

MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-KELET MAGYARORSZÁGI RÉGIÓBAN 2025 KONFERENCIAKÖTET

Felelős kiadó

Prof. Dr. Kocsis Imre

MTA DTB Műszaki Szakbizottság elnök

Szerkesztette:

Dr. Szodrai Ferenc

MTA DTB Műszaki Szakbizottság titkár

Bondár Nikolett

Debreceni Egyetem Műszaki Kar Műszaki Alaptárgyi Tanszék ügyvivő-szakértő

Kiadja: MTA Debreceni Területi Bizottság Titkársága

Támogató: MTA Debreceni Területi Bizottság Műszaki Szakbizottsága

ISBN: 978-963-490-734-3

A konferencia szervezői:

Magyar Tudományos Akadémia Debreceni Területi Bizottság (MTA DTB)

Műszaki Szakbizottság,

Debreceni Egyetem Műszaki Kar (DE MK)

A konferencia Programbizottsága:

Prof. Dr. Kocsis Imre elnök

Dr. Szodrai Ferenc tag

Dr. habil. Antal Tamás tag

Dr. habil. Mankovits Tamás tag

Dr. Dezső Gergely tag

Dr. Buday Tamás tag

Dr. McIntosh Richard William tag

Dr. Békési Bertold tag

Dr. Kavas László tag

Conventional and Modern Approaches in the Development of Hydrogen-Resistant Steels for Future Mobility

¹János Fajger, ²Raghawendra P. S. Sisodia

^{1,2} Institute of Materials Science and Technology, Faculty of Mechanical Engineering and Informatics, University of Miskolc
janos.fajger@student.uni-miskolc.hu

The ongoing shift in research and development of hydrogen-resistant steels plays a key role in the realization of the future society based on hydrogen energy, especially ensuring safe storage and transportation of hydrogen. Today, the major focus lies in developing more advanced steel alloys to overcome the limitations of traditional steels, specially related to hydrogen induced materials properties degradation, thereby enabling the expansion the ecofriendly hydrogen infrastructure in a more sophisticated and economical way. Thus, it presents the brief overview of current progress, challenges, applications and future directions in the development of hydrogen-resistant steels for sustainable, hydrogen-based mobility.

Keywords: Hydrogen-resistant steels, Hungarian and European Hydrogen strategy, Development approaches, Sustainable mobility

1. Introduction

Now a days, there is a growing concern for environmental protection, the reduction of CO₂ emissions, and the exploration of all possible renewable sources for major applications in various industrial, transportation, and household sectors. Among the available renewable energy options, hydrogen is considered as one of the most attractive and feasible alternatives, especially for the mobility applications. However, there are still several challenges remain associated with it across various level of its application ranging from storage, transportation to distribution. Moreover, despite these challenges, hydrogen offers several impressive features like clean energy production, economic viability and long-term sustainability. These impressive characteristics driven researchers to work extensively to make it more accessible and practical for widespread use. Thus, the development of new materials plays a significant role in supporting this transition. In a view of this, now the main focus for the researcher and steel producers to develop hydrogen resistant steels to make hydrogen-based mobility solutions more reliable and durable. Traditionally, several conventional types of steels e.g., carbon steel and low alloy steels have been used due to their wider availability, cost consideration, and mechanical strength. However, these steels often experience hydrogen embrittlement which significantly affect their performance and raises safety concerns under hydrogen transport environments.

To meet the concerning challenges, steel producers and researchers working on various alloying strategies, production procedure, microstructural optimisations to enhance the hydrogen resistant. In recent times, various modern approaches have emerged in the development of hydrogen resistant steels like advanced high strength steels (AHSSs), specialised hydrogen transport steels based on 316L family but better alloy design with higher nickel content for improved resistance to hydrogen embrittlement, nano bainitic steels, high-entropy alloys (HEA) etc. These novel materials offer unique properties and better resistance to hydrogen induced degradation while meeting the required strength criterion for future mobility applications, hydrogen fuel cell vehicles and storage systems.

Also, the development of new materials must meet proper weldability requirements, which are important for manufacturing important components and the hydrogen transport pipeline infrastructure development which is a critical nerve for emerging green infrastructure. For future mobility applications, especially hydrogen fuel cell vehicles and hydrogen storage, this research and development is essential. One of the main current challenges remains the cost-effective and industrial-scale implementation of these novel steels. Understanding and application of new developments in materials science will be essential for hydrogen energy systems in the future [1].

This short article presents brief overview of both conventional and modern approaches in the development of hydrogen transport and hydrogen resistant steels. It highlights the importance of hydrogen, outlines national and European hydrogen strategy, examines steels used in hydrogen infrastructures, highlighting the approaches in the evolution of materials strategies for application in hydrogen mobility.

2. Hydrogen Production and Emissions

The selection of hydrogen as an energy carrier offers many advantages, especially in terms of creating a sustainable and carbon-neutral future. This is possible if we strive to produce it using processes that do not generate carbon emissions [2]. Hydrogen can be produced from water by electrolysis and, when integrated with renewable energy sources, can become a key element of energy storage [3]. *Figure 1* shows the different hydrogen production methods and technologies, along with their energy sources and associated greenhouse gas emissions.

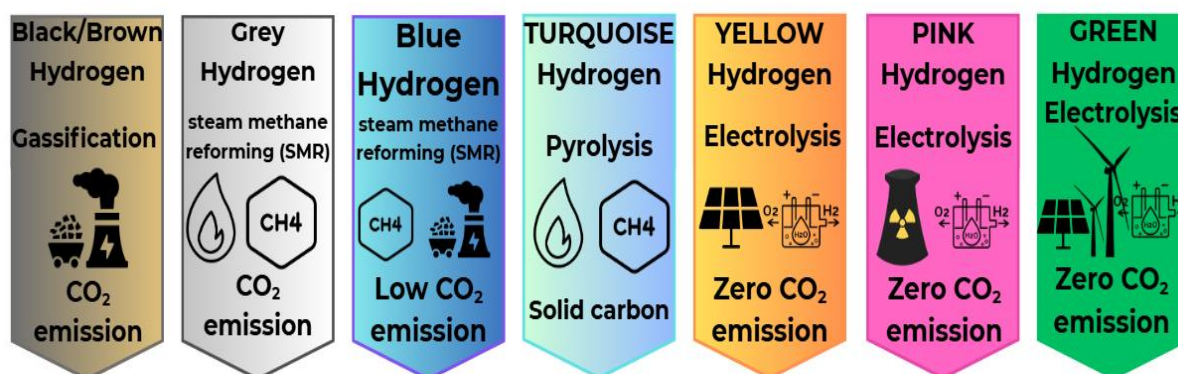


Figure 1. Hydrogen production technologies by colour code

2.1. Hungarian National Hydrogen Strategy

The Hungarian National Hydrogen Strategy, which was defined in 2021 (2020–2050), aims to create a decarbonized, competitive economy. The strategy's main goal is to green the transport sector and develop hydrogen infrastructure (production, storage, transportation). Three main phases have been designated: reparatory (2020-2025), development (2025-2030) and expansion phase (2030-). the goal is to reach the climate neutrality by 2050 [4]. *Figure 2* show the past, current and projected hydrogen production and usage. It's clearly visible that the Hungarian strategy is to produce and use only low-carbon (blue) or carbon-free (green) hydrogen.

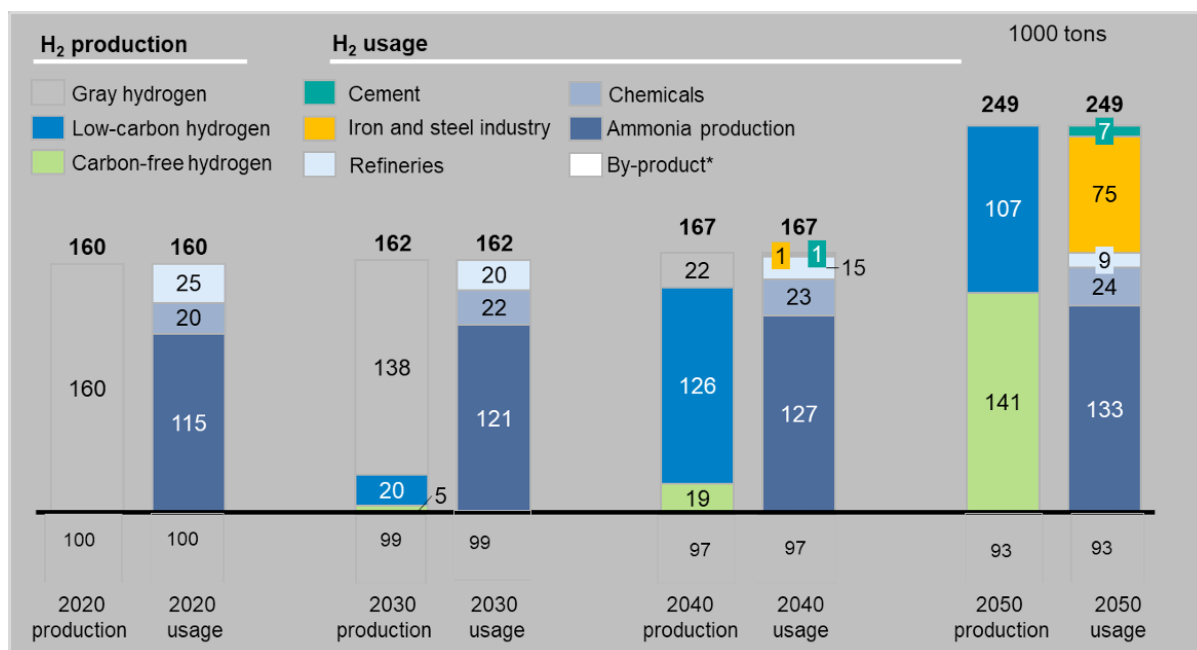


Figure 2. Expected development of domestic industrial hydrogen production and usage. [4]

2.2. European Hydrogen Strategy

The European Union's 2020 Hydrogen strategy calls for the expansion of "green hydrogen". The European Hydrogen Backbone initiative aims to build a 40,000 km long hydrogen pipeline network by 2040 (Figure 3), which requires strict material quality and safety standards [5].

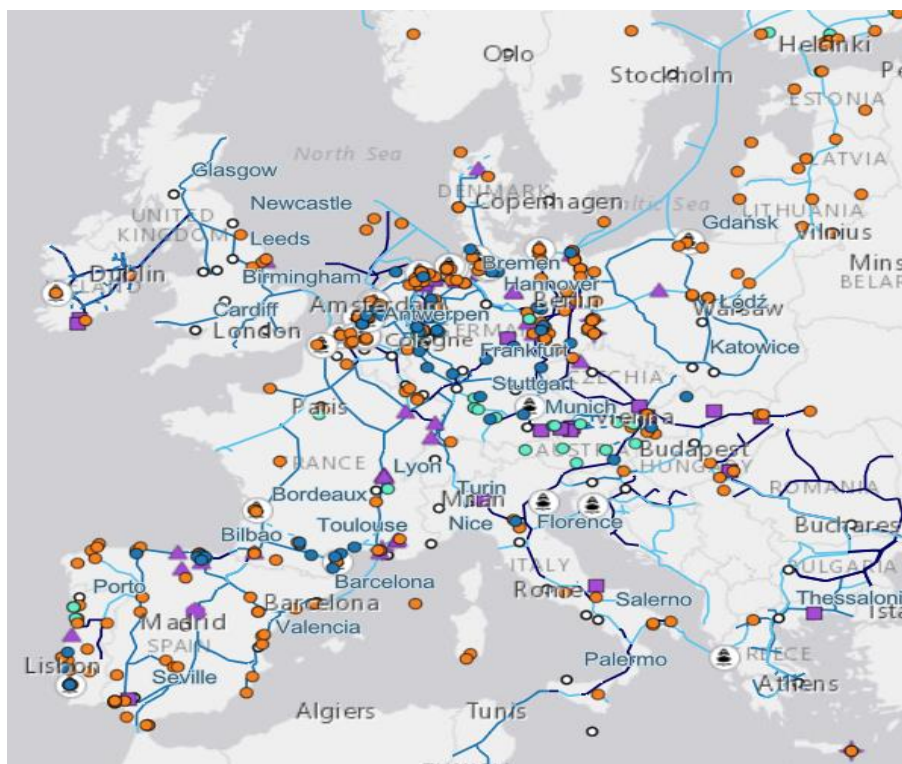


Figure 3. European hydrogen infrastructure map. [5]

2.3. Fundamentals of the hydrogen economy

The hydrogen economy is a complex system that encompasses the production, storage, transport and use of hydrogen. In addition to technological development, the choice of materials is also critical: corrosion resistance, strength, hydrogen resistance and weldability are required for industrial application [6].

3. Steels for Hydrogen Infrastructure

Ferritic, martensitic and bainite steels are preferred due to their mechanical strength and relatively low production cost, but at higher hydrogen concentrations they easily develop crack initiation along grain boundaries, therefore their use is recommended only at limited pressures or with special surface protection. In contrast, austenitic steels (such as 316L) provide excellent corrosion and good hydrogen resistance even under harsher environmental conditions due to their high chromium, nickel and molybdenum content. Their disadvantages are significantly higher raw material and processing costs, as well as more difficult weldability, since the high alloy content requires special fillers and careful post-treatment [7].

4. Approaches in the evolution of materials strategies

It is very important to understand the various considerations and developments involved in the evolution of materials strategies. The important conventional and modern approaches in hydrogen-resistant steel research are presented below, and a comparative summary is provided in Table 1.

4.1. Traditional approaches to increasing hydrogen resistance

Previously, attempts to avoid hydrogen-induced cracking were mainly addressed by preheating, low-carbon raw materials and the use of alloying elements. In addition to traditional mechanical tests, macro- and microcracks were also searched for. Traditional approaches include careful selection and optimization of alloying elements, especially chromium, nickel, molybdenum, and the use of stabilizing elements such as titanium or niobium. The purpose of these elements is to increase corrosion resistance, control carbide precipitation, and reduce hydrogen permeability. In classical material design, protection against intergranular corrosion and hydrogen accumulation at the grain boundary was key.

In addition, heat treatment processes, such as solution heat treatment and post-stabilization heat treatments, also play a decisive role, especially for steels that are prone to embrittlement in the weld heat-affected zone (HAZ) [7][8]. According to traditional principles, grain refinement, control of the ferrite/austenite ratio, and achieving low carbon content also help reduce the risk of hydrogen embrittlement. These methods have provided reliable solutions in the long term, but often require compromises between costs, manufacturing technologies, and mechanical properties [9].

4.2. Modern approaches and developments

Modern approaches are based on the multidisciplinary integration of materials design and characterization. In addition to traditional alloying strategies, thermomechanically controlled processing (TMCP), precision microstructure control and nano analysis are now playing an increasingly important role. Modern research focuses on the interactions of intermetallic phases, nanostructured precipitates and dislocation patterns with hydrogen, in particular the identification of hydrogen traps and the investigation of their stability at the atomistic level.

Computer simulations, such as Density Functional Theory (DFT) or Crystal Plasticity Finite Element Method (CPFEM), enable the virtual optimization of alloys even before laboratory production. With the help of artificial intelligence-based prediction models and machine learning, the behaviour of materials in various hydrogen environments can be predicted with increasing accuracy. By incorporating the tools of big data-based materials science (Materials Informatics), the development of new materials becomes faster and more targeted. These innovative approaches provide the potential not only to improve hydrogen resistance, but also for optimizing the cost-effectiveness and manufacturability of steels which are key factors in the development of future hydrogen infrastructure [11]. The role of machine learning is very important in modelling long-term behaviour of these materials.

Table 1. Comparison of conventional and modern approaches in hydrogen-resistant steel research [9][10][11]

Aspect	Conventional Approach	Modern Approach
Design Philosophy	Empirical, trial-and-error based	Computationally guided (CALPHAD, ICME, AI/ML-based design)
Alloy System	Standard steels (e.g. 316L, 304, ferritic/martensitic steels, HSLA)	Advanced systems (e.g. TWIP, TRIP, dual-phase, high-entropy alloys, maraging steels)
Main Alloying Elements	Cr, Ni, Mo, Mn for corrosion and strength	Tailored additions like Nb, V, Ti, Al, Si, Co for hydrogen trapping, grain refinement, and phase stability
Hydrogen Trapping Strategy	Incidental traps (e.g. dislocations, grain boundaries)	Engineered traps (e.g. nano-precipitates, stable interfaces, coherent particles)
Design Objectives	General mechanical and corrosion properties	Simultaneous optimization of strength, ductility, and hydrogen embrittlement resistance
Use of Modelling Tools	Limited or none	Thermo-Calc, DICTRA, phase field modelling, DFT, MD simulations
Testing Feedback Loop	Slow iteration through lab tests	Closed-loop simulation–fabrication–testing process

5. Application in future mobility

With the growing use of hydrogen-powered vehicles (FCEV – Fuel Cell Electric Vehicles), the safety and reliability of hydrogen storage and transportation are becoming crucial. In the case of on-board vehicle storage tanks, multilayer composite electrode cylinders operating at an operating pressure of 350–700 bar are usually used, the inner metal layer of which is often made of 316L austenitic steel for corrosion and hydrogen resistance. However, high pressure and cyclic charging and discharging can cause hydrogen embrittlement (HE), which must be minimized by material testing like fracture analysis and SSRT tests. In addition to 316L, ferritic–austenitic (duplex) steels and special martensitic-microstructure stainless steels are also receiving increasing attention, as they offer favourable mechanical properties and lower raw material costs [12][13].

In addition to vehicle storage systems, the material science challenges of hydrogen pipeline networks are also significant. It must be ensured that high pressure and changing temperatures do not induce intergranular cracking or pore formation over the long-term design life. For other transportation system like rail and road interchange pipeline systems, nickel-alloyed steel pipes with polished surfaces are typically used and AHSS are being developed for providing better

toughness. Corrosion-inhibiting coatings inside the pipelines, such as an aluminized layer, further reduce internal hydrogen permeation and increase the service life of the junctions.

Finally, for high-pressure buffer tanks used in hydrogen refuelling stations (e.g., operating pressures of 45 MPa), the quality of seals and welds is critical. Structural modifications in the weld heat-affected zone (HAZ) can serve as a source of failure for hydrogen-induced cracking. This is where modern autofrettage and weld post-treatment are needed to compensate for residual pressure and thermal stresses. Overall, the hydrogen infrastructure of the future can only be economically realized with steel and composite systems that simultaneously meet mechanical, corrosion and hydrogen resistance requirements [14][15][16].

6. Conclusions

The development and application of steels is of paramount importance in the energy and transportation systems of the hydrogen-based future. The austenitic stainless steels especially 316L are a good starting point, but material science, welding technology and cost-effectiveness aspects must be considered together. The future points towards multi-factor optimization and intelligent material alloy design.

References

- [1] T. Hirth et al., "Hydrogen in Metals," *Materials Today*, vol. 21, no. 8, pp. 827–836, 2018, doi:10.1016/j.mattod.2018.06.006.
- [2] International Energy Agency (IEA), *The Future of Hydrogen*, Paris, France, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>
- [3] J. Ivy, *Summary of Electrolytic Hydrogen Production: Milestone Report*, National Renewable Energy Laboratory, 2004.
- [4] Innovációs és Technológiai Minisztérium, *Nemzeti Hidrogénstratégia 2021–2030 / National Hydrogen Strategy 2021–2030*, Budapest, Hungary, 2021. [Online]. Available: <https://innovacio.hu>
- [5] Gas for Climate, *European Hydrogen Backbone – A Vision Towards 2040*, Guidehouse, 2021. [Online]. Available: <https://gasforclimate2050.eu/>
- [6] M. A. Orazem, "Electrochemical Methods for Hydrogen Production and Storage," *Corrosion Science*, vol. 165, pp. 108–115, 2020, doi:10.1016/j.corsci.2019.108465.
- [7] R. Kirchheim, "Reducing Hydrogen Embrittlement in Metallic Alloys by Solute Segregation," *Acta Materialia*, vol. 55, no. 15, pp. 5129–5138, 2007, doi:10.1016/j.actamat.2007.05.032.
- [8] R. P. Gangloff, "Hydrogen-Assisted Cracking of High-Strength Alloys," *Comprehensive Structural Integrity*, vol. 6, pp. 31–101, 2003.
- [9] H. K. D. H. Bhadeshia, "Steels for Hydrogen Transport and Storage," *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 42, no. 2, pp. 12506–12512, 2017, doi:10.1016/j.ijhydene.2017.03.140.
- [10] X. Song et al., "Machine Learning in Hydrogen-Resistant Materials Development," *Nature Materials*, vol. 21, pp. 556–567, 2022, doi:10.1038/s41563-022-01229-0.
- [11] Y. Mine, D. Haraguchi, T. Ideguchi, N. Horita, Z. Horita, and K. Takashima, "Hydrogen Embrittlement of Ultrafine-Grained Austenitic Stainless Steels Processed by High-Pressure Torsion at Moderate Temperature," *ISIJ International*, vol. 56, no. 6, pp. 1083–1090, 2016, doi:10.2355/isijinternational.ISIJINT-2015-664, ISSN 0915-1559.
- [12] S. Patra, P. K. Mallisetty, N. C. Murmu, H. Hirani, and P. Samanta, "Study on Fracture Evaluation in Hydrogen Environment in 316L Stainless Steel Used in High Pressure Hydrogen Tank," *Materials Today: Proceedings*, vol. 66, pp. 3723–3728, 2022, doi:10.1016/j.matpr.2022.02.442.
- [13] J. A. Gómez and D. M. F. Santos, "The Status of On-Board Hydrogen Storage in Fuel Cell Electric Vehicles," *Designs*, vol. 7, art. 97, 2023, doi:10.3390/designs7030097.
- [14] H. K. Shin and S. K. Ha, "A Review on the Cost Analysis of Hydrogen Gas Storage Tanks for Fuel Cell Vehicles," *Energies*, vol. 16, art. 5233, 2023, doi:10.3390/en16145233.
- [15] Toyota Motor Europe, *Hydrogen Fuel Cell Technology Overview*, 2021. [Online]. Available: <https://www.toyota-europe.com>
- [16] ISO 19880-3, *Gaseous Hydrogen — Fuelling Stations — Part 3: Station Equipment*, 2021.

Comparison of Cooling Energy Storage Methods for a Pharmaceutical Plant

¹Szabolcs Józsa, ²Gábor L. Szabó

^{1,2} Department of Building Services and Building Engineering, University of Debrecen
jozsaszabi20021024@gmail.com

This research presents a comparative analysis of three alternative cooling system configurations for a pharmaceutical manufacturing facility located in Central Hungary: a system without a buffer tank, one incorporating a chilled water buffer tank, and another equipped with an ice slurry buffer tank. After outlining the relevance and current significance of the topic, the primary methods of cold thermal energy storage are described in detail. The subsequent section introduces the main parameters of the pharmaceutical plant's existing cooling system. Emphasis is placed on the reliability and sustainability of system operation, which forms the basis for comparing the alternatives. The study determines the hourly switching frequency of the chiller compressors, the available backup cooling capacities and their respective coverage durations, as well as the required storage volumes for shifting daily cooling demand to nighttime storage.

Keywords: cooling technology, cold energy storage, phase change materials, hourly switching frequency

1. Introduction

Due to climate change, the energy demand of buildings has significantly transformed, making cooling systems indispensable for meeting human comfort requirements and ensuring industrial production. However, there is a temporal mismatch between the availability of conditions that ensure efficient compressor operation and the actual demand for cold energy. Consequently, chillers can only meet the cooling energy needs of buildings during daytime hours at the cost of considerable electrical energy consumption. [1]

Energy efficiency can be improved by shifting part of the peak load to off-peak periods. This can be achieved through cold energy storage, which offers several advantages. Besides enabling more energy-efficient operation of chillers, electricity providers can offer lower tariffs during nighttime valley periods. Moreover, stored energy can serve as a safety reserve and can extend the service life of chillers by balancing power requirements. [1]

2. Theoretical overview

There are several different forms of cold energy storage, as shown in **Figure 1**.

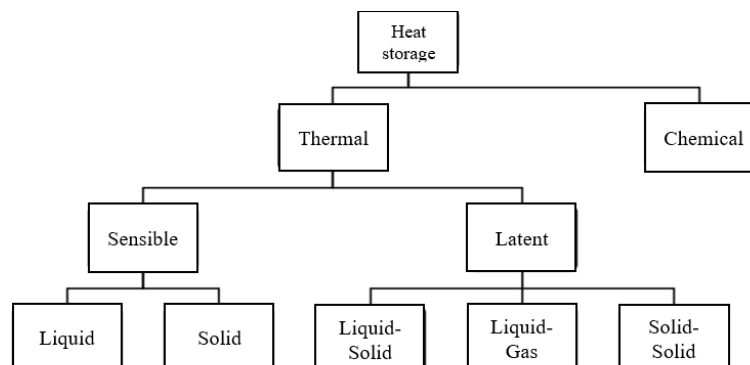


Figure 1. Commonly used forms of thermal energy storage [2]

2.1. Cold Energy Storage Using Sensible Heat

One of the most applied methods of thermal energy storage is sensible heat storage. This approach is based on the temperature change of a solid or liquid storage medium. The main advantages of sensible heat storage systems include the low cost and widespread availability of the storage medium. The most common one is water. These systems are simple to implement compared to other methods and offer straightforward operational control. However, their primary disadvantage is the low energy density achievable compared to storage systems based on phase change or chemical reactions. As a result, achieving the same storage capacity requires a larger quantity of storage medium and consequently larger storage tanks. This not only reduces the usable space available to occupants but may also require increased thermal insulation thickness, leading to significant additional costs. [3]

2.2. Thermal Energy Storage Using Chemical Heat

The storage of chemical heat can be divided into sorption-based and thermochemical processes. In sorption-based systems, heat is stored in various materials with the help of water vapor absorbed from the sorption material. Depending on the physical state of the sorbent, the process is classified as either adsorption (solid) or absorption (liquid). A key advantage of these systems is their ability to store heat at high energy densities. On the other hand, thermochemical heat storage is based on reversible chemical reactions. Its operating principle involves using heat to separate the components of a chemical compound. These components can then be stored with virtually no heat loss until recombined, during which the reaction releases heat. The main benefits of such systems are that they can provide very high energy density, and the precise controllability of the chemical processes involved. However, their disadvantages include the high cost of suitable storage materials and the limited number of allowable cycles due to the relatively low stability of the substances involved. [2] [3] [4] [5] [6]

2.2. Cold Energy Storage Using Latent Heat

Latent heat refers to the amount of energy absorbed or released during a phase change of a material at constant temperature. This amount of energy can be multiple times higher than sensible heat, meaning that heat can be stored with greater energy density. Consequently, phase change materials (PCMs) enable to use smaller storage units, which can offer both space and cost efficiency for investors. However, these materials can also have negative properties. Common disadvantages include flammability and a relatively low and time-varying thermal conductivity. After multiple cycles, the physical and chemical properties of PCMs may degrade, making them unsuitable for an infinite number of phase changes. Additional issues such as phase segregation, subcooling, reactivity, and corrosiveness can also limit the applicability of certain PCMs. [2] [7]

One of the oldest and still widely used PCMs is water (ice). Its main advantages are easy availability and stable, favourable physical properties, which make it a popular choice in HVAC applications. However, its use in cooling systems is limited by its freezing point of 0 [°C], which is low for most system temperature levels and also requires the use of antifreeze additives. However, these limitations are not necessarily a problem for industrial applications. [2] [8]

3. Results

The cooling demand of the pharmaceutical plant is currently met by three vapor-compression chillers. The facility's cooling system is divided into two hydronic loops: one contains water with a temperature gradient of 1/6 [°C] and an ethylene glycol concentration of 35 [%], while the other consists of water with a 3/6 [°C] temperature range. The primary circuit includes a 10 [m³] buffer

tank marked P-01, whose replacement options were the focus of this analysis. The fluid loops are hydraulically separated by two heat exchangers, each with a capacity of 700 [kW]. In order to avoid oversizing the system, an operational simultaneity factor has been determined based on actual usage patterns. In our case, it can be estimated at between 0.145 and 0.215, which corresponds to a cooling demand of 320 to 480 kW.

