safety Science, 79, 63–71, 2015.

[15] **VAN LENT, W. A., GOEDBLOED, N., VAN HARTEN, W. H.:** *Improving the efficiency of a chemotherapy day unit: applying a business approach to oncology*. European Journal of Cancer, 45 (5), 800–806, 2009.
[16] **ARMERO, C., BAYARRI, M. J.:** *A Bayesian analysis of a queueing system with unlimited service*. Journal of Statistical Planning and Inference, 58., 241–261, 1996.
[17] **LYNES, K., MILTENBURG, J.:** *The Application of an Open Queueing Network to the Analysis of Cycle Time, Variability, Throughput, Inventory and Cost in the Batch Production System of a Microelectronics Manufacturer*. International Journal of Production Economics, 37, 189–203, 1994.
[18] **KERBACHE, L., SMITH, J.M.:** *Queueing networks and the topological design of supply chain systems*. International Journal of Production Economics, 91 (3), 251–272, 2004.
[19] **GREEN, L.:** *Queueing Theory and Modeling*. In: Yih, Y. (szerk.): Handbook of Healthcare Delivery Systems, Taylor&Francis London, 2011.
[20] **AFRANE, S., APPAH, A.:** *Queuing theory and the Management of waiting - time in Hospitals. The case of Anglo Gold Ashanti Hospital in Ghana*. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 4 (2), 34–44, 2014.
[21] **VASS, H., SZABO, Z. K.:** *Application of Queuing Model to Patient Flow in Emergency Department. Case Study*. Procedia Economics and Finance, 32, 479–487, 2015.
[22] **ZAI, A. H., FARR, K. M., GRANT, R. W.:** *Queuing theory to guide the implementation of a heart failure inpatient registry program*. Journal of the American Medical Informatics Association, 16 (4), 516–523, 2009.
[23] **GREEN, L. V., SOARES, J., GIGLIO, J. F., GREEN, R. A.:** *Using queueing theory to increase the effectiveness of emergency department provider staffing*. Academic Emergency Medicine, 13, 61–68, 2006.
[24] **OLORUNSOLA, S. A., ADELEKE, R. A., OGUNLADE, T. O.:** *Queueing analysis of patient flow in Hospital*. IOSR Journal of Mathematics, 10, 47–53, 2014.
[25] **COCHRAN, J. K., ROCHE, K. T.:** *A multi-class queuing network analysis methodology for improving hospital emergency department performance*. Computers & Operations Research, 36 (5), 1497–1512, 2009.
[26] **BELCIUG, S., GORUNESCU, F.***: Improving hospital bed occupancy and resource utilization through queuing modeling and evolutionary computation*. Journal of Biomedical Informatics, 53., 261–269, 2015.
[27] **CHIN, C.:** *Queueing Theory and Process Flow Performance*. In Cuperus, Y., Hirota, E. H. (szerk): 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Taipei, Taiwan, 247–256, 2009.
[28] **ALENANY, E., EL BAZ, M. A.:** *Modelling a Hospital as a Queueing Network: Analysis for Improving Performance*. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering, 11 (5), 1–7, 2017.

FELSZÍN ALATTI OBJEKTUMOK ÉS FÖLDTANI SZERKEZETEK KUTATÁSA GEOELEKTROMOS TOMOGRÁFIÁVAL

EXPLORATION OF UNDERGROUND OBJECTS AND GEOLOGICAL STRUCTURES USING GEOELECTRIC TOMOGRAPHY

TURAI Endre[1], NÁDASI Endre[2], SZILVÁSI Marcell[3]

[1]CSc, Dr. habil., intézetigazgató egyetemi docens, gfturai@gold.uni-miskolc.hu
[1]Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

[2]PhD hallgató, gfne@uni-miskolc.hu,
[2]Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

[3]tanársegéd, gbmszm@uni-miskolc.hu
[3]Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,

Kivonat: *A dolgozat a felszíni geoelektromos tomográfia terepi alkalmazásaiból mutat be példákat. A bemutatott kutatások mindegyikét a Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszéke végezte. A kutatások célja a környezeti szennyezések lehatárolása és minősítése, a régészeti feltárások (eltemetett falmaradványok) segítése, a vízkutatás, a felszín alatti csővezetékek és azok sérülési helyeinek kimutatása és a földtani szerkezetek jobb megismerése volt. A terepi projektekben fajlagos ellenállás és Indukált Polarizáció (IP) tomográfiát alkalmaztunk.*

Kulcsszavak: *tomográfia, fajlagos ellenállás, Indukált Polarizáció, környezetvizsgálat, földtani kutatás.*

Abstract: *The paper presents examples from field applications of surface geoelectric tomography. Each of these explorations were made by the Geophysical Department of the University of Miskolc. The aim of the exploration was to define and qualify environmental contaminations, to assist archaeological excavations (buried wall remnants), water exploration, location of underground pipelines and their perforations, and better understanding of geological structures. Resistivity and Induced Polarization (IP) tomography were used in field projects.*

Keywords: *tomography, specific resistivity, Induced Polarization, environmental studies, geological exploration.*

1. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Geofizikai Tanszékén a geoelektromos módszerek [6] fejlesztése az 1950-es évek óta folyamatosan a Tanszék egyik fő kutatási-fejlesztési témacsoportját jelentette, és jelenti ma is [11], [4]. Ezeket a módszereket egyaránt eredményesen alkalmaztuk az ásványi nyersanyagkutatás [7], [3], [20] a vízkutatás [4], a környezetvédelem [11], [18] és a régészeti geofizika [10] területein.

A geoelektromos módszereken belül kiemelt jelentősége van az IP (Indukált Polarizáció) módszerének, amelyet az 1950-es években érckutató módszerként vezettek be [21], [5], [8] a kutatási gyakorlatba. A Geofizikai Tanszék úttörő szerepet játszott [12], [13] a laboratóriumi IP (a magyar nyelvű szakirodalomban az IP és GP – Gerjesztett Potenciál – egyaránt használatos) mérések hazai bevezetésében. Ekkor vezettük be az un. TAU-transzformációt [14], melynek segítségével időtartományban meghatározható az időállandó spektrum ($w(\tau)$), ami az IP mérés összes spektrális információját tartalmazza [15] a vonatkoztatási pont környezetében lévő kőzetek (mesterséges anyagok) összetétele és szerkezete vonatkozásában. Az 1990-es évek elejétől kezdve a módszert fokozatosan és eredményesen vezettük be a környezetvizsgálati-környezetvédelemi feladatok megoldását segítő projektekbe [9], [16],

[19], mivel a módszer szennyezésre való érzékenysége a geofizikai módszerek között a legnagyobb. A fontosabb terepi projektek azonosítóit (hely, a mérések éve) az 1. táblázatban mutatjuk be. A szennyezettséggel arányos paramétereket bevezetve [17], [18] becsülni tudjuk a szennyezés mértékét és a típusát (filtrációs, membrán, redox, fémes és dielektromos).

A cikk további részében az *1. táblázatban* bemutatott alkalmazások közül a piros háttérszínnel megjelölt projektekből mutatunk be néhány környezetvizsgálati, régészeti, vízkutatási-vízvédelmi és nyersanyag-kutatási eredményt.

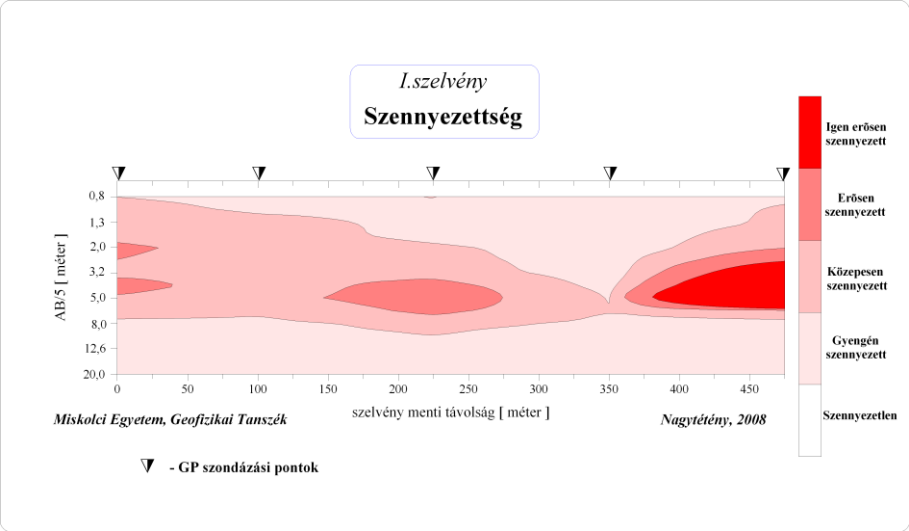
1. táblázat. A főbb terepi alkalmazások helye és ideje.

Offheim, 1992	**Ráckeve, 1997**	**Kecskemét, 1997**
Nyékládháza, 1997-2008, 2017	**Győröcske, 1999**	**Pásztó, 2000**
Tokaj, 2001	**Balmazújváros, 2002**	**Szerencs, 2004**
Tiszapalkonya, 2004	**Berekböszörmény, 2007**	**Nagytárkány, 2008**
Darvastó, 2008	**Tiszavasvári, 2008**	**Nagytétény, 2008**
Miskolc - Hejőpart, 2008-2016	**Miskolc - Bedő hegy, 2009**	**Telkibánya, 2010**
Miskolc - Salakbánya, 2010	**Miskolc - Várhegy, 2010**	**Miskolc - Gózon L. út, 2010**
Kishódos, 2010-2011	**Császló, 2010**	**Ura, 2010-2011**
Nagyecsed, 2010	**Nyírgyulaj, 2010**	**Kemecse, 2010**
Miskolc - Csanyik, 2010	**Felsőtelekes, 2011**	**Rudabánya, 2011**
Ózd, 2012	**Almásfüzitő, 2013-2014**	**Pocsaj, 2013**
Abasár, 2013-2014, 2018	**Bükkszentkereszt, 2013-2015**	**Berhida, 2014**
Pányok, 2014	**Szerencs, 2014**	**Korlát, 2014**
Abaújszántó, 2015	**Miskolc - Csanyik, 2015-2016**	**Dunapataj, 2015**
Pálháza, 2016	**Miskolc – Egyetemváros, 2016-2017**	**Bükkábrány, 2017**
Miskolc – Márton Bánya, 2017-2018	**Szentendre, 2018**	**Vác, 2018**

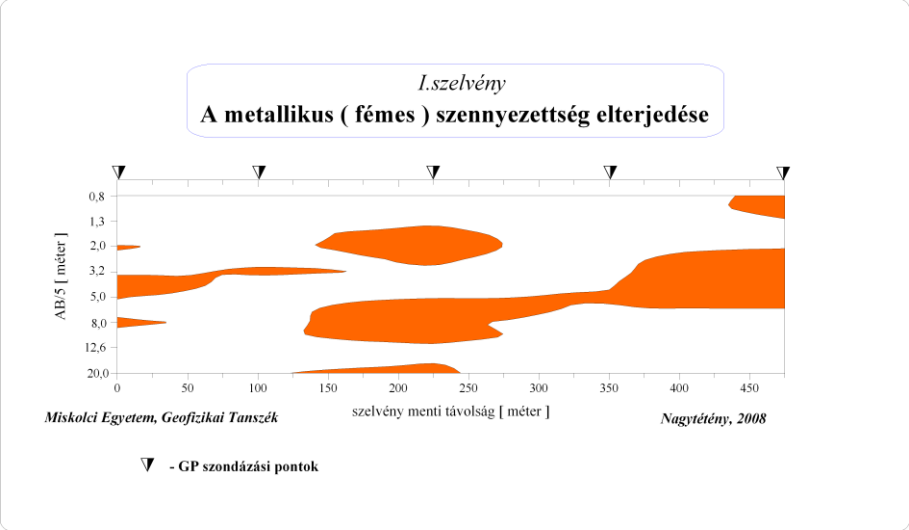
A mérések eredményeit a nemzetközi szakirodalomból közismert vékonyréteges 2D inverziós eljárást [1] alkalmazó Res2DInv szoftverrel [2] és a TAU-tanszformáción [14], [16] alapuló saját fejlesztésű programokkal dolgoztuk fel.

2. KÖRNYEZETVIZSGÁLATI ALKALMAZÁS

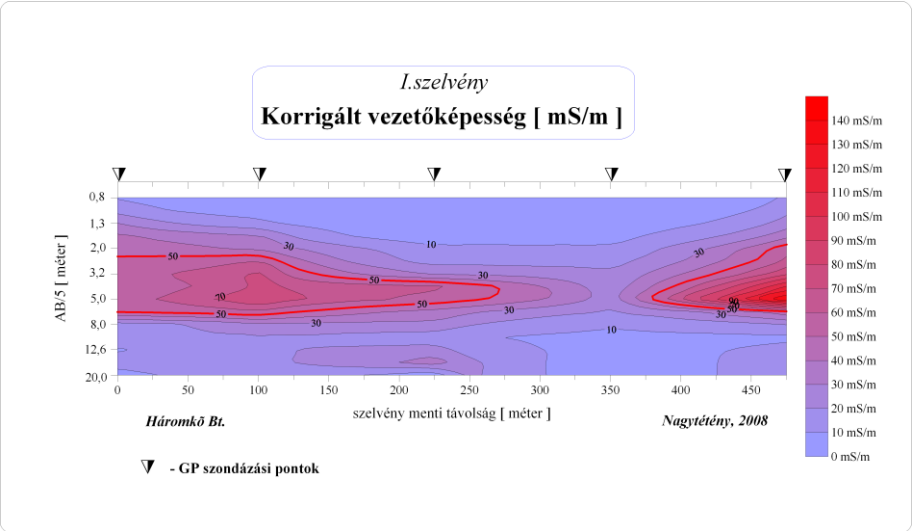
A Nagytétény területén fekvő kommunális hulladéklerakó felméréséhez 2008-ban felszíni fajlagos ellenállás és IP tomográfiát alkalmaztunk. Az *1. ábrán*, az I. szelvény alatti polarizációs szennyezettség [17] eloszlását mutatjuk be. Az ábrát szemlélve látható, hogy a hulladéklerakóban erősen és igen erősen szennyezett részek is találhatók, melyeket a nagy időállandójú fémes szennyezés (2. ábra) okozott. A *3. ábrán* közölt korrigált vezetőképesség paraméter [11] eloszlása jól korrelál a szennyezettség képével (1. ábra).



1. ábra: A polarizációs szennyezettség mértéke, Nagytétény I. szelvény (forrás: [19]).



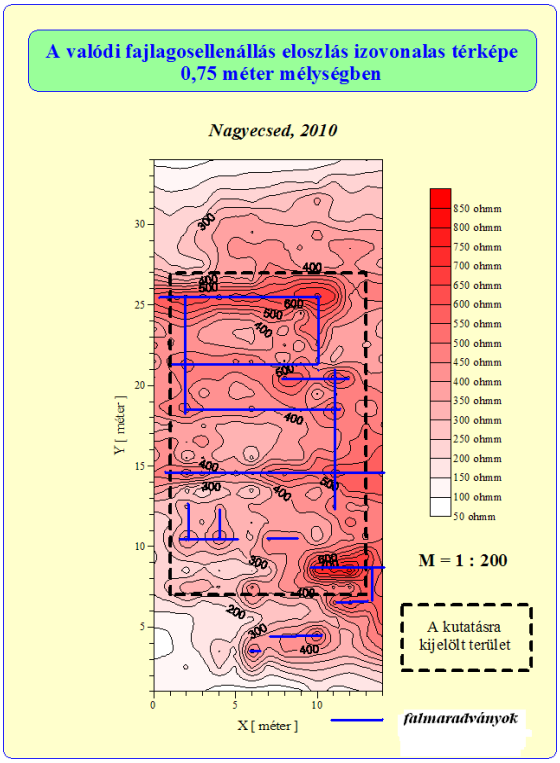
2. ábra: A fémes szennyezettség elterjedése, Nagytétény I. szelvény (forrás: [19]).



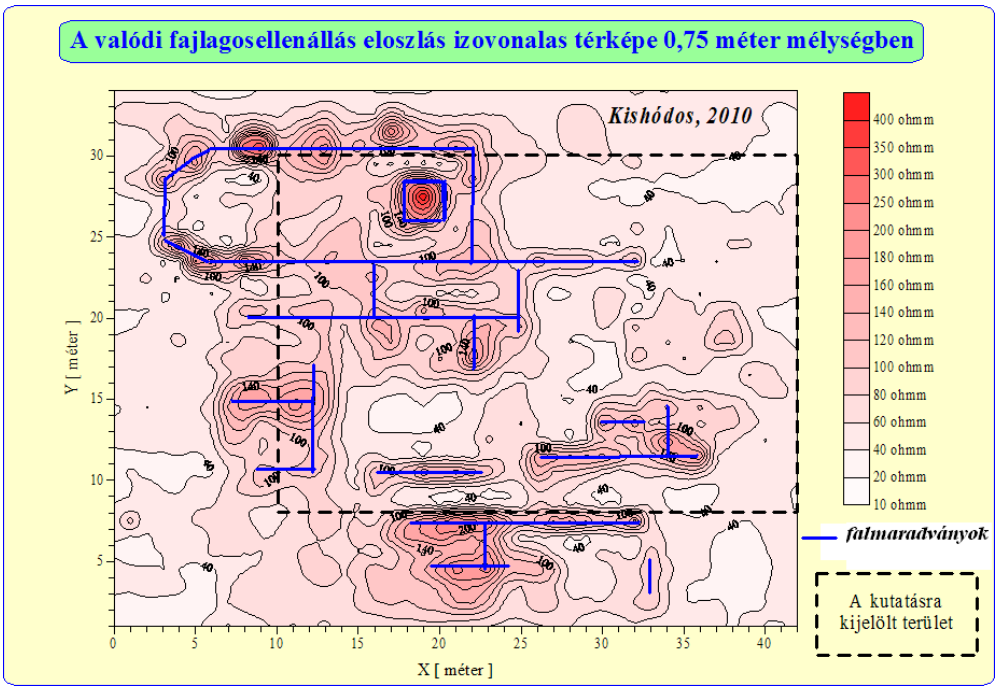
3. ábra: A korrigált vezetőképesség eloszlása, Nagytétény I. szelvény (forrás: [19]).

3. RÉGÉSZETI ALKALMAZÁSOK

Nagyecsed mellett, egy eltemetett kolostor falait mutatják a 4. ábrán látható horizontális fajlagos ellenálláskép maximum vonulatai. Szintén az ellenállás maximum zónák alapján tudtuk kijelölni az *5. ábrán* bemutatott templom és melléképületeinek eltemetett falmaradványait 0,75 méteres mélységben, Kishódos külterületén.



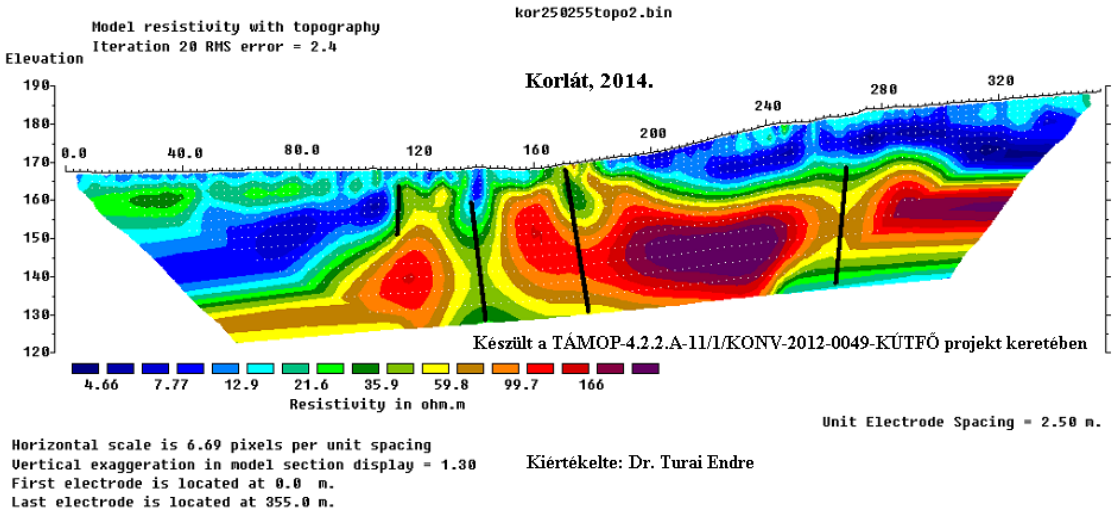
4. ábra: Eltemetett kolostor falmaradványainak kijelölése, Nagyecsed (forrás: [10]).



5. ábra: Eltemetett templom falmaradványainak kijelölése, Kishódos (forrás: [10]).

4. VÍZKUTATÁS

A KÚTFŐ TÁMOP projekt keretében (2014-2015) termálvíz-kutatási célú fajlagos ellenállás és IP tomográfiai méréseket végeztünk a Hernád-vonal mentén (Pányok, 2014; Korlát, 2014; Szerencs, 2014 [4] és Abaújszántó, 2015). A *6. ábra* a korláti egyik fajlagos ellenállás szelvényt mutatja, melyen jól látható a Hernád folyó irányával párhuzamos kettős törés (vetőrendszer), amely a felszín közelébe hozta a Korláti vízmű pozitív kútjának vizét.



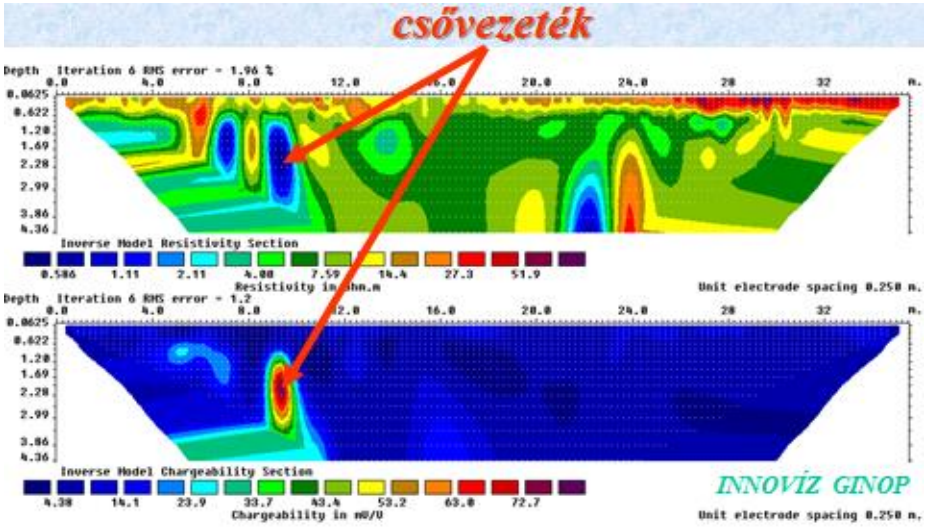
6. ábra: A fajlagos ellenállás vertikális eloszlásképe, Korlát 2014.

5. CSŐVEZETÉKEK KIMUTATÁSA

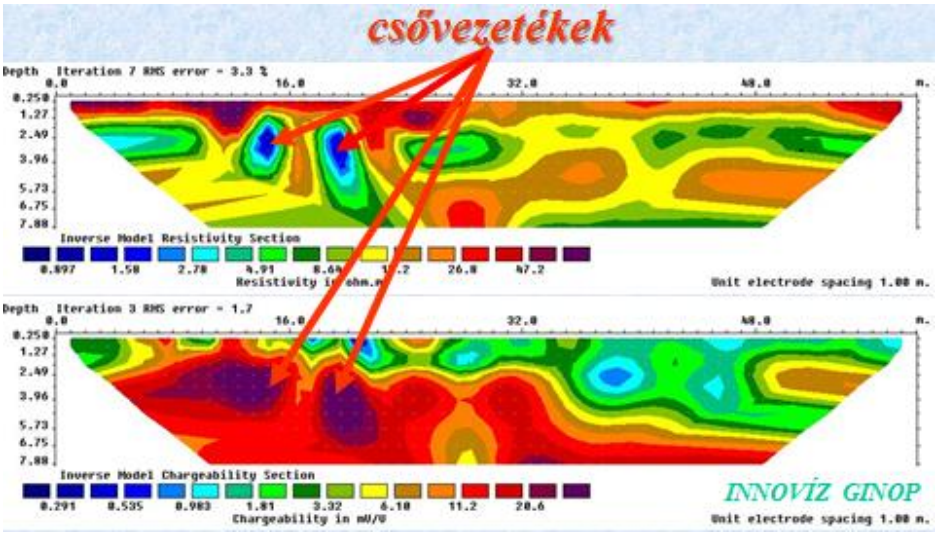
Az INNOVÍZ GINOP projekt 3. moduljának fő feladata a felszín közeli vízvezetékek sérülései következtében előálló veszteségek csökkentése, a vezetékek sérülési helyeinek megkeresésével. A feladat megoldásához eredményesen használhatók a felszíni geoelektromos tomográfiai mérések. A 7. ábrán a Miskolci Egyetem területén található egyik csővezeték felett végrehajtott fajlagos ellenállás (7. ábrán fent) és IP (7. ábrán lent) tomográfia 2D inverziós feldolgozásának eredménye látható. A csővezeték helye a kis fajlagos ellenállás (jó elektromos vezető, 7. ábrán fent) és relatíve magas IP tölthetőségi (7. ábrán lent) anomália alapján jelölhető ki.

Ugyancsak az Egyetemváros területén mért másik szelvény fajlagos ellenállás (8.a ábra) és IP tölthetőség (8.b ábra) eloszlásképe látható a 8. ábrán. Ezen szelvény alatt egy kettős csővezeték helyzetét sikerült pontosítani. A csővezetékek helyének pontos meghatározására a közműtérképek hiányosságai, illetve pontatlanságai miatt van szükség.

Az INNOVÍZ projekt 2. moduljában a talajállapotok méréssel történő jellemzésére végzünk felszíni geofizikai méréseket több mintaterületen. Eddig Disznókő területén történtek földradar, geomágneses és VLF (Very Low Frequency) elektromágneses mérések. A terepi mérések kiértékelése azt mutatta, hogy a talajállapotok minősítéséhez nagyobb felbontású geofizikai paraméterképek szükségesek, melyeket a csővezetékek kimutatásánál alkalmazott – az előzőekben bemutatott – fajlagos ellenállás és IP tomográfia alkalmazásával tervezünk megoldani. Az alkalmazandó elektróda elrendezés és a szükséges minimális elektródaköz megtervezéséhez numerikus számítások (modellezések) elvégzésére van szükség.



7. ábra: A valódi fajlagos ellenállás (fent) és a valódi IP tölthetőség (lent) vertikális eloszlása csővezetéket tartalmazó vertikális metszetben a Miskolci Egyetem területén.

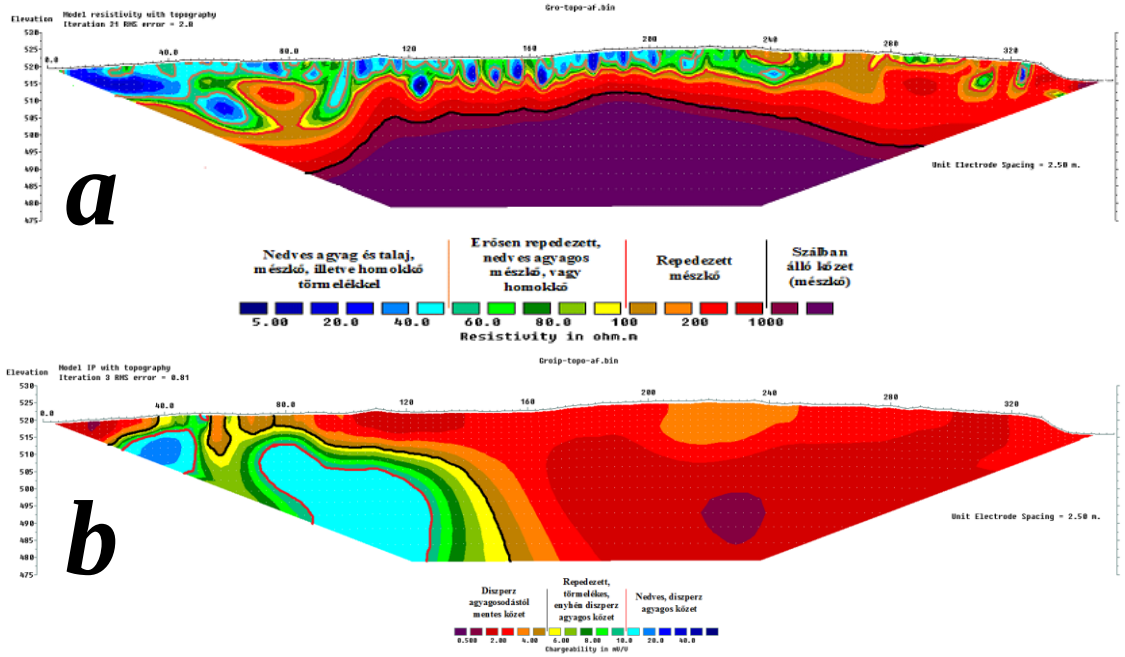


8. ábra: A valódi fajlagos ellenállás (fent) és a valódi IP tölthetőség (lent) vertikális eloszlása két csővezetéket tartalmazó vertikális metszetben a Miskolci Egyetem területén.

6. MÉSZKŐBÁNYÁSZATI KUTATÁS

Egy cementipari felhasználású mészkőbánya területén végeztünk 2018. márciusában [20] fajlagos ellenállás és IP tomográfiai méréseket, a bányászati művelés távlati tervezésének segítése céljából. A méréseknek a jó minőségű mészkő térbeli helyzetének a meghatározása volt a célja.

A *9. ábrán* a kutatás egyik szelvénye alatt kapott fajlagos ellenállás (9.a ábra) és IP tölthetőség (9.b ábra) eloszlásképeit közöljük, melyek segítségével kijelölhető volt a mészkőben elhelyezkedő – a 9.b ábrán kék színárnyalatokkal látható – homokköves zóna, amely nem hasznosítható cementipari alapanyagként. Az IP tomográfia nélkül – amennyiben csak a fajlagos ellenállás méréseket végeztük volna el – ezt a 9.a ábra szerint nagy fajlagos ellenállással jellemezhető részt is jó minőségű mészkőnek lehetett volna értelmezni.