Table 1. Main parameters of the current cooling system

Examined parameter	Primary loop	Secondary loop
Temperature gradient [°C]	1/6	3/6
Consumer designation	S01-S21	T01-T11
Total cooling capacity demand [kW]	266,35	1955,3
Real cooling capacity demand [kW]	320-480	

Based on operator feedback and to enable a more effective comparison of the alternatives, we have reselected the system's chillers. During this process, the goal was to ensure that the combined operation of two units could cover the maximum actual cooling demand, while the third unit would serve as a backup. Accordingly, the newly selected chillers are Trane RTAF 090 HSE XLN units. These chillers operate on a vapor-compression cycle and use R1234ze as refrigerant. Their nominal cooling capacity is 327.4 [kW], while their efficiency is characterized by nominal EER and SEER values of 3.35 and 4.51 [kW/kW]. [9]

One of the key considerations in the design of cooling systems is the determination of the number of compressors starts per hour. The reason for this is that if the number of switches is too high, the compressor may not be able to cool down sufficiently between operating cycles. This can reduce the efficiency of the refrigeration cycle and shorten the service life of the equipment. In engineering practice, the recommended maximum number of starts per hour is approximately 6 [1/h]. The following equations can be applied to determine this parameter for systems without buffer storage and those equipped with a chilled water buffer tank:

$$\dot{V}_{designed} = \frac{3600 \cdot \dot{Q}_{cooling,min}}{c_{fluid} \cdot \rho_{fluid} \cdot \Delta T_{cooling}} \quad (3.1)$$

$$n = \frac{\dot{V}_{designed}}{V_{system}} = \frac{\dot{V}_{designed}}{V_{buffer} + V_{other}} \quad (3.2)$$

where " $\dot{V}_{designed}$ " is the designed flow rate, in [m³/h]; " $\dot{Q}_{cooling,min}$ " is the minimum cooling capacity of the chillers, in [kW]; " c_{fluid} " is the specific heat of the cooling medium, in [kJ/(kgK)]; " ρ_{fluid} " is the density of the cooling medium, in [kg/m³]; " $\Delta T_{cooling}$ " is the cooling temperature gradient, in [K]; "n" is the number of compressor starts per hour, in [1/h]; " V_{system} " is the volume of the cooling system, in [m³]; " V_{buffer} " is the volume of the buffer tank, in [m³] and " V_{other} " is the system volume without the buffer tank, in [m³]

In the case of the system equipped with an ice slurry buffer tank, a significant redesign of the system layout was required. In this configuration, the primary loop operating at -7/-2 [°C] is hydraulically separated from the secondary circuit by the heat exchangers before the buffer tank. Based on international studies, the ice concentration was defined as 20 [vol%], as at this level the fluid still retains flow characteristics similar to water. The ice concentration in the buffer is maintained by automated measurement of the density and weight of the stored medium.

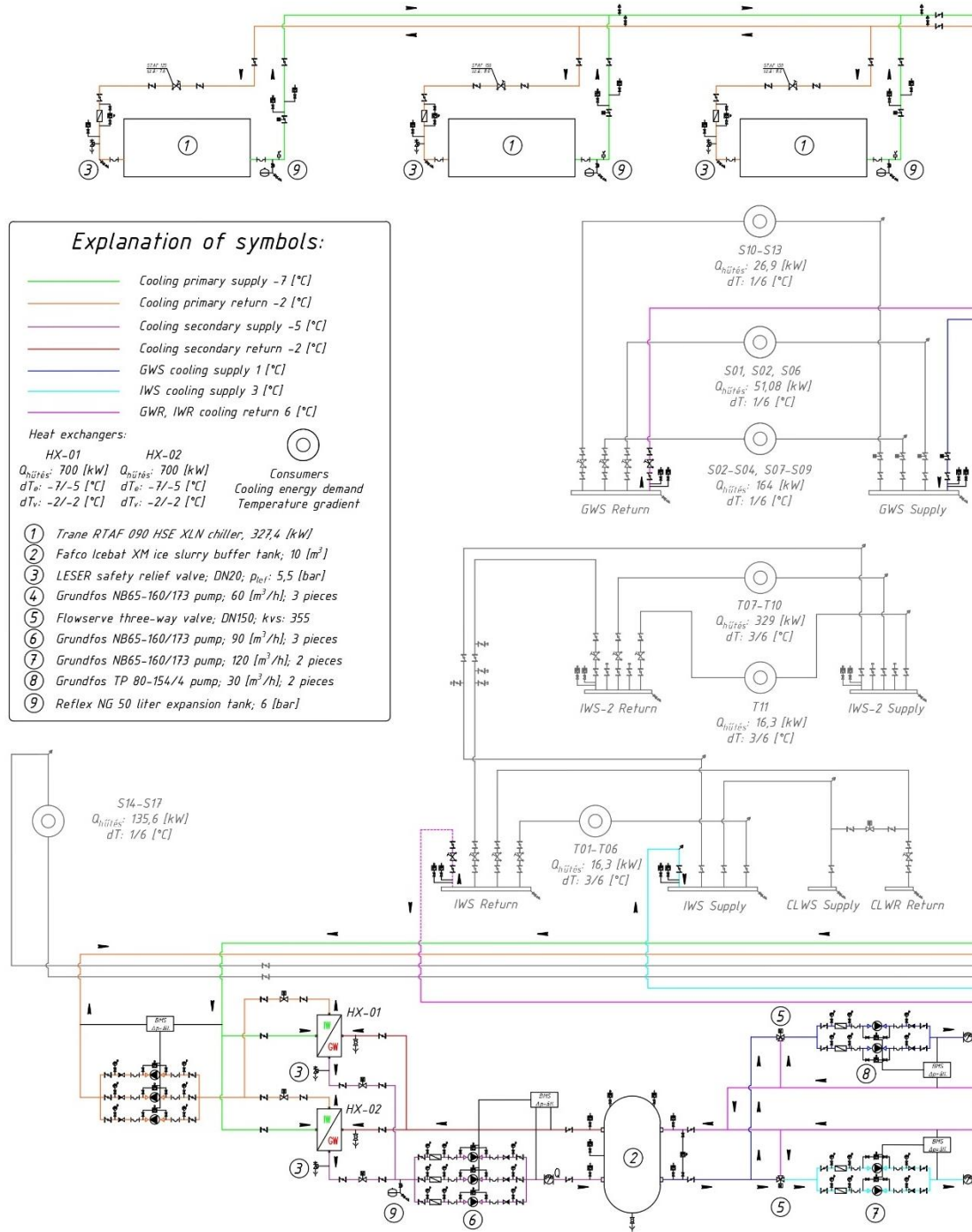


Figure 2. Schematic layout of the system with the ice slurry buffer [own figure]

In the case of the system equipped with an ice slurry buffer tank, the hourly number of compressors starts of the compressors can be determined using the following equations:

$$Q_{sensible} = c_{fluid} \cdot \rho_{fluid} \cdot V_{system} \cdot (T_{r;sec} - 273) \quad (3.3)$$

$$Q_{latent} = x \cdot \rho_{ice} \cdot V_{buffer} \cdot L_{fusion} \quad (3.4)$$

$$n = \frac{\dot{Q}_{cooling,min}}{Q_{system}} = \frac{\dot{Q}_{cooling,min}}{Q_{sensible} + Q_{latent}} \quad (3.5)$$

where " Q_{sensible} " is the sensible heat content of the cooled medium, in [kWh]; " $T_{r;\text{sec}}$ " is the return temperature of the secondary loop, in [K]; " Q_{latent} " is the latent heat content of the cooled medium, [kWh]; " x " is the ice concentration, [vol%]; " ρ_{ice} " is the density of ice, [kg/m³]; " L_{fusion} " is the latent heat of fusion of ice, in [kJ/kg] and " Q_{system} " is the total cooling capacity of the system, in [kWh]

In addition to reducing the compressors' hourly switching frequency, it may also be beneficial to install buffer tanks to ensure a reliable energy supply. In the following section of the study, we examined how long the thermal capacity of each alternative would be able to cover the cooling demand of the pharmaceutical plant. For this purpose, the following equations were applied:

$$Q_{\text{system}} = c_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}} \cdot V_{\text{system}} \cdot (T_{r;\text{sec}} - T_{s;\text{sec}}) \quad (3.6)$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{system}} &= Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latent}} = \\ &= c_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}} \cdot V_{\text{system}} \cdot (T_{r;\text{sec}} - 273) + x \cdot \rho_{\text{ice}} \cdot V_{\text{buffer}} \cdot L_{\text{fusion}} \end{aligned} \quad (3.7)$$

$$t_{\text{reserve}} = \frac{Q_{\text{system}}}{\dot{Q}_{\text{cooling},h}} \quad (3.8)$$

where " $T_{s;\text{sec}}$ " is the supply temperature of the secondary loop, in [K]; " t_{reserve} " is the duration covered by the cooling capacity of the system, in [h] and " $\dot{Q}_{\text{cooling},h}$ " is the hourly cooling demand of the consumers, in [kWh]

We also attempted to calculate the required storage volume for full nighttime storage. Since cooling energy can be stored most efficiently during colder nighttime hours, the chiller would operate exclusively during this period. This could also be advantageous because electricity providers often offer lower energy prices during off-peak hours. To perform this calculation, the following relationships were applied:

$$Q_{\text{cooling},\text{day}} = \dot{Q}_{\text{cooling},h} \cdot \tau_{\text{operation}} \quad (3.9)$$

$$Q_{\text{buffer},\text{min}} = \frac{\tau_{\text{store}}}{\tau_{\text{operation}}} \cdot Q_{\text{cooling},\text{day}} \quad (3.10)$$

$$V_{\text{ice slurry}} = \frac{3600 \cdot \left[Q_{\text{buffer},\text{min}} - (c_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}} \cdot V_{\text{other}} \cdot \frac{(T_{r;\text{sec}} - 273)}{3600}) \right]}{x \cdot \rho_{\text{ice}} \cdot L_{\text{fusion}} + c_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}} \cdot (T_{r;\text{sec}} - 273)} \quad (3.11)$$

$$V_{\text{chilled water}} = \frac{Q_{\text{buffer},\text{min}}}{c_{\text{fluid}} \cdot \rho_{\text{fluid}} \cdot (T_{r;\text{sec}} - T_{s;\text{sec}})} - V_{\text{system}} \quad (3.12)$$

where " $Q_{\text{cooling},\text{day}}$ " is the total daily cooling demand, in [kWh]; " $\tau_{\text{operation}}$ " is the operating time of the cooling system, in [h]; " $Q_{\text{buffer},\text{min}}$ " is the minimum heat capacity of the buffer tank, in [kWh]; " τ_{store} " is the time allocated for energy charging, in [h]; " $V_{\text{ice slurry}}$ " is the required volume of the ice slurry buffer tank, in [m³] and " $V_{\text{chilled water}}$ " is the required volume of the chilled water buffer tank, in [m³]

Table 2. Comparison of the calculation results for the three system variations

Calculated parameter	Chilled water buffer tank	Without buffer tank	Ice slurry buffer tank
Hourly switching frequency [1/h]	0,34	0,67	0,1
Reserve cooling capacity [kWh]	113,79	56,89	306,47
Safety backup duration [min]	14	7	47
Required volume for nighttime charging [m ³]	664,93	-	158,34

To illustrate the differences between the alternatives more effectively, the hourly switching frequency of the compressors and the backup duration covered by the system's cooling capacity were plotted across the full spectrum of cooling demand. The results are shown in **Figure 3**.

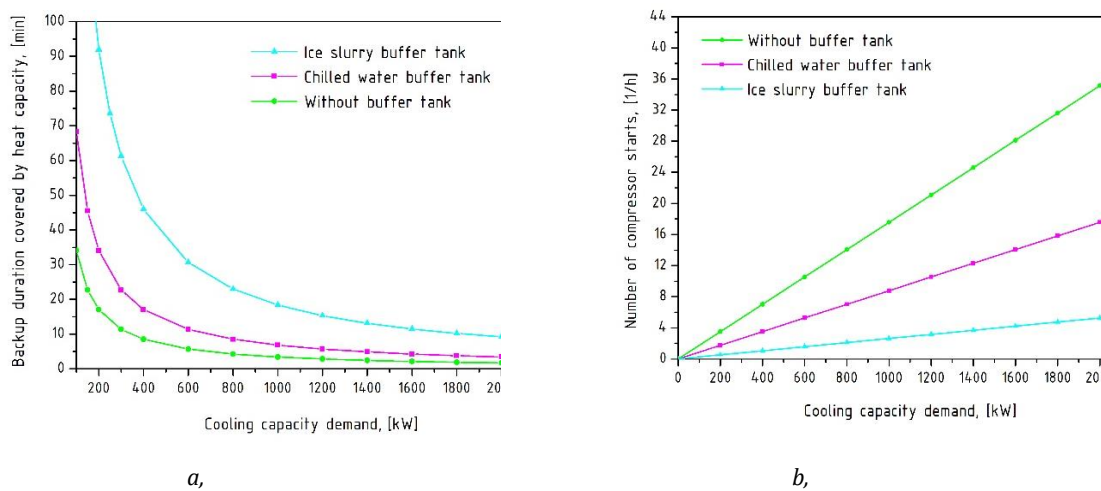


Figure 3. a, Duration covered by the system's heat capacity b, hourly number of compressors starts across the full range of cooling capacity demand

4. Summary

The results show that each system alternative leads to low hourly switching frequencies under the examined parameters. This is primarily because modern chillers are capable of regulating their load to extremely low levels. As a result, the necessity of buffer storage tanks may become questionable when the only goal is to reduce compressor switching frequency. However, the differences in the ratio of switching frequencies among the systems are clearly visible. From this, it can be concluded that if a high-capacity chiller with limited modulation is installed, it may be worth considering the use of chilled water or ice storage buffers.

However, there is a significant difference between the alternatives in terms of the cooling capacity of the system and the duration it covers. In the case of the ice slurry buffer tank, this duration is several times greater than the values achieved with chilled water systems, which can positively contribute to production reliability. Although full nighttime storage would require a large storage volume, with chilled water buffer tanks this volume would need to be even greater.

In summary, the results clearly illustrate the potential of high energy density thermal storage. A favorable and easily implementable alternative for this could be the use of the ice storage buffer tanks analyzed in this study.

This study was supported by the Körös Campus Foundation, the Debreceni Talentumok Foundation and the Talent Management Program of the University of Debrecen.

References

- [1] G. Dr. L. Szabó and S. Józsa, Jegesvizes puffertárolók hűtési alkalmazhatóságának vizsgálata egy irodaépület esetén. [Performance]. Műszaki Tudomány az Észak-Kelet Magyarországi Régióban 2024 Konferencia.
- [2] Z. Andrassy, "Fázisváltó anyaggal töltött hőtároló modellezése, optimalizálása és épületgépészeti rendszerekbe illesztése," Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2021.
- [3] S. Varga-Grund, "Biogáz-tüzelésű gázmotor hulladékhőjének szezonális hőtároláson keresztüli hasznosíthatóságának vizsgálata," Miskolci Egyetem, Miskolc, 2021.
- [4] K. Árokszállási, Hőtárolás - a jövő technológiája, Érd: Roxa Kft., 2011.
- [5] T. Borbély, Szilárd töltetű hőtároló optimális kialakítása, Veszprém: Pannon Egyetem, 2014.
- [6] L. Dr. Fülöp, Writer, SZEZONÁLIS HŐTÁROLÓ NAPENERGIA HASZNOSÍTÁSRA. [Performance]. Pécsi Tudományegyetem Pollack Mihály Műszaki és Informatikai Kar.
- [7] G. Beckmann and P. V. Gilli, A hó tárolása, Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1987.
- [8] J. Tamasauskas, M. Poirier, R. Zmeureanu and R. Sunye, "Modeling and optimization of a solar assisted heat pump using ice slurry," 2012.
- [9] "Trane," [Online]. Available: https://www.trane.com/content/dam/Trane/Commercial/lar/es/product-systems/catalog/sintesis_prime_rtaf_air-cooled_chiller.pdf. [Accessed 21 10 2024].

**Kezelt szürkevizben termesztett napraforgó és búza, mint mikroöldségek
elemtartalmának összehasonlítása**

¹Nusser Gyöngyvér Boglárka, ²Izbékiné Szabolcsik Andrea
^{1,2} Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék
n.gyongyver.boglarka@gmail.com

A kialakuló vízhiány miatt alternatív vízforrásokat kell keresnünk. Ilyen alternatív vízforrás a szürkevíz, amely a háztartásokban keletkezett úgymond „egyszer használatos víz”. Ezt a vizet többértéűen fel lehet használni, azonban jelen kutatásban mezőgazdasági szempontból közelítettük meg a szürkevíz újrahasználatát, mégpedig a mikroöldségek termesztése során. A mikroöldségek magas vitamin tartalommal és ásványi anyagokkal rendelkeznek, ezen kívül fitokémikáliákban gazdagok, beleértve a karotinoidokat és a fenolos vegyületeket, amelyek antioxidánsként hatnak az emberi szervezetben. A kutatás során a mikroöldségek kezelt és kezeletlen szürkevíz mellett kontrollként ivóvízen nevelkedtek. Ahhoz, hogy meghatározhassuk a különböző szürkevizeken nevelt mikroöldségek fogyaszthatóságát a növények elemtartalmát kell megvizsgálunk, ezért célunk, az ivóvízen termesztett mikroöldségekhez viszonyítva felderítsük a szürkevizben és a kezelt szürkevizeken nevelt növények elemtartalmában lévő eltéréseket.

Kulcsszavak: mikroöldségek, szürkevíz, újrahasználat, elemtartalom

1. Bevezetés

A tiszta édesvízkészleteink csökkenésével szükségünk van arra, hogy átálljunk egy fenntartható vízgazdálkodásra. Továbbá a globális populáció növekedésével és a túlságosan feldolgozott élelmiszerek elterjedésével egyre fontosabb kérdéskörre válik a tápértékekben gazdag, egészséges ételek elterjesztése. A kettő téma szorosan összefüszik egymással, hisz az édesvízkészleteink egy jelentős része mezőgazdasági felhasználásra kerül. Jelen kutatásunk is ezen két nagyobb témakört öleli fel, azaz a háztartásokban keletkező szürkevizek növénytermesztési célú újrahasználatára fókuszálunk.

1.1. A szürkevíz

A fenntartható vízhasználat elengedhetetlen eleme a víz újrahasználat. A háztartásokban kettő fajta szennyvíz keletkezik. Szürkevíznek (GW) nevezzük azon vizeket, amelyek a háztartásokban keletkeznek és nem tartalmazzák a WC öblítése során elszennyezett vizet. Az utóbbit hívjuk fekete víznek (BW) ugyanis ennek a mikrobiális szennyezettsége sokkal nagyobb, mint a szürkevízé emiatt az emberi egészségre káros. Egy átlagos háztartásban a keletkező szürkevíz a napi szennyvíztermelés 50-80%-át teszi ki és alacsony szerves szennyezettségi szinttel bír [1].

1.2. Szürkevizek kezelése

A szürkevíz esetén van lehetőségünk tisztítás nélkül újrahasználni a vizet például autómosásra, tűzoltásra vagy esetleg toaletti öblítésére [2], [3]. Azonban egyes ágazatok esetében szükségünk van arra, hogy a szürkevíz átessen egy kezelési folyamaton és ezáltal tisztább legyen. A mezőgazdasági felhasználás is egy ilyen ágazat. Az Európai Parlament és Tanács 2020/741 rendelete [4], a víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről és az Európai Tanács 91/271/EGK irányelve [5] települési szennyvízkezeléséről többek között tartalmazza azon követelménykét, amely a szürkevíz újrahasználatát szabályozzák. Ahhoz, hogy a víz újrafelhasználható legyen – az általunk vizsgált paramétereket tekintve –, a kezelt szennyvíz biológiai oxigénigénye (BOI₅) 25 mg/l, a kémiai oxigénigénye (KOI) pedig 125 mg/l alatt kell, hogy legyen, ezek felett további kezelésre van szükség. A kifejezetten mezőgazdasági öntözés esetében

pedig biológiai oxigénigénynek 25 mg/l alatt, és a zavarosságnak 5 NTU alatt, a pH értéknek 6 és 9 között kell lennie ahhoz, hogy korlátozások nélkül használható legyen a kezelt szürkevíz [4], [5].

1.1. Mikrozöldek

Mikrozöldeknek vagy mikrozöldségeknek nevezzük azokat a fiatal növényeket, általában zöldek vagy fűszernövények, amelyek kicsíráztak, kifejlett sziklevelekkel és fiatal igazlevelekkel rendelkeznek. A fejlődési idejük növény-specifikus és széles tartományban mozog, 5-21 nap között fejlődnek ki, azonban átlagosan 7-14 nap alatt szüretelhető állapotba kerül a legtöbb mikrozöld [6], [7]. Tehát a kifejlett növényhez képest rendkívül hamar fogyaszthatóvá válnak és beltéri termesztésre is alkalmasak. A mikrozöld stádium előtt a növényeket csíráknak tekintjük. A csírák 2-3 nap alatt nőnek meg, még rendelkezhetnek a magházukkal, és fogyasztásuk során az egész növényt fogyasztjuk, gyökerestől és akár magházastól [6].

A rövid termesztési időn kívül nagy pozitívuma a mikrozöldeknek, hogy általánosan a mikrozöldek magas vitamintartalommal és ásványi anyagokkal rendelkeznek ugyanis a számunkra fontos vitaminok a sziklevekben halmozódnak fel, és mennyiségük többszöröse található meg bennük, mint a kifejlett növényben. Bár a csírák még hamarabb fogyaszthatóak a mikrozöldek több rosttal rendelkeznek, több C-, E-, és K-vitamin található meg bennük, és az antioxidáns tartalmuk is szignifikánsabb, mint a csíráknak. A csírák fogyasztása is ajánlott, hisz bennük is sok tápérték található, azonban, íz kérdésében szintén a mikrozöldek dominálnak, ugyanis a csírák nem rendelkeznek erős ízvilággal, mondhatni ízetlenek [6]. Az, hogy milyen összetételben, mennyiségben tartalmazzák a tápanyagokat, mint minden élelmiszerrel itt is növény-specifikus.

A jelen tanulmányban vizsgált növények a napraforgó és a búza. A napraforgó mint mikrozöldek csökkenti a koleszterinszintet, szabályozza a hormonokat, javítja a csontok, fogak és a szív egészségét, hálá a fehérje, kalcium és vas, esszenciális aminosavak, A-, B-, C-, D-, K-vitamin, folsav és különféle nyomelem tartalmának [8]. A búza mikrozöldként is nehezen rágható emiatt általában préselve, juice-ként fogyasztják búzaféléként. Tápanyagtartalmát tekintve klorofill, rostok, fehérjék és aminosavak, A-, C-, E-, K-, és B-vitamin komplex, kalcium, vas, magnézium, szelén, foszfor található meg benne. Ezek a tápanyagok a következő jótékony hatással járnak: Magas antioxidáns tartalom, emésztéssegítő, immunerősítő, látás segítése, idegrendszer egészsége, daganatok megelőzése, vérképzés elősegítő stb [9].

2. Anyag és módszer

A kísérlet során háromféle víztípust használtunk: ivóvizet, kezelt szürkevizet és kezeletlen szürkevizet. Az ivóvizet a vezetékes hálózathoz nyertük, míg a szürkevizet szintetikus úton állítottuk elő a Környezetmérnöki Tanszék korábbi kutatásai alapján [10]. Ehhez olyan, ivóvíz alapú, állandó összetételű fürdővíz-modellt alkalmaztunk, amely jól reprezentálja a háztartásokban fürdés során keletkező szürkevizet.

A szürkevíz kezeléséhez vas(III)-kloridot (Sharlau) használtunk koagulálásra és flokkulálásra, majd az ülepedés után homokszűrő mechanikai szűrést végeztünk [10]. A mikrozöldek termesztéséhez rostlapokat használtunk, amelyeket fertőtlenített tálcákra helyeztünk, és az adott víztípussal – ivóvízzel, kezeletlen vagy kezelt szürkevízzel – átitattunk. Ezután a magokat közvetlenül a nedvesített rostlapokra vetettük. Minden víztípushoz három-három rostlapot használtunk minden növényfajta esetében. A növények termesztési ideje 10 nap volt, és a vizsgálat időtartama alatt háromszor készítettünk szürkevizet és kezeltük is. A vizsgálat célja az volt, hogy

megfigyeljük, a mikroöldségek elemtartalmát és termékenységét mennyiben befolyásolja a szürkevíz használata az ivóvízhez képest.

A vizek minősítése alkalmával, mértük az öntöző vizek pH értékét, SenTix 41 kombinált pH elektródával, a zavarosság értékeket Turb 555-IR zavarosság mérő készülékkel, és a szervesanyagtartalmat (BOI₅) BOI OXITOP IS 12 manometrikus mérőüvegek alkalmazásával határoztuk meg.

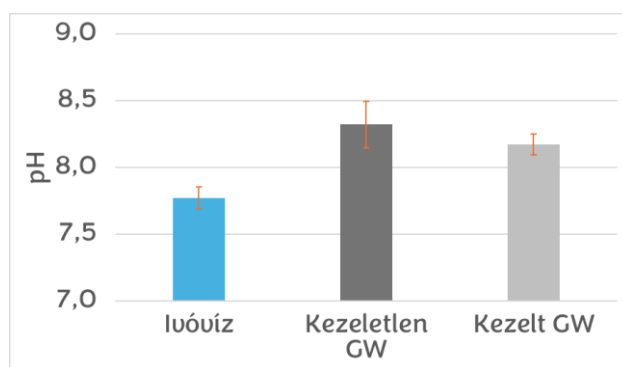
A vízminták és növényminták elemtartalmát ICP-OES (induktív csatolású plazma – optikai emissziós spektrográfia) készülék segítségével határoztuk meg. A mérőműszer a nevéből adódóan is egy optikai emissziós módszer melynek a fő célja az elemanalitikai meghatározás, azaz, hogy meghatározzuk az adott minta elemösszetételét. A kutatás során az elemanalitikai vizsgálatokat a társlaborunk végezte el a Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszékén, és Al, B, Ba, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, Zn elemek kerültek meghatározásra.

A vízminták esetében 50 ml 0,45 µm-es pórusátmérőjű membránszűrőn átszűrt és 50 µl cc. HNO₃-val (Merck) savanyított mintát elemzésig 4 °C-on tároltunk. A mérés előtt a kiszáritott növénymintákból ~0,25 g analitikai mérlegen teflon roncsolócsövekbe mérték, majd. A növényi minták oldatba viteléhez ETHOS UP (Milestone) mikrohullámú roncsolóberendezést alkalmaztak, roncsolószerként pedig 6 ml cc. HNO₃ (Merck) és 2 ml 30%-os H₂O₂ (Merck) elegyet használtak. Az így elroncsolt mintákat 25 ml-re töltötték PE centrifugacsövekben ultratiszta vízzel (MilliQ Millipore), melyeket a mérésig szobahőmérsékleten tárolták.

2. Eredmények és értékelésük

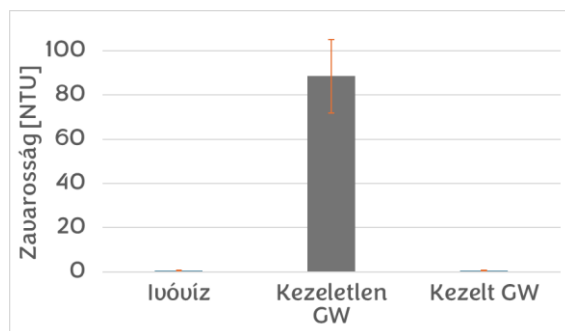
2.1. Az öntözővizek

Ahogy említettük öntözővízként a kísérlet időtartama alatt három alkalommal készítettünk szürkevizet és kezeltük is. A minősítés során kapott eredményeink átlagát mutatjuk be a továbbiakban.



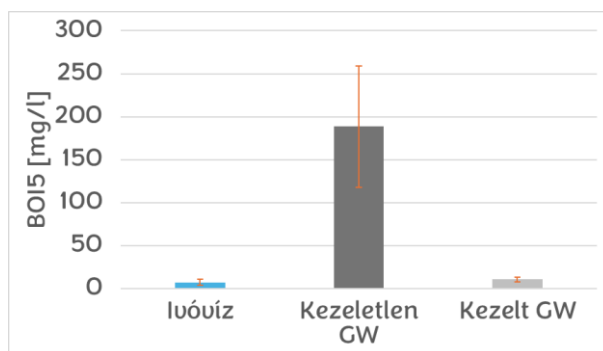
1. ábra A vizek pH értéke

Az 1. ábrán láthatjuk a vizek pH értékeit. A diagrammot figyelve megállapítható, hogy a legmagasabb pH-értékkel rendelkező minta a kezeletlen szürkevíz, amíg a legalacsonyabb az ivóvízé. Fontos azt is megjegyezni, hogy az ivóvíz pH-értéke alapvetően magasabb a semlegesnél, hiszen 7 helyett 7,77. Ez csupán azt jelenti, hogy a csapvíz, amivel dolgoztunk, lúgosabb kémhatású. Azt is megfigyelhetjük, hogy a kezelt szürkevíz pH-értéke a kezelés során csökkent, azaz kezdett közelíteni az ivóvízminta értékéhez. Ez azt jelenti, hogy a kezelés során sikerült azoknak a tényezőknek egy részétől megtisztítani a vizet, amelyek a pH-érték emelkedését szolgálják. Az öntözővizek tekintetében a határérték 6-9. Így ezen alapján megállapíthatjuk, hogy mindegyik víz alkalmas mezőgazdasági öntözéshez ezen paraméter alapján [4].



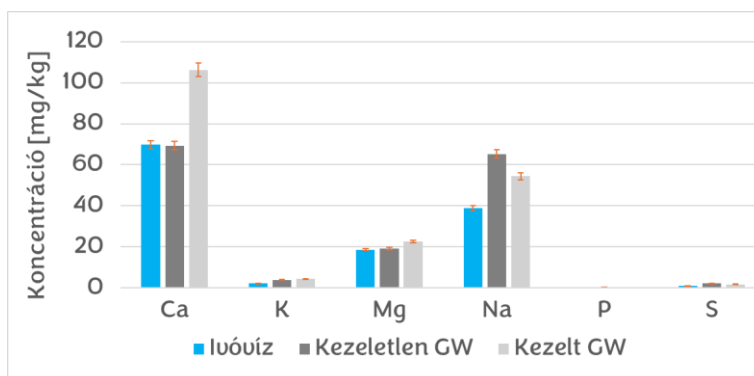
2. ábra A vizek zavarosság értéke

A zavarosságmérésnél a kolloid méretű, oldhatatlan, szerves vagy szervetlen részecskék jelenlétét vizsgáljuk. Minél nagyobb a zavarosság értéke, annál több oldhatatlan részecskét tartalmaz az adott minta [11]. Ebből kiindulva láthatjuk a 2. ábrán, hogy a legtöbb kolloidot a kezeletlen szűrkevíz tartalmazza. Ez az érték kimagaslóan nagy, mind az ivóvízéhez, mind a kezelt szűrkevízéhez képest. Nagy pozitívum, hogy a kezelt szűrkevíz értéke közel megegyezik az ivóvíz értékével. Emiatt következtethetünk arra, hogy a kezelés során sikerült megtisztítani a vizet az oldhatatlan részecskék túlnyomó többségétől. A határérték alapján a zavarosság értéke átlagosan 2 NTU, maximálisan pedig 5 NTU lehet [4]. Ennek a határértéknek egyedül a kezeletlen szűrkevíz nem felel meg, emiatt jogszabályilag a kezeletlen szűrkevizet nem lehet alkalmazni öntözés céljából, még ezzel szemben az ivóvizet és a kezelt szűrkevizet igen.



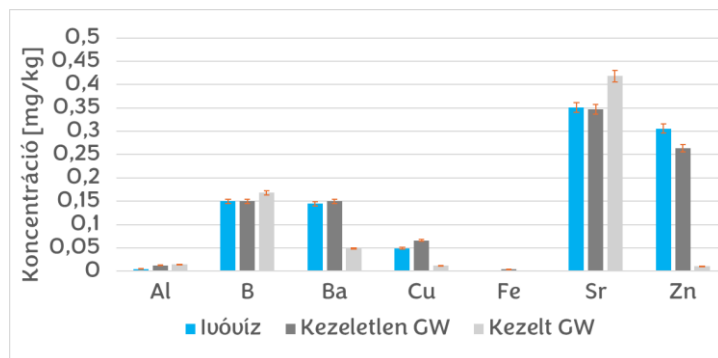
3. ábra A vizek biológiai oxigénigényének értéke

A biológiai oxigénigény azt az oxigénmennyiséget adja meg, amelyre a mikroorganizmusoknak szüksége van a szervesanyag lebontásához. Tehát a szervesanyag-tartalomról kapunk információt [11]. Ismét azt láthatjuk a 3. ábrán, hogy a kezelés során sikerrel jártunk el. A határértékek szempontjából ismét nem alkalmazhatjuk a kezeletlen szűrkevizet öntözésre ugyanis a BOI₅ érték nem haladhatja meg a 25 mg/l értéket [4].



4. ábra A vizek makro-elemtartalma

A vizek makro-elemtartalmának különbségeit az 4. ábra mutatja be. Megfigyelhető, hogy amíg az ivóvíz és a kezeletlen szűrkevíz esetében közel azonos mennyiségben volt megtalálható a kalcium, addig a kezelt szűrkevízben egy jóval nagyobb érték került detektálásra. A kálium és magnézium értékei közel azonosak voltak a vízmintában, mindkettő esetében csak egy kis emelkedés vélhető fel a szűrkevíz készítése, majd kezelése után. A nátrium, foszfor és kén tekintetében a kezeletlen szűrkevíz-mintában megemelkedik, majd a kezelés után pedig lecsökken a mennyiségük.



5. ábra A vizek mikro-elemtartalma

A mikroelemek közül a kadmium, kobalt, króm, lítium, mangán, nikkel és ólom kimutatási határ alatt volt, míg a vas éppen, hogy kimutatható volt egy mintában (a vas egyszer volt detektálható a kezeletlen szűrkevízben). Az alumínium és a stroncium esetében a koncentráció emelkedett mind a szűrkevíz készítése után, mind annak kezelése után. A bór és bárium tartalom alig változott a kezeletlen szűrkevíz esetében az ivóvízéhez képest, azonban a kezelés után a bór megemelkedett, míg a bárium lecsökkent. A réz esetében a kezeletlen szűrkevíz értéke megemelkedett az ivóvízéhez képest, utána pedig lecsökkent a kezelés után az ivóvíz értéke alá. A cink legmagasabb koncentrációban az ivóvízben volt kimutatható mennyiségben, majd fokozatosan csökkent a szűrkevíz készítése után, és drasztikusan tovább csökkent a kezelés során.

4.2. A napraforgó

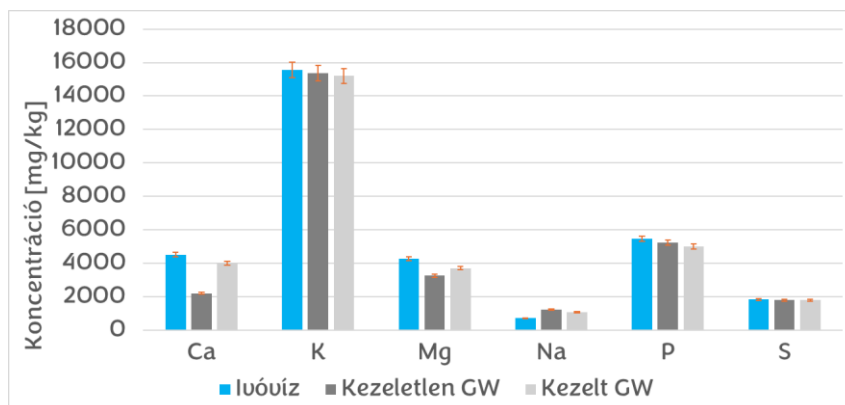


6. ábra A különböző vizeken nevelt napraforgók

A 6. ábrán balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szűrkevízen és kezelt szűrkevízen nevelt napraforgó található. A képre tekintve láthatjuk, hogy legmagasabbra az ivóvízen növekedett napraforgó, legkisebbre pedig a kezeletlen szűrkevízen növekedett napraforgó nőtt. Tömegüket ugyanezt a tendenciát követi. A nedves biomassa tömege az ivóvízen növekedett napraforgónak

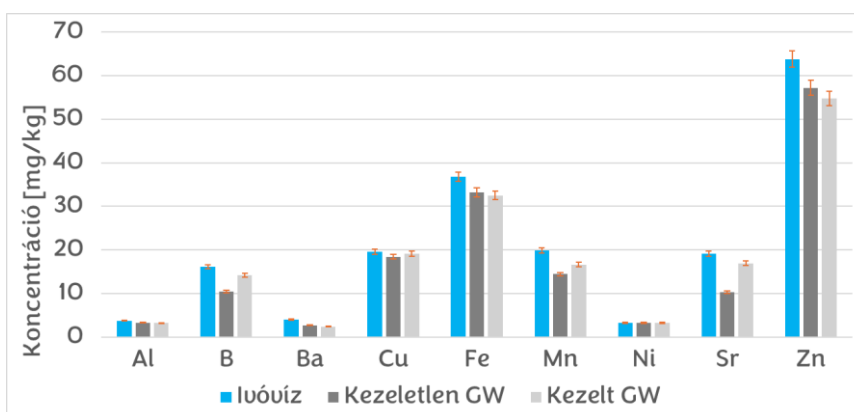
21,12 g, a kezeletlen szürkevizen nevelt napraforgónak 7,87 g a kezelt szürkevizen nevelté pedig 14,94 g.

A napraforgó makroelem-tartalmát 7. ábra, míg a mikroelem-tartalmát az 8. ábra szemlélteti.



7. ábra A különböző vizeken nevelt napraforgó makro-elemtartalma

A 7. ábrán láthatjuk, hogy a kalcium koncentrációjának a tendenciája megegyezik a napraforgók növekedésének a tendenciájával. Emiatt következtethetünk arra, hogy a kezeletlen szürkevizen növekedett napraforgók esetleges kalcium hiány következtében nem növekedtek megfelelően. A kalcium felvételét korlátozza a nátrium így ez is befolyással lehet a felvett kalcium mennyiségére [12]. Kisebb, de ugyanilyen eltérés látható a magnézium esetén is.



8. ábra A különböző vizeken nevelt napraforgó mikro-elemtartalma

Az 8. ábra megmutatja nekünk, hogy mind a bór, réz, mangán és stroncium esetében a legnagyobb koncentrációban az ivóvízen nevelt napraforgóban, legkisebb koncentrációban pedig a kezeletlen szürkevizen nevelt napraforgóban volt megtalálható. A nikkelen kívül mindegyik kimutatható mikroelem esetében az ivóvízen nevelkedett napraforgóban volt a legnagyobb koncentráció. A nikkel esetében közel azonos mennyiség volt megtalálható mindhárom mintában. Kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm, lítium, és az ólom mennyisége.

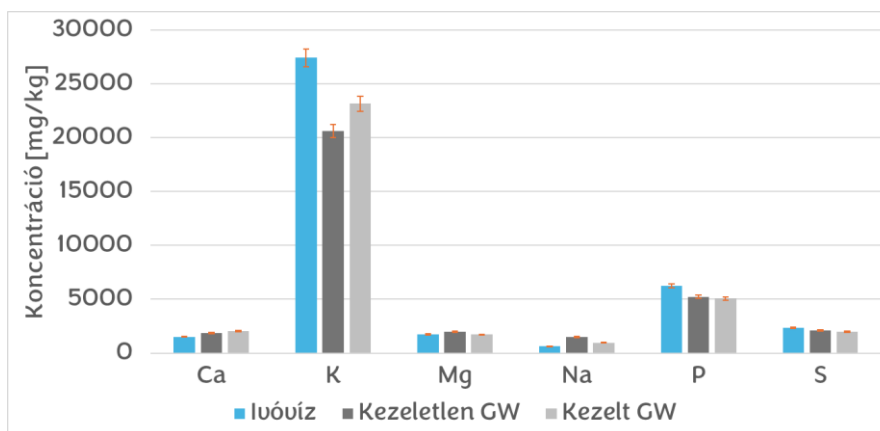
2.2. A búza



9. ábra A különböző vizeken nevelt búzák

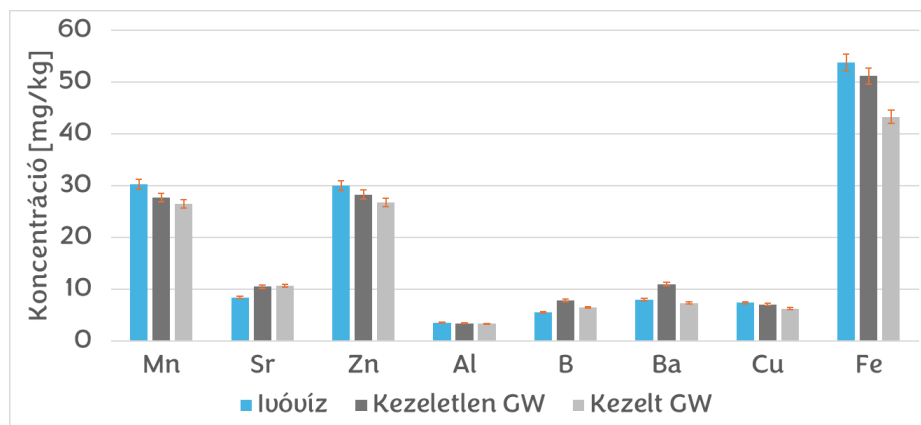
A 9. ábrán láthatjuk a kifejezett búza mikroöldségeket, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szűrkevízen és kezelt szűrkevízen nevelkedetteket. A búza kifejezetten gyorsabban és magasabbra növekedett a kezeletlen víz használatával, mint az ivóvíz esetében. A kezelt szűrkevíz pedig közel második helyen van. A tömegeket tekintve a nedves biomassa tömege az ivóvízen növekedett búzának 3,67 g, a kezeletlen szűrkevízen nevelkedetté 6,43 g és a kezeletlen szűrkevízen nevelt búzának pedig 4,70 g.

A búza makroelem-tartalmát a különböző víz típusokon a 10. ábra mutatja, míg a mikroelem-tartalmát a 8. ábra demonstrálja.



10. ábra A különböző vizeken nevelt búza makro-elemtartalma

A makroelem-tartalom esetében nagyobb differenciát a káliumtartalomban láthatunk. Az ivóvízen nevelkedett minta több káliummal rendelkezik, mint a kezeletlen és kezelt szűrkevízen, azzal ellentétben, ahogy az 1. ábrán láthatjuk, az ivóvíznek volt a 3 víztípus közül legalacsonyabb a káliumtartalma. A magas káliumtartalom miatt látható, hogy mind a magnézium, mind a kalcium jóval kisebb mértékben került felvételre. Ez azért van, mert a kálium reaktívabb, mint a magnézium és a kalcium, és ezáltal kiszorítja a növényből őket azokat [12]. A kalciumhiány a növekedésben gátolja a növényeket, míg a magnéziumhiány sárgulást okoz a régebbi levelekben [12].



11. ábra A különböző vizeken nevelt búza mikro-elemtartalma

A mikroelem-tartalom esetében (11. ábra) azt figyelhetjük meg, hogy bár az ivóvízben és a kezeletlen vízben kimutatási határ alatt volt a vastartalom (lásd 4. ábra), a növényben mégis a legnagyobb mennyiségben kimutatható mikroelem lett, és az ideális tartományban tartózkodik (50–75 mg/kg) [12]. A három víztípusban szintén nem volt kimutatható a mangán, azonban mindegyik vízen növesztett mikroöldségben megtalálható. A búza esetében kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm, lítium, nikkel és az ólom mennyisége.

3. Következtetések, összefoglalás

A kutatás során vizsgáltuk a kezelt és kezeletlen szürkevíz újrahasználásának lehetőségét mikroöldségek termesztésére. A kezelésként alkalmazott koaguláció, flokkuláció és mechanikai szűrés megtisztította a szürkevizet a szerves szennyeződésektől, és az oldhatatlan kolloidméretű részecskéktől.

A mikroöldségek vizsgálatánál kijelenthető, hogy a szürkevíz használata rendkívül növény-specifikus. Termékenység szempontjából a két növény esetén ellentétes eredményeket kaptunk. Míg a búza sokkal jobban növekedett a kezeletlen szürkevizen mint az ivóvizen addig a napraforgó biomasszája drasztikusan lecsökkent a kezeletlen víz használata miatt.

Az elemanalitikai adatokat vizsgálva megállapíthatjuk, hogy rendkívüli különbségeket nem mutattak a növények a különböző vizek hatására, azonban kisebb különbségek előfordultak.

Célunk a következőkben valós fürdővízmintával is elvégezni a méréseket.

4. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük szépen Dr. Baranyai Edinának és Dr. Sajtos Zsófinak, hogy a vízminták és a növényminták elemanalízise során a Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratóriumában segítséget nyújtottak.

A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM EKÖP-24-1 KÓDSZÁMÚ EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT

Irodalomjegyzék

- [1] A. Van de Walle et al., "Greywater reuse as a key enabler for improving urban wastewater management," Environ. Sci. Ecotechnology, vol. 16, p. 100277, Oct. 2023, doi: 10.1016/J.ESE.2023.100277.
- [2] T. H. Al-Husseini, R. H. Al-Anbari, and A. H. M. J. Al-Obaidy, "Greywater Environmental Management: A Review," IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 779, no. 1, p. 012100, Jun. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/779/1/012100.

- [3] S. Arunachalam, V. Gheorghiu, D. Kotouc, and S. Krocova, "Utilisation of recycled wastewater as an alternative source of water used for fire-fighting purposes by fire brigades in the Czech Republic," IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 444, no. 1, p. 012029, Jan. 2020, doi: 10.1088/1755-1315/444/1/012029.
- [4] "Rendelet - 2020/741 - EN - EUR-Lex." Accessed: Mar. 11, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=CELEX%3A32020R0741>
- [5] "EUR-Lex - 01991L0271-20140101 - EN - EUR-Lex." Accessed: Mar. 11, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/ALL/?uri=CELEX:01991L0271-20140101>
- [6] M. Partap et al., "Microgreen: A tiny plant with superfood potential," J. Funct. Foods, vol. 107, p. 105697, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.JFF.2023.105697.
- [7] E. R. Turner, Y. Luo, and R. L. Buchanan, "Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review," J. Food Sci., vol. 85, no. 4, pp. 870–882, Apr. 2020, doi: 10.1111/1750-3841.15049.
- [8] A. Singh et al., "Emergence of microgreens as a valuable food, current understanding of their market and consumer perception: A review," Food Chem. X, vol. 23, p. 101527, Oct. 2024, doi: 10.1016/J.FOCHX.2024.101527.
- [9] "Tápanyagok mikroöldségekben és csírákban." Accessed: Mar. 12, 2025. [Online]. Available: <https://legeldle.hu/tapanyagok-hatasai>
- [10] A. Szabolcsik-Izbéki, I. Bodnár, and I. Fábián, "The removal of pollutants from synthetic bathroom greywater by coagulation-flocculation and filtration as a fit-for-purpose method," J. Environ. Chem. Eng., vol. 12, no. 6, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.jece.2024.114250.
- [11] I. Bodnár, "Oktatási Segédlet," a Vízgazdálkodás- és vízminőség védelem (Szennyvíztisztítás) c. tantárgy laboratóriumi gyakorlatához 2024.
- [12] G. M. Bryson and H. A. Mills, Plant Analysis Handbook IV, E-Edition. Athens (USA): Micro-Macro Publishing, Inc, 2014.

Kültérből származó munkalevegővel megvalósított indirekt evaporatív hűtés vizsgálata

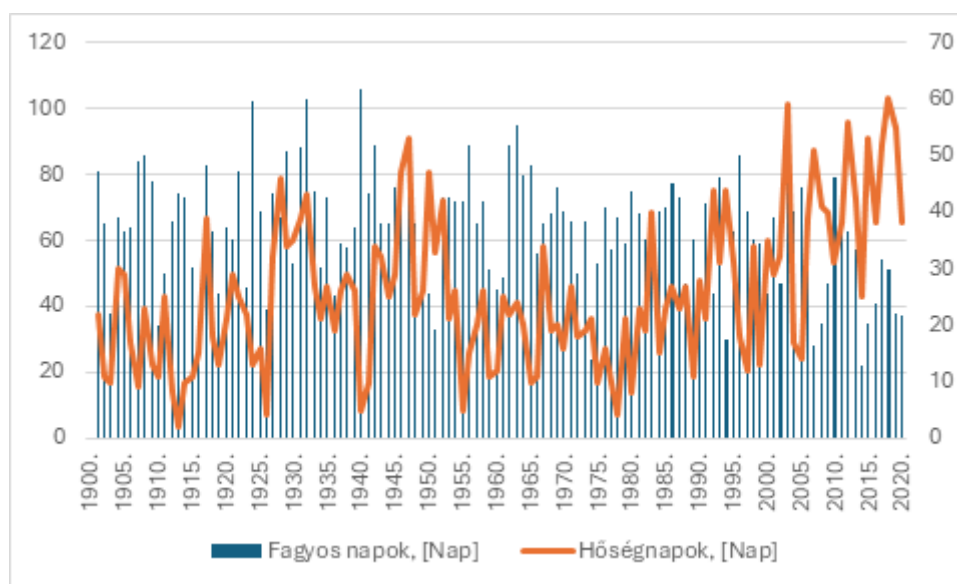
Nagy Georgina Eszter, Kostyák Attila

^{1,2} Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti- és Létesítménymérnöki Tanszék
nge.2915@gmail.com

A nyári időszakban, az épületek energiafelhasználásának növekedése, valamint a villamos csúcsteljesítmény igények növekedése jelentős részben a hűtő rendszerek üzemeltetésével magyarázható. A légtechnikai rendszerek, külső forrásból származó, hűtési energia igénye indirekt evaporatív léghűtés alkalmazásával jelentősen csökkenthető. Jelen tanulmány célja az indirekt evaporatív léghűtés egy különleges eljárási módjának bemutatása, amely alkalmas az ipari területen működő légkezelési eljárások hűtési energiaigényének csökkentésére. Az eljárás a Debreceni Egyetem Légtechnikai laboratóriumában, illetve kihelyezett mérőállomáson kerültek mérésre, amelynek eredményei jelen tanulmányban kerülnek összefoglalásra.

1. Bevezetés

A nyári időszakban a külső hőmérséklet emelkedésével párhuzamosan nő a hűtési rendszerek energiaigénye, amely a megfelelő beltéri komfortszint fenntartásához szükséges. A Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint az elmúlt 10–20 év során a hőségnapok száma emelkedett, míg a fagyos napok gyakorisága csökkent [1].



1. ábra – Hőség- és fagyos napok száma

Korábbi kutatások [2] alapján az evaporatív hűtés hatékony módszert kínál a mechanikus hűtési energiafogyasztás mérséklésére. Az indirekt evaporatív hűtés során a víz nagy felületen történő párologtatása révén a környező levegő hőt ad le, ezáltal lehűl. A keletkező hűvös levegő hőcserélőn keresztül hűti le a beszívott kültéri levegőt, amely ezután a belső térbe kerül, javítva a komfortérzetet.

Az evaporatív hűtés alkalmazhatósága a műszaki követelményektől, különösen a megengedett nedvességterheléstől függ. Mivel a direkt eljárás a levegő páratartalmának növelésével jár, komfortterek esetén előnyösebb az indirekt megoldás, amely nem emeli meg a beltéri levegő nedvességtartalmát.

1. táblázat – Felhasználási területek

• hűtés szükséges • magas páratartalom szükséges	• hűtés szükséges ○ páraszintre érzéketlen	• hűtés szükséges • páraszintre érzékeny
Növénytermesztés, agrárium	Fa- vagy műanyag-feldolgozó üzemek	Irodák, ügyféltér, oktatási terek [9]
Gombatermesztés [3]	Nagy légtérű raktárcsarnokok [8]	Kórházak, rendelők [10]
Faipar [4]	Külső vendéglátó terek	Lakóépületek klimatizált helyiségei
Textilipar	Általános állattartó épületek	Szervertermek, számítógéptermekek
Állattartás [5]	Textil- és élelmiszeripar egyes területei	Mozik, színházak, konferenciatermek
Dohány- és szivargyártás [6]	Fémmegmunkáló műhelyek	
Élelmiszeripar [7]	Elektronikai gyártóüzemek	
Wellness és szabadidő	Festőüzemek, porfestők	
Múzeumok / konzerválás (bizonyos esetekben)		

A rendszer működtetéséhez felhasznált munkaközeg lehet elszívott beltéri vagy friss kültéri levegő; jelen vizsgálatban utóbbi került alkalmazásra.

2. Mérés

A mérések a Debreceni Egyetem Műszaki Karának udvarán zajlottak, 10:00 és 18:00 óra között. Az adatgyűjtéshez négy darab Testo Saveris szenzort alkalmaztak, amelyek a levegő hőmérsékletét, valamint annak abszolút és relatív páratartalmát rögzítették.

2. táblázat - Mérőeszköz adatai

Hőmérséklet – NTC	
Méréstartomány	-30 ... +50 °C
Pontosság	±0,5 °C
Felbontás	0,1 °C

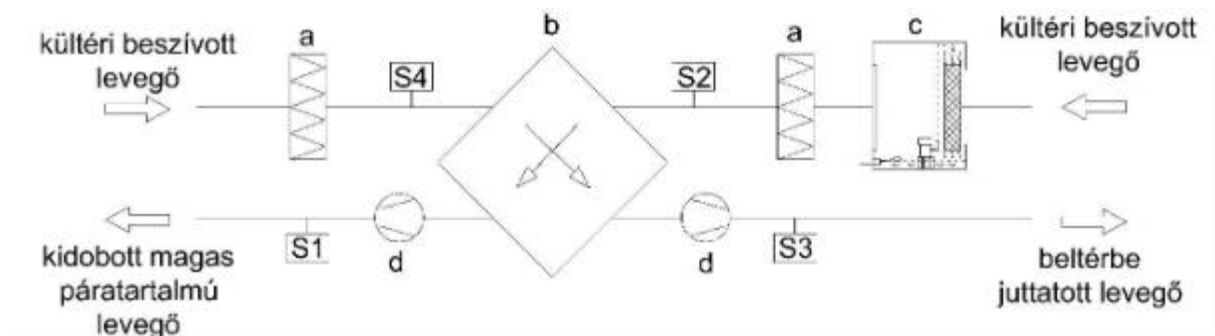
Páratartalom – kapacitív	
Méréstartomány	0 ... 100 % rF
Pontosság	± 2 % rF
Felbontás	0,1 % rF

1. szenzor (S1): Munkalevegő hőcserélés után
2. szenzor (S2): Evaporatív hűtővel kezelt levegő
3. szenzor (S3): Hűtött frisslevegő
4. szenzor (S4): Kültéri levegő

A vizsgált rendszer működése során a magas hőmérsékletű kültéri levegőt (S4) egy direkt evaporatív hűtőn keresztül, adiabatikus, állandó entalpiájú párolgási folyamat révén hűtjük le (S2) a munkalevegő-ágon. A bejuttatni kívánt frisslevegő-ágon külön hűtés nem történik; a kívánt

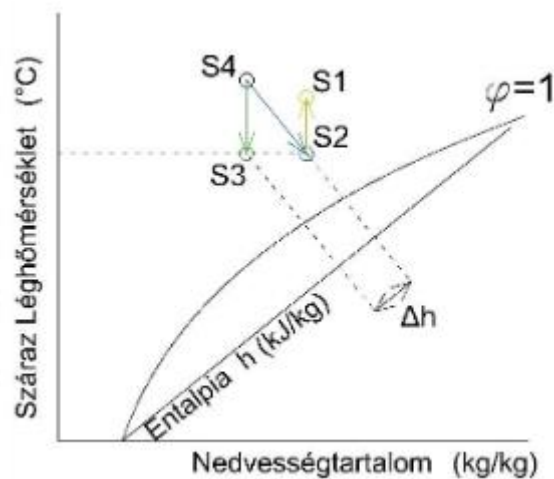
levegőhőmérsékletet a munkalevegő által közvetített hőcsere biztosítja egy keresztáramú lemezes hőcserélőn keresztül (S3). A munkalevegőt ezt követően elvezetik a kültérbe (S1).

A rendszer működése során 500 m³/h térfogatáramú, előkezelt levegőt szeretnénk biztosítani a belső tér számára.



2. ábra – Evaporatív hűtő elvi séma

a – szűrő, b – keresztáramú lemezes hővisszanyerő, c – direkt evaporatív léghűtő, d - ventilátor



3. ábra – Indirekt evaporatív hűtési eljárás ábrázolása h - x diagramban

3. Számítások

A vizsgált mintanap 2024. július 10. volt, amely során a mért legalacsonyabb külső hőmérséklet 24,4 °C, a legmagasabb pedig 31,3 °C volt. A rögzített adatok alapján meghatározhatóvá vált a levegő entalpiája.