9. ábra: A valódi fajlagos ellenállás (a) és a valódi IP tölthetőség (b) vertikális eloszlása egy homokkő betelepülést tartalmazó mészköves rétegsorban (forrás: [20]).

7. AZ EREDMÉNYEK ÖSSZEGZÉSE

A bemutatott geoelektromos tomográfia (fajlagos ellenállás és IP) eredményi igazolták, hogy ezeknek a geofizikai méréseknek az adatai jól felhasználhatóak számos környezetvizsgálati-környezetvédelmi, régészeti, vízkutatási, vízbázis védelmi és ásványi nyersanyag-kutatási feladat megoldásánál. Az INNOVÍZ GINOP projekt keretében a továbbiakban is tervezzük a dolgozatban bemutatott tomográfiai módszerek alkalmazását.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, az „INNOVÍZ-Innovatív megoldások a felszín alatti vízkészletek fenntartható hasznosítása érdekében” című GINOP-2.3.2-15-2016-00031 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BARKER, R., D.:** *A simple algorithm for electrical imaging of the surface,* First Break, 10, 53-62.

[2] **GEOTOMO SOFTWARE:** *Res2DINV 3.55,* Malaysia, www.geoelectrical.com .

[3] **GYULAI, Á., ORMOS, T., DOBROKA, M., TURAI, E., SASVARI, T., FEJES, Z.:** *In-mine geoelectric investigations for detecting tectonic disturbances in coal seam structures,* ACTA GEOPHYSICA 61(5), 1184-1195, 2013.

[4] **GYULAI, Á., SZŰCS, P., TURAI, E., BARACZA, M. K., FEJES, Z.:** *Geoelectric Characterization of Thermal Water Aquifers Using 2.5D Inversion of VES Measurements,* SURVEYS IN GEOPHYSICS 38(2), 503-526, 2017.

[5] **KELLER, G. W., FRISCHKNECHT F. C.:** *Electrical Methods in Geophysical Prospecting,* Pergamon Press, Oxford, 1966.

[6] **KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I.:** *An Introduction to Geophysical Exploration*, Blackwell Publishing Company, Oxford, 2002.
[7] **ORMOS, T., GYULAI, Á., TURAI, E.:** *Közlekedésépítési andezit geofizikai kutatása*, BÁNYÁSZATI ÉS KOHÁSZATI LAPOK-BÁNYÁSZAT 136(6), 431-438, 2003.
[8] **SUMNER, J. S.:** *Principles of Induced Polarization for Geophysical Exploration*, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1976.
[9] **TURAI, E., ELSEN, R., LIMBROCK, K.:** *Analysis of IP time-domain data measured above a waste site near Offheim using TAU-transformation of IP chargeability curves*, TEMPUS pr. Report, DMT Institute for Applied Geophysics, Bochum, 1992.
[10] **TURAI, E., HURSÁN, L.:** *2D inversion processing of geoelectric measurements with archaeological aim*, Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 47(2), 245-255, 2012.
[11] **TURAI, E., NÁDASI, E., SZILVÁSI, M.:** *A geoelektromos geofizikai módszerek terepi alkalmazásának új eredményei a környezetvizsgálatok területén*, Műszaki tudomány az Észak-Kelet Magyarországi régióban 2016, ISBN:978-963-7064-33-3, Miskolc, Debrecen, 680-689, 2016.
[12] **TURAI, E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus paramétereinek meghatározása kőzetmintákon*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 19-25,1978.
[13] **TURAI, E.:** *A gerjesztett polarizáció (GP) dinamikus kőzetfizikai paramétereinek meghatározására szolgáló műszer-módszer továbbfejlesztése*, Kutatási jelentés, Nehézipari Műszaki Egyetem, Miskolc, 8-44, 1979.
[14] **TURAI, E.:** *GP time-domain görbék TAU-transzformációja*, Magyar Geofizika XXII/1, 29-36, 1981.
[15] **TURAI, E.:** *TAU-Transformation of Time-Domain IP Curves*, ANNALES Univ. Scien. Budapestinensis de Rolando Eötvös Nom. I-II, 182-189, 1988.
[16] **TURAI, E.:** *IP Data processing results from using TAU-transformation to determine time-constant spectra*, Geophysical Transactions 44, 301-312, 2004.
[17] **TURAI, E.:** *Data Processing Method Developments using TAU-transformation of time domain IP data*, Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica 46(4), 391-400, 2011.
[18] **TURAI, E.:** *Application possibilities of IP method in the fields of environmental protection, ore- and direct hydrocarbon exploration*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 161-166, 2012.
[19] **TURAI, E.:** *Some field measurement results of IP method*, GEOSCIENCES AND ENGINEERING 1(2), 167-172, 2012.
[20] **TURAI, E.:** *Geoelektromos tomográfiai mérések végzése a Sejcei bányaüzem területén*, Kutatási jelentés, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2018.
[21] **WAIT, J. R.:** *Overvoltage Research and Geophysical Applications*, Pergamon Press, London, 1959.

MAGYARORSZÁGI CSAPADÉK ÉS TALAJVÍZSZINT ADATOK SPEKTRÁLIS ELEMZÉSE

SPECTRAL ANALYSIS OF RAINFALL AND GROUNDWATER LEVEL DATA IN HUNGARY

TURAI Endre[1], ILYÉS Csaba[2], SZŰCS Péter[3]

[1]CSc, Dr. habil., intézetigazgató egyetemi docens, gfturai@gold.uni-miskolc.hu
[1]Miskolci Egyetem, Geofizikai és Térinformatikai Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

[2]tudományos segédmunkatárs, hgilyes@uni-miskolc.hu
[2]Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

[3]DSc, Dr. habil., tanszékvezető egyetemi tanár, dékán, kutatócsoport vezető, hgszucs@uni-miskolc.hu,
[3]Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, H-3515, Miskolc-Egyetemváros,
[3]Miskolci Egyetem, MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, H-3515, Miskolc-Egyetemváros.

Kivonat: *A dolgozat a napi mintavételezésű 110 éves csapadék idősorok spektrumait vizsgálja Magyarország négy városa (Debrecen, Budapest, Pécs és Szombathely) területén. Elemzi a spektrumok változékonyságát és kimutatja a domináns determinisztikus ciklusokat. A talajvíz adatok havi mintavételezésű idősorainak (Debrecen, Nyírcsászári és Kocsér) spektrumai alapján meghatározza a talajvíz változás determinisztikus ciklusait. A csapadék és a talajvíz idősorok spektrumainak együttes vizsgálatával kimutatja a két paraméter időfüggésében kölcsönösen meglévő determinisztikus ciklusokat.*

Kulcsszavak: *spektrális elemzés, csapadék idősorok, talajvíz idősorok, domináns determinisztikus ciklusok.*

Abstract: *The paper examines the spectra of the daily sampled 110-year long rainfall time series in the four cities of Hungary (Debrecen, Budapest, Pécs and Szombathely). It analyzes spectral variability and detects dominant deterministic cycles. Based on the monthly sampled time series of the groundwater data (in Debrecen, in Nyírcsászári and in Kocsér), paper determines the deterministic cycles of groundwater change. By simultaneously examining the spectra of rainfall and groundwater time series, the mutually existing deterministic cycles in the time dependence of the two parameters are detected.*

Keywords: *spectral analysis, rainfall time series, groundwater time series, dominant deterministic cycles.*

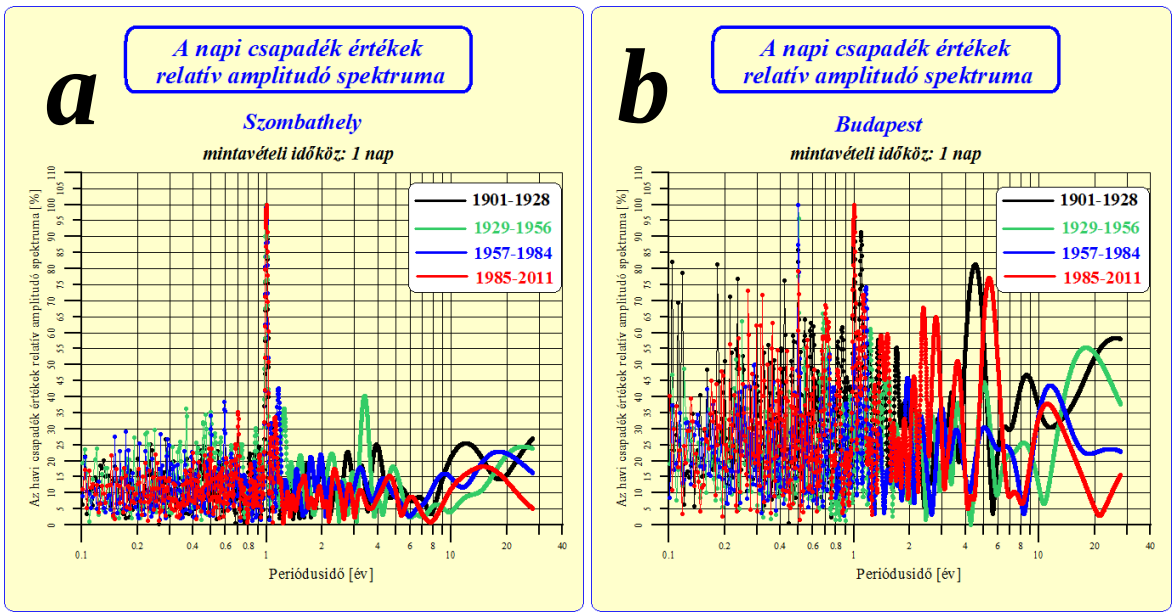
1. BEVEZETÉS

Az ivóvíz- és az energiaigény kielégítése napjaink egyik legfontosabb globálisan megoldandó feladatai közé tartozik. A jövőben ennek a kihívásnak a súlya egyes becslések szerint progresszíven fog növekedni, összefüggésben a klímaváltozással. A lehullott csapadék mennyisége és annak időbeli változásai hatással vannak a felszín alatti vízbázisok mennyiségi és minőségi jellemzőire. A felszín alatti vízbázisok pedig – a kőzetmátrix mellett – a geotermikus energia kinyerése és tárolása szempontjából játszanak jelentős szerepet. A hidrometeorológiai paraméterek (csapadék, talajvízszint, stb.) időbeli regisztrátumaiból a ciklikus változások mértéke (amplitúdója) és periódushossza a Fourier transzformáción [1], [2], [6] alapuló spektrális elemzésekkel [5] kimutatható. A közel két évtizede elkezdett kutatásaink célja a hidrometeorológiai paraméterek idősoraiban meglévő determinisztikus ciklusok kimutatása és ezek okainak a feltárása. A spektrumok saját fejlesztésű szoftverrel [7] történt számításai mellett keresztkorrelációs függvények és konvolúciós szűrések (wavelet transzformációk) [8] segítségével meghatároztuk egyes ciklusok bekövetkezési időszakait [3], valamint azt, hogy egy-egy év környezetében az egyes ciklusok milyen valószínűséggel

következnek be. Feltételezve, hogy a determinisztikus ciklusok a közeljövőben is kifejtik hatásukat, prognosztizáltuk [4], [5] a csapadék idősorok várható alakulását. A prognózist validáltuk is [4] Debrecen területére, a 2010 és 2016 közötti időszakban. Ebben a dolgozatban a napi mintavételezésű csapadék adatok és a havi mintavételezésű csapadék és talajvízszint adatok spektrális elemzésének eredményeit mutatjuk be.

2. A NAPI MINTAVÉTELEZÉSŰ, 110 ÉV HOSSZÚSÁGÚ CSAPADÉK IDŐSOROK SPEKTRUMAI

Az 1901 január 1. és 2010. december 31. közötti napi mintavételi közű csapadék idősorok spektrumait négy magyarországi város (Debrecen, Budapest, Pécs és Szombathely) estében számítottuk ki. A regisztrálási intervallumot mindegyik város esetében négy egyenlő időszakra osztva megvizsgáltuk, hogy a spektrális információ mennyire változik az egyes időszakokban. Ezzel arra a klímaváltozási kérdésre szerettünk volna választ kapni, hogy a csapadék ciklusok hossza valóban rövidül-e. A négy város közül Szombathely esetében (1.a ábra) a ciklusok stabilitása, míg Budapesten (1.b ábra) az időbeli változékonyság a legnagyobb. A Debrecen (2.a ábra) és a Pécs (2.b ábra) területére számított spektrumok változékonysága hasonló, a budapesti és pécsi változékonyság közé esik.

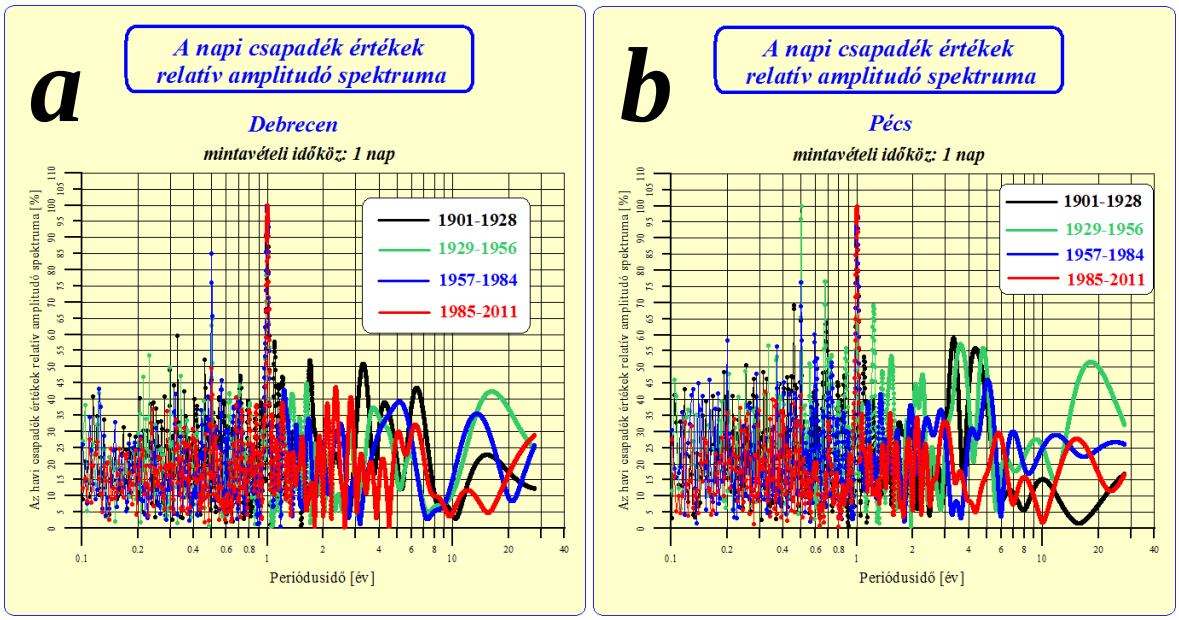


1. ábra: A napi mintavételezésű spektrumok (*a*) Szombathelyen és (*b*) Budapesten.

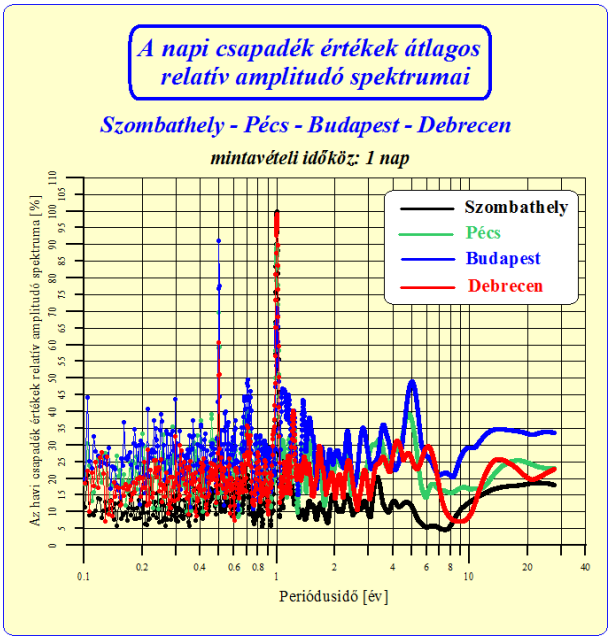
A teljes 110 éves időszakra meghatározott átlagos spektrumokat a *3. ábrán* mutatjuk be, piros vonallal Debrecen, kékkel Budapest, zölddel Pécs és fekete színnel Szombathely esetére. Az 1. táblázatban összefoglaltuk a legdominánsabb 10 ciklus hosszait és zárójelben a maximális amplitúdóra normált, un. relatív súlyait. A táblázat alapján megállapítható, hogy a piros betűszínnel látható 1 év, 0,5 év, 0,7 év és a 0,3-0,4 év hosszúságú ciklusok mind a négy város csapadék adatsorában kimutathatók, míg a kék betűszínnel feltűntetett 1,23 éves ciklus három város (Debrecen, Budapest és Pécs) adatsorában megtalálható, azonban a legnyugatabbra található Szombathelyen már nem mutatható ki.

A 2. táblázat bemutatja, hogy a legnagyobb súlyú közel 1 éves ciklus hossza pontosan hány napos az egyes városok esetében felvett négy időintervallumban, valamint a legutolsó sorban feltüntettük a változás terjedelmét (a maximális és a minimális érték különbségét) is. A

terjedelem itt is Budapest esetében a legnagyobb (18,7 nap), míg Szombathelyen a legkisebb (1,5 nap).



2. ábra: A napi mintavételezésű spektrumok (*a*) Debrecenben és (*b*) Pécsen.



3. ábra: A napi mintavételezésű átlagos spektrumok Debrecenben, Budapesten, Pécsen és Szombathelyen.

Amennyiben a csapadék ciklusok valóban országosan rövidülnének, akkor mind a négy város esetében az 1901-1928 időszakban kellett volna a legnagyobb, míg az 1985-2011 időszakban pedig a legkisebb értékeket kapnunk. Mint látható ez egyik város esetében sem igaz, ezért a csapadék ciklusok rövidülését az elvégzett elemzésünk nem igazolta.

1. táblázat. A legdominánsabb 10 ciklus hosszai és relatív súlyai.

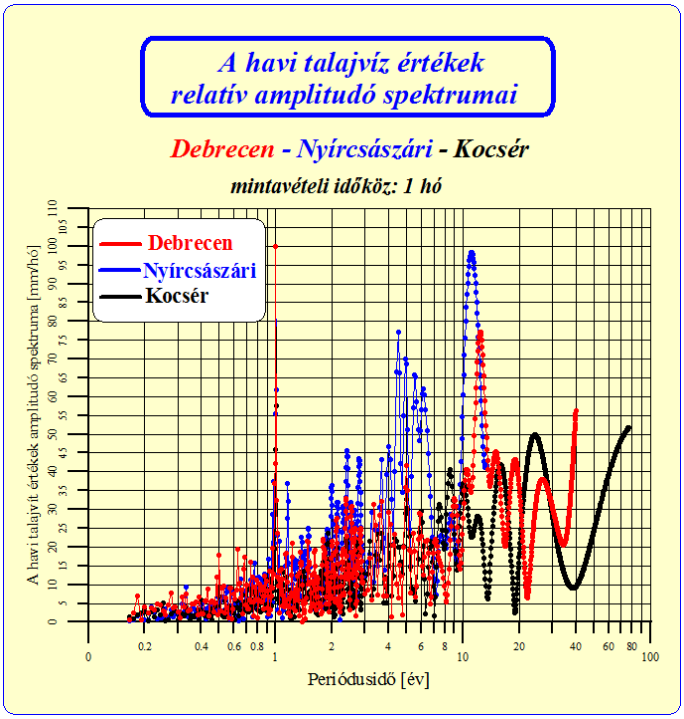
sorszám	Debrecen (relatív súly)	Budapest (relatív súly)	Pécs (relatív súly)	Szombathely (relatív súly)
1.	1 év (99,1%)	0,5 év (91,2%)	1 év (90,1%)	1 év (99,7%)
2.	0,5 év (60,8%)	1,01 év (71%)	0,5 év (69,7%)	0,5 év (26,0%)
3.	1,22 év (40,3%)	0,71 év (49,6%)	0,7 év (39,9%)	1,15 év (24,2%)
4.	0,73 év (33%)	5,03 év (49%)	4,84 év (39,3%)	0,71 év (21,0%)
5.	0,3 év (32,7%)	1,1 év (46,6%)	0,46 év (39,3%)	1,05 év (20,9%)
6.	4,22 év (31,2%)	1,15 év (45%)	0,4 év (37,3%)	0,37 év (20,9%)
7.	1,67 év (29,8%)	0,3 év (43,7%)	1,23 év (35,7%)	3,32 év (20,4%)
8.	6,09 év (29,6%)	1,37 év (43,4%)	0,29 év (35,5%)	0,87 év (20,2%)
9.	3,56 év (26,6%)	1,23 év (40,3%)	3,43 év (31,9%)	0,64 év (20,1%)
10.	14,2 év (25,8%)	0,54 év (40%)	1,51 év (31,2%)	23 év (18,7%)

2. táblázat. A közel 1 éves ciklus pontos hossza a négy város esetében.

időszak	Debrecen [nap]	Budapest [nap]	Pécs [nap]	Szombathely [nap]
1901-1928	366,6	366,5	366,8	365,4
1929-1956	364,4	349	363,7	364,4
1957-1984	364,6	367,7	366,9	365,5
1985-2011	366,6	366,9	365,7	365,9
terjedelem	2,2	18,7	3,2	1,5

3. A HAVI MINTAVÉTELEZÉSŰ TALAJVÍZ IDŐSOROK SPEKTRUMAI

A havi mintavételi közű talajvízszint idősorok spektrumait az 1901 és 2011 közötti 110 éves intervallumban két egymáshoz közeli (Debrecen, Nyírcsászári) és egy távolabbi (Kocsér) helyen számítottuk ki. A spektrumokat a 4. ábra, a determinisztikus ciklusok hosszait és relatív súlyait pedig a 3. táblázat szemlélteti.



4. ábra: A havi mintavételi időközű talajvízszint idősorok spektrumai Debrecen (piros), Nyírcsászári (kék) és Kocsér (fekete) területén.

3. táblázat. A legdominánsabb ciklusok hosszai és relatív súlyai a talajvízszint idősorokban.

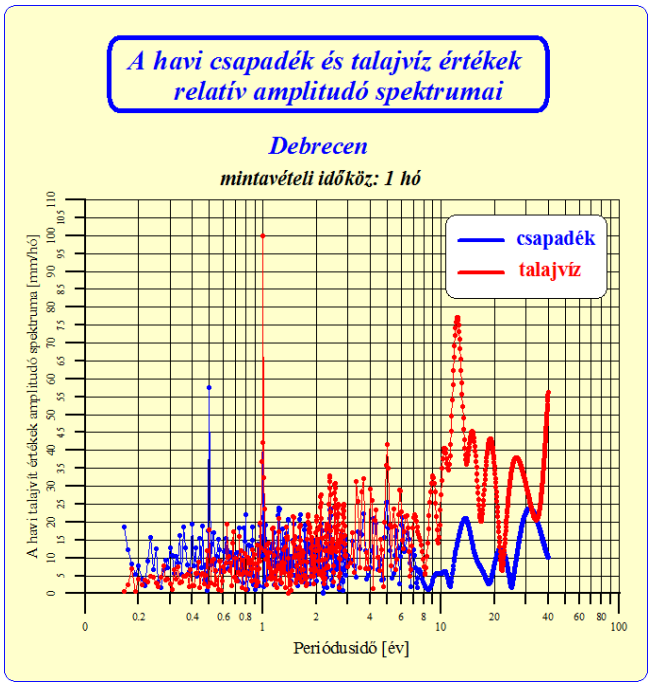
Sorszám	Debrecen (relatív súly)	Nyírcsászári (relatív súly)	Kocsér (relatív súly)
1.	1 év (100%)	1 év (100%)	1 év (100%)
2.	12,3 év (77,3%)	11,1 év (98,3%)	24,2 év (49,9%)
3.	15 év (45,4%)	4,5 év (77,2%)	15,8 év (41,9%)
4.	18,9 év (43,2%)	4,9 év (70,1%)	8,5 év (40,6%)
5.	5 év (41,7%)	5,5 év (65,8%)	10,1 év (37,2%)
6.	10,5 év (40,7%)	6,2 év (62,1%)	5 év (32,6%)
7.	26,6 év (38,1%)	4 év (46,8%)	7,5 év (31,4%)
8.	9 év (32,9%)	2,4 év (45,5%)	6 év (29,5%)
9.	2,4 év (32,9%)	2,8 év (43,5%)	12 év (28,3%)
10.	3,7 év (32,2%)	3,7 év (43,2%)	1,9 év (23,7%)
11.	3,3 év (31,4%)	0,98 év (37,4%)	3,7 év (23,6%)

A *3. táblázatot* vizsgálva megállapítható, hogy piros betűszínű 1 év, 3,7 év, 5 év és 11-12 év hosszúságú ciklusok mind a három helyen kimutathatók a talajvízszint idősorában. Az egymáshoz közeli Debrecen és Nyírcsászári esetében közös ciklusként jelenik meg még a 2,4 éves ciklus is, azonban ez a ciklus Kocsér területén már nem mutatható ki.

4. A HAVI MINTAVÉTELEZÉSŰ CSAPADÉK ÉS TALAJVÍZ IDŐSOROK SPEKTRUMAI DEBRECEN TERÜLETÉN

Debrecen estében megvizsgáltuk, hogy vannak-e közös ciklusok a havi mintavételezési közű csapadék és talajvízszint idősorokban. Az 5. ábrán kék színnel a csapadék, piros színnel pedig a talajvízszint spektruma látható. A domináns determinisztikus ciklusok hosszát és relatív súlyát a 4. táblázatban foglaltuk össze.

A 4. táblázatot alapján megállapítható, hogy Debrecenben a csapadék és a talajvízszint változásban a piros betűszínnel feltüntetett 1 éves, 2,4 éves, 3,67 éves és 5 éves ciklusok egyaránt kimutathatók. A talajvíz spektrumában megjelenő 12,3 éves ciklus a csapadék idősorában 13,7 évnél mutatható ki, míg a 26,6 éves talajvíz ciklus a csapadék esetében szintén nagyobb – 31,5 éves – periódushossznál jelenik meg.



5. ábra: A havi mintavételezésű csapadék és talajvízszint idősorok spektrumai Debrecenben.

5. ÖSSZEFOGLALÁS, ÉRTÉKELÉS

A napi mintavételezésű 110 év hosszúságú csapadék idősorok elemzése alapján megállapítható, hogy Magyarország területén az 1 éves, a 0,5 éves, a 0,7 éves és a 0,3-0,4 éves ciklusok mögött feltehetően regionális determinisztikus okok állnak.

Az 1 éves ciklus változása a vizsgált négy 27 év hosszúságú részintervallumokban igen kicsi, mindössze néhány napos. A legkisebb a változás terjedelme (1,5 nap) Szombathely területén, míg a legnagyobb (18,7 nap) Budapest esetében. Az 1,23 éves ciklus Debrecen, Budapest és Pécs területén mutatható ki, azonban Szombathelyen nem jelentkezik. A spektrumok ingadozása Szombathely esetében a legkisebb, míg Budapesten a legnagyobb.

4. táblázat. A legdominánsabb ciklusok hosszai és relatív súlyai Debrecen területén a csapadék és a talajvízszint idősorokban.

Debrecen sorszám	csapadék (relatív súly)	talajvíz (relatív súly)
1.	1 év (100%)	1 év (100%)
2.	0,5 év (57,6%)	12,3 év (77,3%)
3.	4,92 év (25,5%)	15 év (45,4%)
4.	1,23 év (24%)	18,9 év (43,2%)
5.	31,5 év (23,8%)	5 év (41,7%)
6.	2,39 év (23,6%)	10,5 év (40,7%)
7.	3,67 év (22,4%)	26,6 év (38,1%)
8.	1,62 év (22,2%)	9 év (32,9%)
9.	0,8 év (22,1%)	2,38 év (32,9%)
10.	6,08 év (21,4%)	3,67 év (32,2%)
11.	13,7 év (21,1%)	3,33 év (31,4%)

A havi mintavételezésű talajvízszint idősorok spektrumait három mérőállomáson (Debrecen, Nyírcsászári és Kocsér) vizsgálva megállapítható, hogy az 1 éves, a 3,7 éves, az 5 éves és a 11-12 éves ciklusok mindhárom helyen kimutathatók, így feltehetően ezek mögött determinisztikus okok állnak. A 2,4 éves ciklus csak az egymáshoz közeli helyeken (Debrecen és Nyírcsászári) jelentkezik, a távolabbi Kocsér területén nem mutatható ki, ezért valószínű, hogy ennek a ciklusnak lokális oka van.

A havi mintavételezésű csapadék és talajvízszint idősorok spektrumait Debrecen területén vizsgálva látható, hogy az 1 éves, a 2,5 éves, a 3,7 éves, és az 5 éves ciklus mindkét paraméter idősorában megjelenik, ezért ezeket a ciklusokat olyan determinisztikus hatások okozzák, amelyek mind a csapadék, mind pedig a talajvízszint periodikus változását kiváltják. Mindkét paraméter idősorában kimutatható két hosszabb idejű ciklus is, azonban ezek nem pontosan ugyanazzal a periódusidővel jelentkeznek. A talajvíz spektrumában megjelenő 12,3 éves ciklus a csapadék idősorában 13,7 évnél mutatható ki, míg a 26,6 éves talajvíz ciklus a csapadék esetében szintén nagyobb – 31,5 éves – periódushossznál jelenik meg.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt alapján, a "Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése" című PULSE GINOP-2.3.2-15-2016-00010 azonosító számú projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **BATH, M.:** *Spectral Analysis in Geophysics,* Elsevier Scien. Publ. Co., Amsterdam - Oxford - New York, 1974.

[2] **BRACEWELL, R. N.:** *The Fourier Transform and its Applications,* McGraw - Hill Book Co., Oxford, 1978.

[3] **ILYÉS, CS., TURAI, E., SZŰCS, P., ZSUGA, J.:** *Examination of the cyclic properties of 110 – year – long precipitation time series,* ACTA MONTANISTICA SLOVACA, 22(1), 1-11, 2017.