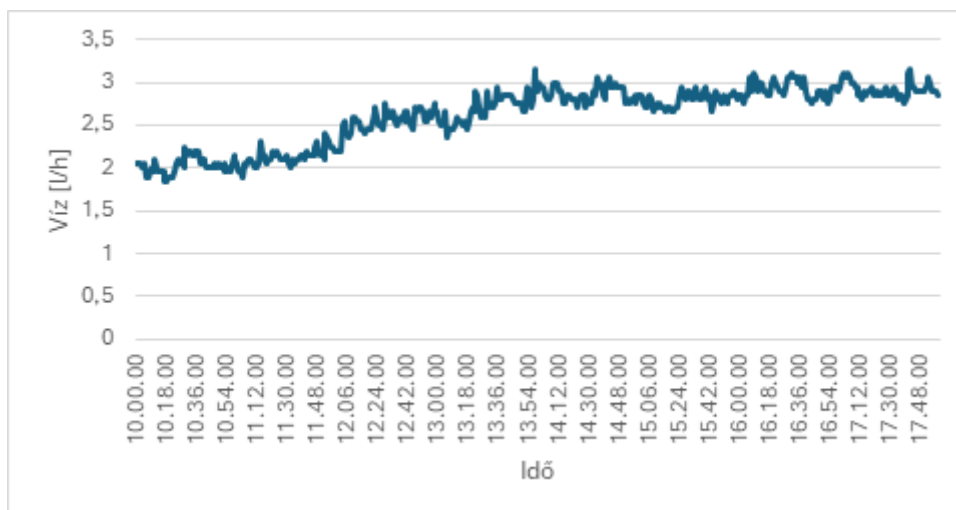
$$h = c_{pl} \cdot t + x \cdot (r_0 + c_{pgt}) [kJ/kg] \quad (1)$$

$$c_{pl} = 1,005 \text{ kJ/kgK}$$

$$c_{pgt} = 1,86 \text{ kJ/kgK}$$

$$r_0 = 2500 \text{ kJ/kg}$$

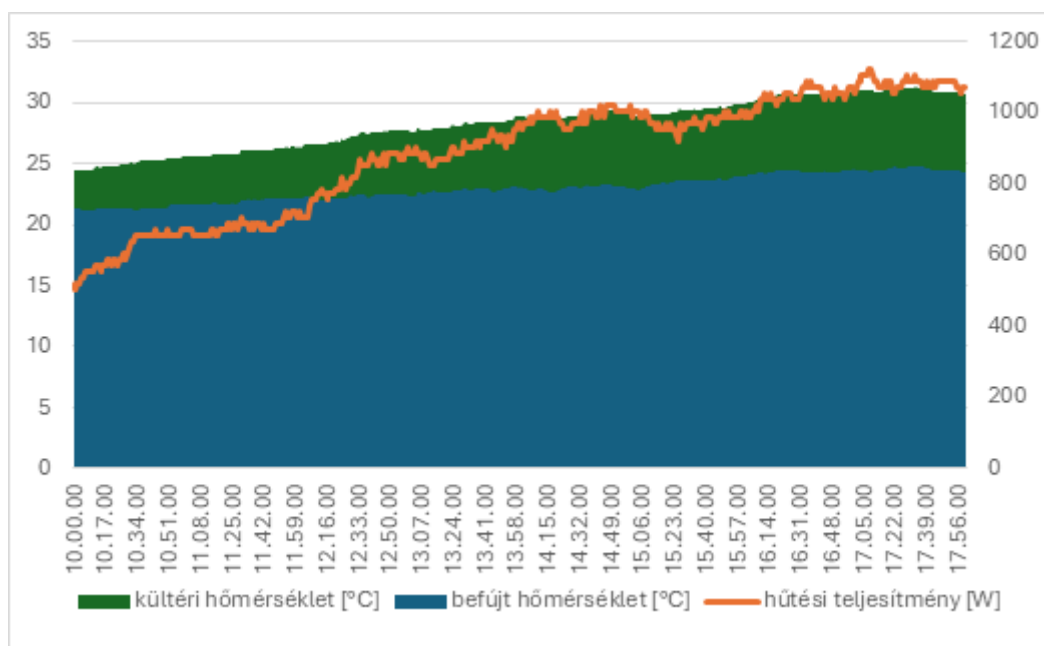
Az indirekt evaporatív hűtés során mind a munkalevegő, mind a befűjt levegő kültéri forrásból származik. A mérések és a pszichrometrikus diagram alapján megállapítható, hogy a vízfelhasználás a külső hőmérséklet emelkedésével arányosan nő. Ennek oka, hogy a hűtési eljárás hatékonysága nemcsak a levegő hőmérsékletétől, hanem annak abszolút nedvességtartalmától is függ.



1. diagram – Vízfelhasználás

A hőmérséklet emelkedése a vízfelhasználás növekedése mellett a hűtési teljesítmény emelkedését is eredményezte. Reggel 10:00 órakor, 24,4 °C külső hőmérséklet mellett, a leadott hűtési teljesítmény 0,52 kW volt, míg a nap legmagasabb hőmérsékletének időpontjában (17:33, 31,3 °C) ez az érték 1,11 kW-ra nőtt. A maximális teljesítmény azonban 1,12 kW volt, 17:09-kor, 31 °C mellett, ami arra utal, hogy a teljesítmény nem kizárólag a hőmérsékletfüggő.

$$Q_{\dot{e}} = c_{pl} \cdot V \cdot \rho \cdot \Delta t \text{ [kW]} \quad (2)$$



2. diagram – Hőmérséklet és hűtési teljesítmény változás

Az EER (Energy Efficiency Ratio) meghatározása során figyelembe vettük az Euler-féle turbinaegyenletet.

$$P = \dot{V} \cdot \Delta p \text{ [W]} \quad (3)$$

Feltételezve, hogy a ventilátorok 80%-os hatásfokkal működnek, a munkalevegő-ág ellenállása 200 Pa, a befűvott ágé 50 Pa. Ezek alapján a rendszer villamosenergia-igénye 36,112 W. 650 m³/h légszállítás mellett az EER érték 18. Fontos megjegyezni, hogy ez az érték nem veszi figyelembe a vízfogyasztást, így nem összevethető egy hagyományos folyadékűtő rendszer EER értékével.

A hővisszanyerő rendszer átlagos hatásfoka 68,36%. A mérési időszak kezdetén, alacsonyabb külső hőmérséklet mellett (24–26 °C), a hatásfok 64–66% között alakult, míg a délutáni, 27–30 °C-ot meghaladó hőmérséklettartományban 68–71% közötti értékeket mutatott. Ez alapján megállapítható, hogy a hővisszanyerő hatásfoka magasabb hőmérsékletkülönbség esetén javul.

$$\eta_{\text{hővisszanyerő}} = \frac{t_{S4} - t_{S3}}{t_{S4} - t_{S2}} [-] \quad (4)$$

4. Konklúzió

- Az elvégzett vizsgálatok alapján az indirekt evaporatív hűtés hatékony hűtési teljesítményt képes biztosítani kizárólag kültéri levegő felhasználásával is.
- Ugyanakkor alkalmazhatóságát korlátozza a külső levegő nedves hőmérséklete, amely meghatározza az elérhető elméleti minimum hőmérsékletet, és ezáltal a rendszer hatékonyságának felső korlátját is.
- Az indirekt evaporatív hűtés jelentős mértékben csökkentheti a gépi hűtés energiaigényét, különösen mérsékelt száraz klímában.
- A rendszer úgy csökkenti a levegő hőmérsékletét, hogy közben nem növeli annak abszolút nedvességtartalmát, ezért alkalmas komfortterek (pl. iroda, lakás) hűtésére.
- A rendszer teljesítménye és hatékonysága érzékeny a külső levegő fizikai jellemzőire (hőmérséklet, páratartalom, nedvességtartalom), ezért alkalmazása éghajlatspecifikus megfontolást igényel.

Irodalomjegyzék

- [1] Hőség- és fagyos napok száma – Fenntartható fejlődés indikátorai. (n.d.). <https://www.ksh.hu/ffi/3-8.html>
- [2] Kostyák, A., Szekeres, S., & Csáky, I. (2023). Investigation of Sensible Cooling Performance in the Case of an Air Handling Unit System with Indirect Evaporative Cooling: Indirect Evaporative Cooling Effects for the Additional Cooling System of Buildings. *Buildings*, 13(7), 1800. <https://doi.org/10.3390/buildings13071800>
- [3] Husher, J., Cesarov, S., Davis, C. M., Fletcher, T. S., Mbuthia, K., Richey, L., ... Money, N. P. (1999). Evaporative cooling of mushrooms. *Mycologia*, 91(2), 351–352. <https://doi.org/10.1080/00275514.1999.12061025>
<https://iparihutes.hu/hutesi-rendszer/felhasznalasi-teruletek/paratartalom-szabalyozas/parasitas-gombatelepeken/>
- [4] Axelsson, E., Olsson, M. R., & Berntsson, T. (2008). Opportunities for process-integrated evaporation in a hardwood pulp mill and comparison with a softwood model mill study. *Applied Thermal Engineering*, 28(16), 2100–2107. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.01.011>
- [5] Xuan, Y., Xiao, F., Niu, X., Huang, X., & Wang, S. (2012). Research and application of evaporative cooling in China: A review (I) – Research. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(5), 3535–3546. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.052>
- [6] Zhao, S., Wu, Z., Lai, M., Zhao, M., & Lin, B. (2022). Determination of optimum humidity for air-curing of cigar tobacco leaves during the browning period. *Industrial Crops and Products*, 183, 114939. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114939>
- [7] Basediya, A. L., Samuel, D. V. K., & Beera, V. (2011). Evaporative cooling system for storage of fruits and vegetables - a review. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 429–442. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0311-6>
- [8] Maheshwari, G., Al-Ragom, F., & Suri, R. (2001). Energy-saving potential of an indirect evaporative cooler. *Applied Energy*, 69(1), 69–76. [https://doi.org/10.1016/s0306-2619\(00\)00066-0](https://doi.org/10.1016/s0306-2619(00)00066-0)
- [9] Mohamed, S., Al-Khatir, H., Calautit, J., Omer, S., & Riffat, S. (2021). The impact of a passive wall combining natural ventilation and evaporative cooling on schools' thermal conditions in a hot climate. *Journal of Building Engineering*, 44, 102624. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102624>
- [10] Xie, X., & Jiang, Y. (2024). Application of the indirect evaporative water chiller system in one Urumqi Hospital. In Elsevier eBooks (pp. 315–320). <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13506-4.00022-x>

Direkt evaporatív léghűtő rendszerek környezeti és higiéniai vizsgálataBalogh László¹, Bodnár Ildikó², Kostyák Attila³^{1,2} Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék,³ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti- és Létesítménymérnöki Tanszék
balogh.laszlo2103@gmail.com

A kutatás a direkt evaporatív léghűtési rendszerek környezeti és higiéniai vonatkozásait vizsgálja, különös tekintettel a mikrobiológiai biztonságra. Az evaporatív hűtés energiahatékony, fenntartható technológia, amelyet egyre gyakrabban alkalmaznak ipari csarnokokban és nagy légcserét igénylő munkaterekben. A módszer lényege, hogy a külső levegőt nedvesített közegen vezetik keresztül, ahol a víz párolgása hűtést eredményez, miközben a folyamat a levegő páratartalmának növekedésével jár, ami bizonyos komfortterekben problémás lehet. A kutatás célja, e rendszerek mikrobiológiai kockázatainak feltárása, különös tekintettel a potenciálisan káros baktériumok – mint például az *Escherichia coli* (*E. coli*) vagy Összes csíraszám (*TTC*) – ellenőrzésére a hűtött levegőben és a felhasznált vízben. A vizsgálat mikrobiológiai gyorstesztetekkel, valamint környezeti analitikai módszerekkel elemzi a kapcsolódó vízmintákat a higiéniai kockázatok pontos feltárása és a biztonságosabb alkalmazási gyakorlatok céljából.

Kulcsszavak: evaporatív léghűtő, higiéniai teszt, vízminta, fertőtlenítés

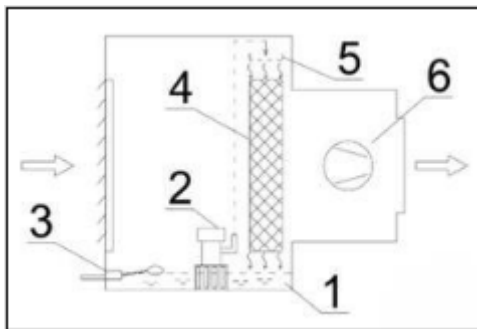
1. Bevezetés

Az épületek, nagyobb létesítmények nyári energiafogyasztásának meghatározó részét a hűtés, illetve szellőztetés teszi ki [1]. Míg a lakóépületeknél, kisebb létesítményeknél, ezt mobil léghűtőkkel, jól kialakított szellőző rendszerekkel, megfelelően elhelyezett nyílászárókkal oldják meg, addig a nagyobb ipari és kereskedelmi létesítményekben ez nehézkes lenne. Ennek okán ezt a feladatot légkezelő egységekkel, rendszerekkel tudják biztosítani. A légkezelő rendszer központi eleme a légkezelő egység. A légkezelő egységek hűtési energiafogyasztásának csökkentése érdekében hőviszanyerő rendszermegoldásokat fejlesztettek ki. Az egyik ilyen eszköz, a légkezelő egységek hűtési teljesítményigényének csökkentésére alkalmazott indirekt és direkt evaporatív hűtés [2]. A direkt evaporatív léghűtőkben a kezelt, átszívott levegőben víz kerül elpárologtatásra mindez úgy, hogy külső hőenergia bevitele nem szükséges. A levegőt egy párasító cellán vezetik át, melynek során a levegő nagy felületű vízréteggel érintkezik. A folyamat során belső hő- és energiaátadás történik a mozgatott légtömeg és nedvesített felület között. A víz elpárologtatásához szükséges energia a levegőből, mint közegből származik, így az elpárologtolt víz mennyiségétől függően a levegő hőmérséklete csökken [3]. Az evaporatív léghűtő rendszerek alkalmazása jelentős energiamegtakarítást jelent, ezzel szemben viszont higiéniai és környezetvédelmi kockázatokat is magában rejt. A folyamat során a levegő direkt módon érintkezik a betáplált vízzel, mely kitűnő táptalajt adhat mikroorganizmusoknak és baktériumoknak. A Debreceni Egyetem Légtechnikai Laboratóriumában létrehozott mérőállomás segítségével, 2025-ben végzett vizsgálatok alapján kimutatható, hogy a direkt evaporatív léghűtők hűtővizében megjelenhetnek nem kívánatos élő szervezetek. Jól láthatóvá vált, hogy a közép-európai kontinentális éghajlat mellett a direkt evaporatív léghűtési technikák higiéniai vizsgálata is fontos, hiszen nagy energetikai előnyöket jelenthet az iparban, továbbá humánökológiai szempontból is előnyös hatásokat tud kifejteni. Az evaporatív hűtés a vízfelhasználás és a vízkörforgás szempontjából is megfontolandó. Bár az evaporatív hűtőrendszerek vízfogyasztással járnak, a felhasznált víz jellemzően a természetes vízkörforgásba tér vissza vízgőz formájában. Ez környezetbarátabb megoldást jelent az ipari hűtéshez képest, ahol gyakran szennyvíz keletkezik. A fenntartható vízgazdálkodás érdekében kulcsfontosságú a vízminőség folyamatos ellenőrzése és

a pazarlás minimalizálása. A Debreceni Egyetem Légtechnikai Laboratóriumában kialakított korszerű mérőállomás lehetővé tette a direkt evaporatív léghűtő rendszerek komplex higiéniai és környezetanalitikai vizsgálatát, szigorúan kontrollált feltételek között. Ez a precíz mérési háttér elengedhetetlen volt a rendszerek tudományos értékeléséhez. Jelen kutatás célja nem csupán adatok gyűjtése, hanem egy átfogó, holisztikus értékelés nyújtása az evaporatív hűtőrendszerekhez kapcsolódó higiéniai és környezeti kockázatokról. Ennek érdekében feltártuk a potenciálisan problémás területeket, azonosítottuk a főbb veszélyforrásokat, és elemeztük a kockázatokat befolyásoló tényezőket. Az eredmények nemcsak a jelenlegi állapot leírására szolgálnak, hanem irányt mutatnak a további kutatások számára is. Kiemelt cél a még nyitott kérdések azonosítása, valamint azoknak a kulcsterületeknek a kijelölése, ahol mélyebb vizsgálatok szükségesek a higiéniai és környezeti szempontból is fenntartható működés biztosításához.

2. Anyag és módszer

Az evaporatív léghűtő berendezés a Debreceni Egyetem Légtechnikai Laboratórium légkezelő berendezéséhez kerül csatlakoztatásra. A vizsgálataink 2025. március és május között zajlottak. A berendezés műszaki kialakítása nagyon hasonlít a piacon megtalálható, általános evaporatív léghűtőkhöz. A vizsgált léghűtő egy cellulóz anyagú panellel van ellátva. A vizet egy szivattyú keringteti a víztartály és a vízelosztó egység között. A rendelkezésre álló vízfelületen, az áramló levegőbe a párolgó víz hatékonyan képes elpárologni. A feleslegben lévő vízmennyiség a gyűjtőtartályba folyik vissza, ezzel újrahasználva a vizet.



1. ábra. A direkt evaporatív léghűtő elvi felépítése [3] **Jelölések az ábrán:** 1. Víztálca; 2. Szivattyú; 3. Vízszint szabályozó szelep; 4. Párolgató betét; 5. Csepegtető tálca; 6. Ventilátor

A vizsgálat azért is kiemelkedő fontosságú, mivel a levegőben lévő esetleges mikrobiológiai szennyezők a vízzel érintkezve, abban is jelen lehetnek és tovább szaporodhatnak. Így általánoságban elmondható, hogy rendszeres karbantartás és tisztítás nélkül alkalmazva ezen berendezések jelentős higiéniai kockázatot jelentenek. Az evaporatív léghűtő a vizsgálatok során az épület belső tereiből kinyert levegőt kezelte, melynek térfogatárama $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ volt, és közvetett evaporatív hűtési mechanizmus alapján működött. A rendszer hűtőközegeként a közüzemi ivóvízhálózatból származó, előzetes kezelés nélküli ivóvizet alkalmaztuk.

A tesztelés 2 mérősorozaton keresztül történt. Az első vizsgálat alkalmával egy nem fertőtlenített rendszert elemeztünk, míg a második mintavétel során hidrogén-peroxid oldattal (H_2O_2 ; $3 \text{ m/m}\%$) fertőtlenített rendszert vizsgáltunk. Az egyes tesztelések alatt óránként vettünk vízmintát, egy teljes üzemidő 4 óra volt. A vízminták mikrobiológiai szennyezettségét HygieneChek™ PLUS Dip-Slides gyorseszteszt (Romer Labs, USA) segítségével vizsgáltuk (*E. coli*¹, koliformok², TTC³). Az *E. coli* kolóniákat a mintavétel után 24 órás, 35°C -on történő inkubálás alapján követtük, míg a koliform baktériumok, illetve a TTC baktériumok számát 35°C -on történő inkubálást követően 24, 48 és 72 órán tenyésztve vizsgáltuk. A Debreceni Egyetem Vízminőségvédelmi Laboratóriumában további

vízanalitikai jellemzők, úgy, mint a pH, fajlagos elektromos vezetőképesség, sótartalom és összes szerves szénttartalom (TOC), valamint a zavarosság értékek mérése valósult meg.

A légkezelő berendezésben keringtetett víz újrafelhasználásának feltételeit az 1. táblázat összegzi. A méréseknél a VDI 6022 szabványt vettünk figyelembe [4]. A VDI 6022 („Ventilation and Indoor-Air Quality – Hygiene Requirements”) egy Németországban kidolgozott, nemzetközileg is elismert szabvány, amely a légtechnikai és légkondicionáló rendszerek higiéniai megfelelőségét hivatott biztosítani. A dokumentum nem csupán jogszabályi keretként, hanem átfogó műszaki irányelvként szolgál, amely a rendszerek teljes életciklusára – tervezés, üzemeltetés, karbantartás – vonatkozóan fogalmaz meg követelményeket a beltéri levegő minőségének és a humán egészség védelmének érdekében. Kiemelt figyelmet fordít a vízminőségre, különösen az evaporatív hűtőrendszerek esetén, ahol a víz és levegő közvetlen érintkezése fokozza a mikrobiológiai kockázatokat. A szabvány meghatározza a keringtetett víz mikrobiológiai és kémiai paramétereit (pl. teljes csíraszám, *Legionella* spp.), továbbá előírja a rendszeres mintavételezést és laboratóriumi ellenőrzést. A szabályozás rendszerszemléletű megközelítést alkalmaz, hangsúlyozva a higiéniai szempontból megfelelő anyagválasztást és felületkialakítást, a részletes tisztítási és fertőtlenítési protokollokat, valamint a kezelőszemélyzet szakmai kompetenciáját. A megfelelő dokumentáció és periodikus ellenőrzés előírása a higiéniai állapot hosszú távú nyomon követhetőségét biztosítja. A szabvány következetes alkalmazása elengedhetetlen az egészséges és komfortos beltéri környezet fenntartásához.

1. táblázat A „keringtetett víz” szükséges higiéniai paramétereit a VDI 6022 szabvány alapján [4]

Eljárás/higiéniai paraméter	Értékelési határértékek keringtetett víz esetén
Teljes csíraszám (baktériumok) a DIN EN ISO 6222	< 1000 CFU/mL
<i>Legionella</i> sp. as per DIN EN ISO 11731	< 100 CFU/mL
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> as per DIN EN ISO 16266	< 100 CFU/mL



2. ábra. a. Hordozható WTW Multi 3320 pH és vezetőképesség mérő készülék, b. HygieneChek™ PLUS Dip-Slides gyorseszteszt, c. Shimadzu TOC-Vcpn készülék, d. WTW Turb 555 IR – fényszórás fotométer, zavarosságmérő

*E.coli*¹: *Escherichia coli* baktérium, *Koliformok*²: *Coliform* baktériumok, *TTC*³: összes csíraszám (Total Colony Count *TTC*; (reagens: 0.01 % Trifenil-tetrazólium-klorid)

3. Eredmények

Az evaporatív léghűtő berendezés első vizsgálata során (2025.03.25-én) csak mechanikai előtisztítást alkalmaztunk, míg a második vizsgálatban (2025.04.07-én) a mechanikai tisztítást követően még egy fertőtlenítési szakaszon is átesett a vizsgált rendszer. A fertőtlenítés 3 (m/m)% hidrogén-peroxid oldattal történt. A fertőtlenítőszer a cellulózpanelra permetezve, illetve ebből 1 liter a vízgyűjtő tartályba lett adagolva. A léghűtőt ezután 10 percig üzemeltettük, hogy a fertőtlenítőszer a rendszer tisztításában hatékonyan vehessen részt. Ezen információk alapján

megfigyelhető az, hogy a fertőtlenítés után a vezetőképesség értékek, azaz az oldott komponensek mennyisége (2. táblázat) enyhébb növekedést mutat, mint a fertőtlenítés előtt. Ennek lehetséges oka a párologtatás miatti koncentráció. A pH értékek az üzemeltetés során minimális növekedést mutattak. A mérések alapján feltételezhető, hogy a fertőtlenítő eljárás során alkalmazott vegyszeres kezelés anyagkioldódást eredményezhet.

2. táblázat: Mért pH és fajlagos elektromos vezetőképesség értékek változása a léghűtő rendszer üzemeltetése során

Üzemidő	0h	1h	2h	3h	4h
1. mérés					
pH	7,13	7,48	7,85	7,99	7,99
Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	587	649	671	690	712
2. mintavétel (3 m/m% H_2O_2)					
pH	6,70	7,14	7,26	7,34	7,65
Vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	497	517	533	544	565

Ezt a feltételezést alátámasztja, hogy a fertőtlenítést követő üzemeltetés során a víz zavarossága is számottevően megnövekedett. A megfigyelt változás vélhetően annak tulajdonítható, hogy a fertőtlenítőszer reakcióba lépett a cellulóz alapú hűtőpanellel, miközben a panelből származó nem oldódó részek növelték a zavarosság értékeit. A jövőben ennek kiküszöbölésére más, kíméletesebb, hatásfokban nem rosszabb fertőtlenítőszer tesztelését is tervezzük.

3. táblázat: Zavarosság értékek változása a léghűtő rendszer üzemeltetése során

Üzemidő	0h	1h	2h	3h	4h
1. mintavétel					
Zavarosság (NTU)	0,46	0,50	0,54	0,54	0,56
2. mintavétel (3 w/w% H_2O_2)					
Zavarosság (NTU)	0,52	0,55	0,57	0,69	0,70

A vízmintában található oldott szerves szennyeződések leíró ún. TOC értékek jól mutatják a panel anyagának fertőtlenítőszerrel való reakcióját, hiszen ezek az értékek is az üzemidő alatt folyamatos növekedést mutatnak, illetve a fertőtlenítő szer használata során csökkent szerves anyag tartalmat igazoltak a csak mechanikai tisztítás esetéhez képest.

4. táblázat: Total Organic Carbon (TOC) értékek változása a léghűtő rendszer üzemeltetése során

Üzemidő	0h	1h	2h	3h	4h
1. mintavétel					
TOC (mg/l)	7,070	30,01	33,80	36,94	38,14
2. mintavétel (3 w/w% H ₂ O ₂)					
TOC (mg/l)	4,253	9,535	11,17	13,73	9,499

Az *Escherichia coli* (E. coli) baktériumok a fekális szennyezettség jelzői, és jelenlétük a direkt evaporatív légkezelő berendezésekben komoly higiéniai kockázatot jelent. A VDI 6022 szabvány szigorú vízminőségi követelményeket ír elő, ugyanakkor specifikus E. coli határértéket ezekre a berendezésekre nem ad meg egyértelműen. A vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy az evaporatív léghűtő 4 órás üzemideje alatt az E. coli baktérium jelenléte egyik mintában sem volt kimutatható (5. táblázat).

5. táblázat: E. coli (*Escherichia coli* baktérium) telepszámok változása a léghűtő rendszer üzemeltetése során (CFU: Colony form unit=telepszám)

Üzemidő	0h	1h	2h	3h	4h
1. mérés					
E. coli	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml
2. mintavétel (3 w/w% H ₂ O ₂)					
E. coli	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² CFU/ml	 <10 ² cfu/ml

Ezzel szemben az összes csíraszám (TTC) 2 óra üzemeltetés után már olyan értéket ért el, amely túllépte a VDI 6022 higiéniai szabványban rögzített határértéket. A fertőtlenítési fázis után nagyon jól megfigyelhető volt a csíraszám csökkenése.

Az 5-6. táblázatban zöld színnel emeltük ki azon értékeket, ami a hivatkozott szabványnak megfelel, pirossal, pedig azokat, amelyek nem (6. táblázat).

6. táblázat: TTC (Összes csíraszám) telepszámok változása a léghűtő rendszer üzemeltetése során (CFU: Colony form unit=telepszám)

Üzemidő	0h	1h	2h	3h	4h
1. mérés					
TTC					
	<10 ² CFU/ml	10 ³ CFU/ml	10 ⁴ CFU/ml	10 ⁵ CFU/ml	10 ⁵ -10 ⁶ CFU/ml
2. mintavétel (3 w/w% H ₂ O ₂)					
TTC					
	10 ³ -10 ⁴ CFU/ml	10 ³ - 10 ⁴ CFU/ml	10 ³ CFU/ml	10 ³ CFU/ml	10 ² CFU/ml

Bár a VDI 6022 szabvány nem határoz meg konkrét határértéket a coliform baktériumokra, jelenlétük a vízhygiéniai előírások szerint nem megengedett. Kimutatásuk esetén azonnali intézkedések szükségesek: fertőtlenítés, vízcsere, és ismételt mikrobiológiai vizsgálat. Kutatásunk igazolta, hogy megfelelő fertőtlenítési eljárással a coliformok jelenléte jelentősen csökkenthető, sőt, akár teljesen megszüntethető. Ez alátámasztja, hogy az evaporatív léghűtő rendszerek higiénikus üzemeltetése csak rendszeres és hatékony fertőtlenítéssel biztosítható. Ennek hiányában a VDI 6022 szabványnak való megfelelés, valamint a biztonságos működés nem garantálható. Ezt a 7. táblázat szemlélteti.

7. táblázat: Coliform telepszámok változása a léghűtő rendszer üzemeltetése során (CFU: Colony form unit=telepszám)

Üzemidő	0h	1h	2h	3h	4h
1. mérés					
Coliforms					
	<10 ² CFU/ml	<10 ³ CFU/ml	<10 ³ 10 ⁴ CFU/ml	<10 ² CFU/ml	<10 ² CFU/ml
2. mintavétel (3 w/w% H ₂ O ₂)					
Coliforms					
	<10 ² CFU/ml	<10 ² CFU/ml	<10 ² CFU/ml	<10 ² CFU/ml	<10 ² CFU/ml

4. Következtetés

A Debreceni Egyetem Légtechnikai Laboratóriumában végzett átfogó kutatásunk alapvető megállapításokat tettek az evaporatív léghűtő rendszerek higiéniai kockázatairól és azok kezelésének lehetőségeiről. Az eredmények egyértelműen kimutatták, hogy a mechanikai tisztítás önmagában nem elegendő a rendszerek higiéniai biztonságának garantálásához, és a kapcsolódó VDI 6022 szabvány előírásainak teljesítéséhez elengedhetetlen a megfelelő fertőtlenítési eljárások alkalmazása.

A kutatás során alkalmazott hidrogén-peroxid (H_2O_2) alapú fertőtlenítés számos pozitív hatással járt. Megfigyeltük, hogy a vízminták oldott szerves széntartalma (TOC érték) szignifikánsan csökkent a fertőtlenítést követően, ami a szerves anyagok hatékony lebontására utal. Ezenkívül a TTC (összes csíraszám) és a koliform telepszámok, azaz a mikrobiológiai mutatók alakulásában is rendkívül hatékony csökkenés volt megfigyelhető a vegyszeres kezeléssel.

Ugyanakkor a vizsgálatok rávilágítottak a hidrogén-peroxid alkalmazásának potenciális mellékhatásaira is. A vegyszeres tisztítást követően a vízminták zavarossága megnövekedett, ami valószínűleg a cellulóz alapú hűtőpanel bomlásának következménye a fertőtlenítőszer hatására. Ez a jelenség arra utal, hogy bár a hidrogén-peroxid hatékonyan elpusztítja a mikroorganizmusokat, hosszú távon károsíthatja a panel szerkezeti integritását, potenciálisan csökkentve annak élettartamát és teljesítményét.