[4] **ILYÉS, CS., TURAI, E., SZŰCS, P.:** *Examination of rainfall data for 110 years using spectral and wavelet analysis,* CENTRAL EUROPEAN GEOLOGY, 61(1), 1-15 2018.

[5] **KOVÁCS, F., TURAI, E.:** *A Mátra-Bükkalja csapadék jellemzői ciklikus változása, prognózis módszer megalkotása,* HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY, 94(1), 35-45, 2014.

[6] **MESKÓ, A.:** *Digital Filtering,* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1984.

[7] **TURAI, E.:** *A Fourier transzformáció egy numerikus módszerre és alkalmazása a GP-jelenség rendszerjellemző függvénnyel történő leírásánál,* MAGYAR GEOFIZIKA, 24(1.), 11-19, 1983.

[8] **TURAI, E.:** *Spektrális adat- és információfeldolgozás,* egyetemi jegyzet, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2005.

A MŰSZAKI ELLÁTOTTSÁG FEJLESZTÉSE A TEJTERMELÉSBEN

DEVELOPMENT OF THE TECHNICAL EQUIPMENT IN DAIRY

VÁNTUS András[1], HAGYMÁSSY Zoltán[2], CSATÁRI Nándor [3]

[1]Ph.D., egyetemi adjunktus, vantus@agr.unideb.hu
[1]Debreceni Egyetem, Agrár-műszaki Tanszék, H-4032, Debrecen, Böszörményi út 138.

[2]Ph.D., egyetemi docens, hagymassy@agr.unideb.hu
[2]Debreceni Egyetem, Agrár-műszaki Tanszék, H-4032, Debrecen, Böszörményi út 138.

[3]Ph.D., tudományos segédmunkatárs, csatarin@agr.unideb.com
[3]Debreceni Egyetem, Agrár-műszaki Tanszék, H-4032, Debrecen, Böszörményi út 138.

Kivonat: *A szerzők 4 tejtermelő tehenészet, utóbbi 4 éves időtartamban végzett műszaki fejlesztéseit és annak hatásait vizsgálták Hajdú-Bihar megyében. Az adatokat módszeres megfigyeléssel, szóbeli interjúval és dokumentum-elemzéssel gyűjtötték. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a tejkvóta 2015. évi megszűnése ellenére a vizsgált gazdaságokban a termelt illetve értékesített tej mennyisége növekedett, és az értékesítés is zökkenőmentes volt. A fejlesztéseket követően mindegyik gazdaságban javultak a munkatermelékenységi mutatók. Az is látható volt, hogy a korszerű termelési körülmények ellenére jelentős eltérések mutatkoztak a munkatermelékenységi mutatóknál. A gazdaságok számára az 1 tehén gondozására jutó éves munkaóra-csökkenés révén jelentős munkabér-megtakarítás realizálódott.*

Kulcsszavak: *tehenészet, fejlesztés, humán ellátottság, műszaki ellátottság, munkabér-megtakarítás*

Abstract: *The technical developments and their effects on four diary-farms have been studied during the last four years in Hajdú-Bihar County by the authors. The data were collected by methodical observation, oral interviews and document analysis. Studies have shown that, despite the disappearance of the milk quota in 2015, the volume of milk produced and sold increased on the examined farms and sale was seamless, either. As the result of developments, labour productivity indexes were improved in each economy. It was also evident that, despite the modern production conditions, there were significant differences in labour productivity indexes. For the examined farms, a significant reduction in the wage saving was realized through the reduction of the annual working hour per 1 cow.*

Keywords: *dairy farm, development, human resource, technical supply, wage savings*

1. BEVEZETÉS

A korszerű termelési körülmények megfelelő alapot biztosítanak a jó minőségű, emellett elvárt mennyiségű termékek előállításához. Érvényes ez a nyerstej előállítására is. A gazdaságok tulajdonosai ennek megfelelően igyekeztek/igyekeznek korszerűsíteni a termelést, és ehhez pályázatok álltak/állnak rendelkezésükre. A szarvasmarha telepek korszerűsítésére irányuló EU-s pályázatok célja, hogy javuljon a versenyképesség, növekedjen a foglalkoztatottak száma és a hozzáadott érték termelése. Ehhez támogatni kell az új, innovatív és környezetbarát technológiák elterjesztését [1]. Erre vonatkozóan megállapítható, hogy az állattartó telepek korszerűsítése (ÁTK) jogcímein 2014. év végéig több mint kétezer beruházásra ítéltek közel 237 milliárd forint támogatást, így segítve a vállalkozásokat, hogy megfeleljenek a követelményeknek, javuljanak egyebek mellett az állattartás műszaki hátterei, a dolgozók munkakörülményei és munkahatékonysága [2].
A piac erős befolyásoló hatással bír, mivel a minőség jelentős tényező a termékek értékesítésekor, ugyanis a termékek bizonyos tulajdonságaiból eredő minőségük befolyásolja a vásárlókat [3]. A tejfeldolgozók is ennek alapján vásárolják fel a nyerstejet a

tehenészetektől. Ennek alapján a gazdaságoknak az extra tej előállítására kell törekedniük, aminek egyik záloga a korszerű technikai ellátottság. A műszaki fejlesztés minőségi és mennyiségi változást okozva a termelést hatékonyabbá teszi [4]. Ezt több szerző is kiemeli, miszerint a technikai fejlesztés a - napjainkban igen hangsúlyos - versenyképesség fokozásának egyik tényezője [5]; [6]; [7].

A műszaki fejlesztések önmagukban nem jelentenek biztos növekedést a termelékenységben, mivel az ember – a munkaerő – a kreativitásával, rugalmasságával és innovációs készségével hatással van a sikeres munkavégzésre [8]. Ennek országos kitekintése, hogy egy nemzet társadalmi-gazdasági fejlődése a tudás, az innováció és a vállalkozói gondolkodásmód függvénye [9]. Az előbbiek figyelembe vételével megállapítható, hogy a termelés sikerességét több tényező befolyásolja.

A vizsgált tehenészetek (T1, T2, T3, T4) Hajdú-Bihar megyében találhatóak, és a tehénlétszám illetve a termelt tej éves mennyisége alapján a megye legnagyobb tehenészetei közé tartoznak. Az adatgyűjtés módszeres megfigyeléssel, szóbeli interjúval és dokumentum-elemzéssel történt. Meg kell jegyeznünk, hogy a gazdaságok előző, 10 éves intervallumban végzett fejlesztéseit korábbi publikációkban jellemeztük, így a jelen cikk a legutóbbi 4 év műszaki fejlesztéseit és azok hatásait mutatja be.

2. A VIZSGÁLT GAZDASÁGOK ÁLTALÁNOS TERMELÉSI JELLEMZŐI

A termék-előállítás alapvető tényezőihez tartozik – tekintettel az előállított nyerstej mennyiségére és minőségére – a tehénlétszám és a dolgozói létszám (1. táblázat). Az adatokban bekövetkezett változásokat figyelve következtetéseket vonhatunk le.

1. táblázat. A vizsgált tehenészetek tehénlétszáma és dolgozói létszáma illetve azok változása

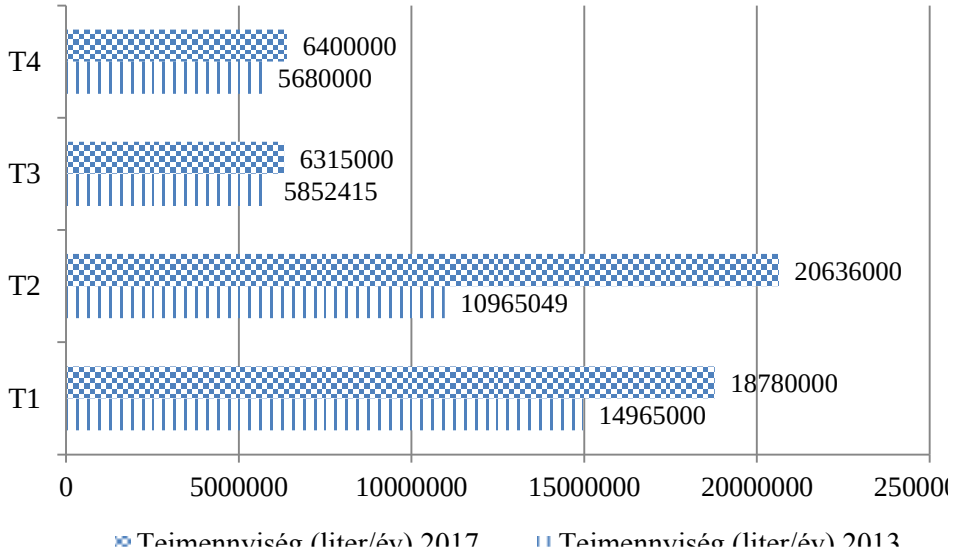
	Tehénlétszám		Dolgozói létszám	
	2013	2017	2013	2017
T1	1740	2024	49,5	54
T2	1081	2003	31	51
T3	940	960	21	18
T4	701	750	22	22

Ahogy a táblázat mutatja, a vizsgált gazdaságok tehénlétszámában minden telepen növekedés volt, amit a nagy intervallum (2% és 85%) jellemez. A legenyhébb növekedés 2%-os volt, ami 20 db tehenet jelent (T3), ezt követte 7%-os emelkedéssel (49 db tehén) a T4 telep, majd a T1 telep következik 284 db-os, 16%-os bővüléssel. Kiemelhető a T2 tehenészet, ahol a növekedés igen jelentős (85%) volt, ugyanis 922 db tehénnel tartanak többet, mint korábban.

A dolgozói létszámot nézve megállapítható, hogy egyik telepen sem növekedett olyan mértékben, mint a tehénlétszám növekedése. Sőt az is kitűnik, hogy a T4 gazdaságban szinten tartották a létszámot, a T3 telepen pedig még csökkent is, ami az időközbeni gép-beszerzéseknek, istálló-korszerűsítésnek is köszönhető. A T1 telepnél kitűnik, hogy a dolgozói létszám csupán 9%-kal növekedett, míg a T2 telepen 65%-kal, ami nem olyan nagyarányú, mint a tehénállomány gyarapodása.

Ezzel együtt megállapítható, hogy a 4 tehenészet 145 fizikai dolgozót foglalkoztat, ami a térség foglalkoztatásában is bővülést jelent a korábbi időszakhoz képest.

Az előző időszakhoz viszonyított növekedés a termelt tej mennyiségére is jellemző volt. Ennek egyik összetevője a tehénállomány létszámának növekedése minden gazdaságban, a másik összetevő pedig a takarmányozás színvonala lehetett.
Az *1. ábra* mutatja, hogy az éves tejmennyiség az eltelt 4 évben, változó mértékben (8%-tól 88%-ig) növekedett. Ez utóbbi a T2 telepre jellemző, mennyiségben kifejezve 9.670.951 liter.



1. ábra: A tehenészetek éves tejmennyisége a vizsgált intervallumban

Összességében a vizsgált időszakban a felmért gazdaságokban termelt tej mennyisége 14.668.536 literrel volt több, mint korábban.

3. A VIZSGÁLATI IDŐTARTAM FEJLESZTÉSEI ÉS AZOK HATÁSAI

A telepi gépbeszerzések, istálló-építések, korszerűsítések az alábbiakban láthatók. A T1 gazdaság a legutóbbi felmérést megelőző - 10 éves - időszakban igen jelentős fejlesztéseket végzett, emiatt az utóbbi 4 évben csupán 1 db 33 m^3-es űrtartalmú takarmánykiosztó kocsit vásároltak, emellett folyamatosan frissítették a telepirányítási szoftvert.

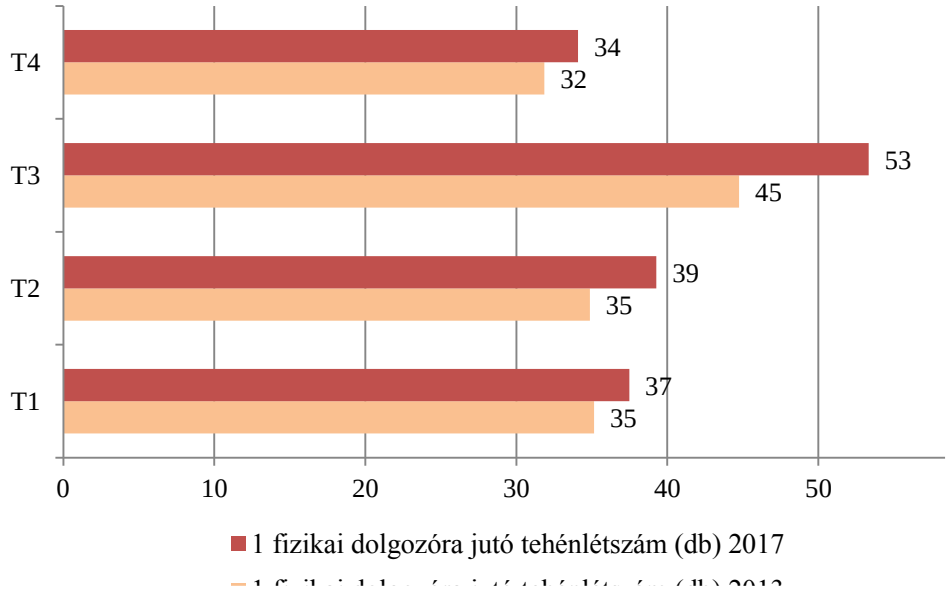
A T2 telepen 2 db istálló építése zajlott le (jelentősen nőtt a tehénlétszám 2013 óta is), emellett vásároltak 2 db takarmánykiosztó kocsit, 1 db tolólapos traktort a takarmány feltolására az etetőasztalon, és 1 db Milk taxit a borjaknak szánt tej szállításához. Az egyik istálló esetében mozgatható oldalfalat helyeztek üzembe, és ventilátort valamint párásítót is beszereltek. A fejés műveletéhez tőgy elő- és utófürösztő automatát szereztek be, amelynek előnye, hogy egy tartályból szívja a folyadékot folyamatosan, tehát a fejőmesternek nem kell töltögetnie a fejés alatt (idő-megtakarítás), és nem csöpög mellé a töltéskor (anyag-megtakarítás). A tehenek aktivitásának méréséhez pedométer szoftvert vásároltak, ezen kívül energiatakarékos izzókat szereltek be az egész telepen és az istállókon belül. Kamerákat szereltek fel a telepen, az elletőben és a fejőházban, és kerítésbővítésre is szükség volt az új istállók építése (a telep bővülése) miatt. Az utóbbi időben korszerűsítették a telepi mérleget is.

A T3 tehenészetben 1 db istállót építettek, mozgatható oldalfallal látták el, ventilátorokat szereltek az istállóba, hőszigetelt tetőhéjazatot és tetőgerinc szellőzést alakítottak ki az istállónál. Emellett szárnylapátos trágyakihúzót helyeztek üzembe, és etetőasztalos etetést valósítottak meg, ahol gépi takarmány feltolással igazítják vissza a tehenek elé a szétterített takarmányt. A takarmány etetése fedett helyen történik az egész telepen. A fejés műveletéhez zsúfolókaput helyeztek üzembe, a telepirányítási szoftvert folyamatosan frissítik. Vásároltak

egy Milk taxit a borjak itatására szánt tej szállításához. A telepen (az istállókban is) energiatakarékos izzókra cserélték ki az égőket, és energiatakarékos világítás-vezérlést (mozgásérzékelő, alkonykapcsoló) üzemeltek be. Felújították a mérlegházat és a telepi betonutakat. A telepre kamerarendszert szereltek fel.

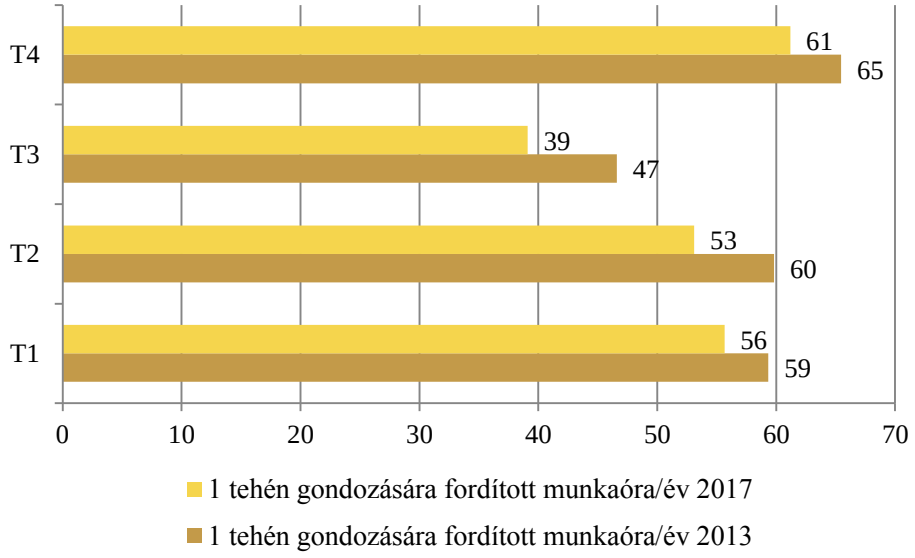
A T4 gazdaságban építettek 2 db új istállót, ventilátorokat és párásítót szereltek be, mozgatható oldalfallal látták el, és tetőgerinc szellőzést valamint hőszigetelt tetőhéjazatot alakítottak ki. Vásároltak elektromos állatvakarót a tehenek számára, a komfortérzetük javításához. A takarmányozás műveletéhez korszerű, mérleges takarmánykiosztó kocsit szereztek be. A takarmány etetése fedett helyen történik az egész telepen, és etetőasztalos etetés jellemző az istállókra. A telepirányítási szoftver frissítése folyamatos volt az évek alatt. Az új istállókban energiatakarékos izzók üzemelnek, valamint energiatakarékos világítás-vezérlés (mozgásérzékelő, alkonykapcsoló) van a telepen. A tehenészetben kerítés építés is történt, valamint telepi kamerarendszert helyeztek üzembe.

A fenti változások előidézték a munkatermelékenységi mutatók javulását is. A *2. ábra* (az 1 fizikai dolgozó által kezelt tehenek száma) tükrözi, hogy a korábbi időszakhoz viszonyítva a legkisebb pozitív elmozdulás (7% körüli) a T1 illetve a T4 gazdaságban volt. A legnagyobb javulás a T3 tehenészetben volt megfigyelhető, értéke 19%. Fontos megállapítani, hogy a T3 telep korábbi mutatója (45 tehén/dolgozó) is jóval magasabb, mint a többi telep jelenlegi mutatója. Az is kitűnik az ábrából, hogy a jelenlegi legrosszabb mutató (34 tehén/dolgozó) és a legjobb mutató (53 tehén/dolgozó) között nagy eltérés van.



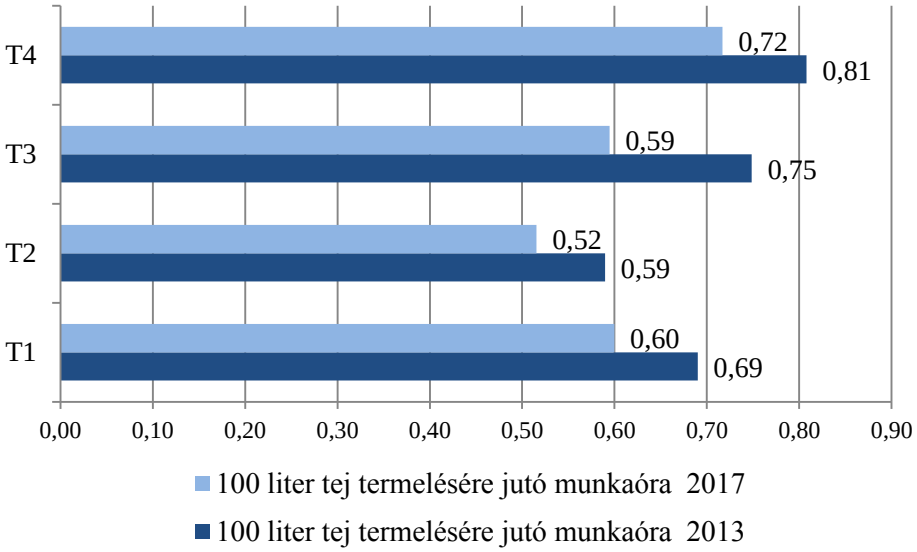
2. ábra: Az 1 fizikai dolgozó által kezelt tehenek számának változása a vizsgálati intervallumban

A következő munkatermelékenységi mutató az 1 tehén gondozására jutó éves munkaóra. A *3. ábra* jelzi, hogy mindegyik telepen javulás történt az eltelt 4 évben, mértéke a 6%-tól (T1) 16%-ig (T3) terjedő. A legrosszabb a mutató a T4 gazdaságban (61 óra), ez az időráfordítás több mint másfélszerese a T3 gazdaság értékének, ami 39 óra. A T3 telep korábbi értékét (47 óra/tehén/év) még most sem éri el a másik három tehenészet.



3. ábra: A tehenenkénti éves gondozási idő a vizsgálati időintervallumban

A harmadik munkatermelékenységi mutató a tehenészetek munkaóra-felhasználása 100 liter tej előállítására (4. ábra). Itt is megállapítható, hogy mindegyik telepen javulás figyelhető meg a korábbi időszakhoz viszonyítva (11%-tól 21%-ig). A 11%-os javulás a T4 telepé volt, a legnagyobb javulás pedig a T3 telepé.



4. ábra: A tehenészetek munkaóra-felhasználása 100 liter tej előállítására

Az előző két munkatermelékenységi mutatótól eltérően itt a T2 gazdaság a legjobb mutatójú (0,52 óra/100 liter tej), a legrosszabb a T4 tehenészet mutatója (0,72 óra/100 liter tej). Ez az időráfordítás több mint egyharmaddal nagyobb, mint a legjobb érték.

A kimutatott munkatermelékenységi mutató-javulások alapján az egyes gazdaságok bérmegtakarítást értek el azáltal, hogy az 1 tehén gondozására fordított éves munkaóra-ráfordítás csökkent (2. táblázat).

2. táblázat. A realizált, éves bérmegtakarítások telepenként

	Megtakarítás (Ft)
T1	6.982.800
T2	16.124.150
T3	8.832.000
T4	3.450.000
Összesen	35.388.950

A számítás alapja a fizikai dolgozók órabére, ami a felmérés alapján bruttó 1150 Ft. A táblázatból kitűnik, hogy a megtakarított összegek milliós nagyságrendűek.

4. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

- Az eltelt – vizsgált – időszakban a gépbeszerzések, korszerűsítések még zajlottak (ha nem is olyan volumenben, mint 2013-ig).
- Mind a 4 vizsgált telepen, mindhárom munkatermelékenységi mutató javult.
- Annak ellenére, hogy javultak a mutatók, még mindig jelentős különbségek – emiatt szervezési tartalékok – vannak a gazdaságokban.
- Megállapítható, hogy a vizsgált gazdaságok napjainkban is jelentős piaci szereplők, tevékenységük évek óta fennáll és erősödik. Ezt alátámasztja az egyre bővülő tehénlétszám, a növekvő tejmennyiség valamint esetenként a foglalkoztatottak számának emelkedése, aminek nagy jelentősége van a vidék népességmegtartó képességében.
- A tejkvóta 2015. évi megszűnése ellenére a vizsgált gazdaságokban a termelt illetve értékesített tej mennyisége növekedett, és az értékesítés is zökkenőmentes volt.
- A gazdaságok számára az 1 tehén gondozására jutó éves munkaóra-csökkenés révén jelentős munkabér-megtakarítás realizálódott.
- A vizsgált telepek számára javasolható, hogy törekedjenek a legjobb munkatermelékenységi mutatók megközelítésére illetve elérésére.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] http://www.multicash.hu/allattarto-telepek-korszerusitese-palyazatok/

[2] **POPP, J., BIRÓ, SZ., RÁCZ, K., HAMZA, E., BALOGH, P., OLÁH, J.:** *Az EU közös agrárpolitikája és a magyar vidékfejlesztési program.* (Szerk. POPP J. - OLÁH J.) Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest, 2016.

[3] **MIZIK T., FERTŐ I.:** *Agrárgazdaságtan I.* [Digitális kiadás.] Budapest: Akadémiai Kiadó. Letöltve: https://mersz.hu/?xmlazonosito=dj195ag_97_p2#dj195ag_97_p2 (2018.06.02.)

[4] **HUSTI I.:** *Gondolatok mezőgazdaság műszaki fejlesztéséről és annak néhány vidékfejlesztési összefüggéséről.* In: Hangsúlyok a térfejlesztésben. (Szerk. NAGY J.). 2018., p. 181-200.

[5] **HARSÁNYI, E., HARSÁNYI, G., NAGY, A. J.:** *Területi fejlettségi különbségek az Észak-alföldi régióban.* Agrártudományi Közlemények. 16. Különszám, 170-180, 2005.

[6] **VÁNYINÉ SZÉLES, A., BOGDÁN, I., SULYOK, D., NAGY, J.:** *The effect of fertilisation and irrigation on the yield of different genotype maize hybrids and the economic aspects of production.* In: HALASI-KUN G. J. (Szerk.) Impact of Anthropogenic Activity and Climate Changes on the Environment of Central Europe and USA, Columbia University - University Seminars, 341-360, 2012.

[7] **SULYOK, D., FERENCSIK, S., RÁTONYI, T., HUZSVAI, L., NAGY, J.:** *Agronomical and agro-economic evaluation of maize production in various cultivation systems.* Növénytermelés 62: (Suppl.), 33-36, 2013.

[8] **PFAU, E.:** *A mezőgazdasági vállalkozások termelési tényezői, erőforrásai*. Egyetemi jegyzet, Debrecen, 1998.

[9] **BENCSIK, A., JUHÁSZ, T.:** *Chance of Succes at Hungarian Small and Medium Enterprises.* Problems of Management in the 21st Century, 5, 5, 16-30, 2012.

MESTERSÉGESEN KONSZOLIDÁLT KŐZETMAGOK PETROFIZIKAI TULAJDONSÁGAINAK MÓDOSÍTÁSA KÜLÖNBÖZŐ ADALÉKANYAGOKKAL

MODIFICATION THE PETROPHYSICAL PROPERTIES OF ARTIFICIALLY CONSOLIDATED SANDSTONE CORES BY DIFFERENT ADDITIVES

VARGA Gyula[1], FISER-NAGY ÁGNES [2]

[1] PhD hallgató, tudományos segédmunkatárs, varga@afki.hu
[2] PhD, tudományos munkatárs, fna@afki.hu
[1,2] Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *Egyes szénhidrogén mezők esetén, az olajipari kísérletekhez a megfelelő geometriájú és petrofizikai tulajdonságú természetes kőzetmagok hiánya miatt, mesterségesen konszolidált kőzettesteket szükséges használni. Ezek előállítása különböző receptek és technológiák szerint lehetséges. Az általunk kifejlesztett és használt eljárás – itt bemutatásra kerülő – fejlesztésének lényege, hogy különböző adalékanyagokkal (NaCl, KCl, szacharóz, $CaCl_2$) növeljük az előállított mintatestek petrofizikai tulajdonságainak intervallumát.*

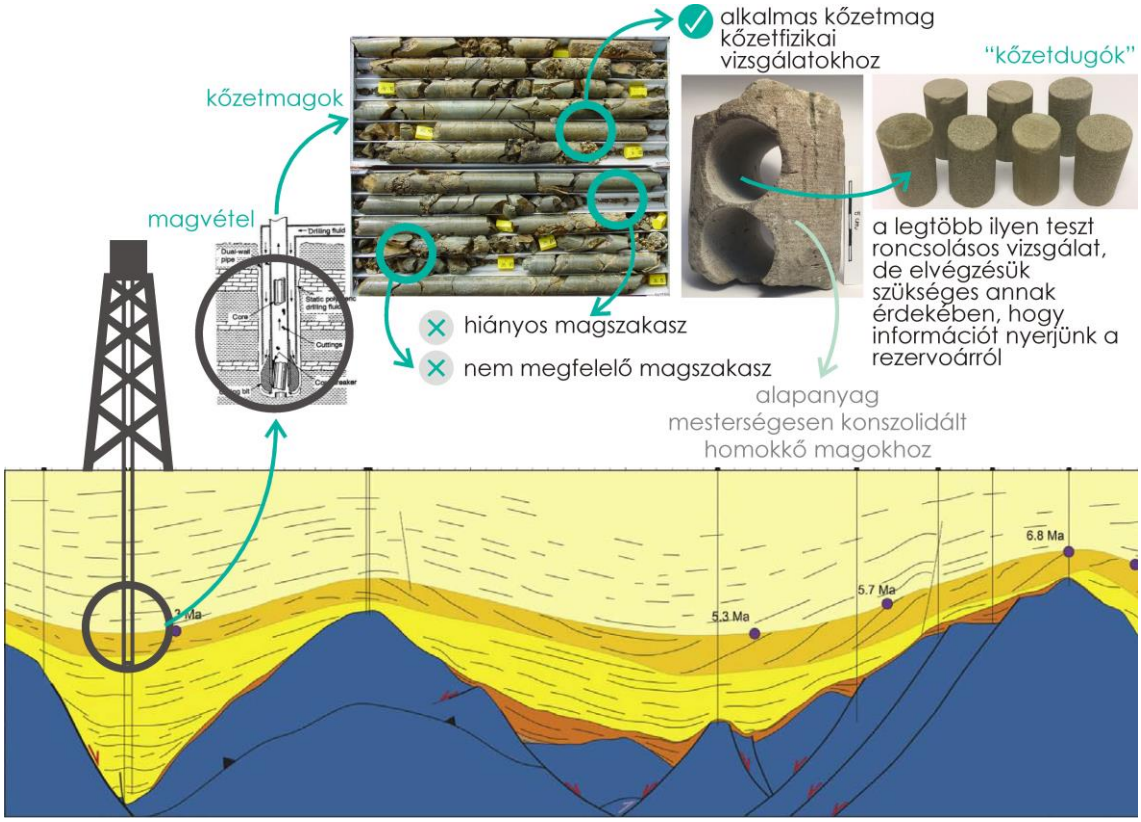
Kulcsszavak: *mesterséges kőzetmag, adalékanyag, pórusméret, porozitás, permeabilitás,*

Abstract: *In the case of some hydrocarbon fields artificially consolidated rock samples required to use for the necessary measurements, because there are not enough good (petrophysical properties and geometry) natural rock samples. Such samples can be produced by different recipes and technologies. In this paper, we introduce an improvement on the method we developed and used; which use different additives (NaCl, KCl, saccharose, $CaCl_2$) to expand the interval of the sample's petrophysical properties.*

Keywords: *artificial rock sample, additives, pore size, porosity, permeability*

1. BEVEZETÉS

A természetes kőzetmagok azok a rezervoárra jellemző kőzetminták, melyeket egy speciális eszközzel (magfúróval) vesznek különböző mélységekben, és hoznak a felszínre további vizsgálatok végett (*1. ábra*). Ezek az egyedi kőzetminták reprezentatív információt hordoznak az értékes fluidumokat tároló geológiai képződményekről, vizsgálatuk alapvető fontosságú. A tároló képződmények és a rezervoár megismeréséhez egyéb vizsgálatok mellett, elengedhetetlenek azok kőzetfizikai paramétereinek meghatározása. Ezekhez a rutinszerű vizsgálatokhoz olyan mintatestekre van szükség, melyet csak ép, teljes keresztmetszetű fúrómagból lehet kialakítani (lásd az *1. ábrán*). Jellemző probléma, hogy ilyen fúrómagok nem mindig, vagy nem a megfelelő intervallumból, illetve nem megfelelő számban állnak rendelkezésre (hiányos és töredezett magszakaszok). Mivel a rutin kőzetfizikai méréseket követő vizsgálatok többsége roncsolásos, tehát egy mintatesten csak egy mérést lehet elvégezni, a természetes kőzeteken végezhető mérések illetve kísérletek száma véges. Egy régóta termelt, vagy másodlagos majd harmadlagos termelésen áteső mező esetén ez azt jelentheti, hogy nagyobb az igény a mérésekre, mint a rendelkezésre álló, mérhető kőzetminta.