Összességében a hidrogén-peroxid oldattal végzett rendszeröblítés hatékony és higiéniai szempontból megbízható fertőtlenítési eljárásnak bizonyult. Egyszerűsége és gazdaságossága révén potenciálisan alkalmas az evaporatív léghűtő rendszerek higiéniai állapotának gyors és költséghatékony helyreállítására. Mindazonáltal az alkalmazott kémiai kezelés hosszú távú hatása a párologtató panelek szerkezeti integritására és élettartamára további vizsgálatokat tesz szükségessé. Bár a panelek cseréje nem költséges, a fenntarthatóság és az optimalizált üzemeltetés érdekében elengedhetetlen a kíméletesebb, de hasonlóan hatékony fertőtlenítési eljárások felkutatása. A jövőbeli kutatások kiemelt célja egy hosszútávú, paraméterezett mérési sorozat megvalósítása, amely lehetővé teszi a fertőtlenítési eljárás tartós hatásainak kvantitatív kiértékelését. További jövőbeli célunk a párologtató panelek fizikai jellemzőinek változására, illetve a párásítási hatások alakulására, hogy hosszú távon is fenntartható és higiéniailag biztonságos megoldásokat dolgozzhassunk ki az evaporatív léghűtő rendszerek üzemeltetésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Kostyák, A., Kostyák, F., & Bodnár, I. (2024b). Hygienic investigation of the evaporative cooling system installed in air handling units. *Journal of Physics Conference Series*, 2911(1), 012025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2911/1/012025>
- [2] Kostyák Attila – Kostyák Ferenc: Direkt evaporatív léghűtés alkalmazásának vizsgálata munkaterekben, a 3/2002. (II. 8.) SzCsM-EüM rendelet alapján, *Magyar Épületgépészet*, LXIX. évfolyam, 2020/5. szám
- [3] Kostyák Attila – Dr. Csáky Imre: Evaporatív hűtés felhasználási lehetőségei komfortterekben – Az indirekt alkalmazás lehetőségei, *Magyar Épületgépészet*, LXXI. évfolyam, 2022/12. szám
- [4] VDI6022: Ventilation and indoor-air quality, Hygiene requirements for ventilation and air-conditioning systems and units (VDI Ventilation Code of Practice)
- [5] Li, Y., You, X., Qiu, Q., & Li, J. (2010). The study on the evaporation cooling efficiency and effectiveness of cooling tower of film type. *Energy Conversion and Management*, 52(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.06.036>
- [6] Yang, Y., Cui, G., & Lan, C. Q. (2019). Developments in evaporative cooling and enhanced evaporative cooling - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109230. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.037>

A városi zöldinfrastruktúra szerepe a vízgazdálkodásban – A talajtömörödés kihívásai a belvárosi területeken

¹Hancz Gabriella, ²Bene Katalin

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar Építőmérnöki Tanszék

² Széchenyi Egyetem, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék
hancz.g@gmail.com

A városi zöldinfrastruktúra (ZI) jelentősége a vízgazdálkodásban már széles körben ismert. Különösen nagy a szerepe a belvárosi területeken, ahol az egyesített csatorna-rendszerek gyakran túlterheltté válnak. A zöldinfrastruktúra elemei – beleértve a növényzettel borított felületeket – elsősorban kisebb csapadékok visszatartásában hatékonyak, a heves esőzések esetén lefolyó víztömeget azonban csak korlátozott mértékben képesek elnyelni. A zöldfelületek vízmegtartó képességének megőrzése kulcsfontosságú, ám ezt egy gyakran előforduló városi jelenség, a talajtömörödés akadályozza. Ennek egyik fő oka a nem megfelelő parkolási gyakorlat, amely során a járművek terhelése jelentősen csökkenti a talaj vízáteresztő képességét. Tanulmányunk célja bemutatni a témában elérhető szakirodalmat, valamint a Debrecen belvárosában végzett előzetes megfigyeléseket. Az eredményekre építve egy összehasonlító esettanulmányt tervezünk két nagyváros példáján keresztül, terepi mérések bevonásával. A vizsgálat célja felmérni, hogy mekkora területet érint a talajtömörödés és számszerűsíteni annak mértékét.

Kulcsszavak: éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodás, talajtömörödés, zöldsáv, beszivárogtató képesség, parkolási gyakorlat

1. Bevezetés

A városi zöldinfrastruktúra (GI) elemei kiemelt jelentőséggel bírnak a fenntartható vízgazdálkodásban. Különösen belvárosi környezetben válik fontossá szerepük, ahol a hagyományos, egyesített csatornarendszerek gyakran túlterheltté válnak intenzív csapadékok időszakában. A GI hatékonyan képes hozzájárulni a csapadékvíz helyben történő visszatartásához, ezáltal csökkentve a csatornahálózatokra nehezedő terhelést.

2. Módszertan

Kutatásunk célja kettős: egyrészt a zöldfelületek tömörödésének vizsgálata egy belvárosi mintaterületen, másrészt egy összehasonlító esettanulmány előkészítése két nagyváros - Debrecen és Győr - példáján. Egyrészt a témakörben megjelent szakirodalmat tekintettük át, másrészt helyszíni megfigyeléseket végeztünk Debrecen belvárosi területein, melyet fényképekkel dokumentáltunk.

2.1. A zöldfelületek szerepe a városi területek klímaadaptációjában

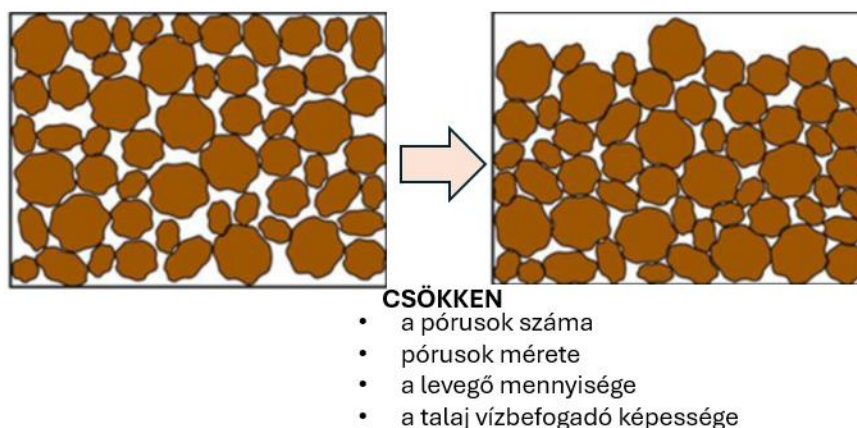
A nyári középhőmérséklet legnagyobb mértékben – 2,2 C-kal 2071-ig - Kelet-Magyarországon növekedhet, de az éves középhőmérséklet is várhatóan itt növekszik legnagyobb mértékben, 2,1 C-kal. Az ország nagy részén 75% annak a valószínűsége, hogy a napi maximumhőmérséklet a nyári (június–augusztusi) időszakban 2 °C-kal nagyobb lesz 2061–2090-ben, mint 1971–2000-ben volt - *Climate Change Performance Index* – [1.]. Meg kell jegyezni, hogy ezek az éghajlatváltozási forgatókönyvek nem veszik figyelembe a városi területeket [2.]. Ez azt jelenti, hogy a vidéki területeken várhatóanál nagyobb mértékű városi felmelegedésre lehet számítani [3.]. Magyarország az idei CCPI-rangsorban - *Climate Change Performance Index* – a 45. helyen áll, ezzel a *gyengén* teljesítők közé tartozik. A CCPI magyarul Éghajlatváltozási Teljesítményindex-több mutatót integrál: az ország alacsony minősítést kapott a megújuló energia és az

energiafelhasználás terén, *közepes* minősítést kapott az üvegházhatásúgáz-kibocsátás terén és nagyon *alacsony* minősítést kapott az éghajlat-politika terén [4.]

A nemzetközi és hazai szakirodalom egyaránt megerősíti, hogy a zöldfelületek kiemelkedően hatékonyak kisebb intenzitású esőzések kezelésében Gill et al. feltárja a GI szerepét a városi villámárvizek és hőség gyakoriságának csökkentésében [5.]. Gill et al. tanulmánya a városi zöldterületekben rejlő lehetőségeket vizsgálja a városok éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásában [5.]. A KSH adatbázisa alapján a városi népesség aránya Magyarország 70,22 %, ezen belül 63% a 120 fő/km² feletti népsűrűségű, városias településeken lakók aránya [6.], ahol leginkább érezhetőek az éghajlatváltozás hatásai a városi területek jellegzetes biofizikai jellemzői miatt [7.]. Az energiamérleg módosulása városi hőszigetet hoz létre és a hidrológiai folyamatok is megváltoznak, megnő az esővíz felszíni lefolyásának mennyisége és sebessége [5.]. Az urbanizáció vízzáró felületekkel helyettesíti a növényzettel borított felületeket, amelyek addig árnyékolást, párologtató hűtést, valamint az esővíz felfogását, tárolását és beszivárgását biztosították. A városi zöld infrastruktúra az épített környezetben ezeket a - gyakran alulértékelt - funkciókat hivatottak pótolni [8.,9.]. A városi zöld felületek biofizikai jellemzői a hűvösebb mikroklíma biztosítása és a csapadék felszíni lefolyásának csökkentése révén lehetőséget kínálnak a városok éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodására. A zöld infrastruktúra "a zöldterületek összekapcsolt hálózata, amely megőrzi a természetes ökoszisztéma értékeit és funkcióit, és kapcsolódó előnyöket biztosít az emberi populációk számára" [10.]. Ugyanakkor intenzív csapadékhullás esetén ezen rendszerek kapacitása korlátozott, így csak részben képesek a lefolyó csapadékvíz visszatartására [11.]. A városi környezet sajátos kihívásokat jelent a zöldinfrastruktúra működésére nézve. A talaj fizikai állapotának romlása –a tömörödés és a vízáteresztő képesség csökkenése – a nem megfelelő használat, különösen a járművek parkolása révén alakul ki [11.]. A zöld növényborítás felszíni hőmérséklet-mérséklő potenciáljának egyik korlátja azonban az aszályos időszak, amikor a gyepek kiszáradnak, és elveszíti párologtatással járó hűtőhatását [5.]. A klímaváltozás következtében a nyári időszakban több egymást követő száraz napra és hosszabb hóhullámokra lehet számítani [12.]. A városközpontokban a zöldterületek létfontosságú környezeti erőforrásnak tekinthetők, amelyeket fejlesztésük után nehéz pótolni. A kifejlett fák aszályos időszakokban is tovább képesek hűtőhatást biztosítani, míg a fű gyorsabban kiszárad."

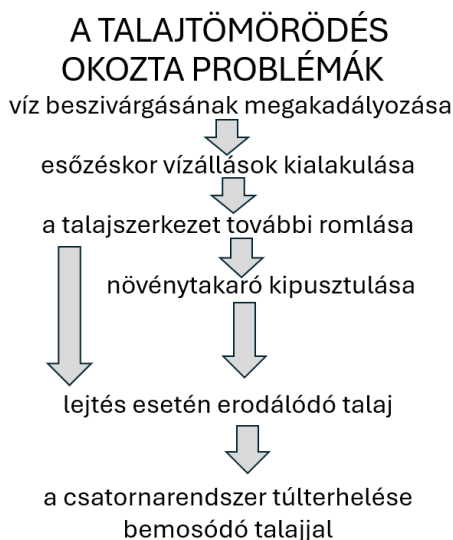
2.2. A talaj tömörödés fogalma és hatásai

A tömörített talajok nem támogatják a növények növekedését és a víz mozgását a talajban. Valójában szinte lehetetlen növényeket telepíteni tömörített talajban [14.]. A talaj tömörödöttség mutatói közé tartozik a makroporozitás - a talaj pórusainak térfogat százaléka, a térfogatsűrűség, a gyökérnövekedés és beszivárgás korlátozását jelző penetrációs talajellenállás és beszivárgóképesség [15.]. A talajtömörödés csökkenti a pórusok teljes számát és méretét, amelyek kritikus fontosságúak a növény vízzel és oxigénnel való ellátásában a gyökereken keresztül (1. ábra). A talaj tömörödése növeli a gyökér behatolásával szembeni ellenállást is, ami megnehezíti a gyökerek növekedését a talajon keresztül. A talajtömörödés több 30 cm-rel a felszín alá terjedhet, a legtömörödöttebb réteg a felszín alatt legalább 15 cm-re kezdődik. Ez sekély gyökerező zóna kialakulását okozhatja, ami a növények gyenge növekedéséhez vezethet, és növeli az öntözés és a műtrágyázás szükségességét. A talajtömörödés káros hatással lehet a környezetre is. A kisebb pórusok kevesebb vizet tartalmaznak, és csökkentik a beszivárgási sebességet, ami megnövekedett lefolyáshoz és eróziós lehetőséghez vezet, ami viszont növelheti a tápanyagok és egyéb szennyező anyagok szállítását a közeli víztestekbe.



1. ábra: A talajtömörödés jellemzői; [15] alapján készítették a szerzők

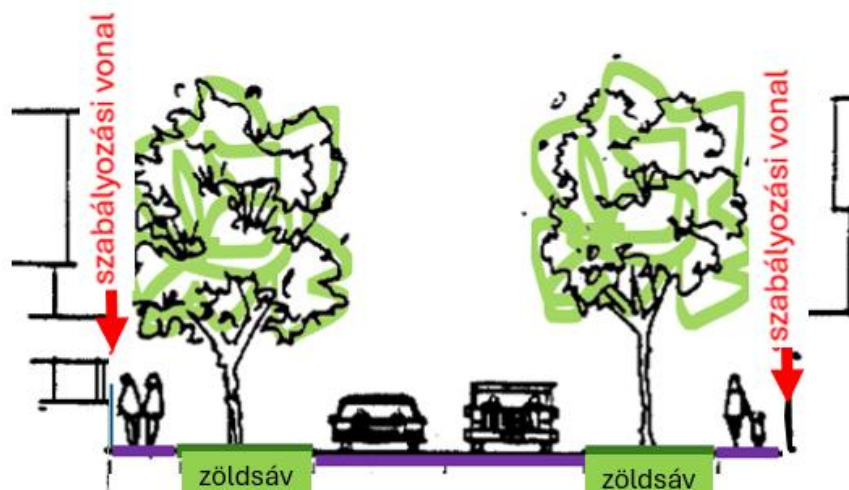
A városi területek vízzáró és vízáteresztő felületei összetett térbeli és időbeli csapadék-lefolyási folyamatokhoz vezetnek. A burkolt felületek kiterjedése csökkenti a víz beszivárgását és növeli a csapadékot követő lefolyást, jelentős hatást gyakorolva a befogadókra és az árvíz kockázatra. A városi területeken a csapadék miatti lefolyás a talajerózió egyik fő oka, amelyet a talajok tipikus degradációs állapota fokoz [15]. A fák a csapadékvízgazdálkodás természetes szereplői. A csapadékvíz kezelésére tervezett rendszer részeként javíthatják a beszivárgást és a víz visszatartást, csökkentve a lefolyás mennyiségét. A városi területeken a vízzáró felületek és a tömörödött talajok kihívást jelentenek a városüzemeltetők számára azért, hogy megakadályozzák a csapadék beszivárgását talajba [16] (2. ábra). A fák telepítése során az ápolás és a karbantartás nem az egyetlen kritikus elem a fák túlélésének és növekedésének biztosításában. Kulcsfontosságú az elegendő hely a föld alatt vagy a föld felett és a talajtömörödés figyelembevétele [17]. A mezőgazdasággal összefüggésben jelentős kutatásokat végeztek a talajtömörödéssel kapcsolatban, de eddig nagyon kevés tanulmány vizsgálta az urbanizációhoz kapcsolódó talajtömörödést. [18, 19].



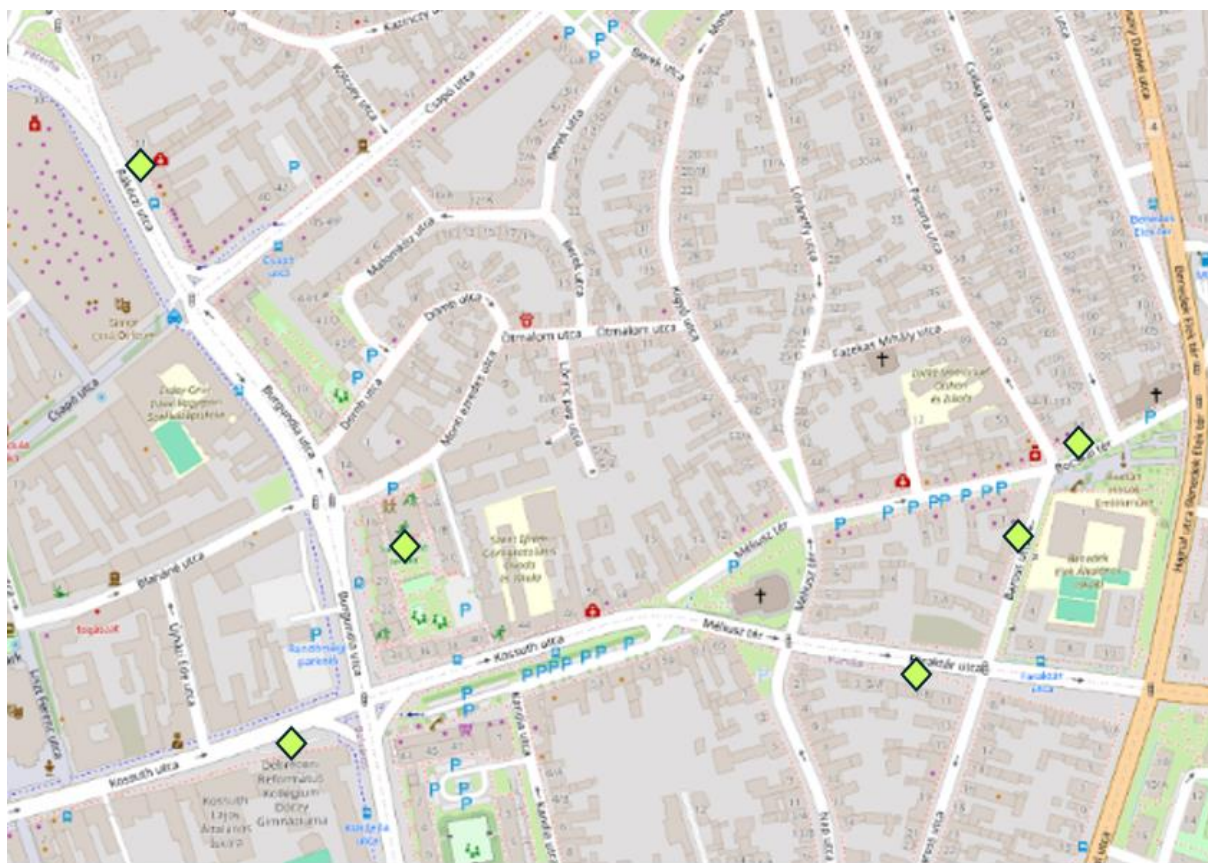
2. ábra: A talaj tömörödés csapadékvízgazdálkodásra gyakorolt hatásai városi területen

2.3. A talajtömörödéssel kapcsolatos megfigyelések Debrecen belvárosában

Debrecen egyes belvárosi utcáiban megfigyelhető, hogy gépjárművek a járda és az úttest közötti zöldsávban parkolnak (3. ábra).



3.ábra: A megfigyelések a zöldsávokra korlátozódtak (az ábrát a szerzők szerkesztették a [20.] dokumentum 7a ábrájának felhasználásával)



4.ábra: Megfigyeléseinket egy éven belül, a térképen jelölt - egymástól kb. 2 km távolságon belül található - helyeken végeztük (az ábrához felhasznált térkép forrása [21.]

Ezek a helyek fű és más növénytakaró nincs, száraz időszakban vastag porréteg, esőzések mély keréknyomok és pangó vízfoltok láthatók. Ahol ezek a helyek az út irányában lejtéssel rendelkeznek, ott látható a járművek és az erózió által az útfelületre felhordott- és a víznyelő rácson tartósan felhalmozódott talaj, mely utóbbi alkalmas növények megtelepedésére. Megfigyeléseinket egy éven belül, a térképen jelölt - egymástól kb. 2 km távolságon belül található - helyeken végeztük (4. ábra). A fényképekből terjedelmi okok miatt csak néhányat tudunk a cikkben feltüntetni (5.-9. ábra). A megfigyelt terület kiterjedése, azon

belül az utcaszakaszok hossza, a megfigyelés gyakorisága nem előre megtervezett módszer szerint került meghatározásra.



5 - 6. ábra: parkolásra használt zöldsáv (a szerzők saját fényképei)



7.-8. ábra: A járművek és az erózió által az útra hordott talaj (a szerzők saját fényképei)

3. Eredmények és javaslatok

A szakirodalom szerint a városok éghajlatváltozáshoz történő alkalmazkodásának egyik leghatékonyabb és nélkülözhetetlen módja a zöldinfrastruktúra. Ennek részét képezik a zöldsávok, melyek nem tudják betölteni a funkciójukat, ha a talaj tömörödése bekövetkezik. Városi területeken a talaj tömörödöttségét, ennek hatásait kevéssé tárta még fel a szakirodalom. Megfigyeléseink szerint a belvárosi utcákban gyakori a zöldsávban történő parkolás, ami tömörödéshez vezethet. Az eredményekre építve a probléma mértékének meghatározására egy összehasonlító esettanulmányt tervezünk két nagyváros – Debrecen és Győr - példáján keresztül, terepi mérések bevonásával, melyekből kiderül, mekkora területet érint a talajtömörödés, és számszerűsíthetjük a tömörödöttség mértékét. A méréshez a Debreceni Egyetem Műszaki Kar tulajdonában lévő Guelph típusú infiltrométert tervezzük használni.

Irodalomjegyzék

- [1.] Szépszó, Gabriella & Zsebeházi, Gabriella & Bordi, Sára & Megyeri-Korotaj, Otília A. & Bán, Beatrix & Zempléni, Zsuzsanna. (2024). Az éghajlatváltozás hatásainak komplex vizsgálatát támogató információs rendszer fejlesztése. *Léggör*. 69. 23-29. 10.56474/legkor.2024.K.4.
- [2.] Hulme, M., Jenkins, G. J., Lu, X., Turnpenny, J. R., Mitchell, T. D., Jones, R. G., Lowe, J., Murphy, J. M., Hassell, D., Boorman, P., McDonald, R. and Hill, S. 2002 Climate change scenarios for the UK: The UKCIP02 Scientific Report. Tyndall Centre for Climate Change Research, School of Environmental Sciences, University of East Anglia
- [3.] Wilby, Robert. (2008). Constructing climate change scenarios of urban heat island intensity and air quality. *Environment and Planning B: Planning and Design*. 35. 902-919. 10.1068/b33066t.
- [4.] <https://ccpi.org/country/hun/>.
- McCarthy, Mark & Best, Martin & Betts, Richard. (2010). Climate Change in Cities Due to Global Warming and Urban Effects. *Geophys. Res. Lett.* 37. 10.1029/2010GL042845.
- [5.] Gill, Susannah & Handley, J.F. & Ennos, Roland & Pauleit, Stephan. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of Green Infrastructure. *Built Environment*. 33. 115-133. 10.2148/benv.33.1.115.
- [6.] https://www.ksh.hu/stadat_files/fol/hu/fol0008.html KSH adatbázis; 8.1.2.3. Városodottság, 2024. január 1. [%]
- [7.] Bridgman, H., Warner, R., Dodson, J. (1995) *Urban Biophysical Environments*. Oxford University Press, Melbourne, Australia
- [8.] Whitford, Victoria & Ennos, Roland & Handley, J.F. (2001). "City form and natural process" - Indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. *Landscape and Urban Planning*. 57. 91-103. 10.1016/S0169-2046(01)00192-X.
- [9.] Biddle, Giles. (2001). Tree Root Damage to Buildings. 115. 1-23. 10.1061/40592(270)1.
- [10.] Benedict, Mark & MacMahon, Edward. (2002). *Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century*.
- [11.] Zellner ML, Massey D. Modeling benefits and tradeoffs of green infrastructure: Evaluating and extending parsimonious models for neighborhood stormwater planning. *Heliyon*. 2024 Mar 5;10(5): e27007. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e27007. PMID: 38495133; PMCID: PMC10943341.
- [13.] McCarthy, Mark & Best, Martin & Betts, Richard. (2010). Climate Change in Cities Due to Global Warming and Urban Effects. *Geophys. Res. Lett.* 37. 10.1029/2010GL042845.
- [14.] Shober, Amy L., and Geoffrey C. Denny. 2010. "Soil Compaction in the Urban Landscape: SL 317 SS529, 3 2010". *EDIS* 2010 (2). Gainesville, FL. <https://doi.org/10.32473/edis-ss529-2010>.
- [15.] Carla S.S. Ferreira, Zahra Kalantari, Samaneh Seifollahi-Aghmiuni, Navid Ghajarnia, Omid Rahmati, Marijana K. Solomun, Chapter 21 - Rainfall-runoff-erosion processes in urban areas, Editor(s): Jesús Rodrigo-Comino, Precipitation, Elsevier, 2021, Pages 481-498, ISBN 9780128226995
- [16.] Stormwater to Street Trees: Engineering Urban Forests for Stormwater Management U.S. Environmental Protection Agency Office of Wetlands, Oceans and Watersheds Nonpoint Source Control Branch (4503T) 1200 Pennsylvania Ave., NW Washington, DC 20460 September 2013 EPA 841-B-13-001
- [17.] Esperon-Rodriguez, M., Gallagher, R., Calfapietra, C. *et al.* Author Correction: Barriers and opportunities for resilient and sustainable urban forests. *Nat Cities* 2, 357 (2025). <https://doi.org/10.1038/s44284-025-00224-y>
- [18.] Simcock, R., Hydrological effect of compaction associated with earth-works. Prepared by Landcare Research for Auckland Regional Council.. 2009, Landcare Research.

- [19.] Thompson-Morrison, H., R. Simcock, and J. Cavanagh, Review: Soil replacement or retention requirements of unitary and territorial authorities and their adequacy from an ecosystem services perspective. 2023, Parliamentary Commissioner for the Environment: Wellington.
- [20.] Ohm, B. W., LaGro, J. 1 A., Jr., & Strawser, C. (2001). **1** *A model ordinance for a traditional neighborhood development*. **2** University of Wisconsin Extension. **3** Approved by the Wisconsin Legislature, July 28, 2001.
- [21.] <https://debrecen.erda.hu/>

A vértesszőlősi leletgyűttes bronz ékszereinek és ruhadíszjeinek anyagvizsgálata

¹Gyöngyösi Szilvia, ²Cseh Julianna, ³Szabó Géza

¹Debreceni Egyetem

²Tatabányai múzeum

³Wosinsky Mór Múzeum, Szekszárd

szilvia.gyongyosi@eng.unideb.hu

Absztrakt: Vértesszőlős területe a Bronzkor nagy részében lakott volt. Különböző kultúrák leletei, köztük sok bronztárgy került elő (ékszerek, fegyverek). Lehetőséget adódott arra, hogy összevevünk területeket, korokat, szokásokat. Több pitykéket tartalmazó ékszer és pityketöredék került elő a feltárás során, melyek készítése gondos kidolgozást, megmunkálást igényelnek. Megállapítottuk, hogy alacsony óntartalmú ötvözetből (3,5-6 tömeg% ón) készültek, ami képlékenyen jól alakítható. A zárványok morfológiája alá is támasztja a nagymértékű képlékeny alakváltozást. A vékony bronzanyag miatt a tárgyakat erős korróziós hatás terheli, ezért részletes mikroszerkezeti vizsgálat elvégzésére volt szükség a többi szennyező vizsgálatához.

Kulcsszavak: anyagvizsgálat, metallográfia, bronz leletek, korrózió, készítéstechnika

1. Bevezetés

A vértesszőlősi lelőhely a Dunántúl északi részén, Tata és Tatabánya között, a Gerecse-hegység nyugati lábánál a Duna felé kanyarodó Által-ér partján fekszik. A folyami átkelőhöz vezető patak völgy révén földrajzilag stratégiai fontosságú terület, mely a legtöbb régészeti korszakban lakott volt [1,3,9].

A. Pál Gabriella vezetésével 2009-ben, a községtől közvetlenül délnyugatra, az 1-es számú főút és a Budapest-Győr-Bécs vasútvonal közötti területen, az Által-ér 2. teraszán folytak a feltárások [2].

A feltárás a teljes beruházási terület 20-40 cm mélységű lehumuszosásával kezdődött. A humuszdepót és az objektumok közötti kevert felületet is folyamatosan fémkereső műszerekkel vizsgálták, melynek köszönhetően számos, zömében római kori fémtárgy került elő. A megelőző feltárás eredménye mintegy 37 bronzkori objektum – köztük a Mészbetétes edények népe településrészlete, a korai Halomsíros kultúra halomsírai –, valamint római és Árpád-kori település részletei [2]. A bronz kincsleletet csak a feltárás befejezése után, a szelvények északi oldalán lévő mezőgazdasági területen – ahol a Mészbetétes és a Halomsíros temető is folytatódik – találta meg Sándor Lajos fémkeresőzés közben, mely ajándékozás révén került 2016-ban a múzeum tulajdonába.