1. ábra: Természetes kőzetmagok forrása, felhasználási lehetőségei és korlátai kőzetfizikai vizsgálatokban.

Az így létrejött igényre válaszul a szakma mesterségesen konszolidált kőzetmintákat fejlesztett ki és állít elő. A különböző technológiával előállított mintatestek hatékonyan tudják helyettesíteni a mérések illetve kísérletek során a természetes kőzetmagokat. Ezzel a problémával hazai viszonyok között is szembesülünk, és válaszul hasonló technológiák kialakításán dolgozunk, kutatóintézetünkben jelenleg is folynak ilyen témájú kutatások. A korábbi műgyantás összetétel helyett, egy, a természetes összetételhez közelebbi, cementes eljárást dolgoztunk ki [1]. Jelen tanulmány célja, azon kísérletek bemutatása, melyek során adalékanyagokkal igyekeztünk az előállt mesterségesen konszolidált kőzetminták kőzetfizikai értékeinek intervallumát szélesíteni.

2. MESTERSÉGESEN KONSZOLIDÁLT KŐZETMAGOK

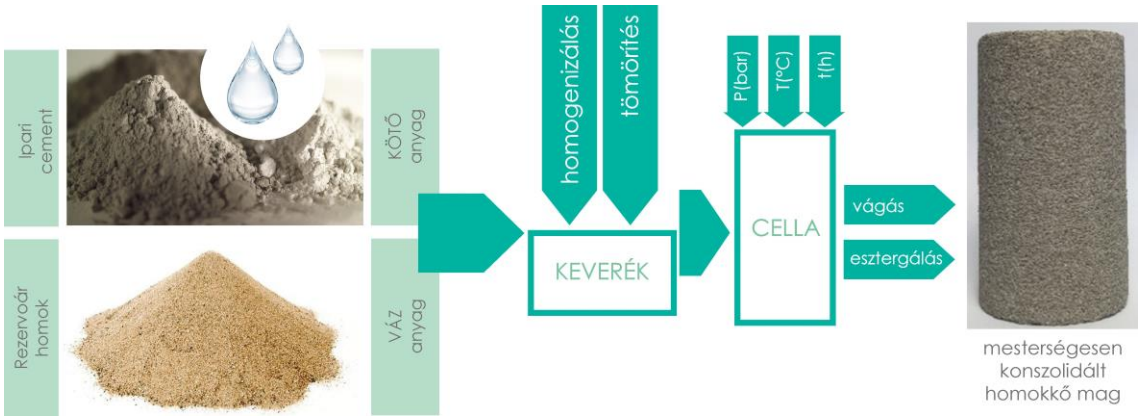
2.1. Mesterségesen konszolidált kőzetmagok előállítása

A szakirodalom alapján számos különböző technológiával előállíthatók olyan mesterséges kőzetmagok, melyeken szénhidrogén tárolókhoz kapcsolódó labor kísérleteket lehet elvégezni (alapvető magvizsgálatok, elárasztásos vizsgálat, EOR modell kísérletek, stb.). Attól függően, hogy mi a mintatest konkrét felhasználási területe, különböző váz- és kötőanyagból készülhetnek. Vázanyagként a legtöbb technológia természetes kvarc szemcsét vesz [2,3,4,5,6,7,8,9,10] míg mások mesterséges üveggyöngyöket [11], hulladéküveget és kőzet zúzalékot [12], vagy hulladék kőzetiszapot [13] használnak hogy mesterségesen konszolidált porózus közeget hozzanak létre.

A másik nélkülözhetetlen alapanyag, egy megfelelő kötőanyag. Rideg kötőanyagú mintatest hozható létre alkáli szilika géllel [2,4,6,14] boroszilikát üveggel [3,15], az erősen

toxikus $SiCl_4$-gyel [16], illetve portland cementtel vagy különböző típusú ipari cementekkel [8,17,19]. Rideg mintatestet eredményez továbbá az agyag kiégetéses [19,20], illetve az üveg olvasztásos [11] módszer is. Kötőanyagként epoxi gyantát alkalmazva egy mechanikailag képlékenyen viselkedő és enyhén olajnedves mintatest hozható létre [12,18,21,22].

Az igényeknek megfelelően kiválasztott alapanyagokból alapos homogenizálással egy kőzetmasszát kapunk. Ezt a keveréket valamilyen tömörítő eljárással általában henger vagy hasáb formájú cellába kell tölteni. A keverék megfelelő sűrűségét különböző eszközökkel és berendezésekkel lehet elérni, melyek vibrációs és/vagy kompakciós elveken működnek [2,6,12,13]. A technológiától és az alapanyagoktól függően a formába töltött és tömörített keveréket a kötési idő alatt különböző mértékű nyomáson és/vagy hőmérsékleten kell tartani. Ez azért is fontos, mivel a természetes rezervoár kőzetek diagenezise a mélyben zajlik, esetenként több ezer méter mélyen a felszín alatt, tehát magas nyomáson és hőmérsékleten történik. Ezért mérlegelni kell, hogy a mesterségesen konszolidált kőzettest készítése során hogyan és milyen mértékű nyomást alkalmazunk [2]. Másrészt a természetes kőzetmagok felszín alóli felhozásakor (magvétel) fellépő hirtelen nyomásesést is imitálhatja a nyomás alól illetve a formából való kivétel, így mind jobban közelítve a rezervoárból származó kőzetmintát [2].



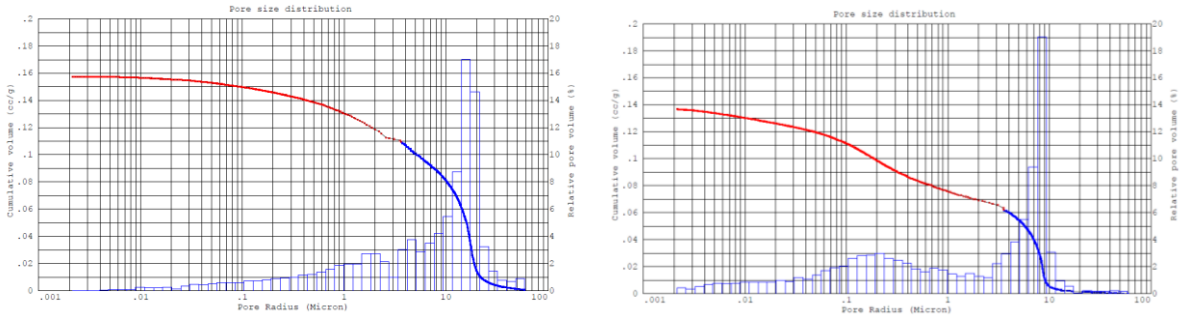
2. ábra: Mesterségesen konszolidált homokkő mintatestek előállításának sematikus folyamat ábrája.

Az irodalmi tapasztalatok alapján olyan technológia kidolgozás volt a cél, mellyel rideg, víznedves és az elvárt kőzetfizikai paraméterekkel rendelkező mintatestek állnak elő, melyek a lehető legjobban közelítik (modellezik) a természetes mintatestek tulajdonságait. A kialakult eljárás műveleti sorrendje a *2. ábrá*n látható. Kötőanyagnak egy módosított ipari cementet választottunk. A kezdeti kísérletekben építési homokot használtunk, melyet később, a technológia finomodásával egy valódi rezervoárból származó homokra cseréltünk. Ezt másra már nem alkalmas fúrómagok összetörésével és szemcsefrakciókra szitálásával kaptuk, melyből meghatározott, a rezervoár kőzetre jellemző szemcseméret eloszlás szerint mértük ki a vázanyagként szolgáló homokot. A homogenizált kőzetmasszát egyenletes tömörítéssel formába töltöttük, és állandó nyomás alatt tartottuk a kötési idő leteltéig. A mintatesteket a megfelelő stabilitás érdekében optimális körülmények között pihentettük a megfelelő geometria kialakítása előtt. A minták végleges méretre vágására azért van szükség, hogy a mérőműszerek mintabefogóiba tökéletesen illeszkedjenek, ami elengedhetetlen a mérések kellő pontosságú kivitelezéséhez.

2.2. Eddigi eredmények, probléma felvetés

Az így előállított mesterséges kőzetmagok kőzetfizikai tulajdonságait leíró főbb

paraméterek olvashatók a *3. ábrán* és az *1. táblázat*ban, a természetes kőzetmagok eredményeivel összevetve. Míg a természetes kőzetek esetén jellemzően egy egymodusú, a kis pórusátmérők irányában ferde eloszlást kapunk, addig az adalékanyag mentes cement alapú mintatestnél kétmodusú eloszlást kapunk. Ebből következik, hogy a mikro- és makropórusok aránya sem követik egymást (természetes ~70-30%; mesterséges ~45-55%). További eltérés, hogy a mesterséges kőzetmag átlagos pórusátmérője (8,5 µm) is jócskán elmarad a természetesétől (15,6 µm). Ezek az arányok alapvetően befolyásolják az olajipari mérések szempontjából meghatározó mérőszámokat, a porozitást és a permeabilitást. Ahogy az az 1. táblázatban is látható a mesterséges mag ezen paraméterei elmaradnak a természetes kőzetmagétól. Ez minden bizonnyal a kisebb pórusátmérővel, illetve az áramlásban leginkább résztvevő makropórusok kisebb arányával magyarázható.



	természetes	*cement alapú*
Átlagos pórus átmérő, [Micron]	15,6357	8,4719
Makró porozitás (2 bar-ig.), [%]	68,9	44,9
Mikro porozitás (2 bar felett), [%]	31,1	55,1

3. ábra: Egy természetes (balra) és egy cement alapú mesterségesen konszolidált kőzetmag pórusméret eloszlása

A kőzetfizikai paraméterek változtatása egyrészt a hozzáadott alapanyagok arányával, másrészt a technológia egyéb tényezőinek (pl.: tömörítés mértéke, nyomáson tartás mértéke és ideje) módosításával lehetséges. Ezek az opciók azonban végesek, főleg a tekintetben, hogy szem előtt kell tartani a mesterséges kőzet természetközeliségét. Ezért annak érdekében, hogy a porozitás és permeabilitás értékek szélesebb tartományát tudjuk lefedni, különböző adalékanyagokat próbáltunk ki. A cél alapvetően az volt, hogy hatékonyan növeljük a „műkőzet” permeabilitását (és porozitását), mely alapvető kőzetfizikai paraméter a mintatestek felhasználása során. Az adalékanyagokat 1 és 3 térfogat százalékban adtuk a kőzetmasszához, majd az elkészült mintatestekből desztillált vízzel kioldottuk azt.

3. EREDMÉNYEK AZ ADALÉKANYAGGAL KÉSZÜLT „MŰKŐZETEK” ESETÉN

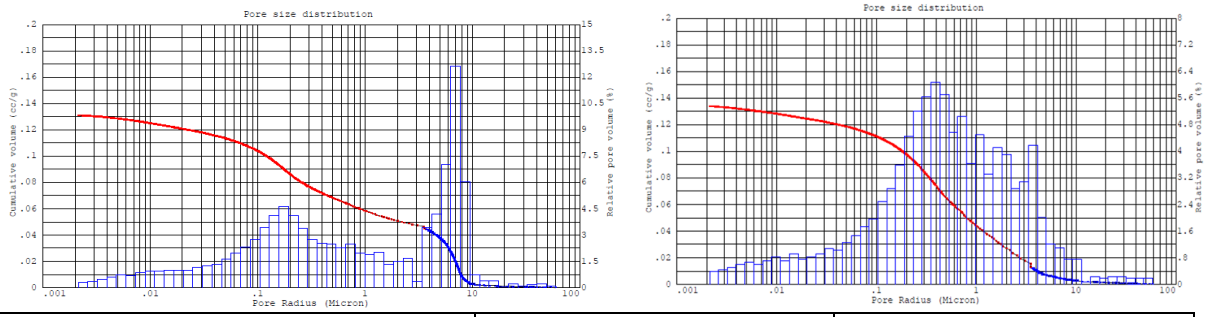
Jelen kutatási fázisban olyan adalékanyagokat vetettük tesztelés alá, melyek közismertek cement alapú kötőanyagok esetén. Így vizsgáltuk a mesterségesen konszolidált kőzetmagokra tett hatását a NaCl-nak, a KCl-nal, a szacharóznak, illetve $CaCl_2$-nak. A kísérletek során ugyanazt a szemcseösszetételt, alapanyag arányt, tömörítést, illetve nyomáson tartást alkalmaztuk minden mintatest esetén; ez továbbá megegyezik a kontrolnak vett adalékanyag mentes műkőzetnél alkalmazottal is.
Az eredményeket az alábbi *1. táblázat*ban és a következő alfejezetekben mutatjuk be.

1. táblázat. A vizsgált kőzetmagok petrofizikai tulajdonságai

Kőzetfizikai tulajdonság	Mérték-egység	Természetes homokkő	Mesterségesen konszolidált kőzetminták						
			Cement alapú	Adalékanyaggal előállított cement alapú					
				NaCl (1V/V%)	NaCl (3V/V%)	KCl (1V/V%)	KCl (3V/V%)	$CaCl_2$ (1V/V%)	$CaCl_2$ (3V/V%)
Porozitás	(%)	32,2	26,8	28,9	29,7	30,2	29,7	29,4	30,2
Absz. permeabilitás	(mD)	595,0	155,0	70,1	44,1	161,0	303,7	114,7	261,7

3.1. NaCl

Először NaCl-ot adalékoltunk a kőzetmassza alapjául szolgáló desztillált vízhez. Az ezzel az eljárással készült kőzettestek összességében állékonyabbak lettek, így könnyen ki lehetett alakítani az elvárt geometriai formát, valamint a rutin mérésekkor alkalmazott köpeny- illetve áramlási nyomással szemben is jól ellenállt. Kimosódást nem tapasztaltunk. Azonban a kedvező fizikai állapot változása nem terjed ki a kőzetfizikai paraméterekre. A *4. ábrán* látható, hogy az 1 V/V %-os, illetve a 3 V/V %-os konyhasóval adalékolt kőzettestek esetében is csökkent az átlagos pórusátmérő összehasonlítva a *3. ábrán* feltüntetett cement alapú mesterségesen konszolidált kőzetmagok értékeivel. Továbbá, a mikropórusok aránya is kedvezőtlen irányába változott. Ez az oka annak, hogy bár a porozitás növekedett, az áteresztőképesség ezzel ellentétben csökkent a cement alapú mesterségesen konszolidált kőzetmagokhoz képest (*1 táblázat*).

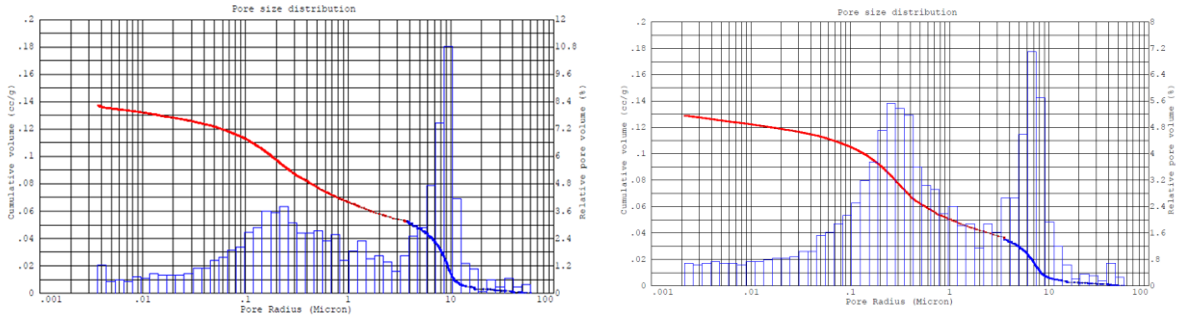


	1 V/V % *NaCl*	*3 % NaCl*
Átlagos pórus átmérő, [Micron]	6,9978	0,3916
Makró porozitás (2 bar-ig.), [%]	33,8	9,1
Mikro porozitás (2 bar felett), [%]	66,2	90,9

4. ábra: NaCl adalékanyaggal előállított mesterséges kőzetminta pórusméret eloszlása 1 V/V% (balra) és 3 V/V % (jobbra) esetén, illetve legfontosabb paraméterei

3.2. KCl

A KCl-al készített mesterségesen konszolidált kőzetmagok előállítási technikája megegyezik a korábban bemutatott NaCl-os kőzetek gyártási módszerével. Fizikai állapotát tekintve, ezek a mintatestek mállékonyabbak lettek, ezért csak rendkívül körültekintő, gondos odafigyeléssel lehetett csak elérni a mérésekhez szükséges geometriai formát. A porozitás, és permeabilitás mérésekor is fokozott figyelem irányult a mintatestek „egyben tartására”. A NaCl-hoz hasonlóan itt is növekedett a porozitás (*1. táblázat*), és kedvezőtlenül befolyásolta a mikro-makró porozitást (*5. ábra*).



	1 V/V % KCl	*3 V/V % KCl*
Átlagos pórus átmérő, [Micron]	9,4302	6,7017
Makró porozitás (2 bar-ig.), [%]	38,2	27,0
Mikro porozitás (2 bar felett), [%]	61,8	73,0

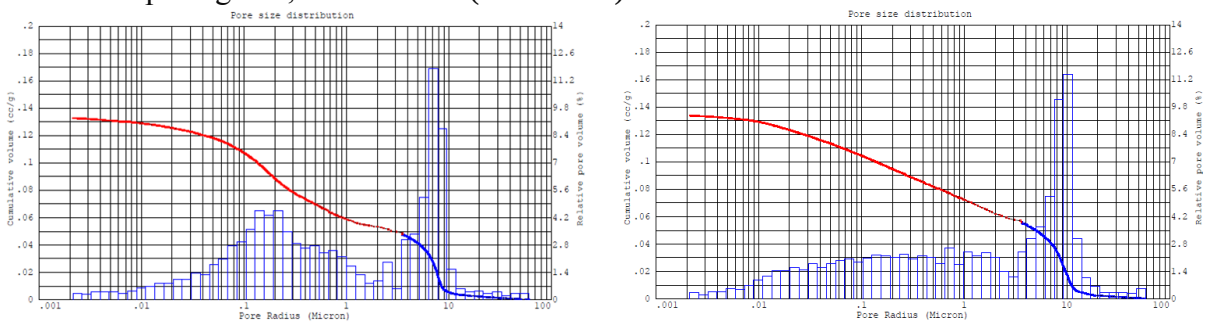
5. ábra: KCl adalékanyaggal előállított mesterséges kőzetminta pórusméret eloszlása 1 V/V% (balra) és 3 V/V % (jobbra) esetén, illetve legfontosabb paraméterei

3.3. Szacharóz

A szacharóz köztudottan kötéslassító, ennek megfelelően tovább voltak nyomás alatt tartva a mintatestek az elkészítés során. stabil szerkezetet azonban így sem sikerült előállítani, egyetlen mintatestet sem lehetett kialakítani, azok instabil szerkezete miatt. Ezért a szükséges geometriai forma hiányában a petrofizikai méréseket sem lehetett elvégezni.

3.4. $CaCl_2$

A $CaCl_2$-al módosított cement alapú mesterségesen konszolidált kőzetek rendkívül stabil szerkezetűek lettek, a NaCl-dal készült mintatestekhez hasonlóan. Az effektív áteresztőképesség mérésekor kimosódást itt sem tapasztaltunk. A vizsgált paraméterek tekintetében különbség látható az 1 és a 3 V/V%-kal adalékolt kőzetek között (*6. ábra*). Az 1 V/V%-os mintatestek pórusméret-eloszlása két modusú, - hasonlóan az eddig bemutatottokkal - ellentétben a természetes kőzetek eloszlás-függvényével. A 3 V/V%-nyi $CaCl_2$-ot tartalmazó műkőzeteknél azonban sikerült elérni az egy modusú eloszlást úgy, hogy az átlagos pórus átmérő meghaladta a 10 mikrométert. További jó eredmény a 3 V/V%-os kőzetmintáknál az, hogy - a többi sóhoz hasonlóan - a porozitás növekedett, valamint a kezdeti 155 mD-is áteresztőképesség 261,7 mD-ra nőtt (*1. táblázat*).



	1 % $CaCl_2$	*3% $CaCl_2$*
Átlagos pórus átmérő, [Micron]	7,0539	10,2372
Makró porozitás (2 bar-ig.), [%]	35,2	41,1
Mikro porozitás (2 bar felett), [%]	64,8	58,9

6. ábra: $CaCl_2$ adalékanyaggal előállított mesterséges kőzetminta pórusméret eloszlása 1 V/V% (balra) és 3 V/V% (jobbra) esetén, illetve legfontosabb paraméterei

4. ÖSSZEGZÉS

A felhasznált adalékanyagokkal sikeresen befolyásoltuk a mesterségesen konszolidált kőzettestek fizikai és petrofizikai tulajdonságait. A NaCl, KCl, és $CaCl_2$ is hatékonyan növeli a porozitást.
Az adalékanyagok módosító hatása az áteresztőképesség-változás szempontjából azonban igencsak eltérő. A NaCl használata esetén a mikropórusok arányának jelentős növekedése miatt, abszolút permeabilitás csökkenés tapasztalható, a porozitás növedékese mellett.
A KCl ugyan az elvárt irányba befolyásolja a kőzetfizikai paramétereket, de a mintatest állagát túlságosan lerontja.
A $CaCl_2$ használatával hatékonyan tudtuk növelni a mintatest abszolút permeabilitását, amit - a makro pórusok arányának megtartása mellett - az általagos pórus átmérő növelésével értünk el. Ezért a továbbiakban erre az adalékanyagra összpontosítunk.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **VARGA G., FISER-NAGY Á.:** *Artificial core consolidation technology in oil industry measurements and experiments*. INPRESS, 2018.
[2] **HOLT, R.M., KENTER, CJ:** *Laboratory simulation of core damage induced by stress release,* in: Rock Mechanics Proceedings of the 33rd U.S. Symposium, edited by J.R. Tillerson and W.R. Wawersik, Balkema, Rotterdam, 959-968, 1992.
[3] **DEN BROKE, S. W. J., DAVID, C., BERNABÉ, Y:** *Preparation of synthetic sandstones with variable cementation for studying the physical properties of granular rocks.* C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planétes / Earth & Planetary Sciences, 325, 487-492, 1997.
[4] **DAVID C, MENÉNDEZ B, BARNABÉ Y:** *The Mechanical Behaviour of Synthetic Sandstone with Varying Brittle Cement Content.* Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 35, 6, 759-770, 1998.
[5] **HOLT, R. M.:** *Particle vs. Laboratory Modelling of In Situ Compaction.* Phys. Chem. Earth (A), 26, 1-2, 89-93, 200. 2001.
[6] **AI-HOMADHI, E. S.:** *Artificial Sandstone Cores Production with a Wide Range of Petrophysical Properties.* J. King Saud Univ., 14, 1, 95-118, Riyadh (A.H. 1422/2002), 2002.
[7] **AL-HOMADHI, E. S., HAMADA, G. M.:** *Determination of petrophysical and mechanical properties interrelationship for simulated sands.* Engineering Journal of the University of Qatar, 16, 1-10, 2003.
[8] **SAIDI, F., BERNABÉ, Y., REUSCHLE, T.:** *The mechanical behaviour of synthetic, poorly consolidated granular rock under uniaxial compression.* Tectonophysics 370, 105– 120, 2003.
[9] **RONG, H., QIAN, CX, LI, L. Z.:** *Influence of molding process on mechanical properties of sandstone cemented by microbe cement.* Construction and Building Materials 28, 238–243, 2012.
[10] **RONG, H., QIAN, C. X., LI, L. Z.:** *Study on microstructure and properties of sandstone cemented by microbe cement.* Construction and Building Materials, 36, 687–694, 2012.
[11] **WEINHARDT, B,, ZEINEMANN, Z.:** *Artificial consolidated porous media for model investigations of 1-D-displacement.* Handout, 10, 1985.

[12] **LEE, MY, K. O., CHANG, F.C., LO, S. L. LIN, J. D., SHAN, M. Y., LEE, J. C:** *Artificial stone slab production using waste glass, stone fragments and vacuum vibratory compaction.* Cement & Concrete Composites 30, 7, 583–587, 2008.
[13] **CHANG, F. C., LEE, M. Y., LO, S. L., LIN, J. D.:** *Artificial aggregate made from waste stone sludge and waste silt.* J Environ Manage, 91, 11, 2289-2294, 2006.
[14] **DEN BROK, B.:** *How to cook "Strasbourg" sandstone. Internal Report, Institut de physique des matériaux,* École et observatoire de physique du globe de Strasbourg (EOPGS), 10, 1993.
[15] **BERNABÉ, Y., FREYER, D. T., HAYES, A.:** *The effect of cement on the strength of granular rocks,* Geophys. Res. Lett., 19, 1511-1514, 1992.
[16] **VISSER, R.:** *Acoustic measurements on real and synthetic reservoir rock,* Proefschrift Technische Universiteit Delft (PhD-thesis Delft University), Delft, 191, 1988.
[17] **VIKSNE, A., BERG, J. W., COOK, K. L.:** *Effect of porosity, grain contacts, and cement on compressional wave velocity through syntetic sandstones.* Geophysics, 26(1), 77-84, 1961. doi: 10.1190/1.1438847.
[18] **ZHENG, M., SUN, Q., JIANG, G., NING, F.:** *Artificial Cores Technology of Simulating In-Situ Hydrate Bearing Sediment.* The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 19, Z7, 19029-19043.
[19] **MACCARINI, M.:** *Laboratory studies of a weakly bonded artificial soil.* Ph.D. Thesis, University of London, 1987.
[20] **SHABDIROVA, A. D., BISSEKENOVA, Z., MINH, N.H., KIM, J.R.:** *Sample preparation method of clay-rich sandstone analogue of sandstone reservoirs in Kazakhstan.* ARMA 16-197. 50th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, 26-29 June, Houston, Texas, 2016.
[21] **RATHORE, J. S., FJAER, E., HOLT, R.M., RENLIE, L.:** *P- and S- wave anisotropy of a synthetic sandstone with controlled crack geometry.* Geophysical Prospecting 43, 711–728,1995.
[22] **XIE, H., LI, A., QIN, J., LAZARO, B.:** *Manufacture of water wet artificial core by chemical modification method.* SCA2016-094 (Society of Core Analysts), 2016.

A MAGASSÁG MEGHATÁROZÁSÁNAK PROBLÉMÁJA A GEODÉZIÁBAN

MEASURING THE LEVELS OF POINTS IN GEODESY

VARGA Zsolt

egyetemi adjunktus, vzs@eng.unideb.hu
Debreceni Egyetem, MK, Építőmérnöki Tanszék

Kivonat: *A magasságmérések a sajátos célú földmérési munkák során is egy magassági vonatkozási rendszer alkalmazása révén valósulhatnak meg. A vonatkozási rendszer a szintfelületből és a magasságok fizikai megvalósulását megtestesítő alapponthálózatból áll. A magasságmérés során a választott szintfelület és a magassági alappontot érintő sík közötti távolságot határozzuk meg a ponton átmenő függővonal mentén. A magasságok méréséhez Magyarországon az idők során több vonatkozási rendszert alkalmaztak és alkalmaznak manapság is. Jelen vizsgálatomban azt mutatom be, hogy a napjainkban használatos alapszintek különböző mérési módszerekkel való alkalmazása milyen ellentmondásokhoz vezethet.*

Kulcsszavak: *magassági alapponthálózat, magassági vonatkozási rendszer, szintfelület, magassági alappont*

Abstract: *During the land survey works the levellings can be realised by levelling reference system. This reference system consists of the level surface and levelling net. During the levelling we determine the distance through the point along the plumb line between an elected level surface and a tangent plane of benchmark. For the levelling used more reference systems have been used over time in Hungary and are apply nowadays too. In this study I present the inaccuracy be applying of ground levels use today with difference measuring methods.*
.

Keywords: *levelling reference system, levelling net, level surface, benchmark*

1. BEVEZETÉS

A napi mérnöki gyakorlatban kiemelt jelentőséggel bír az alap- és részletpontok magassági meghatározása. Magasságméréseket végzünk pl. tervezési térképek, út, alagútépítések és rekonstrukciók, épületek építése, közmű építések és felmérések során.

A földmérési gyakorlatban, a terepi koordinátamérésekkor a pontok magasságait úgy határozzuk meg, hogy viszonyítjuk azokat valamely ismert magasságú ponthoz. A részletméréshez felhasznált ismert magasságú pontok (alappontok) magasságait pedig a geodéziában valamely geoidhoz (középtengerszint magasságában lévő szintfelülethez) képest határozzák meg [1].