A fémtárgyak metallográfiai vizsgálata információt ad a tárgy ötvözetéről, állapotáról, így a készítés technika főbb lépései megállapíthatók [2, 5]. Abban az esetben is becsülhetjük a mikroszerkezetet vizsgálat alapján a tárgyak mechanikai tulajdonságait, ha annak vizsgálatára nincs mód [4, 6].

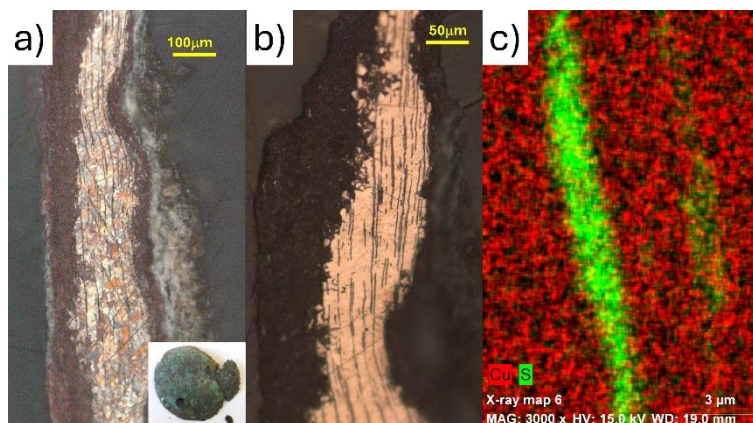
2. Vizsgált tárgyak és módszertan

A vizsgálati programban 6 pitykét vizsgáltunk. A tárgyak töredékesek, így apró mintát vettünk a tört részből úgy, hogy a tárgy jellege és megjelenése ne változzon. Ez apró mintákat jelent, így a vizsgálatokhoz hidegen kötő kétkomponensű gyantába foglaltuk úgy, hogy a vágott felületeket készíthessük elő metallográfiai vizsgálathoz. A mintákat SiC csiszolószemcsékkel csiszoltuk, majd 3 és 1 µm szemcseméretű gyémántpasztával políroztuk. Mind a csiszolást, mind a polírozást nehezítette, hogy a tárgyak jellege miatt az előkészítendő fémes felület kicsi, a tárgyak felületén lévő korróziós réteghez képest. Óvatos mechanikai előkészítés után a mintát K₂CrO₄ vizes

oldatában, bemártásos módszerrel marattuk. Az erős oxidálószernek köszönhetően a kialakuló oxidréteg polarizált megvilágításban a szemcséket színessé teszi. Világos látótérben azonban a kiválások morfológiája és szerkezete is jól vizsgálható. Az optikai mikroszkópi megfigyeléseket és felvételeket Zeiss AxioImager M1m mikroszkóppal végeztük el. Az optikai mikroszkópi vizsgálat után a mintákat további előkészítés nélkül SEM-EDS módszerrel is vizsgáltuk. A mérések során a mintára jellemző átlagos kémiai összetételt és esetenként a fázisok lokális elemzését határoztuk meg. A fázisok vizsgálatánál a pontos adatok helyett elemtérképeket vettünk fel, mert a fázisok azonosítása volt a fő cél a pontos kémiai elemzés helyett. Az eredményekből az alapanyag összetételét elemeztük és a készítés technológia jellegzetességeit tártuk fel. Az egyes tárgyak vizsgálati elemzéséből következtetünk a leletegyüttes sajátosságaira.

3. Eredmények

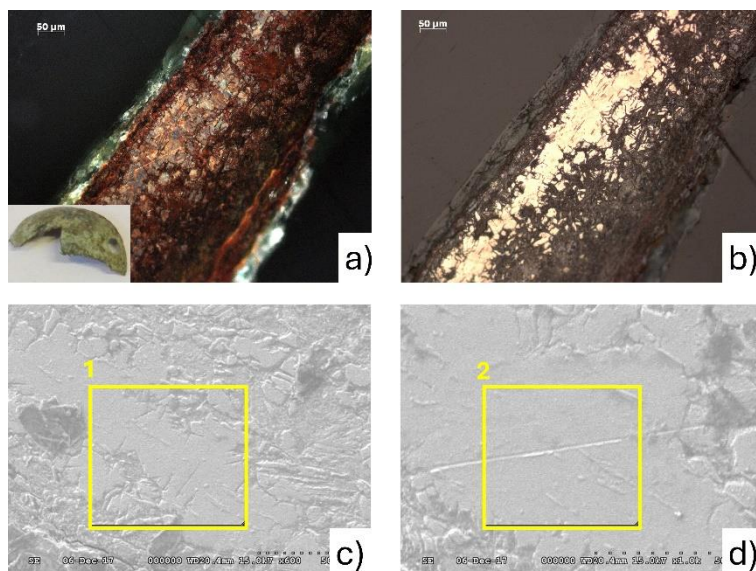
A 092-2/1 pityke optikai mikroszkópi vizsgálatakor közepes szemcseméretű újrakristályosodott szemcseszerkezetet látunk (1.a ábra). Ez arra utal, hogy a pityke anyagát öntés után [7] képlékeny alakítás után lágyították [8]. A mikroszerkezetben nagymértékben nyújtott zárványokat találunk (1.b ábra). A zárványok a SEM-EDS vizsgálat alapján réz-szulfid zárványok (1.c ábra). A réz-szulfid lágy, képlékenyen könnyen alakítható fázis, így az anyag képlékeny alakításakor az anyagáramlás irányában nyújtottá válik, miközben elvékonyodik arra merőlegesen. A fázisok nyújtottsága arra enged következtetni, hogy a pityke anyagát nagymértékű képlékeny alakváltozás érte, amit a tárgy alakja és jellege is alátámaszt.



1. ábra. A 092-2/1 pityke mikroszerkezete polarizált megvilágításban (a). Újrakristályosodott szemcseszerkezetet láthatunk. Világos látótérben nagy mértékben nyújtott zárványok láthatók (b). A zárványok a kémiai összetétel elemzés alapján réz-szulfid zárványok (c).[10]

A pityke átlagos kémiai összetételét SEM-EDS méréssel állapítottuk meg a korrózió hatásai által láthatóan nem terhelt területen. A réz mellett 6,14 tömeg% ónt és közel 1 tömeg% arzént tartalmaz az ötvözet (1. táblázat). Természetesen emellett ként is tartalmaz a réz-szulfidok miatt, de a fázisok térfogataránya olyan, hogy a kéntartalmat az átlagos összetétel mérés nem mutatta ki. A mechanikai tulajdonságokra az ón van nagyobb hatással mennyisége miatt. Ez az óntartalom hidegen jól alakítható, de megfelelően kemény ötvözetet jelent. Hideg képlékeny alakítás hatására az ötvözet keményedik, ami keményedés mértéke nagy alakítási mértékeknél akkora is lehet, hogy a további alakítás már nagy erőt jelent. Ekkor lágyító hőkezeléssel csökkenthető a keménység, de akkor a képlékenyen alakváltozott mikroszerkezetben újrakristályosodás megy végbe, amit a szemcseszerkezeten is látunk. Az alakítás mértéke vélhetően nagy volt lágyítás előtt, a lágyítás pedig közepes hőmérsékleten mehetett végbe. Ebben az ötvözetben már 300°C fölött már bekövetkezik a lágyulás viszonylag rövid idő alatt is. A lágyításra vélhetően a pityke kikészítése, a készítés utolsó fázisa miatt volt szükség.

A 092-2/2 pitykéből vett mintában nagymértékű korróziós réteg figyelhető meg, kevés megmaradt fémes térfogattal (2. ábra). Ez megnehezíti a tárgy elemzését, főleg a kémiai összetétel elemzést (1. táblázat.). Minden elemzett területen (2.c, 2.d ábrák) jelentős mennyiségű oxigént mérünk, ami főleg réz-oxid jelenlétére utal. Azonban az EDS elemzés az oxigéntartalmat nagy bizonytalansággal adja meg, inkább, mint tájékoztató adat vehető csak figyelembe. Esetünkben az összevetéshez így is elegendő eredményt kaphatunk. A korrózióval erősen terhelt területen (2.c ábra) viszonylag magas, 9,8 tömeg% óntartalmat mérhetünk, azonban a korróziós hatásnak kevésbé kitett területen (2.d ábra) csak 2,3 tömeg% ón mennyiség mérhető. Ismert jelenség az ón dúsulása a korróziós rétegben a korróziós folyamatok hatására, ami akár jelentős mértékű is lehet. Ezért az elvégzett mérések nem eléggé pontosak az óntartalmat illetően. Annyi állapítható csak meg, hogy az ötvözet tartalmaz ónt, azonban mennyisége kicsi, 2 tömeg% körüli. Az ón mellett kevés ezüst is kimutatható az ötvözetben. Arzén kis mennyiségben csak a korróziós termékben mutatható ki, ami ugyancsak dúsulás következménye. Az ötvözet bizonyosan tartalmaz detektálható mennyiségű ezüstöt és arzént is (1. táblázat). A korróziós területben kevés kén is mérhető, az a mikroszerkezetben látható réz-szulfid zárványoknak köszönhető (2.b ábra)

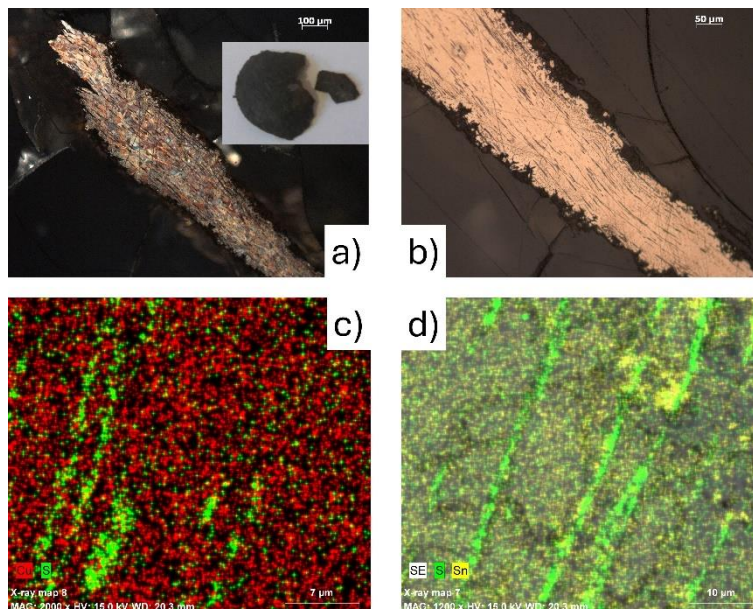


2. ábra. A 092-2/2 pityke mikroszerkezetéről készült mikroszkópi felvételek. A minta a korrózió hatásaival erősen terhelt. Polarizált megvilágításban újrakristályosodott szemcseszerkezetet látunk (a). Világos látótérben kis méretű, nyújtott szulfid zárványokat látunk (b). SEM-EDS elemzést végeztünk több területen a korróziós réteghez közel (c) és attól távolabb (d) amennyire a minta fémes térfogata engedte.[10]

A kis óntartalom, és a többi összetevő egy hidegen képlékenyen kiválóan alakítható ötvözetet jelent, amiből a pityke vékony anyaga könnyen kialakítható. Természetesen erre az ötvözetre is jellemző a keményedés, így nagy alakváltozás után további deformáció eléréséhez lágyítani kell. Ebben az esetben is vélhetően a kikészítés előtt történt a lágyítás, ami az újrakristályosodott szemcseszerkezetet eredményezte. A nagy képlékeny alakításról ebben az esetben is a jól alakítható réz-szulfid zárványok nyújtottsága árulkodik. Ebben a mintában a zárványok nyújtottsága nem olyan erős, mint az előző pityke ötvözetében. Azonban nem szabad elfelednünk, hogy az alakváltozás iránya nem megállapítható a pityke megjelenéséről, a mintavétel helye pedig kötött volt. A szulfid zárványok nyújtottságából így a teljes alakváltozás konkrét mértékére nem tudunk következtetni. Az azonban megállapítható, hogy nagymértékű teljes alakítással készítették a pityke anyagát. Ez a megállapítás az összevetéshez azonban elegendő.

A 092-2/3 pityke korrózió hatásaival kevésbé terhelt, így jól vizsgálható a fémes térfogat. Ebben az esetben is az optikai mikroszkópi vizsgálat újrakristályosodott szemcseszerkezetet (3.a ábra)

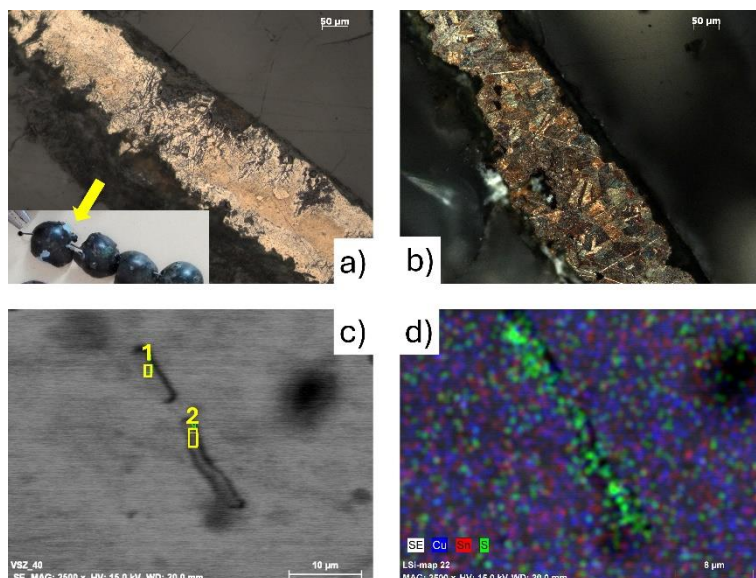
és nagymértékben nyújtott zárványokat tárt fel (4. b ábra). A nyújtott zárványok réz-szulfid zárványok (4.c, 4.3 ábra). A minta átlagos összetételét tekintve az óntartalma magas, 11,6 tömeg% (1. táblázat). Ez az óntartalom már nagy keményedést, és hidegalakítás hatására bekövetkező erős alakítási keményedést jelent. Az ón mellett csekély mennyiségben arzén és kén detektálható (1. táblázat), de a mért mennyiséget tekintve jelentős hatásuk az ötvözet viselkedésére nincs.



3. ábra. A 092-2/3 pityke mikroszerkezetéről készült mikroszkópi felvételek. Polarizált megvilágításban újrakristályosodott szemcseszerkezetet látunk (a). Világos látótérben nyújtott zárványok figyelhetők meg (b). A SEM-EDS elemzés kimutatta, hogy réz-szulfid zárványok a nyújtott képletek a mikroszerkezetben (c, d). [10]

Mint az előző vizsgálatok elemzésében itt is az mondható el, hogy a szulfid zárványok erős nyújtottsága nagymértékű teljes alakítást feltételez. Ekkora óntartalom erős alakítási keményedést jelent, így a készítés során akár több lágyításra is szükség lehetett a pityke készítésénél. Az azonban az újrakristályosodott szemcseszerkezetből következik, hogy a kikészítés előtt is történt lágyítás. A szemcseszerkezet jelleg hasonló hőkezelési körülményeket feltételez, mint ami az előző vizsgálatokból következik. Ebből a szempontból hasonló készítést kell feltételeznünk az óntartalom okozta nagy alakítási keményedést figyelembe véve.

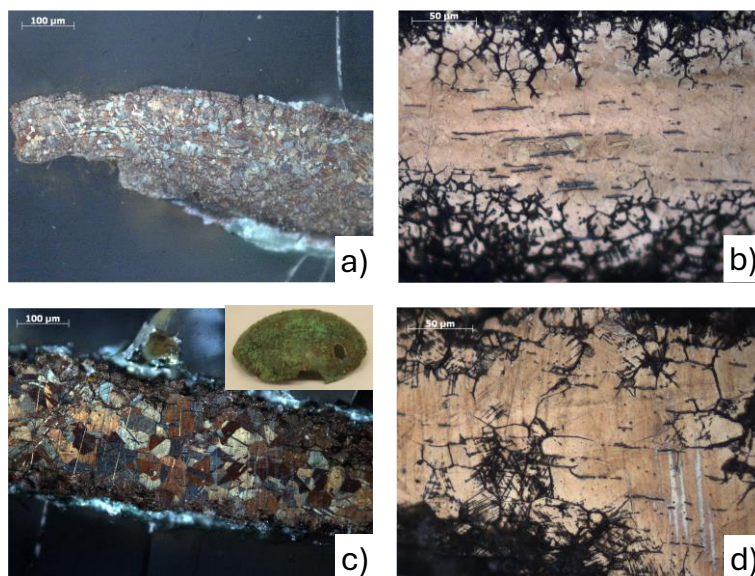
Eddigi vizsgálatok 3 eltérő ötvözetből hasonló módon készített pitykét mutat. A VSz40 pityke az erős korróziós hatásnak köszönhetően nehezen vizsgálható, de a fémes térfogat elegendő a megfelelő eredmények biztosításához (4.a ábra). A pityke mikroszerkezete újrakristályosodott szemcsékből áll (4.b ábra). A mikroszerkezetben viszonylag kis számban, apró nyújtott zárványokat találunk (4.c ábra). Az EDS elemzés kimutatta, hogy réz-szulfid zárványokat találunk.



4. ábra. A VSz40 pityke mikroszkópi felvételei. A pityke anyaga a korrózió hatásaival erősen terhelt (a). Azonban a fémes térfogat vizsgálható. A polarizált megvilágítás közepes szemcseméretű újrakristályosodott szerkezetet mutat (b). A mikroszerkezetben kis méretű, nyújtott zárványokat találunk relatívan kis számban (c). Az EDS elemzés réz-szulfid zárványokként azonosítja ezeket a zárványokat (d).

Az összetétel elemzés közepes óntartalmat (5,7tömeg%) mutatott ki (1. táblázat). Emellett kevés arzén detektálható még az ötvözetben. Ebből a szempontból a pityke anyaga az első vizsgált, 092-2/1 pityke ötvözetére hasonlít. A zárványokban eltérő mennyiségben vas és nikkel is detektálható, de mennyiségüket tekintve nem meghatározók az ötvözet összetétele szempontjából (1. táblázat). Mind az ötvözet, mind a zárványok morfológiája hasonló készítésestechnikát feltételez, mint a korábban vizsgált 092-2/1 pityke esetében. A készítésestechnika ilyen mértékű hasonlósága természetesen nem meglepő a tárgyak jellegét tekintve, hiszen a vastagságuk, alakjuk és megjelenésük is szinte azonos. Azonban az összetételükben lévő különbségek könnyebben elemezhetők a készítés tükrében.

A P14 pityke mikroszerkezetéről hasonló mondható el, mint a többi vizsgált pityke esetében (5.a, 5.b ábrák). Újrakristályosodott szemcseszerkezet és nagyméretű, nyújtott szulfidzárványokat tárt fel a vizsgálat. Kémiai összetételét tekintve kevés ónt (3,5 tömeg%) tartalmaz (1. táblázat). Azonban az ón mellett jelentékeny mennyiségű arzén is mérhető (2,2 tömeg%) ami már az ötvözet tulajdonságaira is befolyással van. Ugyancsak ki kell emelni az 1 tömeg% körüli ezüst és antimon mennyiséget, ami a többi ötvözettől a pityke anyagát ugyancsak megkülönbözteti. Emellett ólom és nagy mennyiségű bizmut mérhető még (1. táblázat). Készítéséről hasonló megállapítások tehetők, mint a többi vizsgált pityke esetében.



5. ábra. A P14 és P26 pitykék mikroszkópi felvételei. A P14 pityke újrakristályosodott szemcseszerkezetét az (a) mutatja. A mikroszerkezetben nyújtott szulfid zárványokat látunk (b). A P26 pityke mikroszerkezet is újrakristályosodott szemcsékből áll (c), azonban a szemcsék mérete jelentősen nagyobb. A mikroszerkezetében kevesebb, de ugyancsak nyújtott szulfid zárvány látható (d).[10]

A P26 pityke mikroszerkezetének vizsgálata is újrakristályosodott szemcseszerkezetet tárt fel (5.c ábra). Azonban ebben a pitykében a szemcseméret jelentősen nagyobb. Ez a különbség a lágyítás körülményeiben kereshető. A közepes óntartalom mellett (5,5 tömeg%) vas, nikkel, ezüst és arzén mérhető (1. táblázat). Az ólomtartalom ebben a mintában a legnagyobb, de az ugyancsak szennyezőnek tekinthető, mint a többi ón mellett említett összetevő. Kevés, de nyújtott réz-szulfid zárvány mutatja ebben az esetben is a nagymértékű összes deformációt, ami a lágyítás alkalmazását indokolja. A nagyobb méretű szemcsék ennek a pitykének az esetében hosszabb, magas hőmérsékletű lágyítást mutat, ami közben az újrakristályosodás mellett, után a szemcsedurvulás is végbement. Azonban az alap megállapított készítési séma azonos a korábban megállapítottal.

1. táblázat Tárgyak elemösszetétel vizsgálata [10]

Tárgyak	Ábrák (összetétel)	S	Fe	Ni	Cu	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	Rem.
092-2/1	1. ábra átlag				89,37	0,99		6,14				O, C
092-2/2	2. ábra átlag (1)	0,32			23,86	0,25	0,53	9,78				O, C
	2. ábra átlag (2)				11,02		0,14	2,27				O, C
092-2/3	3. ábra átlag	0,62			68,77	0,06		11,58				O, C
VSz40	4. ábra átlag				84,63	0,42		5,67				O, C
	5. ábra fázisanalízis (1)	8,37	0,42	0,05	66,81			3,98				O, C
	5. ábra fázisanalízis (2)	8,84	1,37	0,29	63,76	0,33		2,31				O, C
P14	5.b, átlag	0,1			87,59	2,24	0,99	3,5	0,94	0,61	2,08	O, C
P26	5.d, átlag		1,19	1,42	84,83	2	0,22	5,54		1,45		O, C

4. Következtetések

A pitykék nagy feldolgozási igényű tárgyak, ami azt jelenti, hogy nagymértékű deformáció szükséges a kialakításukhoz. Az alapanyag jelentős képlékeny alakváltozása nagy alakítási keményedést okoz, ami főleg az utolsó készítési fázisokat tenné nehezen kivitelezhetővé. Emiatt legalább ez előtt a lépés előtt lágyításra volt szükség. Lágyítás során az újrakristályosodás folyamata megszünteti az alakítási keményedés hatását, az ötvözetek újra könnyebben deformálhatókká válnak. Minden tárgy esetében kimutattuk az újrakristályosodott szemcseszerkezetet. A nagy mértékű deformációról a könnyen alakítható réz-szulfid zárványok alakja árulkodik. A legtöbb esetben nagy mértékben nyújtott zárványokat látunk. A réz-szulfidok a deformáció során az anyagáramlás irányában megnyúlnak. Azonban ez a nyújtott alak a lágyító hőkezelés során nem változik meg, így ebből becsülhető az ötvözetet ért összes deformáció nagyságrendje. Természetesen ez csak akkor igaz, ha olyan metszetet vizsgálhatunk, ami az anyagáramlás irányát tartalmazza. Esetünkben a mintavétel kötött volt, így csak azt tudtuk megállapítani, hogy a deformáció olyan mértékű volt, ami a lágyítást a készítés utolsó lépése előtt szükségessé tette. Ugyancsak nem állapítható meg az, hogy a készítés teljes folyamatában csak ez az egy vagy több lágyítás történt-e. A keményedés mértékéről azonban az összetétel árulkodik. Főleg az óntartalom az, ami a vizsgált tárgyak esetében az ötvözetek mechanikai viselkedését meghatározza. Általánosan ismert, hogy minél nagyobb az óntartalom, annál intenzívebb az alakítási keményedés.

Maga a készítéstechnikai hasonlóság a tárgyak között nem meglepő, hiszen a tárgyak jellege meghatározza a készítés főbb lépéseit, lehetőségeit. Egyedül az azonosított lágyító hőkezelés paramétereiben találhatunk egyes tárgyak esetén különbséget, amit az újrakristályosodott szemcsék méretén keresztül láthatunk. Ebbe természetesen beletartozik a lágyított fém aktuális deformációjának mértéke is, így önmagában nem vetíthető csak a hőmérsékletre vagy a hőkezelés idejére. Ezt figyelembe véve azonban a vizsgálati eredmények nagyon hasonló készítési eljárást tártak fel.

A felhasznált ötvözetekben azonban sokkal nagyobb változatosságot láthatunk. Maga az óntartalom is változik, az egészen alacsony óntartalomtól a relatívan magas óntartalomig találtunk bronzokat a tárgyak alapanyagainak vizsgálatánál. Azonban még érdekesebb, amit a többi elem jelenléte és mennyisége mutat. Ezek közül az elemek közül a vasat, nikkel, arzént, ezüstöt és antimont emeljük ki. Ezeknek az elemeknek a mennyisége kapcsolatban áll az alap réz összetételével, azaz az érc összetételével és kohósítás körülményeivel. Korábbi tanulmányok ötvözet típusokat azonosítottak, amikbe a kárpát-medencei tárgyak alapanyagai besorolhatók. A pitykék ötvözeteiben szinte mindegyiket megtaláljuk. Egyik fontos csoport az arzént és ezüstöt tartalmazó ötvözet, aminek tagja a 092-2/2 pityke. A másik fontos csoport a vasat, nikkel, arzént és nikkel tartalmazó csoport. Az ezüst gyakran csak olyan kis mértékben van jelen, hogy a korróziós termékben feldúsulva észlelhető csak. Ebbe a csoportba tartozik a VSz40 és P26. De találunk az ón mellett csak arzént tartalmazó ötvözetet is. Külön csoportokat hoz létre az antimon jelenléte. Természetesen az antimon esetén kérdés, hogy az a réz vagy az ón szennyezőjeként kerül az ötvözetbe, ezért lényeges az ötvözetek részletes vizsgálata. A mért kis mennyiségek és az ötvözetek ebben az esetben a réz alapanyaghoz kötik az antimon jelenlétét.

Ami az ötvözetek terén kialakuló nagy változatosság eredménye, hogy rendkívül hasonló termékeket, nagyon hasonló technikával több forrásból származó alapanyagból alakítottak ki. Ezt támasztja alá az óntartalom jelentős változatossága is. Ez a megfigyelés összhangban van korábbi tanulmányok megfigyelésével, hogy az ellátásban nem volt stabil forrás, hanem a fémművesek

különböző elérhető forrásokot is használtak a tárgyak elkészítéséhez. A vizsgálati eredmények ezt erősítik meg hasonló tárgyak esetén, ahol a tárgyak változatossága és a készítéstechnika különbségei nem hagynak nyitott kérdéseket.

Irodalomjegyzék

- [1] VADÁSZ É. & VÉKONY G. (1979): Tata története a jégkorszak végétől a római foglalásig. In: E. Kovács (ed.): Tata története 1. Az őskortól 1727-ig. Tata 49–77.
- [2] KISNÉ CSEH J. (1999): A mészbetétes edények kultúrája lelőhelyei Komárom-Esztergom megyében. - Die Fundorte der inkrustierten Keramik im Komitat Komárom - Esztergom. Komárom-Esztergom Megyei Múzeumok Közleményei 9 23-88.
- [3] PÁL, G. & CSEH, J. (2013): Prehistoric, Roman and Árpád Age excavations on the outskirts of Vértesszőlős. A preliminary report of Vértesszőlős 92/2 site's excavation. Tatabányai Múzeum Évkönyve. 3 5–19.
- [4] SZABÓ G. (2022a): The bronze hoard from Mucsi: dress ornaments of a high-status woman. Antaeus. 38 187–212.
- [5] Török B., Kovács Á., Barkóczy P., Kristály F. 2013 *Ordacsehi-Csereföld kelta településéről származó vassalak és vastárgyak anyagvizsgálata és készítés-technológiai vonatkozásai* Materials testing and production technology investigation of iron tools and slag from a Celtic settlement of Ordacsehi-Csereföld. ARCHEOMETRIAI MŰHELY 10: 1 pp. 23-32.
- [6] Barkóczy P., Bartha T., Kovács Á., Padányi J., Török B. 2012 *Zrínyi-Újvár 1664. évi ostromából származó vas- és ólomlövedékek anyagszerkezeti vizsgálatai* HADTÖRTÉNELMI KÖZLEMÉNYEK 125: 4 pp. 1139-1148.
- [7] Póliska Cs., Gácsi Z., Barkóczy P. 2006 *The Effect of Melt Flow on the Dendrite Morphology*, MATERIALS SCIENCE FORUM 508-509 pp. 169-174.
- [8] Barkóczy P., Roósz A., Geiger J. 2003 *Simulation of Recrystallization by Cellular Automaton Method*, MATERIALS SCIENCE FORUM 414-415 pp. 359-363.
- [9] Horváth T., Cseh J., Barkóczy P., Juhász L., Gulyás S., Bernert Zs., Buzár Á. 2020 A double burial of the Baden culture from Tatabánya–Delphi (northern Transdanubia, Hungary): A case study of the Dentalium beads of the Baden culture and their interpretation, QUATERNARY INTERNATIONAL 539 pp. 78-91.
- [10] Gyöngyösi Sz., Cseh J., Szabó G. 2023 Highly processed bronze jewelry and ornaments in the Vértesszőlős find ensemble, UISPP Journal (2612-2782): 5 1 pp 60-72 (2023)

A periodikus vízkivétel hatására kialakuló napi vízszintváltozások elemzése Theis kútfüggvény segítségével

¹Buday Tamás, ²Kyrrillos Ghattas

^{1,2} Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Földtudományi Intézet,
Ásvány- és Földtani Tanszék
buday.tamas@science.unideb.hu

A felszín alatti víz termelése során előfordul, hogy a vízkivétel periodikus, például egy nap során csak a munkaidőben történik. Az ilyen típusú vízkivételek napi vízszintingadozásokat okoznak, melyeknek jellege a termelés karakterisztikáján túl a réteg tulajdonságaitól és a kúttól való távolságtól is függ. Kutatásunk célja, hogy a Theis kútfüggvény segítségével analitikusan meghatározzuk, hogy a kúttól távolodva hogyan csökken a napi amplitúdó, és mely távolságtól tekinthető azonosnak a periodikus és az állandó hozamú kitermelés által okozott a tranziens depresszió. Három üledéktípus és négy termelési ütemezés esetére 7 különböző távolságra meghatároztuk a vízszintcsökkenés órás értékeit 1 év hosszra, majd a napi átlagot, minimumokat és maximumokat. A kapott távolhatás-értékek alkalmazhatók a vízügyi tervezésben, megadva, hogy a paraméterektől függően mely távolságon túl elegendő a napi átlagos termelést tartalmazó modellt használni.

1. Bevezetés

A felszín alatti víz gazdasági célú kivétele vízjogi engedély köteles tevékenység. Az engedélykérés részét képezi a vízkivétel hatását elemző dokumentáció (modellezés, számítás). A vízkivétel ritkán azonos hozamú egy hosszabb időszak tekintetében, így egyszerre kell tudni jellemezni a maximális és az átlagos hatásokat is, a kút közelében és távolabb, rövid és hosszútávon. Erre vonatkozóan két megközelítési mód létezik. A permanens állapot meghatározásakor a termelés hatására hosszabb idő alatt kialakuló, tovább már nem változó vízszinteket és sebességeket határozzuk meg, értékeit egyszerűbb és gyorsabb számolni, de érzékenyebbek a peremfeltételekre. A tranziens állapot esetén lépésről lépésre határozzuk meg az aktuális vízszinteket és sebességeket, melyhez emiatt több számolás és több bemeneti paraméter szükséges, viszont az eredmény megfelelő pontosságú modellezés esetén közelebb állhat a valóságos változásokhoz. A változó vízhozamokat külön modellezési lépésként kell rögzíteni, tehát például egy év alatt napi egy bekapcsolás és kikapcsolás esetén 730 modellezés lépés megadása szükséges, ami az adatbevitelt és a kiértékelést is jelentősen nehezíti.

Kutatásunk során zárt tükrű, végtelen vízadóban vizsgáltuk adott mennyiségű napi vízkivétel hatására kialakuló vízszintcsökkenést Theis közelítés segítségével különböző hosszúságú napi vízkivételek, így eltérő hozamok, illetve különböző hidraulikus tulajdonságú vízadók esetén abból a célból, hogy a permanens és tranziens modellek eredményeit összehasonlítva megadjuk, hogy mely esetekben és távolságokban tekinthető a permanens modell kellő pontosságúnak, azaz mely esetekben lehet egyszerűsíteni a modellezést.

2. Módszerek

A tranziens áramlás leírására az általános szivárgási egyenletet használjuk, mely homogén izotróp térben az alábbi alakú.

$$\frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{S_s m}{k m} \frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2}$$

ahol h : hidraulikus emelkedési magasság [m], x, y, z : térkoordináták [m], t : idő [s], S : tárolási tényező [–], S_s : fajlagos tárolási tényező [1/m], T : transzmisszivitás [m^2/s], k : szivárgási tényező [m/s] és m : rétegvastagság [m].

A termelő kutak körül kialakuló áramlási teret a kutakat végtelen hosszú vonalszerű vízkivételi helynek tekintve a Theis-féle megközelítéssel írhatjuk le [1]. Ebben a vízszintesökkenés, azaz depresszió a kútfüggvény (azaz az exponenciális integrál) használatával számolható ki az alábbi módon,

$$s = \frac{Q}{4\pi km} W(u) = \frac{Q}{4\pi km} \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

ahol s : depresszió [m], Q hozam [m^3/s], u : a kútfüggvény változója [-], r : a kúttól való távolság [m]. A kútfüggvény értékére Allan és Hastings közelítő képleteit használtuk [2], melyekkel kis és nagy u értékek esetén is pontos értéket kapunk. Mivel a távolság a kútfüggvény változójában szerepel, így a különböző távolságokra való meghatározás külön-külön történik. A termelések és leállások hatása azonos Q hozam esetén időben összegezhető olyan módon, hogy a leállások $-Q$ hozamú termelésként veendők figyelembe, és minden egyes kútfüggvény esetében a beindulástól, illetve leállástól eltelt időt kell figyelembe venni:

$$s = \sum_i s_i = \sum_i \frac{Q_i}{4\pi km} W(u_i)$$

$$u_i = \frac{r^2 S}{4km(t - t_i^0)}$$

ahol t_i^0 az i -edik üzemelési lépcső kezdetének időpontja [s].

A vizsgálat során 3 paramétert változtattunk:

- a 10 m vastag réteg anyagát, így hidraulikai tulajdonságait (1. táblázat)
- a vízkivétel hosszát (2. táblázat)
- a távolságot (0,1 m, 1 m, 10 m, 30 m, 100 m, 300 m, 1000 m).

Az adatokat minden egész órára vonatkozóan kiszámoltuk egy egy éves üzemelés során. Ennek megfelelően 84 darab órás bontású adatsor készült el, melyből napi átlagot, napi minimum, maximum és napi vízszintingadozás értékeket számoltunk.

1. táblázat: Az alkalmazott vízáadó-tulajdonságok

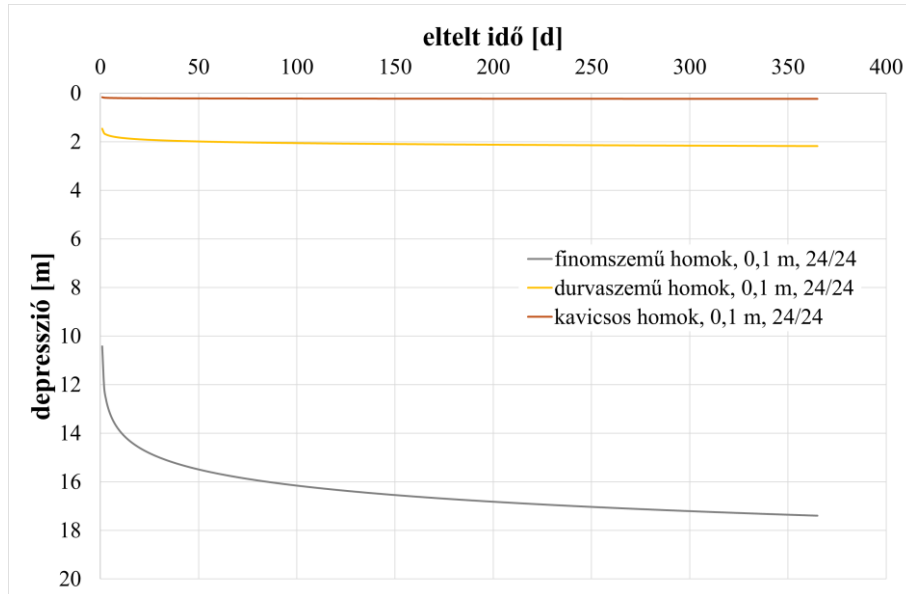
üledéktípus	k (m/d)	T (m^2/d)	S_s (1/m)	S (-)
finomszemű homok	1,0	10,0	0,0010	0,010
durvaszemű homok	10,0	100,0	0,0001	0,001
kavicsos homok	100,0	1000,0	0,0001	0,001

2. táblázat: Az alkalmazott vízáadó-tulajdonságok

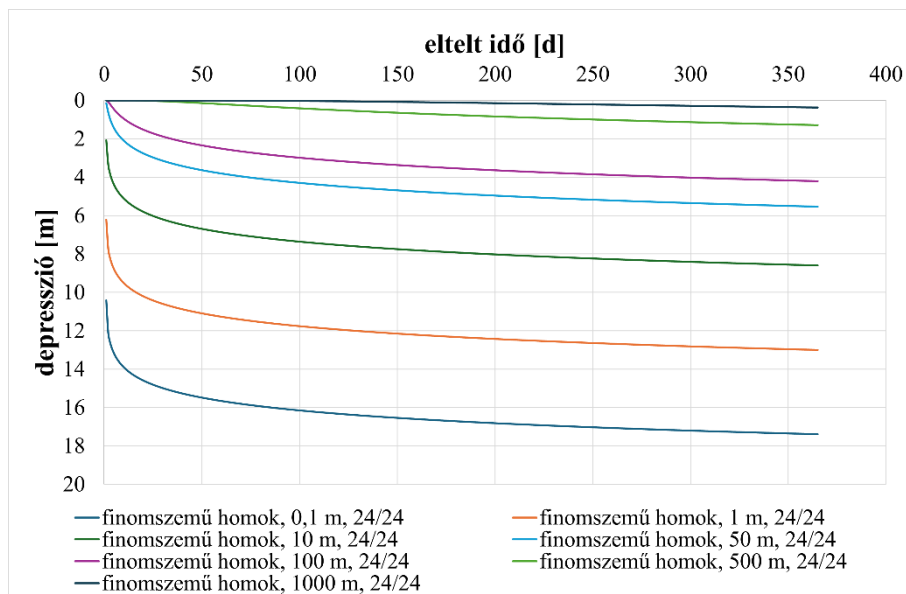
vízkivétel hossza egy nap	Q_i (m^3/d)
8 h	360
12 h	240
16 h	180
24 h (folyamatos üzem)	120

3. Eredmények

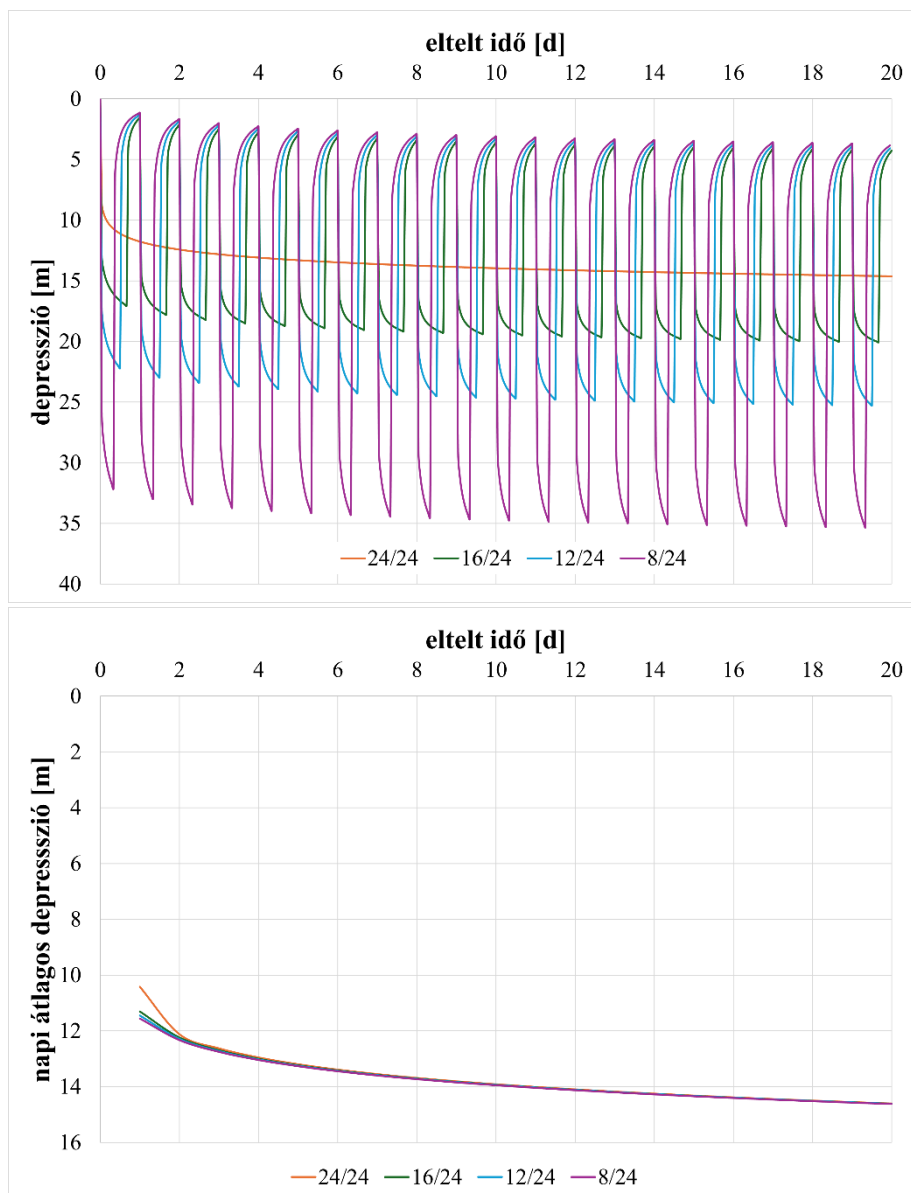
A folyamatos termelésben a finomszemű homok esetén a kút környezetében kialakuló vízszintcsökkenés rövid időn belül meghaladja a 15 m-t, durvaszemű homok esetén a 2 m-t, míg kavicsos homok esetén 0,2 m-t (1. ábra), a szivárgási tényező nagyságrendi változásának megfelelően. A vízszintváltozás a kútfüggvény kis értéke esetén logaritmikus jellegű [3], az idő növekedésével a vízszintcsökkenés (és a távolhatás) nő, míg a távolság növekedésével csökken. Ennek megfelelően a finomszemű homokos vízadó esetén 100 m-es távolságban a vízszintcsökkenés 4 m körüli, míg 1000 m távolságban 0,36 m (2. ábra). Nagyobb szivárgási tényezők esetén a hatás hamarabb jelentkezik, de a maximális érték alacsonyabb lesz.



1. ábra A vízszint csökkenése a kút tengelyétől 0,1 m-re folyamatos termelés esetén, különböző anyagú vízadó esetén

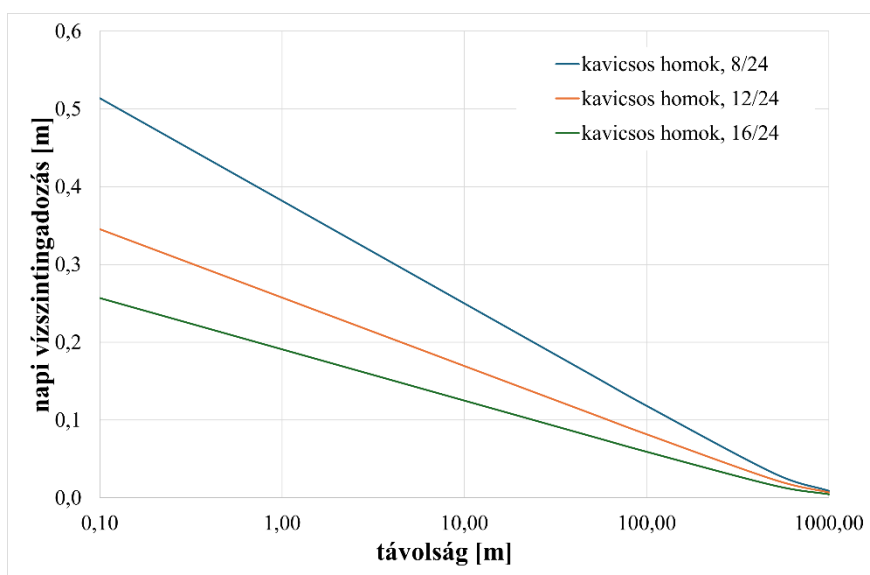
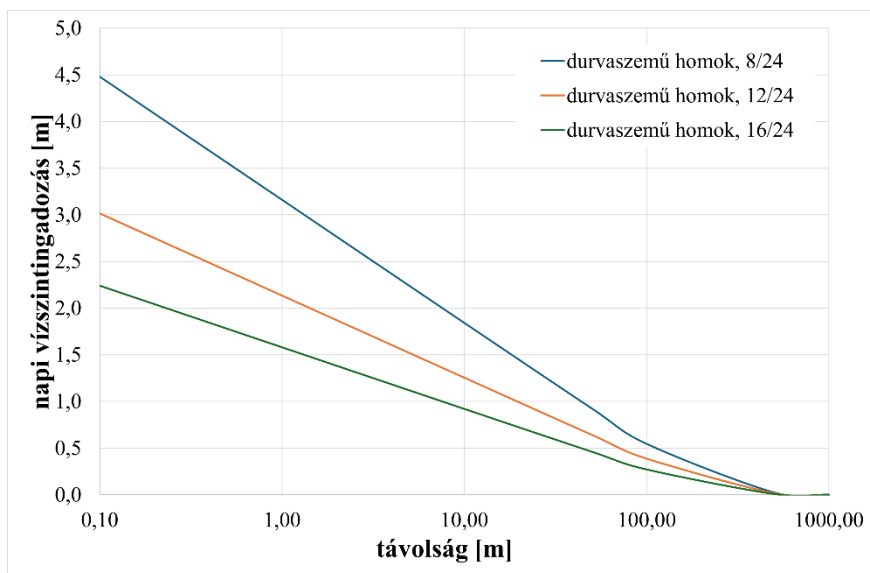
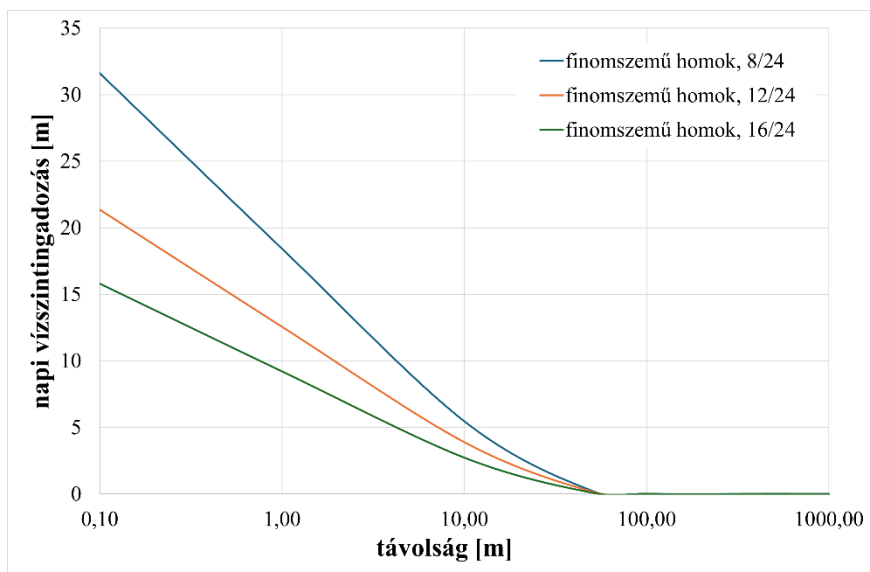


2. ábra A vízszint csökkenése finomszemű homok vízadóban a kút tengelyétől való távolság függvényében, folyamatos termelés esetén



3. ábra A különböző üzemeltetési rendek által okozott vízszintcsökkenések finomszemű homok vízadóban: órás értékek (fent) és az órás értékek napi átlagai (lent)

A napi periodikus kitermelés esetében az aktuális vízszintcsökkenések a termelési idő rövidültével megnőnek (3. ábra), melynek következtében szélsőségesen nagy vízszintcsökkenések is kialakulhatnak, azonban a napi átlagos vízszintek megegyeznek a különböző termelési sémákban. Az amplitúdók a kúthoz közelebbi zónákban, illetve a rövidebb vízkitermelés esetén időben mérsékelten változnak. 1 év elteltével az értékük a 4. ábrán bemutatott módon a távolsággal jelentősen csökken, azonban gyakorlati szempontból kimutatható marad. A finomszemű homok esetén 100 m-es távolságtól már a 120 m³/nap vízkivételű üzemelés első hónapjában 0,05 m-nél kisebb ingás várható, mely fél év eltelte után mindhárom üzemelési módban 0,01 m alá esik. Durvaszemű homok és kavicsos homok vízadó esetén 500 m-en 0,012–0,031 m vízszintcsökkenés alakul ki, mely 1000 m távolságban 1 cm alatti. A fentiek alapján megállapítható, hogy 1000 m-nél távolabb semelyik variánsban nincs érdemi hatása annak, hogy a vízkivétel nem folyamatos, hanem periodikus. A kapott adatok arányosak a kivett víz napi hozamával, azaz kisebb vízkivétel esetén a bemutatott vízszintingadozások is csökkennek.



4. ábra Napi vízszíntingadozások függése a távolságtól különböző üzemeltetési rendek és vízadók esetén

4. Következtetések

A vizsgált időszak alatt (1 év) nem alakult ki permanens áramlás, de a depressziók nagyságrendje kirajzolódik. A periodikus vízkivétel hatására az átlagos napi vízkivétel által okozott értékektől jelentősen eltérő vízszintek tudnak kialakulni a kúthoz közel, különösen, ha a vízkivétel rövid idejű. Mivel ez a kút és a vízáadó szempontjából is kedvezőtlen, ezért célszerű hosszabb idejű, azonos hozamú termelést tervezni. Nagyobb távolságokban, jellemzően 100 m-nél távolabb a napi vízszintingadozás értéke kicsi, cm-es nagyságrendű, mely a vizsgálandó problémák nagy részénél már elhanyagolhatónak tekintendő. A jelenség részletesebb vizsgálatát hosszabb működési idővel, más analitikus és numerikus modellek bevonásával, és átszivárgó rendszerek modellezésével tervezzük folytatni.

Irodalomjegyzék

- [1] C. V. Theis, „The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage,” Am. Geophys. Union Trans., vol. 16, pp. 519–524, 1935.
- [2] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Eds., *Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables* (Applied Mathematics Series 55). Washington, DC, USA: NBS, 1972, pp. 227–237.
- [3] H. H. Cooper and C. E. Jacob A Generalized Graphical Method for Evaluating Formation Constants and Summarizing Well Field History. Am. Geophys. Union Trans., vol. 27, pp. 526–534, 1946

Determination of the Relationship between Physical and Mechanical Attributes of Ornamental Stones Using Machine Learning Methods

¹Kyrillos Ghattas, ²Tamás Buday, ³Richard William McIntosh

^{1,2,3} Department of Mineralogy and Geology, Institute of Earth Sciences, Faculty of Science and Technology, University of Debrecen,

*buday.tamas@science.unideb.hu

Understanding the mechanical and thermal properties of rocks is crucial for safe engineering implementations, especially in geotechnically complex regions such as the Carpathian Basin. In this study, density as a function of hardness, determined based on Schmidt hammer rebound values, and thermal conductivity of rock samples were measured and analysed using machine learning techniques, such as the Active Learning Method (ALM) and the Artificial Neural Network (ANN). Determined models demonstrated the robustness of machine learning in capturing complex, nonlinear relationships in rock properties, with significantly lower Mean Absolute Error (MAE) and Root Mean Square Error (RMSE) values across both training and test datasets compared with a polynomial relationship as the first estimation. Moreover, non-destructive measurements combined with machine learning-based analysis are reliable and efficient alternatives for property estimation, even for in situ rock samples, when laboratory testing is unfeasible.

5. Introduction

The thermal and mechanical properties of rocks are crucial in various geotechnical and geological engineering applications, such as mining, oil extraction, and civil engineering. These properties determine how rock masses respond to external stress and are crucial for designing safe and efficient structures, such as buildings, dams, and underground energy storage facilities. Accurately determining these properties is therefore vital.

However, conventional methods for evaluating rock properties are often expensive, time-consuming, and require labour-intensive sample preparation, which may not always be feasible. Moreover, these traditional techniques struggle to fully capture the complex, non-linear interactions and natural heterogeneity found in rocks. Factors, such as mineral composition, bonding strength, and porosity (which relates to rock density), significantly affect the mechanical and thermal behaviour of rocks [1]; consequently, the relationship in the reverse direction is also predictable.

Artificial Neural Networks (ANNs), inspired by the human brain and nervous system [2], are widely used in machine learning for the above purposes. However, for complex problems, ANNs often require substantial computational resources and time. In contrast, the Active Learning Method (ALM) offers a more resource-efficient alternative. Prediction functions can also be developed using soft computing techniques [3].

Soft computing offers powerful tools to model complex systems that involve uncertainty, non-linearity, and hidden relationships. Techniques like fuzzy logic, evolutionary algorithms, and neural networks allow for approximations that can be applied through machine learning. These models can identify patterns in training data and make predictions in cases where direct measurements are difficult. The accuracy and generalizability of such models can then be assessed using test datasets.

The relationship between density (ρ), which is difficult to measure non-destructively, and the strength (rebound value, R) and thermal conductivity (λ), which, in some cases, can be measured simply and non-destructively, was investigated. In all three parameters, porosity is an important factor, so a correlation between the measured values of the different physical quantities is assumed. For the analysis, we use a themed collection of ornamental stones exhibition, causing certain limitations; thus, non-destructive measurements and soft computing techniques were applied to establish empirical relationships between the parameters.

6. Data and Methods

The "Stone Cube" collection at the University of Debrecen is a curated selection of building and decorative stones from the Carpathian Basin. The name reflects the cubic shape of the patterns, which are polished, cut, carved or have a natural surface, with edges about 10 cm long.

A total of 61 samples were selected based on their suitability for measurement. The collection mainly consisted of limestones (26 samples), along with:

- Intrusive igneous rocks: granite (7 samples) and diabase (3 samples).
- Volcanic rocks: basalt (1 sample), andesite (9 samples), trachyte (1 sample), rhyolite (1 sample), rhyolitic tuff (2 samples).
- Other types: sandstone (4 samples) and marble (7 samples).

Mass was measured using a standard scale, and volume was determined using the water displacement method. The bulk density (ρ) of each sample was calculated as the mass-to-volume ratio. A Schmidt hammer (type L, with reduced impact energy) was used to measure the rebound value (R), which is indicative of the rock's strength [4]. Thermal conductivity (λ) was measured using a Hukseflux TP01 sensor on each sample's polished surface, near the points where rebound measurements were taken. The results of the measurements are presented in [5] and Figures 1 & 2.

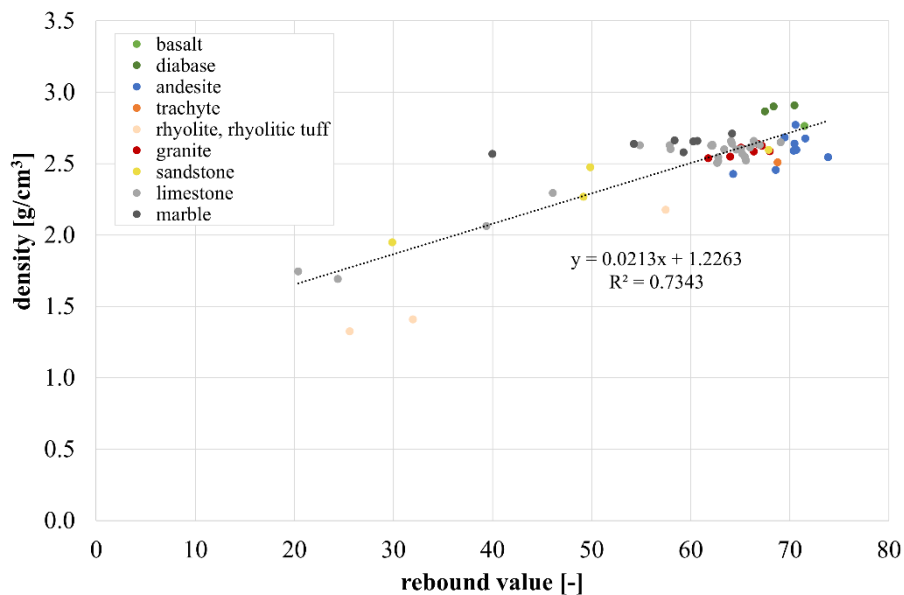


Figure 1. Used dataset for determination of density from rebound values

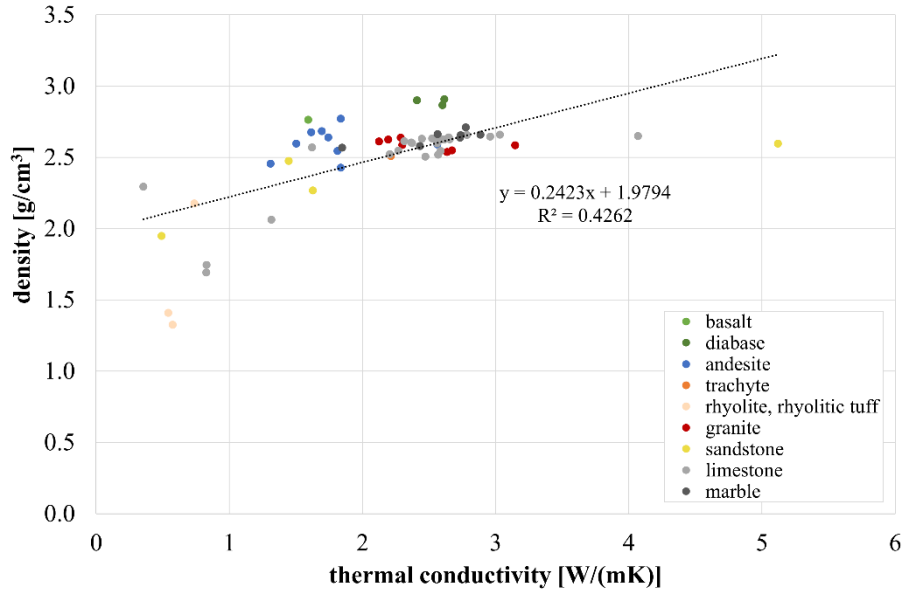


Figure 2. Used dataset for the determination of density from thermal conductivity values

Next, the rock samples were randomly divided into two groups with a ratio of 80:20:

- 48 samples were used as the training dataset.
- 13 samples were used as the test dataset.