A magasságméréseket különböző mérési módszerekkel hajthatjuk végre, amelyek közül a legmegfelelőbbet úgy választjuk ki, hogy megvizsgáljuk melyik az a módszer, amely az adott földmérési feladat pontossági követelményeinek eleget tesz és mindemellett a leghatékonyabb munkavégzést teszi lehetővé. Többnyire a terepi akadályok és a kellő hatékonyság biztosítása végett, nem az egyes módszereket külön-külön, hanem azok kombinációit használjuk (persze ez nagy körültekintést és bizonyos esetekben a szokásostól eltérő számítási módszerek alkalmazását is feltételezi).

De milyen mérési módszert és alapponthálózatot válasszunk a magasságmérésekhez? Jellemzően háromféle magasságmérési módszert használunk a kataszteri munkák során.

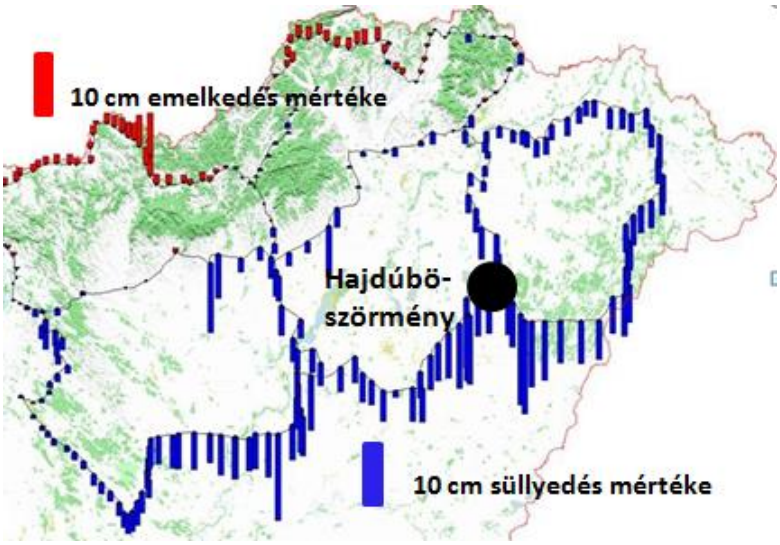
2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A módszerek közül az első, az alsórendű optikai szintezés, ami a legpontosabb módszer, (s mellyel, egyszerűen és gyorsan a mm-es pontosság biztosítható), a második a trigonometriai

magasságmérés (amelynek magassági hibája, 300 méteres távolságig 10-20 mm közé tehető) és végül a harmadik a napi gyakorlatban alkalmazott módszer pedig a GNSS (Global Navigational Satellite System) technikával végzett magasságmérés (a módszerrel 20-30 mm-es pontosság érhető el). A magasságmérések pontossága több részre bontható, egyrészt függ magasságmérési eljárás és az ehhez használt műszer pontosságától, másrészt függ a mérés során használt magassági alapponthálózattól (kerethibáitól, állapotától) és az alkalmazott geoid modelltől.

A fentiek ismeretében kiválasztva a feladathoz szükséges módszert és alapponthálózatot akár hátra is dőlhetnénk. Sajnos ezt több okból sem tehetjük meg, hiszen ha az első módszerrel, azaz szintezéssel szeretnénk új alappontot meghatározni, úgy a munkaterületünk közelében kell választanunk a meglévő magassági alappontok közül. Magassági alapponthálózatunk meghatározását viszont 30-40 évvel ezelőtt végezték (a különböző rendű pontokat más-más időszakokban mérték), s ezalatt a több tíz év alatt a földfelszín különböző okokból történő mozgásai (pl. kéregmozgás, talajvíz, fagyhatás stb.) következtében az alappontjaink magasságilag elmozdultak (süllyedtek vagy emelkedtek).

Az elmozdulás nagyságának meghatározása céljából a magassági alapponthálózat 8,9,10 számú poligonjait alkotó elsőrendű pontjait 2007 és 2009 között újramérték. A mérési eredményeket úgy egyenlítették ki, hogy öt darab főalappontot mozdulatlannak tekintettek (nyílván ezek a pontok sem mozdulatlanok, de feltételezhető, hogy az elmozdulás mértéke a kiválasztott pontok esetében nem jelentős) és azok magasságai felhasználásával vezették le a többi pont magasságát [2]. Megállapítható, hogy a hegyvidékeken jellemzően emelkedés következett be, melynek maximuma 10 cm volt, míg az Alföldön süllyedés történt, melynek mértéke elérte a 18 cm-t is. (1. ábra).



1. ábra: Magassági alappontok változásai Észak-kelet Magyarországon az eltelt 30 évben [7]

Előre vetíthető, hogy napjainkra az alacsonyabb rendű hálózatok esetén (és mert az ellenőrző mérés után ismét eltelt tíz év), az elmozdulás mértéke még a 20 cm-es értéket is meghaladhatja. Az irányadó szakmai szemléletet követve, miszerint egy vonalas létesítmény magassági meghatározása során a létesítmény mentén lévő alappontokat keressük fel, vonjuk be a magassági meghatározásba, majd a magassági záróhibát kiegyenlítéssel „szüntessük

meg" nem járható út, hiszen az EOMA-t (Egységes Országos Magassági Alapponthálózat) használva pl. egy Hajdú-Bihar és Szabolcs-Szatmár-Bereg megyéken átmenő út eleje és vége között akár a fenti magassági hiba is adódhat, ami nem megengedhető. Mivel a hálózat az elmozdulások miatt nem homogén, így mára sajnos elavult rendszerré vált és legfeljebb csak lokális (kis kiterjedésű) munkákhoz használható.

Ha az optikai szintezés helyett a második módszert, azaz a trigonometriai magasságmérést választjuk, úgy szintén szükségünk van magasságokkal rendelkező alappontokra, melyek magasságait vagy optikai szintezéssel az EOMA hálózatát használva (az előbbiekben bemutatott hibákkal terhelten) vagy a harmadik módszerrel, azaz GNSS technikával határozzuk meg. Napjainkban a földmérők az országos alappontok nagymértékű pusztulása, valamint azok elavultsága miatt és bizonyos kényelmi okokból (különösen a sajátos célú geodéziai munkák esetén) inkább a műholdas meghatározást részesítik előnyben, így célszerű tisztában lennünk a módszer nyújtotta magasságmeghatározás elvével, pontosságával, korlátaival.

A vizsgálatom során Tiszacsege – Balmazújváros – Hajdúböszörmény – Görbeháza települések között lévő szintezési alappontok (kizárólag külterületen lévők) egy részét helyszíneltem, azokat GNSS technikával megmértem (2. ábra.).



2. ábra: A helyszínelt magassági alappontok elhelyezkedése [8]

Többek között arra kerestem a választ, hogy különböző koncepciós megoldások, a magassági értékekben eredményeznek-e érdemi eltérést. A mérések során a GPS (Global Positionng System) és a GLONASS (GLObalnaja Navigacionnaja Szputnyikovaja Szisztyéma) holdakat együttesen alkalmazva, kétféle hálózatos RTK (Real Time Kinematic) technológiát használtam, az egyik a MAC (Master Auxiliary Concept) a másik pedig VRS (Virtual Reference Station) megoldás. A MAC (a Leica cég által kifejlesztett megoldás, melyet a műszerekben MAX betűszóval jelölnek) esetében a mérési adatok feldolgozása a vevőnél történik, mely adatokat a központ korrigálva (a ciklus többértelműséget meghatározva) továbbít a vevő felé [3].

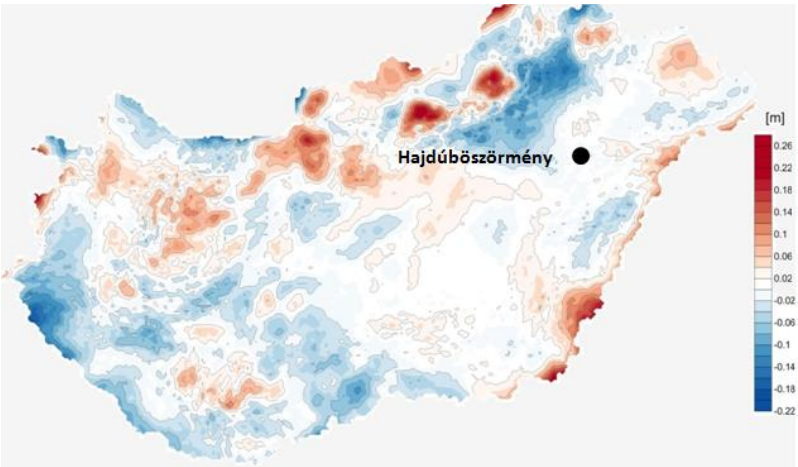
A VRS koncepció esetén a vevő elküldi a központnak a közelítő koordinátáit, a központ pedig erre a helyre korrekciókat generál, tulajdonképpen egy virtuális referencia állomást hoz létre.

A GPS-el történő magasságmeghatározás pontosságát leginkább a légköri hatások és a műholdgeometria befolyásolja, de hatással van rá az alkalmazott technológia (statikus vagy kinematikus mérés) és a transzformáció egyaránt. A mérést kevésbé befolyásolja a mérési idő hossza, (az elvárt mérési időn túli további mérési idő) illetve az észlelt műholdak fajtája. (Pl. tervezési térkép készítése során végzett alappont meghatározásához, egy pont mérésére 120-180 epocha mérési idő elegendő, természetesen eltérő beállítások mellett, - fölös mérések biztosítása végett - a meghatározást meg kell ismételnünk, így egy pont esetében összesen 240-360 epocha-ról beszélünk.) Az ionoszféra aktuális állapotára vonatkozó információkat

megtaláljuk a http://old.gnssnet.hu/pda/ oldalon. Célszerű a terepi munkák megkezdése előtt erről tájékozódni és amennyiben az előre jelzett értékek nincsenek kritikus tartományokban (piros mezőben felkiáltójel) csak akkor megkezdeni a mérést [4]. Az aktuális műholdgeometria értékekeit (vízszintes és függőleges vagy teljes geometriai pozícióra) vonatkozóan a földmérési célú eszközök kijelzik. Ennek megfelelően a 2-es érték kiváló, a 3-as pedig jónak mondható. A mérések végrehajtása után szükség van a pontok, országos koordinátarendszerbe való transzformálására.

3. EREDMÉNYEK

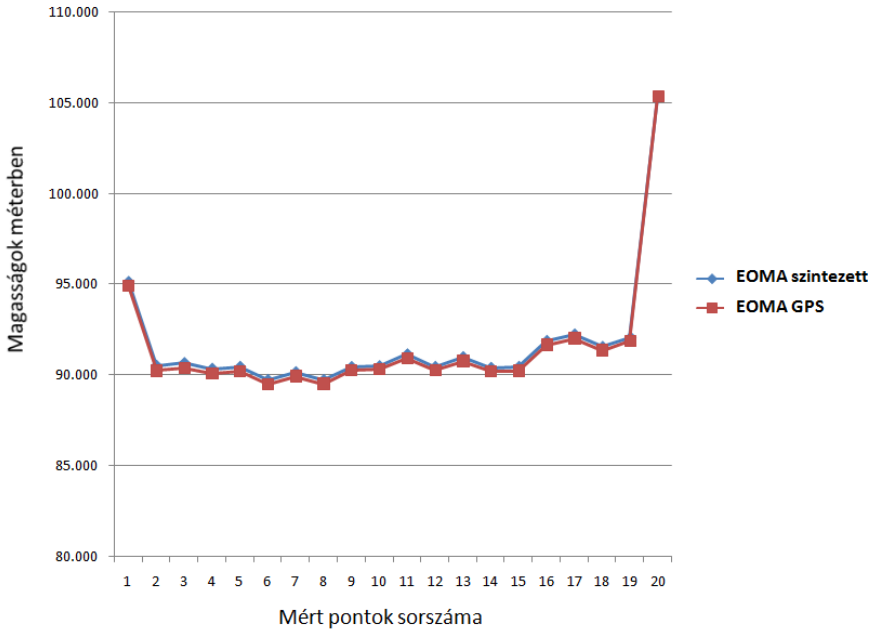
A GPS mérések során a pontok térbeli X; Y; Z, ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) koordinátarendszerben és a GRS80 (Geodetic Reference System 1980) ellipszoidra vonatkoztatott koordinátáit, kell átalakítanunk HD72 (Hungarian Datum 1972) rendszerbeli (GRS67 Geodetic Reference System 1967) ellipszoidi koordinátákká, s végül EOV (Egységes Országos Vetület) sík koordinátákká (Y; X EOV koordináták és EOMA magasság). A transzformáció végrehajtásának leggyorsabb módja, a műszerünkre telepített VITEL (**V**alós **I**dejű GNSS Helymeghatározásnál Használatos Terepi **T**ranszformációs **El**járás) alkalmazása. A napi mérnöki gyakorlatban manapság leginkább a 2009 vagy 2014-es valós idejű transzformációs eljárásokat alkalmazzuk. A két transzformáció között az a különbség, hogy a 2014-es verzió az ország egyes területein tapasztalható magassági transzformációs ellentmondásokat csökkenti, X; Y koordinátákra nincs hatással, vagyis a 2009 és 2014 transzformációk által számított X; Y koordináták azonosak. A mérésre kijelölt területen, a két eltérő transzformációból adódóan, mindössze néhány centiméteres magassági eltérések várhatók (3. ábra).



3. ábra: A magassági különbségtérkép értékeinek meghatározásánál a VITEL2009-es megoldásból került kivonásra a VITEL2014-es megoldás. [9]

Az ETRS89 rendszerben mért magasságokat VITEL2009 (újabb verzió) és VITEL2014 programmal számítottam át EOMA magasságokká. Az így számított magasságokat, a különböző transzformációk alkalmazásából adódóan eltérő transzformációs hibák terhelték.
A vizsgálat során végzett kétmintás t-próba eredménye alapján megállapítottam, hogy a t-statisztika számolt értéke lényegesen kisebb a megfelelő táblázati értéktől, így a különböző koncepciók és transzformációk szerinti mérési eredmények között, szignifikáns eltérés nem mutatható ki. Így számítva a mérési eredmények átlagos abszolút magassági eltéréseit és

összevetve a vizsgált magassági alappontok eredeti magasságaival, a különbségek a vizsgált pontokon állandónak bizonyulnak [5]. A leíró statisztikai vizsgálataink alapján, az EOMA szintezett és EOMA GPS magasságainak várható értékei közötti eltérés 5 cm-re adódott (4. ábra).



4. ábra: A szintezett magasságok és a GPS-el mért magasságok eltérései

A vizsgált pontok varianciája is ezt igazolja, hiszen mindkét változóra nézve ugyanaz az érték [6]. Feltételezve, hogy mind a GPS-el meghatározott magassági értékek, mind pedig a szintezett EOMA magasságok ugyanarra a szintfelületre vonatkoznak, úgy a vizsgált pontok süllyedése mintegy 5 cm-es. Ha tehát a mintaterületen, az EOMA alappontok felhasználásával, szintezéssel határozzuk meg az új részletpontjaink egy részének magasságait, a pontok másik részét pedig GPS-el mérjük, úgy a kétféle mérés közötti eltérés akár több deciméteres is lehet. Megállapítható, hogy a GPS-el végzett magasságmérések és a magassági alappont hálózatra vonatkoztatott mérések egyike sem ad pontos megoldást, az előbbi a mérési eredmények szórása (a mérések kitettsége), valamint a geoid modell pontatlansága, míg az utóbbi, a pontok jelentős vertikális mozgása miatt. Bonyolítja a helyzetet, hogy mind az eredeti szintezett magasságokkal rendelkező alappontokról levezetett meghatározások értékeit, mind pedig a GPS-el meghatározott (VITEL2009 vagy VITEL2014 transzformációval számított) magasságokat egyaránt EOMA magasságoknak nevezzük.

Összefoglalva, a GPS-el történő részletpont meghatározást (amennyiben a magasság is fontos számunkra) csak burkolattal nem rendelkező területeken (pl. földút, kert, szántóföld stb.) végezzünk, mivel az ezzel a módszerrel mért értékek szórása több centiméteres. Amennyiben burkolt felületeket kívánunk felmérni, úgy célszerű a GPS-t csak alappontsűrítésre használni (a GPS-el történő alappontmeghatározás irányelveinek betartása mellett) és a részletpontok meghatározásait szintezéssel vagy trigonometriai magasságméréssel végrehajtani. „Bármilyen” szintfelületet is alkalmazzunk a magasságméréseink végrehajtásához, a legfontosabb a pontok homogenitása, illetve azok környezetbe illesztése (a környezet magassági felmérése, a csatlakozó létesítmények magasságainak meghatározása ugyanazon magassági rendszerben). Nem szabad figyelmen

kívül hagynunk, hogy amennyiben a részletpontok meghatározását GPS-el és más mérési eljárásokkal kombinálva hajtjuk végre, a magassági adataink szintén nem lesznek homogének.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **TARSOLY, P.:** *Geodézia 9, Magasságok meghatározása*,2010, Nyugat-magyarországi Egyetem, elektronikus jegyzet. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_GED9/ch01s02.html(2017.12.09)

[2] **BUSICS, GY.:** *Miért van szükség integrált geodéziai hálózatra?* Megjelent az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság által rendezett XI. Földmérő Találkozókonferencia kiadványában, Nagybánya 2010. http://docplayer.hu/46537393-Miert-van-szukseg-integralt-geodeziai-halozatra why-the-integrated-geodetic-network-is-necessary.html (2017.12.09)

[3] **BUSICS, GY. :***A hálózatos RTK pontmeghatározások néhány kérdése* http://fmmk.hu/geodezia/wpcontent/uploads/2016/08/Busics_Ah%C3%A1l%C3%B3zatos-RTK-n%C3%A9h%C3%A1ny-k%C3%A9rd%C3%A9se.pdf (2017.12.09)

[4] **CZÉDLI, H., VARGA, ZS. :** *Zöldfelületek környezet egészségügyi hatásainak elemzése városi mintaterületeken.* 59th Georgikon Scientific Conference pp.82-88 ISBN 978-963-9639-89-8

[5] **KÉZI, CS., NAGYNÉ KONDOR, R., SZIKI, G. Á.:** *Alkalmazásorientált matematikaoktatás a DE Műszaki Karán* = Application oriented mathematics education Faculty of Engineering, University of Debrecen, International Journal Of Engineering And Management Sciences / Műszaki És Menedzsment Tudományi Közlemények, 2:(2), 36-42, 2017.

[6] **KÉZI, CS. :** *Bevezetés a magasabb szintű matematikába és alkalmazásaiba*, Debrecen: Debreceni Egyetemi Kiadó, 111, 2017. ISBN:978 963 318 172 0

[7] **BUSICS, GY.:** *Miért van szükség integrált geodéziai hálózatra?* Megjelent az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság által rendezett XI. Földmérő Találkozó konferencia kiadványában, Nagybánya, 2010. május 13-16.

[8] Google Earth

[9] www.gnss.net

A GEOTERMIKUS ENERGIA FELHASZNÁLÁSÁNAK LEHETŐSÉGI A BÜKK-ALJA TÉRSÉGBEN

THE OPPORTUNITIES FOR USING GEOTHERMAL ENERGY IN THE BÜKK-ALJA REGION

ZÁKÁNYI Balázs[1], SZŰCS Péter [2,3], TURAI Endre[4], VASS Péter[5], ILYÉS Csaba[6], MÓRICZ Ferenc[7]

[1]egyetemi adjunktus, hgzb@uni-miskolc.hu
[2,3]egyetemi tanár, hgszucs@uni-miskolc.hu
[4]egyetemi docens, gfturai@uni-miskolc.hu
[5]egyetemi docens, gfvassp@uni-miskolc.hucom
[6]tudományos segédmunkatárs, hgilyes@un-miskolc.hu
[7]egyetemi tanársegéd, moriczferi@gmail.com
[1,2,4,5]Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar
[3]MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport

Kivonat: *A Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet a Műszaki Földtudományi Karral közösen nyert pályázaton az Európai Unió által finanszírozott GINOP projektek keretén belül. A projekt során összeállt kutatói gárda célja, hogy Magyarország felhagyott vagy meddő szénhidrogén-kutató kútjai, fúrásai új célt tudjanak szolgálni, geotermikus felhasználásra kerüljenek. A több, mint ezer fúrás adatbázisba rendszerezése, valamint azok értékelése és térképi megjelenítése után szűkítettük a kutatási területet a Bükk-alja térségére. Jelen tanulmányban az itt szerzett információkat mutatjuk be térképeken keresztül.*

Kulcsszavak: *geotermia, használaton kívüli CH kutak, hidrogeológia*

Abstract: *The Research Institute of Applied Earth Sciences of the University of Miskolc, together with the Faculty of Earth Science and Engineering have been working on the PULSE project since 2016. The aim of the project is to allow Hungary's abandoned or unproductive hydrocarbon exploration wells and drilling to serve a new goal for geothermal utilization. After sorting more than a thousand drilling into the database and evaluating them and mapping, we narrowed the research area to the Bükk-alja region. In this paper we present the information obtained here through maps.*

Keywords: *geothermal, unused CH wells, hydrogeology*

1. BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem egyik projektjének kitűzött fontosabb feladatai a földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése. A Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet és Műszaki Földtudományi Kar közös kutatócsoportja újszerű kutatómunkát kíván végezni a hazai természeti energiaforrások fenntartható kiaknázásának témakörében, különös tekintettel a következőre:

1. Kihozatali hatásfok növelését biztosító eljárások kutatása és fejlesztése szénhidrogén telepekben;
2. Nagy hatékonyságú hozamnövelő rétegkezelési eljárások kutatása és fejlesztése valamint;
3. Meddő és használaton kívüli kutak energetikai hasznosíthatósága területeken.

A projekt elősegítheti a nemzeti energia stratégiában megfogalmazott biztonsági ellátási célok megvalósulását, a fenntartható energiagazdálkodást és az ásványvagyon hasznosítási célkitűzéseket. Az eredmények hozzájárulhatnak a nemzeti ásványvagyon alapját képező, hagyományos és nem hagyományos szénhidrogének, valamint a szénhez kötött metán

készleteinek növeléséhez az intenzív termelési technikák (Enhanced Oil and Gas Recovery, EOR és EGR) alkalmazásával és ezen keresztül a hazai szénhidrogén potenciál újraértékeléseihez. A projekt új alapokra helyezi a hazai geotermikus energia hasznosításának technológiai lehetőségeit, különös tekintettel az EGS (Enhanced Geothermal System) módszertan esetén [1]. A fent felsorolt három témakörből részletesen csak a harmadikat és az ebben már megkezdett munka eredményeit mutatjuk be a következő fejezetekben.

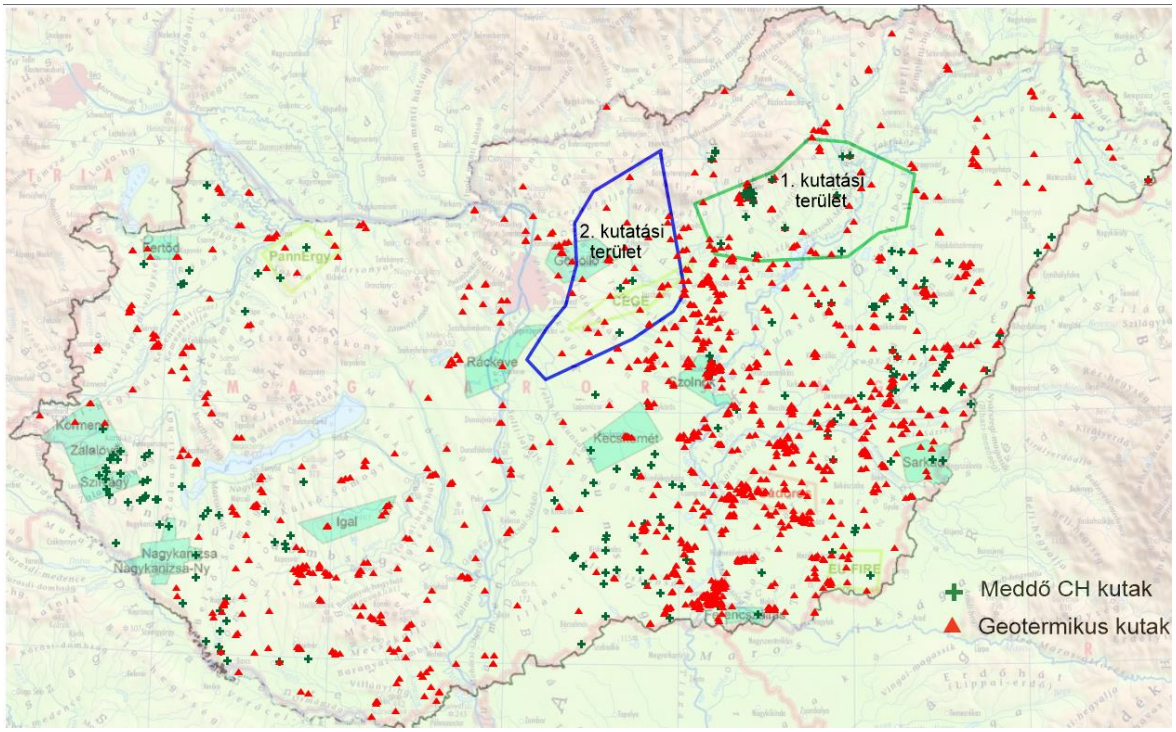
2. MEDDŐ ÉS HASZNÁLATON KÍVÜLI OLAJIPARI KUTAK ENERGETIKAI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

A projekt keretében tervezett kutatás jelentős szerepet játszhat a geotermikus energia hazai felhasználásának növelésében. A hazai szénhidrogén kutatás és termelés szempontjából meddő (és/vagy használaton kívüli) szénhidrogén kutak energetikai célú hasznosíthatóságának témája kiemelt kutatási program [2]. A tervezett kutatások két területre; a kút szintű energetikai értékelés, illetve erőművi/ipari hulladékhő vagy megújulókból származó energia földtani közegben történő tárolásának hatékonyság/hatásfok vizsgálatára irányulnak. A kutatások eredményei hívhatják fel a figyelmet a földtani közeg energetikai célú hasznosításának érzékeny és kritikus területeire. A tárolástechnológiai fejlesztések javíthatják a földtani közegek energetikai célú hasznosításának hatékonyságát.

A négy éves kutatási időszakban a következő pontok alapján kívánjuk elvégezni a munkát:

1. Adatgyűjtési metodika kidolgozása. Kútszintű adatgyűjtés, területi adatgyűjtés, a földtani közegekben történő hőtárolással kapcsolatos adatgyűjtés.
2. Adatbázis építés, geotermikus energiahasznosítási célú adatelemzés. Kútszintű adatbázis, területi adatbázis, hőtárolással kapcsolatos adatbázis.
3. Mélyfúrási geofizikai szelvényezések újraértékelése. Kútszintű újraértékelés, területi értékelés, a hőtárolással kapcsolatos újraértelmezés.
4. Terepi kalibrációs mérések és tesztek végrehatása kutakban. Terepi kalibrációs mérések és tesztek végrehajtása néhány kútban, abból a célból, hogy a korábban elvégzett mérésekből kiszámítható hidrogeofizikai paraméterek (lyukgeofizikai mérésekből meghatározott elődleges és másodlagos porozitások, szaturációs paraméterek, permeabilitás, szivárgási tényező, hőtároló kapacitás, stb.) a mérésektől eltelt – sokszor több évtizedes – idő alatt milyen mértékben változtak meg. .
5. Hőtárolási célú szimulációs vizsgálatok elvégzése hőtranszport modellezéssel.
6. Az adatbázis pontosítása az elvégzett terepi mérések, tesztek és szimulációs vizsgálatok alapján.
7. A geotermikus energia hasznosítás lehetőségeinek körvonalazása és akcióterv kidolgozása az elvégzett vizsgálatok és kutatómunka alapján.

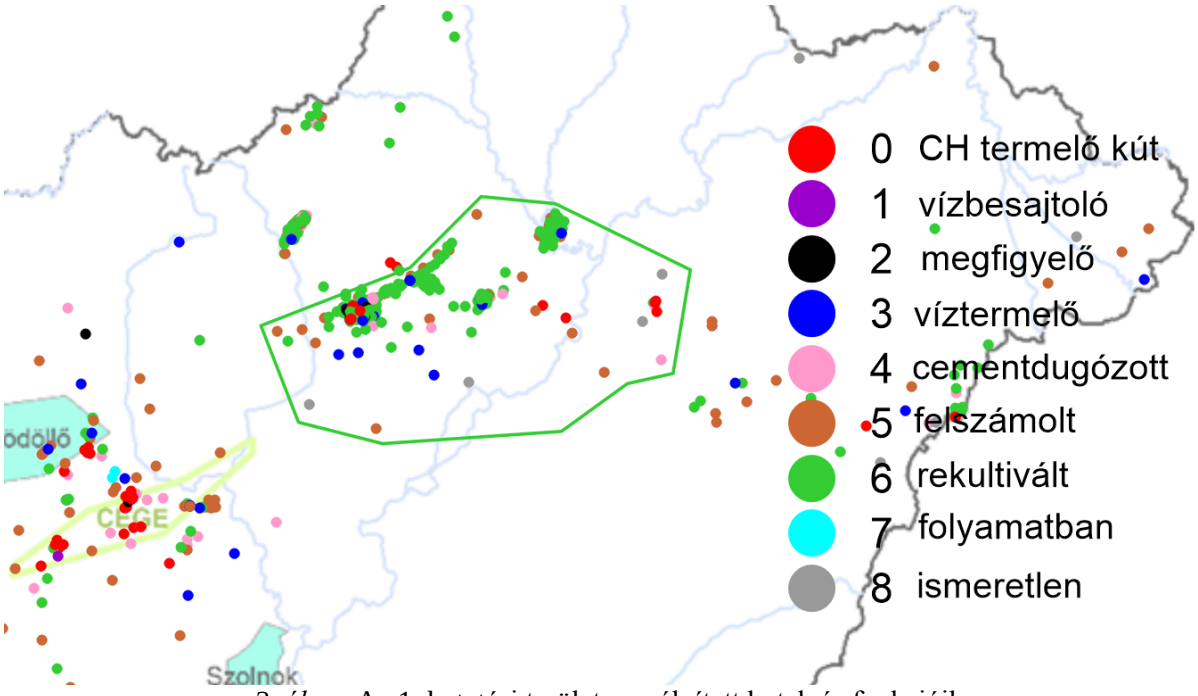
A projekt jelenlegi szakaszában az adatgyűjtés és az adatbázis elkészült, amelynek pontosítása és kiegészítése természetesen a projekt végéig folytatódni fog. Elkészültek országos térképek, amelyek a geotermikus és használaton kívüli szénhidrogén kutak elhelyezkedését mutatja Magyarország területén *(1. ábra)*. Emellett megkezdtük a kútszintű és a területi értékelést is, amelynek eredményeképpen 2 területet választottunk ki. Az egyik terület a Mátraalja, Cserhátalja, Gödöllöi-dombság (*1. ábra* 2. kutatási terület), a másik pedig a Bükk-alja, Borsodi-mezősség, Hevesi-sík (*1. ábra* 1. kutatási terület) által határolt terület. Jelen tanulmányban az adatbázisból készített térképeket fogunk bemutatni az utóbbi kutatási terület Bükk-alja térségére.



1. ábra: Magyarország hasznosítható meddő szénhidrogén-, és geotermikus kutjainak térkép a két kutatási területtel

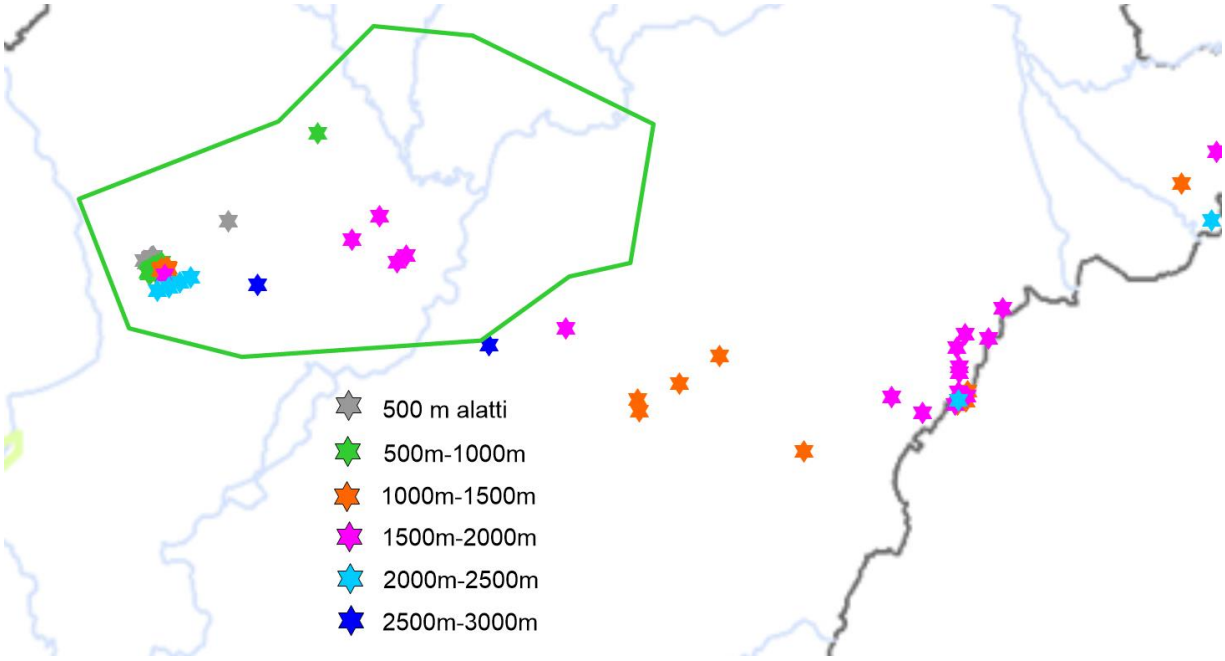
3. GEOTERMIKUS VISZONYOK A BÜKK-ALJA TERÜLETÉN

Az 1. kutatásai területen már az 1950-es évek előtt is készültek szénhidrogén kutató fúrások. Napjainkban is vannak fúrások, de ezek már termálvíz kinyerése céljára mélyített kutak fúrásai. A *2. ábra* szemlélteti a területen lévő összes fúrást napjainkig valamint azt, hogy ezek a fúrások milyen funkcióval rendelkeznek jelenleg.



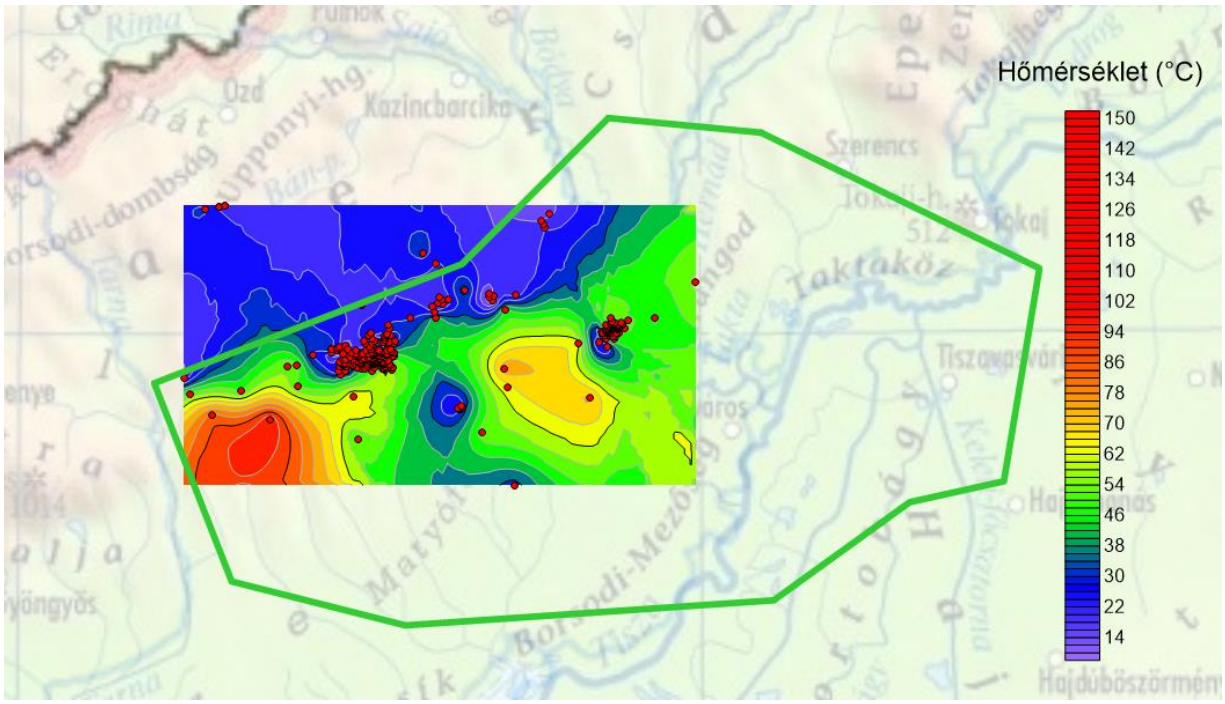
2. ábra: Az 1. kutatási területen mélyített kutak és funkcióik

A következő térképen csoportosítottuk az 1980 után fúrt kutakat mélység alapján, amely jól mutatja, hogy a Bükk-alja területén a fúrások mélysége jellemzően 500m és 1500 m között változik. Azért ezt az időszakot választottuk, mert ebben az időszakban készült kútkönyvek információi, már megbízhatóbbak, mint a régebbiek.



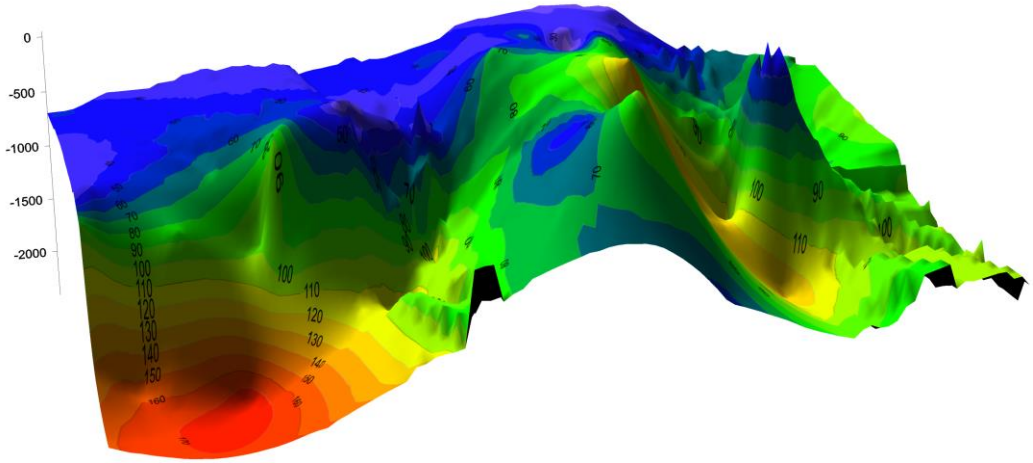
3. ábra: Az 1980 után mélyített fúrások a mélység függvényében.

Az jelenlegi adatbázis alapján elkészítettük a Bükk-alja területére a maximális hőmérséklet eloszlás térképet, amelyet a *4. ábra* mutat.



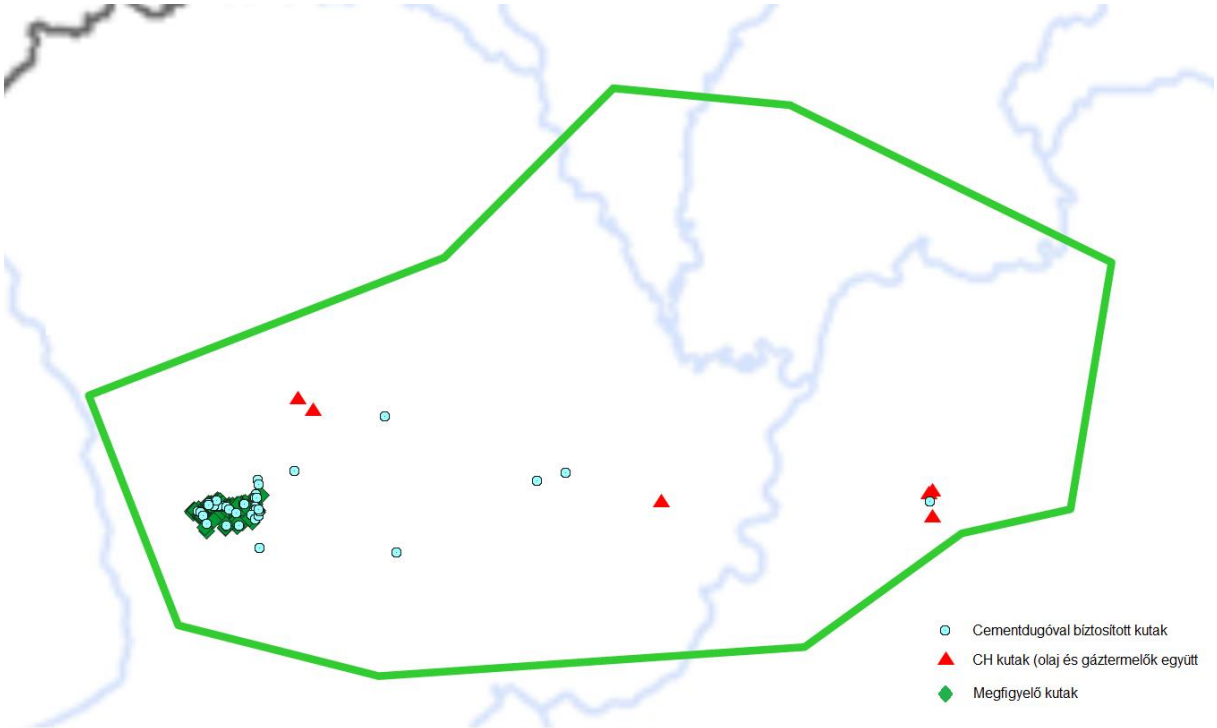
4. ábra: A Bükk-alja térségben lévő kutak adatai lapján szerkesztett maximális hőmérséklet eloszlás térkép

A fúrások talpmélysége alapján elkészítettük a hőmérséklet eloszlás 3 dimenziós változatát is (5. ábra).



5. ábra: A maximális hőmérséklet eloszlás térkép 3D-ben

Az adatbázis, a bemutatott térképek és a beszerzendő kútkönyvek alapján kezdhető meg a kút szintű értékelések készítése. A *6. ábrán* bemutatott kutak közül szűrhető lesz, hogy mely kutak alkalmazhatók a jövőben geotermikus rendszerek (víztermelő vagy visszasajtoló kútként) kialakításánál.



6. ábra: A geotermikus rendszerek kialakításánál használható kutak elhelyezkedése

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A projekt keretein belül a hazai meddő és használaton kívüli olajipari kutak információinak elsőként megvalósuló átfogó összegyűjtésével és szisztematikus feldolgozásával lehetőség nyílik a geotermikus energiahasznosítás széles körű kiterjesztésére és hatékony

megvalósulásának elősegítésére. A kutatómunka eredményeként a geotermikus energia hasznosítás fenntarthatósági aspektusai is meghatározásra kerülnek.

A kút szintű energetikai értékelés keretében az alábbiakat szeretnénk a jövőben megvizsgálni:

- a kútból mélység szelektíven (10 m-es mélység intervallumonként) kinyerhető hőenergia mennyisége,
- a hőenergia mélység szelektív kinyerését lehetővé tevő technológiák megadása és elemző vizsgálata,
- a kútból összesen kinyerhető hőenergia mennyiségének becslése a kútfejnél,
- a kútfejtől egységnyi távolságra (pl.: 1 km-re) lévő gyűjtőponton (akkumlálási ponton).

A kút szintű adatok integrálásával egységnyi területre vonatkozó energetikai értékelés dolgozható ki. Az értékeléshez a következőket kell meghatározni:

- a vizsgált terület nagysága (pl. 10 km x 10 km = 100 km^2,
- a területen lévő, a kút szintű energetikai értékelésbe bevont kutak száma,
- a kutakból kinyerhető hőenergia összege a területen,
- a terület egy adott akkumlálási pontjára számított összes hőenergia. (Minden kút kútfejnél számított összes kinyerhető hőenergiájából le kell vonni az akkumlálási pontig való hőszállítás hőveszteségeit).

A fent említett vizsgálatokat, értékelést először az 1 kutatási területen szeretnénk elvégezni, amelynek tapasztalatai (metodika) alapján fogjuk a 2. területet feltérképezni.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **RYBACH, L.:** *„The Future of Geothermal Energy” and Its Challenges, Proceedings,* 2010

[2] **BOBOK, E., TÓTH, A.:** „*Megújuló energiák.”* Miskolci Egyetemi Kiadó, 227, 2005.

HŐENERGIA KINYERÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI FELHAGYOTT CH KUTAK HASZNOSÍTÁSÁVAL

OPPORTUNITIES FOR ENERGY CONDUCTING BY USING ABANDONED CH WELLS

ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta[1], VARGA Gyula Gábor[2], JOBBIK Anita[3]

[1]tudományos munkatárs (PhD), zakanyine@gmail.com
[1]Alkalmazott Földtani Kutató Intézet, Miskolci Egyetem

[2]PhD hallgató, tudományos segédmunkatárs, varga@afki.hu
[2] Alkalmazott Földtani Kutató Intézet, Miskolci Egyetem

[3]tudományos főmunkatárs (PhD), jobbik@afki.hu
[3]MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport, Miskolci Egyetem

Kivonat: *Napjainkban, a világ energiatermelésének struktúrájában a fosszilis energiahordozók dominálnak, és egyben nagyszámú környezetvédelmi problémát okoznak. Mindemellett ezekhez az energiahordozókhoz (úgy mint a szén, olaj, természetes gáz) kapcsolódó energiaválság egyre komolyabb kérdésként jelenik meg [1]. Éppen ennek köszönhetően a megújuló energiaforrások és a zöld energia kutatása egyre vonzóbb területként jelenik meg. A konvencionális fosszilis energiahordozók felhasználását összehasonlítva a geotermális energia hasznosításával, ez a fajta energiatermelési mód rendkívül előnyösnek mutatkozik, hiszen nincsenek szennyezőanyagok, és mindemellett megújuló energiaforrás. A fentieken túl, jól ismert, hogy a világon megközelítőleg 20-30 millió felhagyott olajkút létezik, ehhez hozzáadva az egyéb célból készült, lezárt kutakat, a végső száma jóval nagyobb lehet. Ezen tényezőket figyelembe véve világszerte egyre több kutatási téma célpontjává válik a felhagyott kutak geotermális céllal történő újrahasznosíthatóságának vizsgálata [2].*

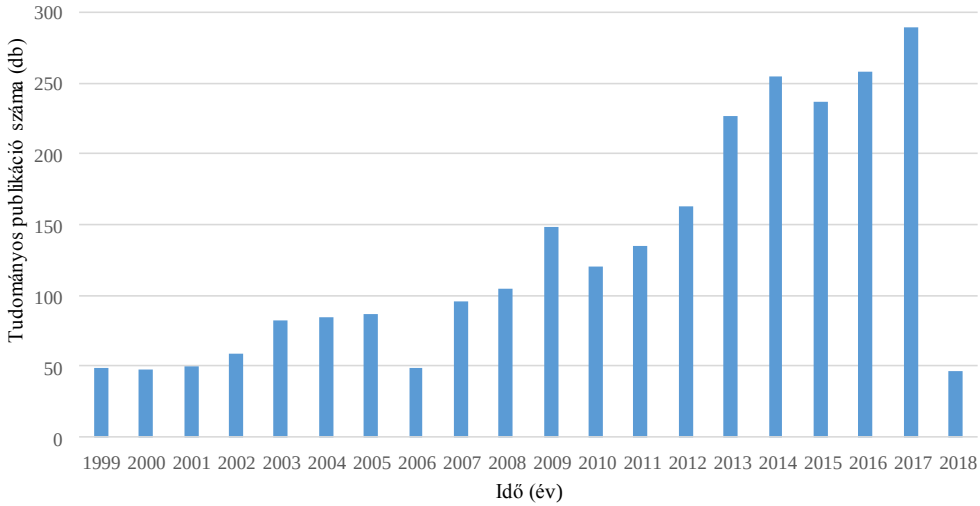
Kulcsszavak: *geotermális, felhagyott kutak, hőhasznosítás*

Abstract: *Nowadays, in the world's energy production structure, fossil fuels dominate and at the same time cause a number of environmental problems. Moreover, the energy crisis associated with these energy carriers (such as coal, oil, natural gas) is becoming more and more serious. Due to this, renewable energy sources and green energy research are becoming more and more attractive. Compared to the use of conventional fossil fuels using geothermal energy, this kind of energy production is extremely beneficial, as there are no pollutants and yet are a renewable source of energy. Above all, it is well known that there are approximately 20 to 30 million abandoned oil wells in the world, plus sealed wells for other purposes, and the final number can be much greater. Taking these factors into account, research on the recyclability of abandoned wells for geothermal purposes will become a target for more and more research topics around the world.*

Keywords: *geothermal, abandoned wells, heat recovery*

1. BEVEZETÉS

Világszerte egyre több kutatási téma célpontjává válik a felhagyott kutak geotermális céllal történő újrahasznosíthatóságának vizsgálata [2]. Mindezt jól mutatja, a témához kapcsolódó kutatási anyagok számának folyamatos emelkedése, melyet az *1. ábra* is kiválóan szemléltet.

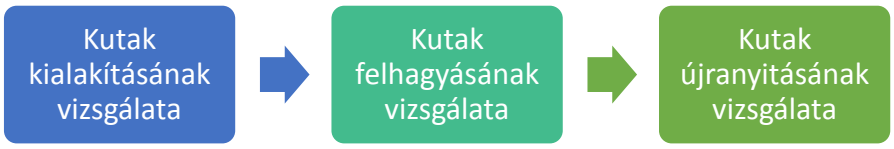


1. ábra: Felhagyott kút és geotermális (Abandoned well, geothermal) keresőszóra a Science Direnct által fellelhető tudományos publikációk számának alakulása az elmúlt 20 évben 2018.01.03.-i adatok alapján. (forrás: saját szerkesztés)

Érdekességként mondható el, hogy a publikációk jelentős része az energia hasznosításának technológiai lehetőségének vizsgálatával, a hőtranszport folyamatok tanulmányozásával, valamint általános, energetikai, vagy gazdaságossági szempontú értékelések készítésével foglalkoznak. A fenti adatbázisban, a megjelölt dátumig nem találtam olyan jellegű publikációt, amely a felhagyott kutak újrahasznosíthatóságát biztonsági szempontból értékelte volna.

Fontos kérdésként jelenik meg tehát, hogy a felhagyott kutak, humánbiztonsági, illetve környezetvédelmi szempontból, mennyire lehetnek alkalmasak az újranyitásra, az új technológiai elemek milyen biztonsággal kerülhetnek beépítésre és a kialakított új rendszer biztonsági tényezőit mennyire befolyásolja a már meglévő, több éve, vagy évtizede felhagyott elemek alkalmazása?

Célul tűztük ki tehát a fenti probléma tanulmányozását. Ennek érdekében három fő területet vizsgáltunk, melyet a *2. ábra* mutat be.



2. ábra: A vizsgált tématerületek bemutatása (forrás: saját szerkesztés)

2.GEOTERMÁLIS VISZONYOK MAGYARORSZÁGON

Magyarország, bár nem aktív vulkáni területen található, geotermikus adottságai mégis európai, de nemzetközi viszonylatban is kiemelkedők. Magas a hőmérséklet mélységgel

történő emelkedése, ~ 45 °C/km, szemben az átlagos 20-30 °C/km értékkel. Így 500 m mélységben az átlaghőmérséklet már 35-40 °C, 1000 m-ben 55-60 °C, 2000 m mélységben pedig 100-110 °C, a melegebb területeken akár 120-130 °C lehet. A felszín alatt több km kilométer mélységig megtalálható törmelékes üledékekből (homok, homokkő) vagy repedezett mészkőből, dolomitból az ország területének több mint 70%-án minimum 30 °C-os termálvíz feltárható. [3].

A magyarországi geotermikus kutak többnyire 1000 – 2000 m mélységből termelnek. A kutak felépítése hasonló és tipikus. A vezető béléscső átmérője mintegy 50 m mélységig 13 3/8” (349 mm) egy a 17½” (444,5 mm) átmérőjű fúrólyukban. Majd az 500-1800 m közötti mélységtartományban egy a 12 ¼” (444,5 mm) átmérőjű fúrólyukban 9 5/8” (244,5 mm) felszíni béléscsövet építenek ki. Végezetül egy 7” (177,8 mm) cső kerül beépítésre a 8 ½” (215.9 mm) fúrólyukban. A béléscsövek minden esetben cementezve vannak [4]. Ellenállóképességüket és anyagminőségüket tekintve ezeknek a kutaknak igen magas elvárásoknak kell megfelelniük, hiszen a használat során nagy sótartalmú és magas hőmérsékletű vizek hatásainak vannak kitéve. Jellemzően az átlagosnál nagyobb falvastagságú csőfalazattal és jobb anyagminőséggel kerülnek kialakításra a kutak.

3. GEOTERMIKUS RENDSZEREK

A geotermikus rendszereket a működésükhöz szükséges 3 alapelem – tároló, fluidum, hőforrás – jellege, eredete alapján 2 fő csoportba oszthatjuk:

- hagyományos (konvencionális), hidrotermális rendszerek meglévő tárolók termelésével;
- nem hagyományos, mesterséges, javított kihozatalú geotermikus rendszerek:
  - meglevő rezervoár áteresztőképességének javítása (EGS)
  - új, mesterséges rezervoár létrehozása (HDR).
  - egy kutas, dupla csöves rendszerek hőcserélő folyadékkal.

A geotermikus energia hasznosítása általában több hőmérsékletlépcsőben, ún. kaszkád rendszerben történik. A rezervoár és a kutak által biztosított legmagasabb hőmérsékletű hasznosítást a gazdaságosság növelése, a geotermikus energia minél teljesebb kihasználása érdekében lehetőség szerint alacsonyabb hőmérsékletigényű alkalmazások bevonásával egészítik ki. A geotermikus energia hasznosítási módjai az alábbi nagy csoportokba sorolhatók [4]:

Villamosáram-termelés:

- Száraz túlhevített tárolóra telepített erőmű;
- Forró vizes tárolóra telepített erőmű;
- Kettősközegű (bináris) erőmű
  - ORC;
  - Kalina;

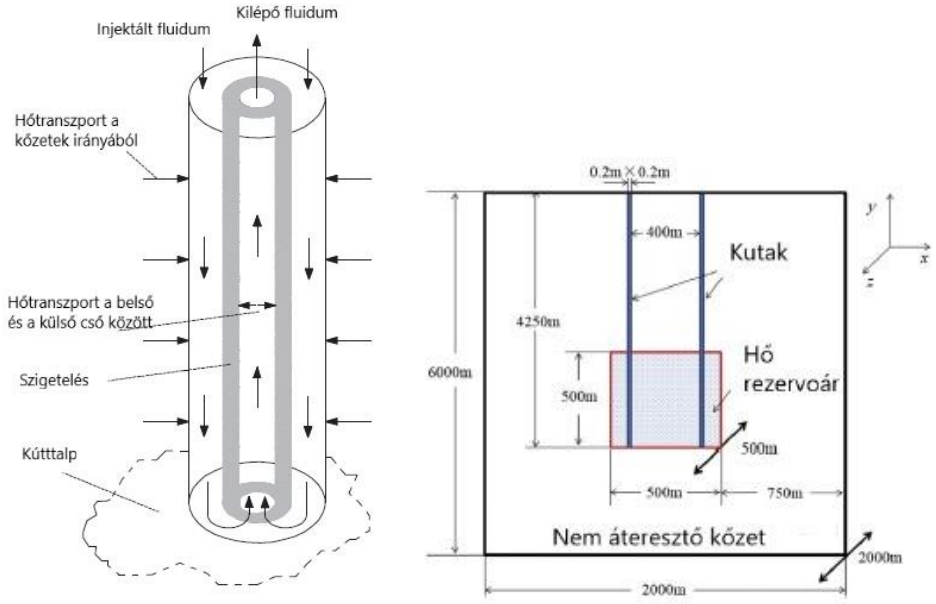
Közvetlen hőhasznosítás

- Hőszivattyúval ellátott kis mélységű geotermikus rendszerek (hőszivattyúzás).
  - Épületfűtés (egyedi vagy távfűtés),
  - használati melegvíz (HMV) szolgáltatás;
- Ipari hőszolgáltatás;
- Mezőgazdasági alkalmazások (üvegház, fóliasátor fűtés, terménysárítás stb.);
- Balneológia, wellness;
- Halgazdálkodás, halastavak;
- Jégtelenítés;

4. LEHETSÉGES HASZNOSÍTÁS FELTÉTELEI

A mélyfúrások kialakítása többféle célzattal is kezdődhet. Amennyiben jól ismert földtani környezetben, konkrét céllal történik a fúrás mélyítése, az lehet olaj és/vagy gáztermelés, továbbá víztermelés (geotermális hasznosítás), vagy pl. egy terület monitorozása céljából, stb. A kutak mélyítése során, a kialakítás minden esetben igazodik a felhasználási célhoz. Amennyiben egy fúrást kutatófúrásként mélyítenek, a kút tulajdonságainak jóval szélesebb spektrumon kell megfelelniük, ellenállniuk, hiszen ebben az esetben még nem ismert teljes mértékeben a végső felhasználási cél.

A felhagyott kút állapotának, és az egyéb viszonyoknak megfelelően egy, illetve többkutas rendszerben is történhet a felhagyott kút újrahasznosítása. Egy kutas hasznosítás esetében, úgynevezett duplacsöves rendszer kerül beépítésre (3. ábra), ekkor a meglévő rendszeren nagyobb mértékű változtatást szükséges eszközölni. Az egykutas és két kutas rendszer elméleti felépítését a következő ábra mutatja be.



3. ábra: Egy (balra) és kétkutas (jobbra) hasznosítási rendszerek elméleti felépítése

Egy felhagyott kút környezetének megismerése, a kúthasználathoz kapcsolódó lehetőségek felmérése elengedhetetlen lépése az újrahasznosítási folyamatnak. A megelőző lépések során végbemenő hasznosíthatósági értékelés több lépésből áll, melynek a biztonsággal kapcsolatos felmérés csak egy kis szakaszát jelenti. A legtöbbször a beruházás megkezdésének döntését csak kis mértékben befolyásolja a kút állapota és a biztonság, hiszen ha a rendszer és a terület megfelel minden szempontból a követelményeknek és a hőhasznosítás gazdaságosnak bizonyul a biztonságos kútnyitás már megoldandó kérdésként jelentkezik, nem pedig döntést befolyásoló paraméterként. A megelőző értékelés mindig több paraméter mentén és több lépcsőben zajlik, ennek a folyamatnak a lebonyolításához bizonyos dokumentumok megléte elengedhetetlen. Ezeket az alábbiakban foglaljuk össze.

Egy adott terület felmérésének, értékelésének elvégzéséhez elsődlegesen szükséges adatok forrása a következő dokumentumok lehetnek.

- kútkönyv,
- hordozó földterület tulajdoni lapja,

- földhivatali térképmásolat,
- helyszíni szemléről készített jegyzőkönyv,
- geológiai/hasznosíthatósági értékelés,
- műszaki-állapot felmérés.

Az elsődleges dokumentumok felmérését követően további információ értékelés szükséges, ezen adatok megléte szintén elengedhetetlen a hatékony felméréshez, a lehetőségek tanulmányozásához.

- lehetőleg friss (30 napnál nem régebbi) helyszíni szemléről készített jegyzőkönyv (látható műszaki állapotról, kút környezetéről), fényképfelvételek,
- domborzati áttekintő térkép (1:25 000, vagy 1:50 000 léptékű),
- földhivatali hiteles tulajdoni lap (30 napnál nem régebbi),
- földhivatali hiteles térképmásolat (1:1 000, vagy 1: 2 880, vagy 1: 4 000 lépték),
- geológiai értékelés az alternatív hasznosítás lehetőségeiről,
- műszaki állapot értékelése a kútkönyvek alapján,
- kút elhelyezkedésével kapcsolatos földrajzi, gazdasági adatok,
- egyéb, az értéket befolyásoló információ, adat (esetleg műszeres kútvizsgálatról szóló jegyzőkönyv, szakvélemény),
- esetlegesen elektromos hálózat (vételezés, betáplálás) távolságáról rendelkező adatok,
- nyílt csapadékvíz gyűjtő csatornahálózatról, vagy öntözőrendszerekről, közeli természetes, vagy mesterséges vizekről adatok,
- nemzeti park, Natura 2000 területek, természetvédelmi területek távolsága, nemzeti park nyilatkozata,
- közelben elhelyezkedő településekre vonatkozó adatok (fűtési rendszerek – távhő szolgáltatás, lakosok száma, távolság, infrastruktúra),
- esetlegesen a hidrogeológiai és geotermikus védőidomok felállítása, ismerete,
- esetlegesen az elvi vízjogi engedély beszerzése.

Az adatgyűjtés fázisában az alábbi kockázati tényezők merülhetnek föl:

- Értékcsökkentő tényezőként vehető figyelembe a kutak felszámolásakor felmerülő költség, mely akkor jelentkezik, amikor a kút hasznosítása már tovább nem lehetséges.
- Nem készül környezetvédelmi felülvizsgálat a kút környezetének állapotáról és a kármentesítés esetleges költségeinek becsléséről.
- Nem készül a földalatti környezeti kockázatokról szakvélemény, így az esetleges rétegek közötti átfejtődés, vagy egyéb veszélyek nem kerülnek kiértékelésre.
- Nem történik meg a kútellenőrzés (béléscsőterek ellenőrzése, nyomások esetleges lefúvatása, akna kiszívatása).
- Mint „bányászati létesítmény – meddő CH-kút” értékesítéséhez nem szükséges a hordozó-ingatlan tulajdonjogának átruházása is a kúttal együtt, hiszen a szükséges „termelési” jogokat a bányatörvény értelmében megszerezheti a kút tulajdonosa egy esetleges geotermikus hasznosítás (Bt. [5] hatálya alá tartozó tevékenység) esetén. Amennyiben ettől eltérő hasznosítása (termálkút, vízkút) valósul meg, akkor ennek a tevékenység folytatásához a kút tulajdonosának rendelkezni kell a hordozóingatlan tulajdoni jogával vagy a hordozó ingatlan tulajdonosától területre lépési és használati engedéllyel. (1995. évi LVII. törvény [6] 4.§.d) pontja kimondja, miszerint az ingatlan tulajdonosának tulajdonában vannak az ingatlan határain belül lévő és saját célt szolgáló vízi létesítmények). Tehát az ilyen típusú hasznosításnak jelentős kockázata lehet a földterületre vonatkozó tulajdon jogok, vagy használati jogok megszerzése, ezek a tulajdonosi jogok, és használati jogok (ennek hiányát) értéket befolyásoló tényezőként értékelhetők.

5. ÖSSZEGZÉS

Összegzésként megállapítható, hogy a kutak kialakításának technikája nagyban befolyásolhatja a geotermikus rendszerré történő átalakíthatóság lehetőségét.

A felmérési szakasz hosszú, összetett és több lépésből álló folyamat, melynek eredményeként döntés születik a beruházás gazdaságosságára vonatkozóan egy adott területen. Amennyiben egy felhagyott kút újranyitásra érdemesnek bizonyul, a biztonsággal kapcsolatos kérdések is előtérbe kerülnek. A humánbiztonsággal kapcsolatos kockázatok egy felhagyott kút újranyitásakor összetett elemzést igényelnek, hiszen ebben az esetben a kút kialakításának és működésének információit is tanulmányozni kell, hiszen minden múltbeli esemény és információ, hatást gyakorol a kút jelenlegi állapotára és az értékelés eredményére.

Az elsődleges információforrás a múltbeli események tisztázására a kútkönyv. Fontos tényezőként jelentkezik, hogy a kút mennyi ideig volt ideiglenesen lezárva és eközben milyen események zajlottak, próbálták-e illegálisan kinyitni. Sok esetben ilyen eseményekről a helyi lakosoktól kaphatunk információt.

Az újranyitási folyamat technológiai szempontból sok lépésben nagyon hasonló a meglévő kút mélyítésének lépéseihez, azonban ebben az esetben a meglévő rendszer állapota további, ismeretlen, súlyosbító tényezőként jelentkezik. Minden újranyitás nagy szakmai hozzáértést, váratlan eseményekre széles skálán történő felkészülést, pontos tervezést, gyakorlott és felkészült megvalósító csapatot igényel.

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **LIOR, N.:** *Energy resources and use: The present situation and possible paths to the future.* In Energy, 33, 842–857, 2008. https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.09.009

[2] **KUJAWA, T., NOWAK, W., STACHEL, A. A.:** *Utilization of existing deep geological wells for acquisitions of geothermal energy.* Energy, 31(5), 650–664, 2006. https://doi.org/10.1016/j.energy.2005.05.002

[3] **SZITA, G., VITAI, Z.:** *First Geothermal Energy Utilization System Based on Medium Enthalpy Reservoir in Hungary.* European Geothermal Congress 3, 2013.

[4] **SZŰCS, P., BOBOK, E., TÓTH, A., KOLENCSIKNÉ TÓTH, A., MADARÁSZ, T., ZÁKÁNYI, B, DEBRECZENI ,Á, S. J. E.:** *Geotermikus erőműfejlesztés lehetősége az ásványvizek földjén, Magyarországon.*, 2017.

[5] 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról

[6] 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról.

BENTONITOK ZÉTA POTENCIÁL VÁLTOZÁSÁNAK VIZSGÁLATA SÓOLDATOK JELENLÉTÉBEN

EFFECT OF SALT CONCENTRATION ON THE CHANGEING ZETA POTENTIAL IN THE SURFACE OF BENTONITE PARTICLES

ZÁKÁNYINÉ MÉSZÁROS Renáta[1], VARGA Gyula Gábor[2], JUHÁSZNÉ SZALAI Adrienn[3], BÁRÁNY Sándor[4]

[1]tudományos munkatárs (PhD), zakanyine@gmail.com
[1]Alkalmazott Földtani Kutató Intézet, Miskolci Egyetem

[2]tudományos segédmunkatárs, varga@afki.hu
[2] Alkalmazott Földtani Kutató Intézet, Miskolci Egyetem

[3] tudományos segédmunkatárs, efkadri@uni-miskolc.hu
[3]Egészségfejlesztési Módszertani Intézet, Miskolci Egyetem

[4]professor emeritus (PhD), akmbsab@uni-miskolc.hu
[4] Alkalmazott Földtani Kutató Intézet, Miskolci Egyetem

Kivonat: *A bentonit az egyik leggyakrabban előforduló agyagásvány, amely rendkívül széles körben alkalmazható. A bentonit legfontosabb felhasználási területei: kötőanyag (például öntödei homokkötés, vasérc pelletizáló stb.), tisztítószer, szerves anyagok és nehézfémek adszorbense, valamint vízzáró fúrásoknál is alkalmazható. Rendkívül kedvező reológiai tulajdonságai miatt a bentonitot gyakran használják a hagyományos vízalapú fúrófolyadékokban, [1]. A bentonit alkalmazási potenciálja az ioncserélő képességétől, nedvesedési képességétől, duzzadásától, felületi kémiai és elektro-felületi jellemzőitől (felületi töltés és potenciál) függ. A montmorillonit, amely duzzadó alumínium-szilikát 2: 1 kristályszerkezetű rétegekkel rendelkezik, a bentonit fő komponense. Kutatásunkban ezen rendkívül széles spektrumú anyag tulajdonságainak egy szűk területét vizsgáljuk. Miután korlátozott adatok állnak rendelkezésre a bentonit / montmorrilonit elektrokinetikus viselkedéséről az irodalomban, így az általunk kapott eredmények elméleti és gyakorlati szempontból is jelentősek.*

Kulcsszavak: *bentonit, sótartalmú rendszerek, zéta potenciál*

Abstract: *Bentonite is one of the most common clay minerals with an extremely wide spectrum of applications. The main uses of bentonite are for drilling mud, binder (e.g. foundry-sand bond, iron ore pelletizer, etc), purifier, absorbent for organic matters and heavy metals, as well as a groundwater barrier. Bentonite is commonly used in conventional water-based drilling fluids due to inherent, well-performing rheological properties [1]. Bentonite has been prescribed as a bulk laxative, and it is also used as a base for many dermatologic formulas. The potential of application of bentonite depends on its ion-exchange capacity, wettebility, swelling, surface chemistry and electro-surface characteristics (surface charge and potentials) and others. We give below only a short review on this huge problem using selected publications for illustration.*

Keywords: *bentonite, saline systems, zeta-potential*

1. BEVEZETÉS

A montmorillonit az egyik leggyakrabban vizsgált duzzadó agyagásvány. Tartós negatív töltést hordoz a felületén, a rácshálóban a szilícium ionok alumíniumionokkal történő izomorf helyettesítése (és kisebb mértékben alumíniummal magnéziummal), valamint az éleken és sarkokon a hidroxilcsoportok ionizációja által kialakuló pH-függő töltések következtében. A permanens negatív töltések koncentrációja a montmorillonit bazális felületén 1 mmol/g [2]. Az éleken a töltések mennyisége 3-4

mmol/100g. PH<6,5-nél pozitív töltés keletkezhet az AlOH csoportok részleges protonálódása [3] következtében. A pozitív töltések maximális koncentrációja a montmorillonit részecskék esetében 0,025 mmol/g, pH=4 [2] lehet.

A bentonit élei mozaikszerű szerkezettel rendelkeznek. A pozitív töltések a negatív töltések mennyiségének kis részét (körülbelül 1% -át) teszik ki; azonban nagy szerepet játszhatnak az anionos felületaktív anyagok, festékek és polielektrolitok adszorpciójában a részecskék felületén [4,5].

Jellemzően megfigyelhető a nátrium-bentonitok lúgossága, amely a montmorillonit hidrolízisének tulajdonítható [6]. A H^+ és Na^+ ionoknak a Stern rétegben való felhalmozódása növeli ennek vastagságát, csökkenti a H^+ és Na^+ mennyiségét az oldatban, így növelve a pH-t.

Az irodalomban korlátozott adatok állnak rendelkezésre a bentonit/montmorrilonit elektrokinetikus viselkedéséről. Niriella és Carnahan [7]. a bentonit részecskék elektrokinetikus mobilitását (EM)/zéta potenciálját (ZP) 4 és 10, valamint 0,001, 0,01 és 0,1 M só (NaCl, Na_2SO_4, LiCl, KCl és $CaCl_2$) koncentrációknál mérte. Minden tesztnél a bentonit részecskék negatív zéta-potenciált mutattak. A ζ-potenciálértékek a sóoldatokban alacsony pH-érzékenységet mutattak. A bentonit részecskék Zeta potenciál értéke desztillált vízben nagyobbnak mutatkozott mint az a pH> 8-nál nagyobb minták esetében megfigyelhető volt, ami az éleken történő töltés növekedésnek tudható be, mely a H^+ ionok közvetlen átvitelét eredményezte a felületről az oldatba.

A [8] Szerzők a különböző elektrolit koncentrációknál és állandó pH-nál (~ 7) a NaCl és $Ca(NO_3)_2$ oldatokban szuszpendált Na-montmorillonit részecskék zéta-potenciálját vizsgálták. Kimutatták, hogy mind a Na^+, mind a Ca^{2+} ionok csökkentik a zéta-potenciál értékét, mivel koncentrációjuk a folyadékban növekszik. Kimutatták, hogy a Ca^{2+} hatása sokkal erőteljesebb, a Na^+ -hoz viszonyítva, a Schulze és a Hardy szabály érvényesülése következtében.

A bentonit számos tulajdonsága (duzzadás, adszorpciós tulajdonságok, vízmegtartó képesség stb.) függ az ásvány felszíni töltését kompenzáló ellenionok természetétől. Ezért érdekes vizsgálni az ellenionok hatását a bentonit részecskék elektrokinetikai tulajdonságaira. Az ionok természete/hidratációja nagymértékben befolyásolja a kolloidok elektroforetikus mobilitását és felületi vezetőképességét, elsősorban két mechanizmus alapján: (I) a rosszul hidratált ionok jobban adszorbeálódnak, esetenként nagyobb mennyiségben, mint a jól hidratált ionok, és egyre inkább felhalmozódnak a Stern-rétegben ami az elektrolitok ugyanolyan töltésű ellenionokkal való mobilitásának/zéta-potenciáljának és kritikus koagulációs koncentrációjának jelentős csökkenését eredményezi (ez az úgynevezett direkt Hofmeister sorozat), (II) a felület hidratáltsági foka határozza meg a hasadási sík pozícióját és ennek következtében a részecskék elektrokinetikus potenciálját.

Ami a montmorrilonitot illeti, a direkt liotróp sort Saka E. és Güler C. [9] igazolták, akik a pH, az elektrolit koncentráció és az iontípusok (LiCl, NaCl, KCl, RbCl, CsCl) hatását vizsgálták az elektrokinetikai tulajdonságokra (zeta potenciál és elektrokinetikus töltéssűrűség). A részecskék zéta-potenciálja nem változott szignifikánsan a pH változásának hatására. Az ionok értéke nagymértékben befolyásolta a szuszpenzió elektrokinetikus viselkedését. A zéta-potenciál fokozatos csökkenését figyelték meg az egyértékű elektrolitkoncentráció növekedésével (10^{-4} M-ról 10^{-1} M-ra). Valamennyi egyértékű elektrolitkoncentrációnál a zeta potenciál nagysága (az abszolút érték csökkent) a Li +> Na +> K +> Rb +> Cs + sorrendben

emelkedett. A montmorillonit "elektrokinetikai" töltéssűrűsége hasonló változásokat mutatott az egyértékű elektrolit oldatokban.

Összefoglalva az irodalmi áttekintést, elmondhatjuk, hogy a montmorrilonit felületének töltéseloszlása, az elektrolitok elektrokinetikus potenciálra kifejtett hatása és a lamellák aggregálódásának mechanizmusai jól tanulmányozottak. Ugyanakkor meglepő módon kevés információ áll rendelkezésre az elektrolitoknak és felületaktív anyagoknak a bentonit részecskék felületi vezetőképességére és az ionok eloszlására gyakorolt hatásáról.

2. FELHASZNÁLT ANYAGOK

A vizsgálat tárgya a Mád térségéből származó (Magyarország) természetes bentonit. A tiszta ásványi anyagot sósavval kezeljük és ismételten ionmentes vízzel mostuk, amíg a szuszpenziók állandó elektromos vezetőképességét el nem értük [5]. A bentonit részecskéket kolloid malomban történő diszpergálás után használjuk fel, mostuk és szedimentációval frakcionáljuk. Kísérleteinkben azt a frakciót használtuk, amely egy hétig nem ülepedett ki és 1,4 ± 0,2 μm átlagos részecskeátmérővel rendelkezik. A részecskék méretét dinamikus fényszórással határoztunk meg, Zetasizer műszer alkalmazásával (Malvern, Egyesült Királyság). A minta BET módszerrel meghatározott fajlagos felülete elérte a 96 m^2/g értéket.

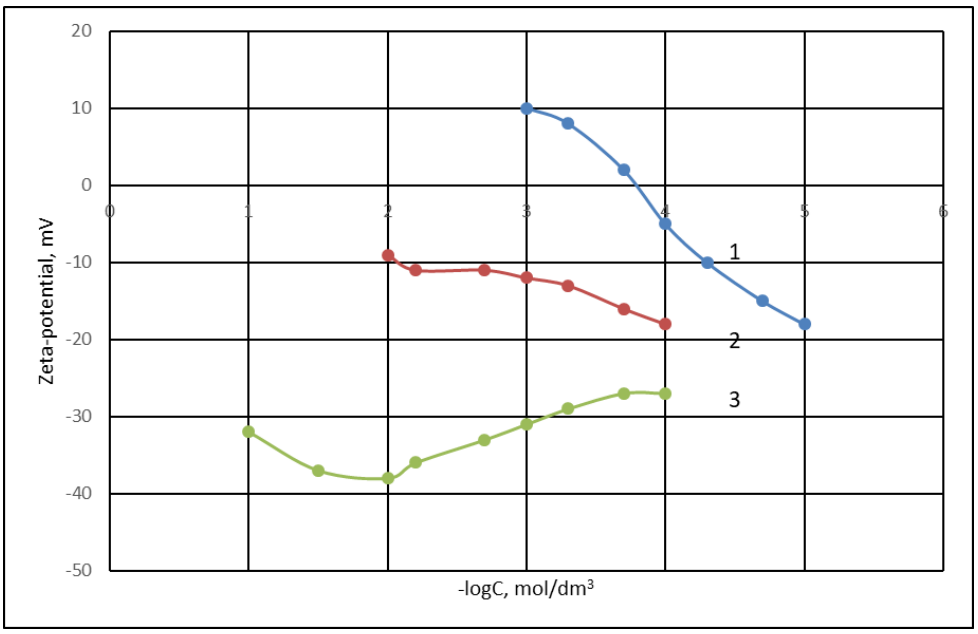
3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Az elektroforetikus méréseket Zetasizer Nano ZS eszközzel (Malvern, Egyesült Királyság) végeztük szobahőmérsékleten, 6-15 V/cm külső elektromos mező-gradiens tartományban. A mérések előtt az agyagrészecskék (0,01 tömeg%) hígított szuszpenzióját ultrahangos kezelésnek vetettük alá (35 kHz, 10-15 perc). A sav (HCl), lúg (KOH) és sók (LiCl, NaCl, KCl, RbCl, CsCl, Li_2SO_4, Na_2SO_4, K_2SO_4, és $AlCl_3$), hatását vizsgáltuk a bentonit zéta-potenciáljára. Az ζ potenciál bemutatott értékei három-öt mérés átlagolt eredményeit reprezentálják. A mérések reprodukálhatóságában jellemzően 2-3% eltérés mutatkozott. A részecskék elektroforetikus mobilitási értékeit a klasszikus Smoluchowski egyenlet felhasználásával alakította át az eszköz szoftvere elektrokinetikus potenciál értékké. Ez a mérési eljárás széles körben elfogadott a szakirodalomban, és összehasonlítható eredményeket szolgáltathat, azaz a különböző változók hatása az elektroforetikus mobilitásra és a zeta potenciál értékekre összahasonlítható módon vizsgálható [10,11]. A szuszpenziók elektromos vezetőképességét OK 102/1 vezetőképességmérővel (Radelkis, Magyarország) mértük 3 kHz-es frekvencián.

4. ELEKTROLIT KONCENTRÁCIÓ HATÁSA

A vizsgált részecskék ζ-potenciálját az elektrolit koncentráció emelésének függvényében a negatív elektrokinetikus potenciál abszolút értékének szignifikáns növekedése jellemzi, -25 mV-tól -40 mV-ig (1. ábra). Alacsony elektrolitkoncentrációknál a ζ (C) görbék maximumot mutatnak, jellemzően 10^{-3}-10^{-2} mol/dm^3 sótartalomnál. Például a kálium-klorid és kálium-klorid esetében a ζ növekedése elérheti -40 mV és -50 mV (-28 mV-tól) értéket. Az elektrolitok koncentrációjának további növekedése a ζ potenciál abszolút értékeinek csökkenéséhez vezet, ami megközelíti a kezdeti értékét (-28 mV) $C=10^{-1}$ mol/dm^3 érték esetében.

Megjegyezzük, hogy elektrolit jelenlétében maximumot mutató ζ (C) függőséget figyeltek meg különböző diszperz rendszerben, például latexben, fémoxidokban, agyag ásványokban, bakteriális sejtekben, valamint olaj-víz emulziók (lásd például: [12,13]) esetében is. Korábbi munkákban az ζ potenciál növekedését az egyszeres töltésű ellenionok koncentrációjának emelkedésével az ellen-ionok adszorpciójával és és a felületi töltéssűrűség növelésével magyarázták. Ez a koncepció azonban kísérletileg nem volt igazolható [14]. Elemelich és O.Melia megközelítése szerint a polisztirol latex mobilitási/zétapotenciáljának emelkedése a sókoncentrációval a részecskék hidrofób felületéhez közelítő ko-ionoknak tulajdonítható [15].



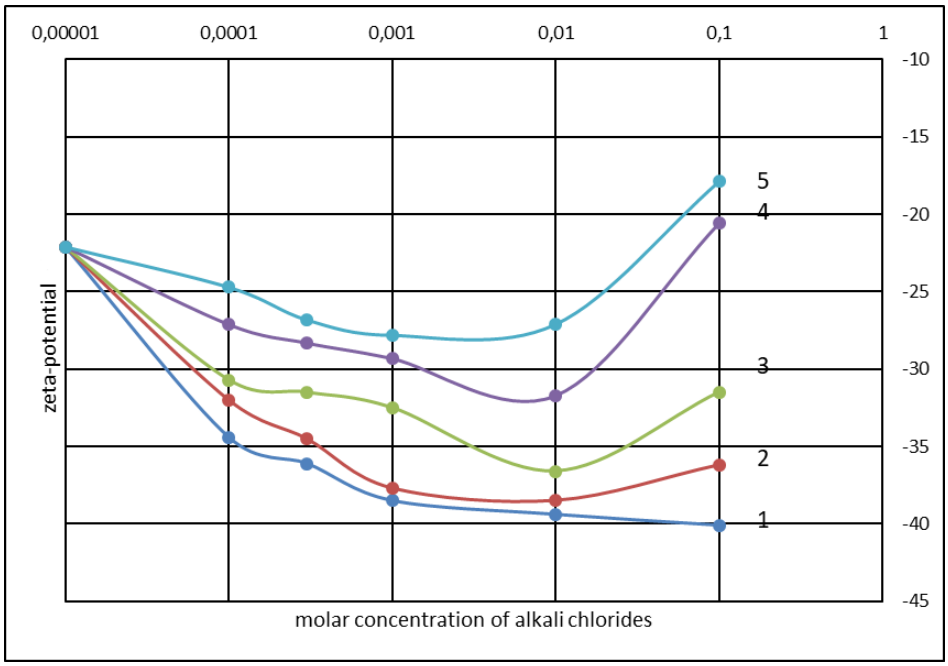
1. ábra: A bentonit részecskék elektrokinetikai potenciáljának függése a KCl (1), CaCl2 (2) és LaCl3 (3) moláris koncentrációjától. pH = 7,1.

Feltételezésünk szerint, |ζ| maximumot mutat viszonylag alacsony ionerősségű oldatok esetében a felület vezetőképessége következtében az eletkromos kettős réteg (EKR) polarizációjának az elektroforézisre kifejtett hatása következtében. Valójában, az EKR polarizációja a külső elektromos térben egy olyan indukált dipólus momentum megjelenéséhez vezet, amelynek orientációja ellentétes a mező irányával [10,12]. Mivel az elektrolit koncentrációja csökken, ennek a dipólusnak a nagysága növekszik, ami fokozza a részecskék mozgékonyságát. Ez magyarázza a ζ (C) görbék növekvő ágát a maximum bal oldalán. Az ionerősség növekedésével, a fenti hatást az EKR zsugorodása ami csökkenti a felületi vezetőképességet és ennek megfelelően a részecskék ζ potenciálját.

A várakozásoknak megfelelően a $CaCl_2$ sókoncentráció emelésével a szuszpenzióban (10^{-4}-től 10^{-2} mol/dm^3-ig) lényegesen csökken a részecskék elektrokinetikus potenciáljának abszolút értéke mind a diffúz kettős réteg erős összenyomódása, mind a kétértékű ellenionok a Stern rétegben történő felhalmozódása következtében. A három értékű alumíniumionok koncentrációjának emelkedése a részecskefelület áttöltéséhez vezet, a Al^{3+} szuperekvivalens adszorpciója eredményeként a Stern rétegben.

5. LIOTRÓP SOROK

A Hofmeister vagy liotróp sor kiválóan jellemzi az azonos vegyértékű ionok kémiai természetének hatását és a hidratáció mértékét, az ionok felülethez való affinitását, eloszlását az elektromos kettős rétegben, a kolloidok elektroforetikus mobilitását és aggregálódási stabilitását stb. A bentonit részecskék esetében a klasszikus Hofmeister-sor alkalmazása esetében megfigyelték (2. Ábra), hogy a zéta-potenciál csökkenés mértéke (az ζ növekvő abszolút értéke) azonos só koncentráció jelenlétében a következő sort követi: $Li^+ < Na^+ < K^+ < Rb^+ < Cs^+$.



2. ábra: Bentonit részecskék zéta potenciál értékének változása LiCl (1), NaCl (2), KCl (3), RbCl (4) és CsCl (5) oldatok moláris koncentrációjának változása függvényében

Az alkálifém-kloridok hatását a negatív töltésű bentonit részecskék elektrokinetikus potenciáljára a fenti ábrán mutatjuk be.

Az alábbi jellemzőket emeljük ki. (I) A zéta-potenciál abszolút értéke a sókoncentráció függvényében maximumot mutat. (II) A ζ (C) görbék az egyenes Hofmeister sornak megfelelően futnak, vagyis a kation sugár növekedésével a zeta-potenciál csökkenése egyre hangsúlyosabb. $5x10^{-2}$-10^{-2} M sókoncentrációk esetében lítium-kloridtól lítium-szulfátig a zeta-potenciál abszolút értéke maximumot mutat (-37 mV-tól -45 mV-ig), majd csökken 8 mV-t-ig, míg kálium-klorid a kálium-szulfát esetében 10-11 mV-tól (-40 mV-tól -50-51 mV-ig) folyamatos emelkedést mutat. Az utóbbi viselkedés a szulfátionok dehidratáló hatásával magyarázható. Ennek eredményeképp a polimolekuláris hidrátréteg elvékonyodik a felületen, a nyírási síkot a felület felé tolja, és a zéta-potenciál emelkedik.

6. ÖSSZEGZÉS

Kutatásaink összegzéseként elmondhatjuk, hogy a bentonit-szuszpenziók elektroforetikus viselkedése hasonló a hidrofób kolloidokéhoz; azaz az egyszeres töltésű elektrolitok mennyiségének növekedése következtében a részecskék ζ

potenciálja maximumot mutat. A $CaCl_2$ jelentősen csökkenti a ζ-t, míg az $AlCl_3$ vagy $LaCl_3$ hozzáadása a részecske felületének áttöltéséhez vezet.

A zéta-potenciál abszolút értéke a sókoncentráció függvényében maximumot mutat. (II) A ζ (C) görbék az egyenes Hofmeister sornak megfelelően futnak, vagyis a kation sugár növekedésével a zeta-potenciál csökkenése egyre hangsúlyosabb.

Kimutattuk továbbá, hogy a zeta-potenciál értékek közötti különbségek a tömény elektrolit oldatokban (0,1 mol/dm^3 és 0,01 mol/dm^3) jobban megfigyelhetők, míg ezek a különbségek kevésbé erőteljesek az oldatok hígításával.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatómunka a Miskolci Egyetemen működő Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet GINOP-2.3.2-15-2016-00010 jelű „Földi energiaforrások hasznosításához kapcsolódó hatékonyság növelő mérnöki eljárások fejlesztése” projektjének részeként – a Széchenyi 2020 program keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Strukturális és Beruházási Alapok társfinanszírozásával valósul meg.

FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **LUCKHAM, P.F., ROSSSI, S.:** *The colloidal and rheological properties of bentonite suspensions.* Adv. Coll. Interface Sci., 82 (13) 43-92, 1999.

[2] **TOMBACZ, E., SZEKERES, M.:** Appl. Clay Sci., 27, 75, 2004.

[3] **KALLAY, N., ČOLIĆ, M., FUERSTENAU, D. W., JANG, H. M., MATIJEVIĆ, E.:** *Lyotropic effect in surface charge, electrokinetics, and coagulation of a rutile dispersion,* Colloid and Polymer Science, 272, (5), 554–561, 1994.

[4] *Adsorpciya na glinistykh mineralakh* (Adsorption on Clay Minerals), Kiev: Naukova Dumka, 1975.

[5] **VAN OLPHEN, H.:** *An introduction to clay colloid chemistry.* Interscience Publishers, Div. of John Wiley & Sons, New York, 301, 1963.

[6] **KAUFHOLD, S., DOHRMANN, R., KOCH, D., HOUBEN, G.:** *The Ph Of Aqueous Bentonite Suspensions* , Clays and Clay Minerals, 56 (3): 338-343, 2008.

[7] **NIRIELLA, D., CARNAHAN, R. P.:** *Comparison Study of Zeta Potential Values of Bentonite in Salt Solutions,* Journal of Dispersion Science and Technology, 27(1), 123-131, 2006.

[8] **DELGADO, A., GONZALEZ-CABALLERO, F., BRUQUE, J. M..:** *On the Zeta Potential and Surface Charge Density of Montmorillonite in Aqueous Electrolyte Solutions,* J. Colloid a. Interface Sci.,113 (1), 203-211, 1986.

[9] **SAKA, E. E.; GÜLER, C.:** *The effects of electrolyte concentration, ion species and pH on the zeta potential and electrokinetic charge density of montmorillonite,* Clay Minerals, 41 (4), 853-861, 2006.

[10] **DUKHIN, S.S., DERJAGUIN, B.V.:** *Electrokinetic Phenomena*, in: Surface and Colloid Science (E. Matijevic, Ed.), 7. Wiley: New York- Toronto, 1974.

[11] **J. LYKLEMA.:** *Measurement and interpretation of electrokinetic phenomena*, Journal of Colloid and Interface Science, 309, 194–224, 2007.

[12] **BÁRÁNY, S.:** *Complex electrosurface investigation of the electrical double layer structure of dispersed microphases*. Advances Colloid Interf. Sci., 75, 45-75, 1998.

[13] **LYKLEMA, J.:** *Fundamentals of Interface and Colloid Science*, vol.II. Academic Press: London-San Diego-New York, etc., 1995.

[14] **FLORES, S.C., KHERB, J., KONELICK, N., CHEN, X., CREMER, P.S.:** *The effects of Hofmeister cations at negatively charged hydrophilic surfaces.* J. Phys. Chem., 116 (27), 14408-13, 2012.

[15] **ELIMELECH, M., O'MELIA, C.R..:** *Effect of electrolyte type on the electrophoretic mobility of polystyrene latex colloids,* Colloids a. Surfaces, 44, 165-178, 1990.

FORGÁCSOLÓ ERŐ HÁROM KOMPONENSÉNEK MÉRÉSE ESZTERGÁLÁSI FOLYAMAT SORÁN

THE MEASUREMENT OF THE THREE COMPONENTS OF THE CUTTING FORCE DURING THE TURNING PROCESS

NEMES Csaba[1], LUBOMIR Javorek[2], BODZÁS Sándor[3], PÁLINKÁS Sándor[4]

[1]M.Sc. Gépészmérnök hallgató, csabanemes94@gmail.com
[1]Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[2]Ph.D., Associate Professor, lubomir.javorek@tuzvo.sk
[2]Department of Manufacturing Technology and Quality Management, Technical University in Zvolen

[3]Ph.D., tanszékvezető-helyettes, főiskolai docens, bodzassandor@eng.unideb.hu
[3]Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

[4]Ph.D., adjunktus, palinkassandor@eng.unideb.hu
[4]Gépészmérnöki Tanszék, Debreceni Egyetem

Kivonat: *A forgácsoló erő három komponensének mérését hajtottuk végre a fogásmélység változtatásának függvényében hosszesztergálási folyamat során. Az eredményekből kiderül, hogy a fogásmélység növelésével a forgácsoló erő mindhárom komponense növekvő tendenciát mutat, attól függetlenül, hogy milyen vágósebesség és előtolási sebesség beállítása mellett végeztük el a méréseket.*

Kulcsszavak: *mérés, esztergálás, forgácsoló erő, fogásmélység*

Abstract: *We carried out the measurement of the three components of the cutting force as a function of the modification of the depth of cut during the longitudinal turning process. The results show that if we increase the depth of cut, all three components of the cutting force shows increasing tendency, regardless of how much the cutting speed and feed speed were performed during the measurements.*

Keywords: *measurement, turning, cutting force, depth of cut*

1. BEVEZETÉS

A forgácsoló erő nagysága a forgácsolási viszonyokra jelentős befolyással bír. Nő a késlehajlás, aminek következtében viszonylagosan torzulnak a szerszám élszögei (pl. nő a hátszög), továbbá nő a folyamat során a rezgés, ami nagy hatással van a munkadarab felületminőségére, az alakhűségére és a méretpontosságára. Hatással van még a szerszámgép főorsójának csapágyazására, ami idő előtti karbantartást, súlyosabb esetben vészleállást és termeléskiesést okozhat. Nagyobb forgácsoló erők esetén csökken a szerszám élettartama, vagyis gazdasági szempontból kedvezőtlen irányba fordulhat a gyártás, mind a szerszámköltséget és szerszámgépet, mind a gyártandó munkadarab minőségét illetően.

Ezen megállapítások után könnyű belátni, hogy célszerű a forgácsoló megmunkálást a lehető leggazdaságosabban elvégezni, ehhez pedig az egyik módszer a forgácsolási technológia helyes megválasztása, illetve annak optimalizálása [3].

Kutatásunk célja, hogy adott élgeometriájú forgácsolószerszámmal, adott anyagminőségű- és geometriájú munkadarabon, adott technológiai paraméterek beállítása mellett hosszesztergálást végzünk, amely során mérjük a szerszámra ható forgácsoló erő három komponensét (forgácsoló sebesség irányú erő, fogásvétel irányú erő, előtoló irányú erő). Korábbi kutatásaink a témában [1] [2] [3].

A mérést követően az eredmények kiértékelése következik, majd az eredmények reprodukálása végeselemes-szoftver segítségével, azaz a virtuális környezetben való szimulációk futtatása, ugyanezen paraméterek beállításával, majd a mért és számított eredmények egyeztetése.

Ezek hasonlóssága az fogja bizonyítani, hogy a szoftverben helyesen vettük fel a technológiai adatokat és a különböző végeselemes paramétereket (hálózás, peremfeltételek, stb). Ezek után, ha a szimulációban kizárólag a szerszám élgeometria változtatásával (szerszámlapka cseréjével) újra futtatjuk, akkor az eredmények valószínűleg szintén hasonlóságot mutatnának, ha azzal az élgeometriával valójában is forgácsolást végeznénk. Ezt kihasználva tulajdonképpen egy iterációs folyamat kezdődik, a forgácsoló erő csökkentésének érdekében. Több különböző élgeometria kerülne kipróbálásra (futtatásra) és ezek közül ki lehet választani a legoptimálisabbat az adott körülményekhez képest úgy, hogy valójában nem kellett megvásárolni a drága forgácsolószerszámokat, sem valódi forgácsolásra nem került sor (ami esetlegesen magában hordozza azt a veszélyt, hogy rossz élgeometriával próbálkozunk és selejtet gyártunk).

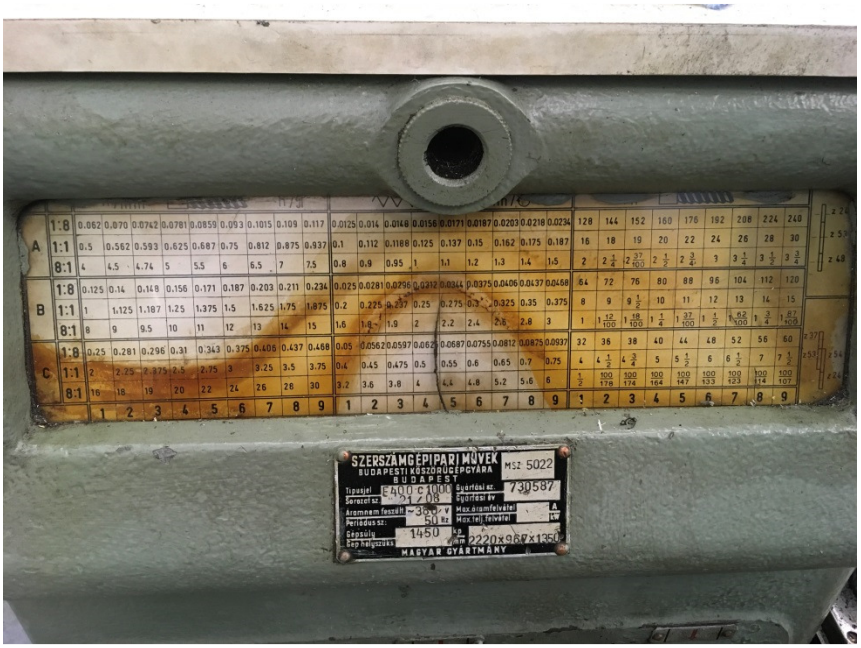
2. A FORGÁCSOLÓ ERŐ MÉRÉSE

2.1. A mérőműszerek és a szerszámgép

A mérések sokán a képen látható esztergapadot használtuk (1-2.ábra).



1. ábra. E-400 egyetemes csúcseszterga



2. ábra. Esztergapad adattábla

A mérőműszerek a következők voltak (3. ábra):

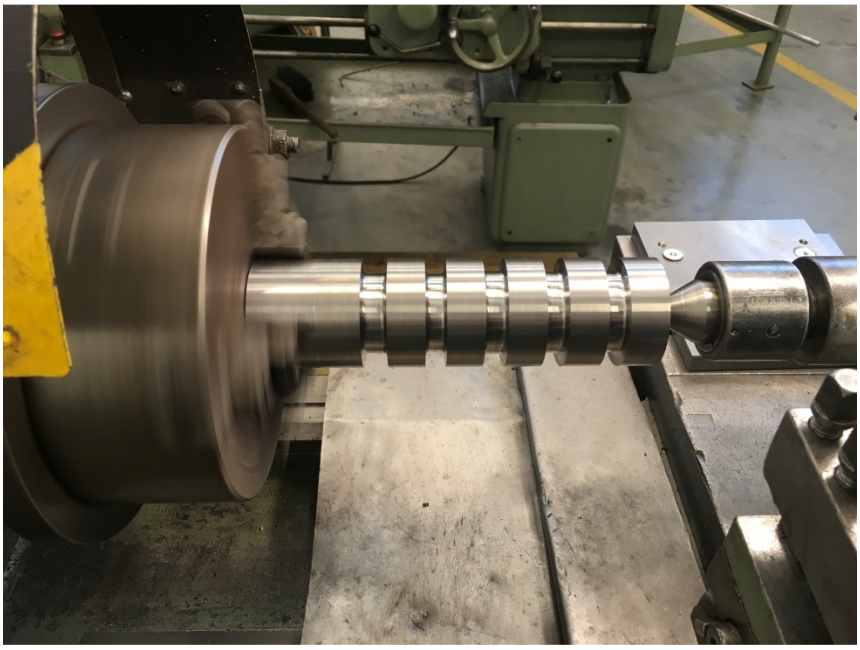
- Kistler Type 9257B
- Kistler Data Acquisition System Type 5697A 22003583
- Kistler Multichannel Charge Amplifier Type 5070



3.ábra. Mérőműszerek

2.2. A szerszám és a munkadarab

A munkadarab 48CrMo4 anyagminőségű (általános rendeltetésű acél) Ø60mm-es átmérőjű tengelyszerű alkatrész, amelyen 5 különálló váll került kialakításra. A vállak kialakítására azért volt szükség, mert így minden vállat különböző technológiai paraméterekkel tudunk esztergálni, azaz több mérési eredményhez jutunk (4. ábra).



4.ábra. Munkadarab

A forgácsolószerszám a kereskedelemben kapható esztergakés, amely általános acélok forgácsolásához van tervezve.

Általános információk a forgácsolószerszámról:

Hátszög: 0°
Homlokszög: negatív
Terelőszög: negatív
Főél elhelyezési szög: 72,5°
Késszár szélessége, magassága: 25x25mm
Csúcssugár rádiusza: 0,8 mm
Ajánlott forgácsoló adatok a szerszámhoz:

- Vágósebesség: 240 [m/min]
- Előtolási sebesség: 0,4 [mm/ford.]

3. EREDMÉNYEK

1. táblázat. 1. Mérési eredmények

1. Mérés:															
	1. váll			2. váll			3. váll			4. váll			5. váll		
Fordulatszám [1/min]:	750			750			750			750			750		
Előtolás [ford./mm]:	0,2			0,2			0,2			0,2			0,2		
Fogásmélység [mm]:	0,5			0,75			1			1,25			1,5		
Kiinduló átmérő [mm]:	60			60			60			60			60		
Létrejött átmérő [mm]:	59			58,5			58			57,5			57		
Kiinduló vágóseb. [m/min]:	141,37			141,37			141,37			141,37			141,37		
Forgácsoló erő [N]:	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max
Fc (Fz) [N]:	223,5	227	230,2	323,2	325,6	328,1	431,1	433,9	437,4	536	541,8	545,6	622,4	632,7	643,1
Ff (Fx) [N]:	91,6	93,4	95,1	152,6	153,6	154,8	221,2	223,3	225,2	288,8	292,2	295,2	348,7	355,3	361,1
Fa (Fy) [N]:	178,3	180,3	182,5	211,3	213,1	214,7	247,1	248,4	249,7	279,2	281,9	284,1	305,7	311,2	316,5
Feredő (átlagos) [N]:	304,5			418,3			547,5			677,0			789,5		

2. táblázat. 2. Mérési eredmények

2. Mérés:															
	1. váll			2. váll			3. váll			4. váll			5. váll		
Fordulatszám [1/min]:	750			750			750			750			750		
Előtolás [ford./mm]:	0,2			0,2			0,2			0,2			0,2		
Fogásmélység [mm]:	1,5			1,25			1			0,75			0,5		
Kiinduló átmérő [mm]:	59			58,5			58			57,5			57		
Létrejött átmérő [mm]:	56			56			56			56			56		
Kiinduló vágóseb. [m/min]:	139,02			137,84			136,66			135,48			134,30		
Forgácsoló erő [N]:	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max
Fc (Fz) [N]:	688,5	708,1	721,4	585,4	589,8	594,4	477,9	480,5	484,0	364,2	366,3	367,7	254,4	257,2	259,1
Ff (Fx) [N]:	392,1	405,4	414,3	320,7	324,2	327,3	249,7	251,0	252,3	174,7	176,1	177,2	105,9	107,4	108,2
Fa (Fy) [N]:	331,4	342,3	349,9	297,0	299,9	303,0	261,3	263,5	265,7	227,6	229,2	230,4	189,5	191,4	192,8
Feredő (átlagos) [N]:	884,8			736,8			602,7			466,6			338,1		

3. táblázat. 3. Mérési eredmények

3. Mérés:															
	1. váll			2. váll			3. váll			4. váll			5. váll		
Fordulatszám [1/min]:	1060			1060			1060			1060			1060		
Előtolás [ford./mm]:	0,3			0,3			0,3			0,3			0,3		
Fogásmélység [mm]:	0,5			0,75			1			1,25			1,5		
Kiinduló átmérő [mm]:	56			56			56			56			56		
Létrejött átmérő [mm]:	55			54,5			54			53,5			53		
Kiinduló vágóseb. [m/min]:	186,48			186,48			186,48			186,48			186,48		
Forgácsoló erő [N]:	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max
Fc (Fz) [N]:	495,6	500,5	506,1	605,8	608,3	610,3	756,2	758,1	760,2	916,0	917,8	919,3	1065,2	1070,2	1078,2
Ff (Fx) [N]:	216,4	217,8	219,0	283,4	284,3	284,9	376,1	376,8	377,4	479,4	481,8	483,2	582,3	585,3	590,2
Fa (Fy) [N]:	323,9	327,5	330,7	356,8	357,9	359,0	402,3	403,5	405,3	454,5	457,2	458,4	508,7	510,8	514,0
Feredő (átlagos) [N]:	636,5			760,9			937,8			1132,9			1322,4		

4. táblázat. 4. Mérési eredmények

4. Mérés:												
	1. váll			2. váll			3. váll			4. váll		
Fordulatszám [1/min]:	1060			1060			1060			1060		
Előtolás [ford./mm]:	0,3			0,3			0,3			0,3		
Fogásmélység [mm]:	1			0,75			0,5			0,25		
Kiinduló átmérő [mm]:	55			54,5			54			53,5		
Létrejött átmérő [mm]:	53			53			53			53		
Kiinduló vágóseb. [m/min]:	183,15			181,49			179,82			178,16		
Forgácsoló erő [N]:	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max
Fc (Fz) [N]:	620,3	631,0	643,7	504,4	506,2	507,9	343,2	344,1	344,8	199,1	200,4	201,6
Ff (Fx) [N]:	288,0	292,5	301,2	221,8	222,4	223,1	129,3	129,7	129,9	58,3	58,8	59,5
Fa (Fy) [N]:	361,0	365,3	369,4	325,4	327,0	328,4	255,2	255,7	256,3	179,9	181,4	183,2
Feredő (átlagos) [N]:	785,6			642,3			447,9			276,6		

5. táblázat. 5. Mérési eredmények

5. Mérés:									
	1. váll			2. váll			3. váll		
Fordulatszám [1/min]:	1060			1060			1060		
Előtolás [ford./mm]:	0,4			0,4			0,4		
Fogásmélység [mm]:	0,25			0,5			0,75		
Kiinduló átmérő [mm]:	53			53			53		
Létrejött átmérő [mm]:	52,5			52			51,5		
Kiinduló vágóseb. [m/min]:	176,49			176,49			176,49		
Forgácsoló erő [N]:	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max
Fc (Fz) [N]:	349,5	350,5	351,5	565,2	566,6	567,8	791,9	793,3	794,6
Ff (Fx) [N]:	101,2	102,5	104,6	208,3	208,5	208,9	333,0	333,3	333,6
Fa (Fy) [N]:	275,1	276,1	276,8	384,3	385,0	385,9	457,5	459,2	460,5
Feredő (átlagos) [N]:	457,8			716,0			975,3		

6. táblázat. 6. Mérési eredmények

6. Mérés:									
	1. váll			2. váll			3. váll		
Fordulatszám [1/min]:	1500			1500			1500		
Előtolás [ford./mm]:	0,2			0,2			0,2		
Fogásmélység [mm]:	0,75			0,5			0,25		
Kiinduló átmérő [mm]:	52,5			52			51,5		
Létrejött átmérő [mm]:	51			51			51		
Kiinduló vágóseb. [m/min]:	247,40			245,04			242,69		
Forgácsoló erő [N]:	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max	Min	Átlag	Max
Fc (Fz) [N]:	470,3	498,4	518,7	257,8	274,8	295,6	57,9	58,8	59,7
Ff (Fx) [N]:	421,3	466,8	682,1	172,4	191,9	223,4	17,8	18,8	19,4
Fa (Fy) [N]:	286,6	298,3	349,7	162,4	171,1	185,5	65,5	66,0	66,5
Feredő (átlagos) [N]:	745,1			376,2			90,3		

A fentebb található táblázatokban rendezve megtalálhatóak a beállított technológiai paraméterek mellett mért forgácsoló erők és egyéb fontosabb számított értékek.

A lentebb lévő diagramokban láthatóak azok az eredmények, hogy a fogásmélység növelésével a forgácsoló erő mind a három komponense növekedett, attól függetlenül, hogy mérésenként milyen vágósebességet és előtolási sebességet állítottunk be – ahogyan az várható volt.

A forgácsoló erő eredője a következő összefüggéssel lett meghatározva:

$$F_{eredő} = \sqrt{{F_a}^2 + {F_f}^2 + {F_c}^2}$$

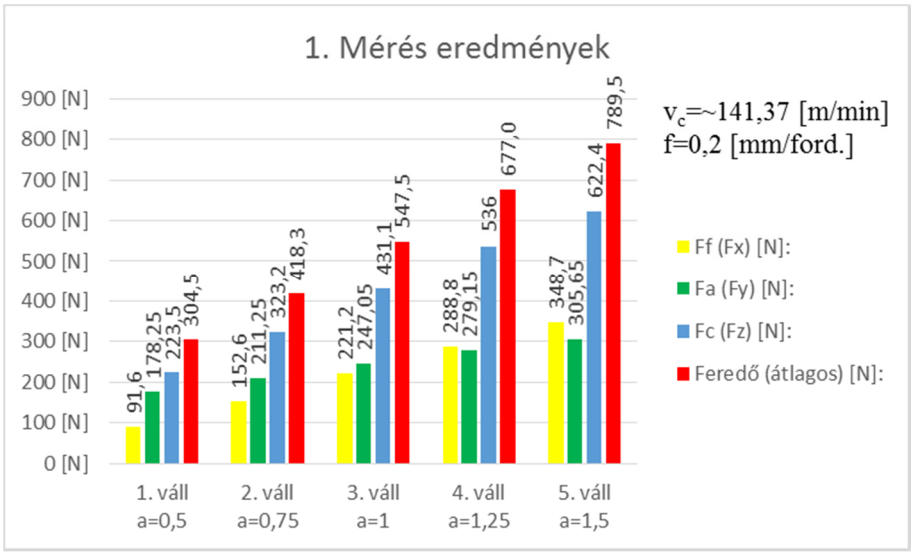
ahol:

F_a – a forgácsoló erő fogásvétel irányú komponense

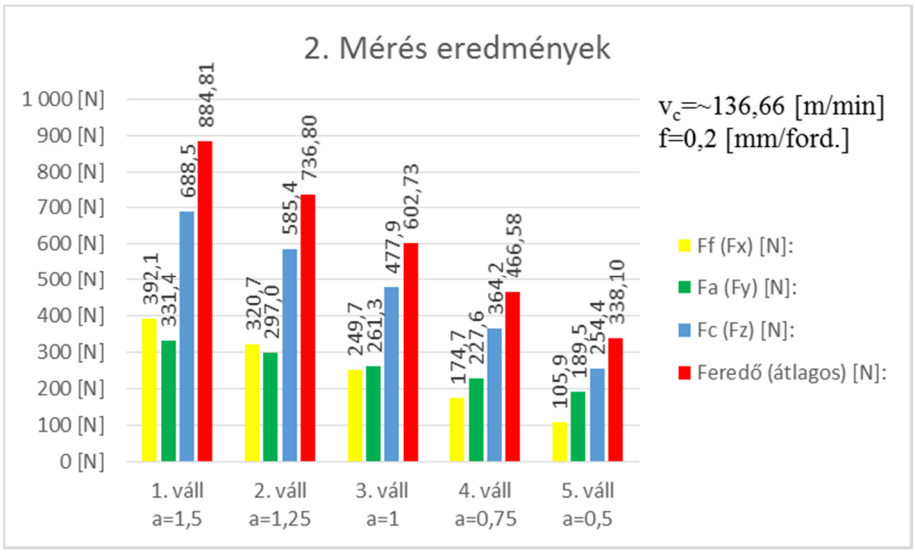
F_f – a forgácsoló erő előtolás irányú komponense

F_c – a forgácsoló erő forgácsoló sebesség irányú komponense

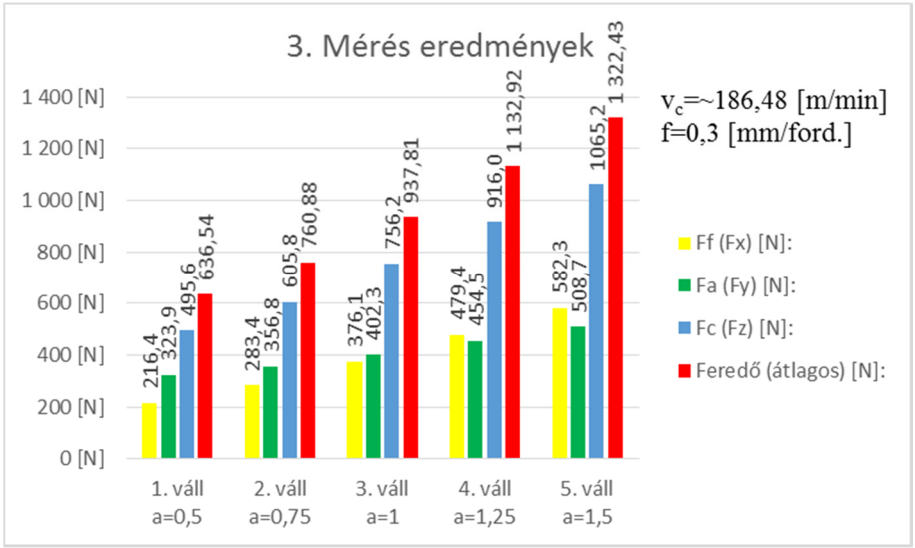
F_e – a forgácsoló erő eredője



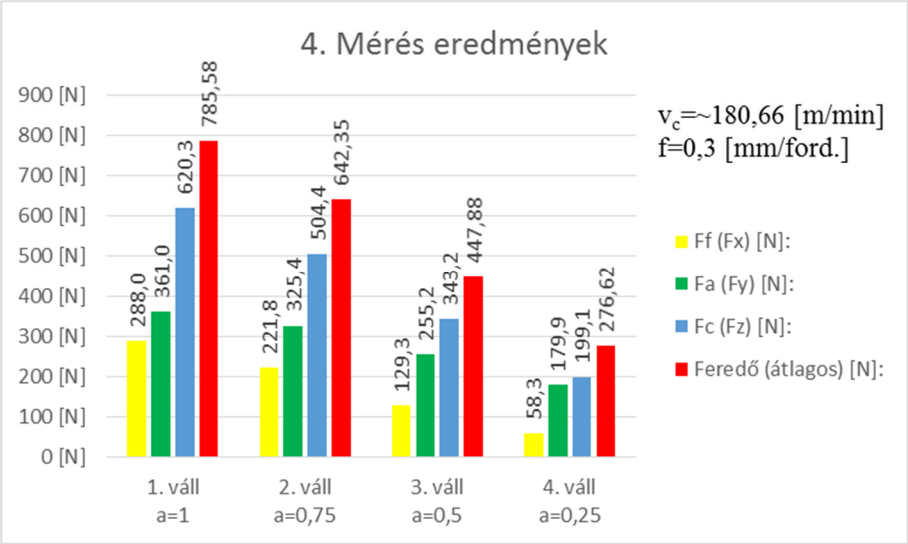
5.ábra. 1. Mérési eredmények



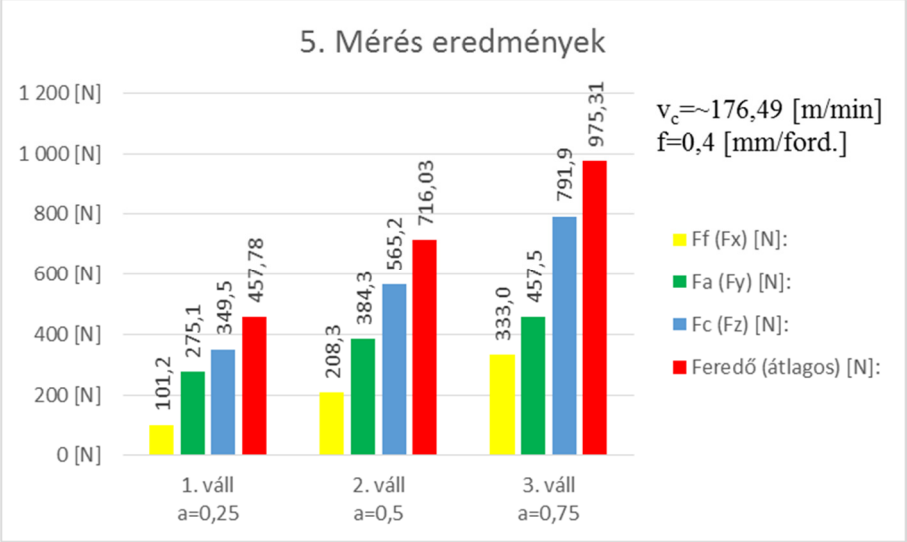
6.ábra. 2. Mérési eredmények



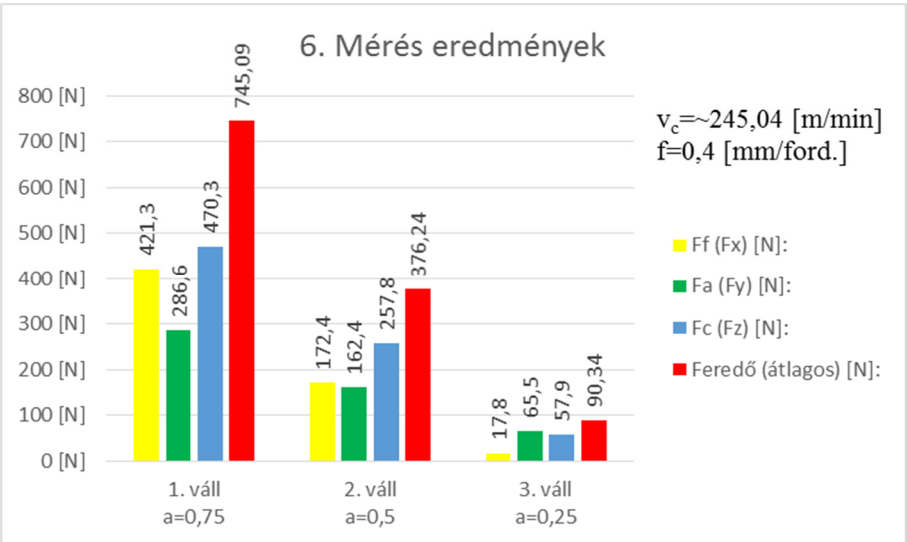
7.ábra. 3. Mérési eredmények



8.ábra. 4. Mérési eredmények



9.ábra. 5. Mérési eredmények



10.ábra. 6. Mérési eredmények

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredmények kiértékelése után általánosan elmondható, hogy az általunk beállított vágósebesség és előtolási sebességek mellett a fogásmélység növelése a forgácsoló erő mind a három komponensére növekvő hatással voltak.

Jelen cikkünk csak a mérési eredményeket és azok értékelését kívánja bemutatni a nyilvánosság előtt. A kutatás előrehaladásával és fejleményeivel újabb publikációkban fogunk beszámolni.

A projekt az Emberi Erőforrások Minisztériuma által az Új Nemzeti Kiválóság Program keretében meghirdetett Felsőoktatási Mesterképzés Hallgatói Kutatói Ösztöndíj segítségével valósult meg (ÚNKP 2018).

5. FELHASZNÁLT IRODALOM

[1] **NEMES, CS., BODZÁS, S.:** *Egyenes Esztergakés élgeometriájának tervezése, modellezése és vizsgálata,* International Journal of Engineering and Management Sciences (IJEMS) Vol. 3. (2018). No. 2 DOI: 10.21791/IJEMS.2018.2.3.

[2] **NEMES, CS., BODZÁS, S.:** *Designing, Modelling and Analysis of Straight Turning Tool Geometry,* 5th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME 2017), 12-14 October, 2017, Debrecen, Hungary, p. 391-396, ISBN 978-963-473-304-1

[3] **NEMES, CS., BODZÁS, S.:** *Egyenes Esztergakés élgeometriájának tervezése, modellezése és vizsgálata,* Műszaki Tudomány az Észak – Kelet Magyarországi Régióban 2017, Konferencia előadásai, Nyíregyháza, 2017.06.01., p. 333-339, ISBN 978-963-7064-35-7

[4] **DUDÁS I.:** *Gépgyártástechnológia I., A gyártástechnológia alapjai,* 3. kiadás, Műszaki Könyvkiadó Kft., Budapest, 2011. ISBN 978-963-16-4030-4

[5] **FRIDRIK L.:** *Forgácsolás I. (Forgácsoláselmélet),* Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2011.

[6] **BÁLINT L.:** *A forgácsoló megmunkálás tervezése,* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.

FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY I.

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2018 KONFERENICA

















FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY II.

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2018 KONFERENICA

















FÉNYKÉP GYŰJTEMÉNY III.

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK – KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2018 KONFERENICA

















Közös csoportkép a konferencia résztvevőkről



Műszaki Tudomány az Észak - Kelet Magyarországi Régióban 2018 Konferencia

A konferenciát szervezte a

Magyar Tudományos Akadémia (MTA) Debreceni Területi Bizottság (DAB)
Műszaki Szakbizottsága

és a

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Katonai Repülő Intézete

A konferencia fővédnöke

Dr. Palik Mátyás intézetigazgató

A konferencia elnöke

Dr. Bodzás Sándor
az MTA DAB Műszaki Szakbizottság Elnöke