The test group is formed from 20 % of the samples. This grouping was consistently applied across all analyses. The study investigated the possibility of estimation of density based on

1. rebound value;
2. thermal conductivity;
3. both rebound value and thermal conductivity.

A standardized version of these data is used for further analysis based on the following formula:

$$x_n = \frac{x_m - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

where x_m represents any of the measured parameters, x_n is the normalized value, x_{min} is the minimum observed value, and x_{max} is the maximum observed value.

These relationships were examined using machine learning methods. Initially, linear regression was performed in Excel on the training dataset to estimate the relationship, calculating the slope and intercept of the best-fit line for both simple and multiple linear regression.

To explore non-linear relationships, Active Learning Method (ALM) was applied. This fuzzy-based approach models macro-level reasoning using single-input single-output (S.I.S.O.) and multiple-input single-output systems (M.I.S.O.). In the single-input single-output method, the Ink Drop Spread (IDS) method is used with a triangular kernel to "thicken" the data, while the Centre of Gravity (COG) method was employed for "thinning" to define the narrow path, which serves as the predicted curve for the dependent variable (Figure 3).

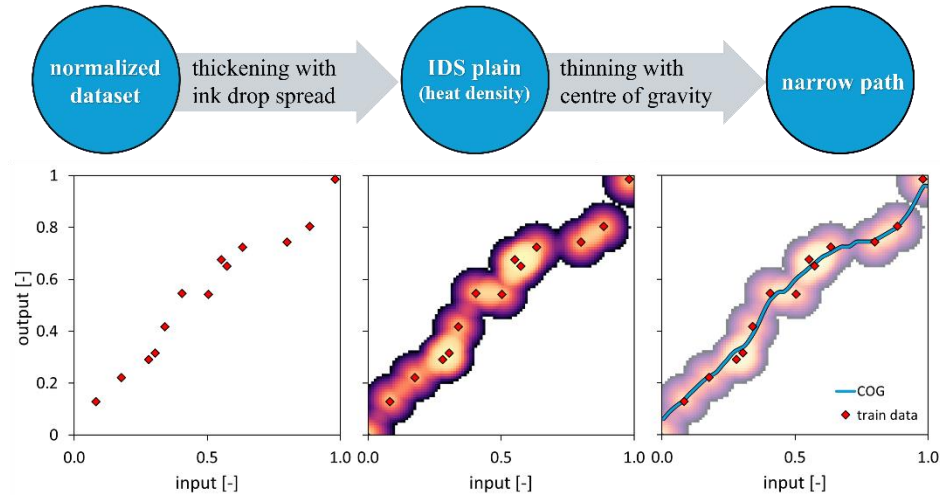


Figure 3. Main scheme of the ALM

To represent the overall M.I.S.O. system, the extracted Narrow Paths (NPs, $\psi_i(x_k)$) from all the individual IDS planes are used as several distinct S.I.S.O. models. Each of these models captures a unique input–output interaction. In the ALM framework, a specific measure termed the confidence level is assigned to each S.I.S.O. model based on the consistency of its data. This confidence level functions as a fuzzy weighting factor in generating the model's output. It is determined by evaluating how tightly the data points cluster around the Narrow Path in each X_i – Y plane. Mathematically, this is done by taking the inverse of the data spread around the NP, with smaller spreads indicating stronger confidence. Essentially, the tighter the data alignment with the NP, the better that NP reflects the input–output behaviour. A wider spread implies more deviation and, consequently, lower confidence. The formula used to quantify this spread (v_i) is presented as:

$$v_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (\psi_i(x_k) - y_k)^2$$

where n denotes the number of data samples, and (x_k, y_k) corresponds to the position of the k -th data point on i -th S.I.S.O. plane.

Consequently, the confidence level (θ_i) is derived through:

$$\theta_i = \frac{1}{v_i}$$

An interpolation-based approach is applied to compute the output (Y , estimated dependent variable):

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n \theta_i \psi_i(x_k)}{\sum_{i=1}^n \theta_i}$$

In parallel, an Artificial Neural Network (ANN) model was developed using Python and the Keras package (Figure 4). The ANN architecture consisted of two hidden layers, each containing seven neurons.

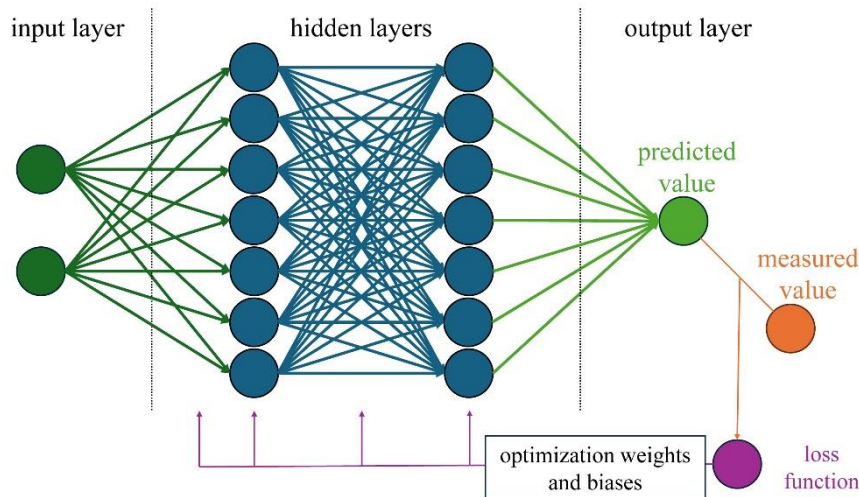


Figure 4. Main scheme of the ANN

The first hidden layer of the ANN uses Rectified Linear Unit (ReLU) activation functions, while the second layer applies hyperbolic tangent (tanh) activation functions. The output layer uses a linear activation function. The model is trained using the mean squared error (MSE) as the loss function and ADAM as the optimization algorithm. Once optimized, the model calculates the relative density of samples for the measured rebound and thermal conductivity pair of values.

To evaluate model performance, the following metrics were computed for comparing predicted values with the actual measurements for both training and test datasets:

- Mean Absolute Error (MAE).
- Root Mean Squared Error (RMSE).
- Coefficient of determination (r^2).

7. Results and Discussion

Based on the calculated metrics, the rebound dataset is more appropriate to predict the density value than thermal conductivity, as MAE and RMSE values are lower, while r^2 is higher in both the training and test datasets. Linear regression usually has lower r^2 and higher MAE and RMSE values in the training dataset than ALM S.I.S.O. predictions, thus ALM is better for the prediction.

ALM M.I.S.O. prediction consistently performs better than S.I.S.O. predictions in terms of error metrics (MAE and RMSE) in the test datasets and predictions from training data of thermal conductivity, however, there is no significant change in the metrics values of training data compared with the prediction from only the rebound dataset.

ANN has a similar prediction force on the dataset as ALM M.I.S.O.; its parameters are less favourable in the cases of the training dataset, but more favourable in the test dataset.

Table 1. Calculated metrics of prediction of density values, single input

Method	Linear regression R to ρ		Linear regression λ to ρ		ALM (S.I.S.O.) R to ρ		ALM (S.I.S.O.) λ to ρ	
	Training	Test	Training	Test	Training	Test	Training	Test
MAE	0.0755	0.0670	0.0951	0.0844	0.0410	0.0895	0.0595	0.0966
RMSE	0.1056	0.0918	0.1475	0.1250	0.0668	0.1246	0.1166	0.1530
r^2	0.7121	0.7883	0.4385	0.6071	0.8932	0.6330	0.7210	0.5994

Table 2. Calculated metrics of prediction of density values, multiple input

Method	Linear regression		ALM (M.I.S.O.)		ANN	
Dataset	Training	Test	Training	Test	Training	Test
MAE	0.0712	0.0388	0.0442	0.0686	0.0626	0.0514
RMSE	0.0991	0.0483	0.0668	0.0965	0.0877	0.0718
r^2	0.7464	0.9414	0.8937	0.7791	0.8012	0.8868

Single-input models are more accurate when we estimate the density from the rebound or the thermal conductivity, than the estimation of rebound or thermal conductivity from density [6] when ALM estimation is used, which may be caused by the different data distribution.

Multiple input models (Figure 6) have more accurate estimation than single input models (Figure 5) in the entire range of interpretation. ALM M.I.S.O. is more accurate in the training dataset in the case of low and medium-density samples than linear regression and ANN. The less accurate prediction is related to the diabase samples, which have a higher density than the other rocks with similar rebound values or thermal conductivity (Figures 1 & 2). In their case, ANN and linear regression give better predictions. Thermal conductivity is influenced not only by porosity but also by the lack of SiO_2 and the presence of Fe-rich minerals, which suggest the necessity of involving new parameters for better predictions. However, these parameters cannot be measured easily with non-destructive methods. With the increasing number of complex geological input parameters and their non-linear relationships, the effectiveness of machine learning is expected to continue to grow. The accuracy of these models could also be improved by increasing the number of samples, especially in the case of porous rocks, and by balancing the proportions of certain rock types. This would allow the identification of distinct subgroups within the data without creating low data density, which negatively affects the analysis, especially ALM.

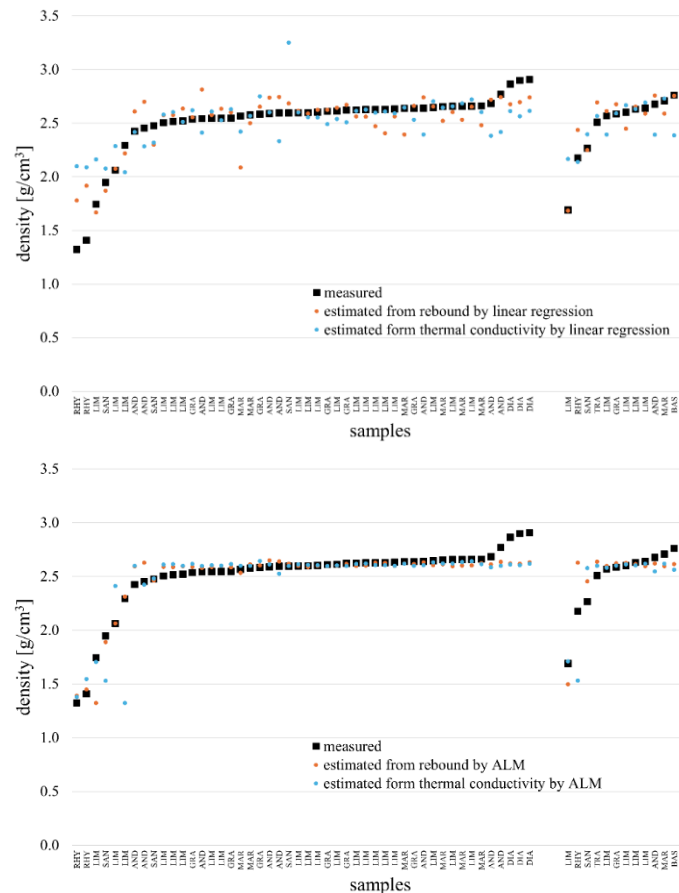


Figure 5. Comparison between measured and predicted data by linear regression (above) and ALM (below)

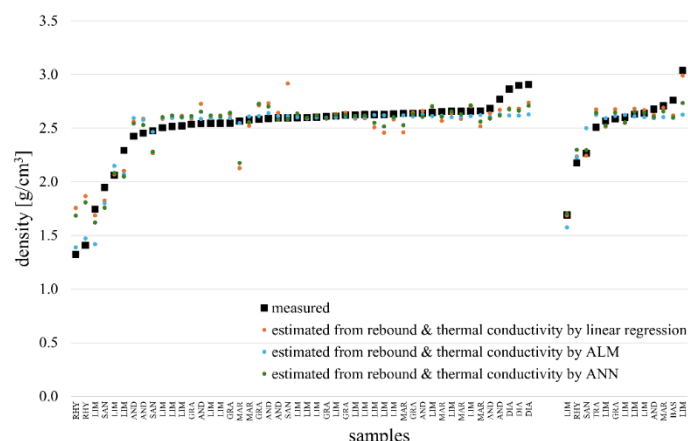


Figure 6. Comparison between measured and predicted data from multiple input estimations

8. Conclusions

In this study the density, hardness, and thermal conductivity of certain building and ornamental stones in the Carpathian Basin were measured. The methods that could be used to determine density from mechanical and thermal properties that could be measured without causing damage were examined and their degree of accuracy was assessed. The results show that both hardness (measured by rebound value) and thermal conductivity correlate positively with density, but the correlation is stronger for hardness. Taking both parameters into account and using machine learning models (ALM and ANN) consistently provided a more accurate representation of these relationships than estimates based on a single variable and linear regression, as indicated by the MAE and RMSE values in the training and test datasets. Moreover, incorporating additional input variables, such as porosity or quartz content, could further enhance the accuracy of the estimation.

References

- [1] E. C. Robertson, "Thermal Properties of Rocks". Geological Survey, US Department of the Interior, USA, Open-File Report 88-441, 1988
- [2] Y. Tian, M. Shu, and Q. Jia, "Artificial Neural Network," in *Encyclopedia of Mathematical Geosciences*, B. S. D. Sagar, Q. Cheng, J. McKinley, and F. Agterberg, F., Eds., Switzerland: Springer, 2003, pp. 43–47.
- [3] F. Bahrpeyma, C. Cranganu, and B. Z. Dadaneh, "Active Learning Method for Estimating Missing Logs in Hydrocarbon Reservoirs," in *Artificial Intelligent Approaches in Petroleum Geosciences*, C. Cranganu, H. Luchian, and M. E. Breaban, Eds., Springer, 2015, pp. 209–224.
- [4] I. S. Buyuksagis and R. M. Goktan, "The effect of Schmidt hammer type on uniaxial compressive strength prediction of rock," *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, vol. 44, pp. 299–307.
- [5] T. Buday, R. W. McIntosh, K. S. Ghattas, and E. D. Mucsi, "Mechanikai és hővezetési vizsgálatok a Debreceni Egyetem "kőkocka" gyűjteményén," *Ahány kő, annyi történet. 14. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés Előadás- és poszterkivonatok*, T. Buday, Á. Csámer, R. W. McIntosh, K. Molnár, and A. Virág, Eds., Hungary: HUN-REN Atommagkutató Intézet, 2024, pp. 22–25.
- [6] K. S. Ghattas, T. Buday, R. W. and E. D. Mucsi: "Soft computing analysis of mechanical and thermal properties of rocks in a thematic collection of the University of Debrecen," *Ahány kő, annyi történet. 14. Kőzettani és Geokémiai Vándorgyűlés Előadás- és poszterkivonatok*, T. Buday, Á. Csámer, R. W. McIntosh, K. Molnár, and A. Virág, Eds., Hungary: HUN-REN Atommagkutató Intézet, 2024, pp. 38–41.

Gyártósori hatékonyság növelése az Unilever Magyarország Kft.-nél lean eszközök alkalmazásával

¹Antal Tamás, ²Vass Mark, ³Kovács Zoltán

^{1,2,3} Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet
antal.tamas@nye.hu

A termelés hatékonyságát veszélyezteti az egyes gépek gyakori megállása. A gyár termelési rendszeréből összegyűjtött információik alapján hamar kiderült, hogy melyek ezek a kritikus gépek és a kivizsgálás után számos optimalizálásra váró folyamatot találtunk. A legnagyobb veszteség a kupakok elakadásához volt köthető, illetve a flakon-összeterelő csigáknál a flakonok borulása volt jellemző. A kupakok szállítását egy rezgőmotor által mozgatott tálca végzi, melynek hatékonyságát a megfelelő karbantartási folyamatok és a beállítási pontok alkalmazásával sikerült javítani. A flakon borulást a flakon-összeterelő csigák megfelelő vezérlésének a kifejlesztése oldotta meg. Az adatok első elemzésekor a sor átlagos hatékonysága három hónapra számolva 55% volt, amely nagyon alacsonynak számít. A cél, amelyet a vállalat meghatározott az a 70%-os hatékonyság elérése, olyan módon, hogy azok fenntarthatók és ellenőrizhetők legyenek az operátorok és a vezetőség számára egyaránt.

Kulcsszavak: Lean, veszteségvizsgálat, PDCA ciklus, 6W2H dokumentáció, 5M halszálla diagram

1. Bevezetés és célkitűzés

A lean filozófiájában a vevő szempontjából nézve az értékteremtést helyezi a középpontba, tehát minden olyan tevékenység, amely a vevő számára nem ad értéket a termékhez vagy szolgáltatáshoz, azt veszteségnek tekint. A lean eszközök a folyamatos fejlesztés és hatékonyság növelésének érdekében egy olyan vállalatirányítási rendszert biztosít, amely képes azonosítani a veszteségeket, növelni a termelékenységet és optimalizálni a munkafolyamatokat, ha a megfelelő módon vannak használva. A lean eszköztár különböző problémákra különböző vizsgálati módszereket biztosít, néhány fontosabb ilyen eszköz az 5S rendszer, a Pareto elv, a gyökér ok elemzés, a halszálla diagram, vagy a PDCA ciklus [1].

A dolgozat célkitűzése a gyár legújabb gyártósorának a hatékonyság növelése a minőségből eredő veszteségek csökkentésével, illetve a soron levő gépek egymás közötti termékek szállításának az optimalizálásával. A legtöbb veszteséget okozó gép azonosítására a gyár saját fejlesztésű rendszerét az ún. Minerva-t használtuk, amelyben a nap 24 órájában az év 365 napjában minden rendelkezésre áll, amely 1 percnél tovább tart, rögzítésre kerül. A kivizsgálások lépéseit követve keressük a gyökér okokat, majd megoldásokat javasolunk, végül az operátorok segítségével a gyakorlatban kivitelezük a megoldásokat.

2. Módszertan

Az Unilever nyírbátori gyárában 12 gyártósoron folyik termelés nap mint nap. Minden gyártósor a maga módján különleges, hiszen nincs két olyan sor, amelyen ugyanazt a terméket gyártják le, ezért minden sor külön névvel rendelkezik, amelyet egy-egy híres személy ihletett.

Ebben a műben bemutatott sor a gyár jelenleg egyetlen női névre hallgató sora, a lengyel származású Marie Curie vegyész és fizikus után, amelyet 2021-ben kezdtek el telepíteni és 2022 első negyedévében már csomagolták is a különböző szórófejes termékeket. A termékek széles skálája megtalálható a soron: Cif, Domestos, Savo, Flóraszept, melyeket két flakon méretben tud a sor gyártani az 500ml és 750ml kiszerelésben.

A vizsgálat alá vont gyártósor rövid ismertetése: A sor eleje a flakonrendező géppel kezdődik, ahova a kész flakon egy úgynevezett „hole in the wall” technológián keresztül kerül a csomagolószorra. A flakonrendező gépben megtörténik a csomagolóanyagok pozícionálása, a nagy volumen biztosítása miatt egyszerre két flakonrendező dolgozik a soron. Az innen kikerülő flakonok két külön szállítószalagon haladnak a flakon-összeterelő csigához, ahol egy konvektor pályára kerülve haladnak tovább. Ezt követően a flakonorientálóba kerülnek, ahol a töltéshez megfelelő irányba fordulnak. A még mindig üres flakonok eljutnak a töltő-kupakoló géphez, itt a töltésre kerül sor, majd a szórófejes kupak szívószállal együtt felhelyezésre kerül, ezennel a csomagolóanyag lezárása megtörténik. Következő lépés a címkézés, ezt követi a zsugorfólia ráhelyezése a flakonra, amit egy gőzlagút segítségével tudnak végleges állapotba hozni, majd rákerül a borításra a gyártási kód. A soroló gép 10 sorba 6-6 flakont rendez, így készíti elő a robot megfogó fejeinek a megfelelő mennyiséget. Összesen 18 flakont fog meg a robot és helyez be egyszerre 6 kis vagy 3 nagy méretű dobozba. A dobozzáró gép lezárja a dobozok tetejét, rákerül a gyártási dátum és végül a mérlegelés tájékoztat arról, hogy a megfelelő mennyiségű termék van-e a dobozban. Ezután egy spirál felvonón a dobozokat a palettázó géphez szállítják.

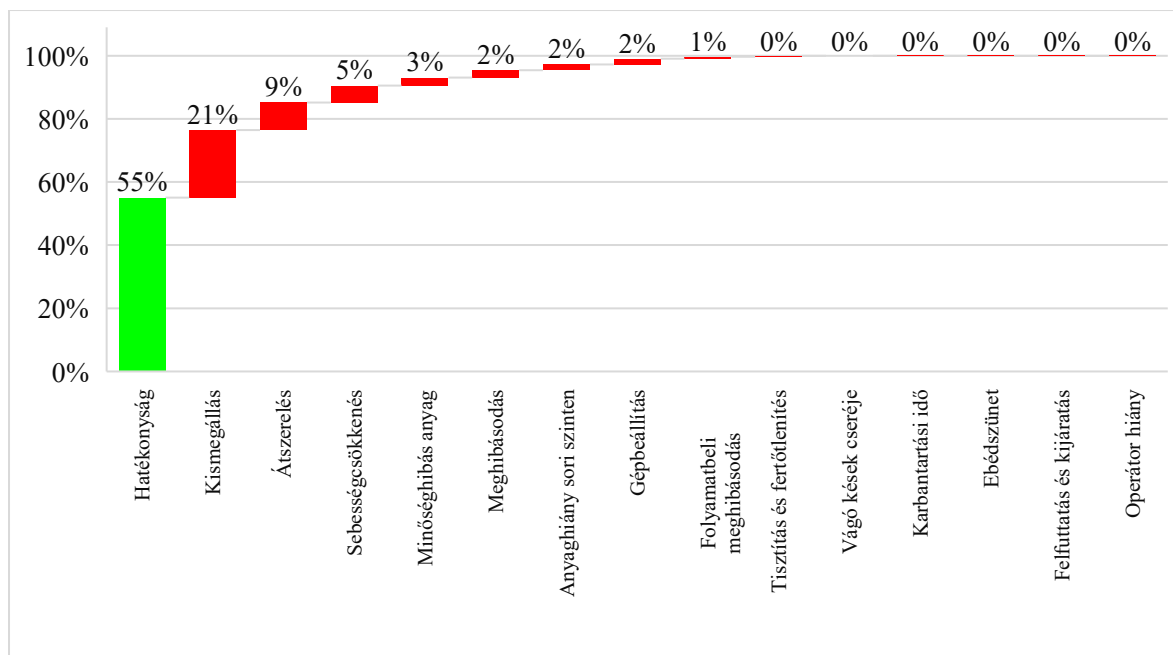
A gyár saját fejlesztésű rendszerének, a Minervának, a hibanaplózásából gyűjtöttük össze az adatokat és Excel táblázatba rendezve készítettük el a megfelelő diagramokat. Ez a hibanaplózási rendszer úgy van kialakítva, hogy automatikusan határozza meg az állás kezdetét és végét, ebből meghatározza az állás hosszát, a sor nevét, az operátor nevét, aki a következő adatokat tölti be a rendszerbe: gép, gép részegysége, gépállás oka, illetve, ha szükséges akkor megjegyzést is tud írni. A három főbb veszteségforrás, tehát a kismegállás, sebességcsökkenés és átszerelés, ezek a fogalmak megértése alapvető a helyes kivizsgálás elvégzése érdekében.

A kismegállások minden olyan állásidőt magukba foglalnak, amelyek 10 percnél rövidebbek és nem betervezett a termelési folyamatban.

A sebességcsökkenés kapcsolódik a megállásokhoz, hiszen azt, a rövid időt foglalja magába ameddig a sor a névleges sebességről lecsökken 0 flakon/perc-re és induláskor meg 0 flakon/perc-ről ameddig a sor eléri a névleges termelési sebességet.

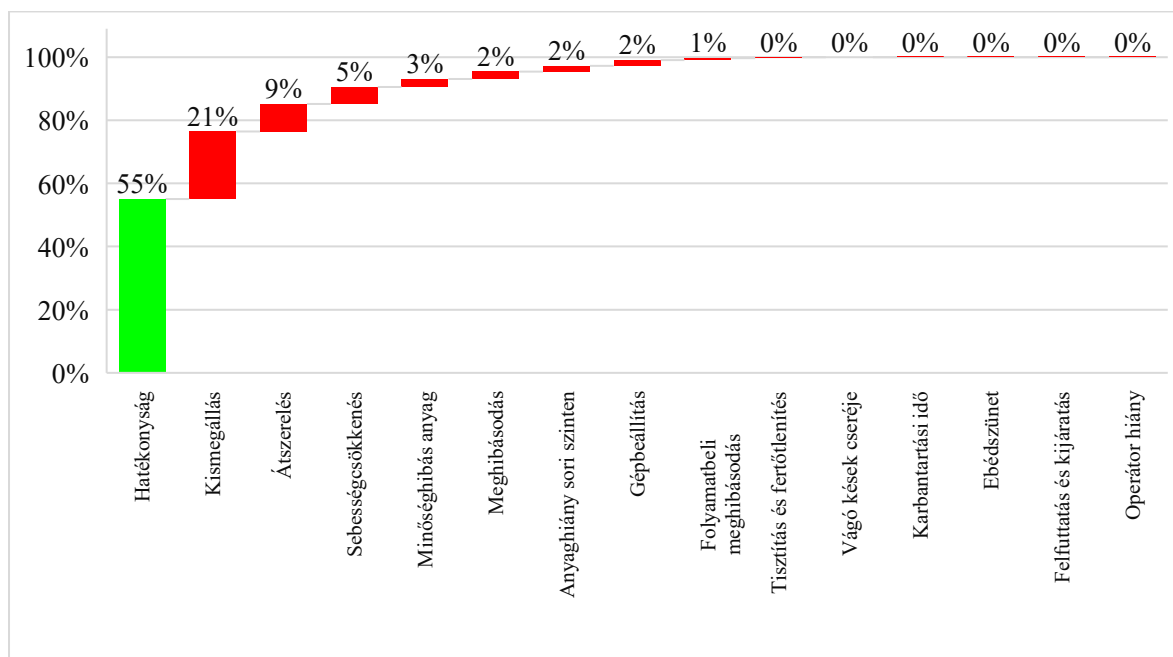
Az átszerelés azokat a tevékenységeket foglalja össze, amelyek tervezettek és ez az idő alatt az operátorok különféle feladatot kell, hogy végrehajtsanak (termékváltás, méretváltás, cikkszám-váltás stb.).

Veszteségek terén, ahogy az 1. ábra mutatja 21,3%-os kismegállással, melyhez 5,3%-os sebességcsökkenés társul, illetve a másik nagy veszteség az átszerelések ideje, amely 8,8%-ot jelent.



1. ábra: Vizesés diagram a veszteségekről (Curie sor) Forrás: Saját szerkesztés

A Pareto-elv alapján a veszteségek 80%-a a legfőbb veszteségek 20%-ból származik [2], ez az elv alapján összegyűjtöttük a 2023 július-szeptember hónapokban keletkezett kismegállások összidejét, és ebből kiválasztottuk a 10 legjelentősebbet, amelyek eloszlása százalékban a 2. ábra szerint alakult. A diagramon látható az a négy problémás terület (kupakoló, töltő, csomagoló gép és összeterező csiga – piros színnel jelölve), ahol a kivizsgálásokat elvégeztük.



2. ábra: A veszteségek gépszinten százalékban (Curie sor) Forrás: Saját szerkesztés

3. Eredmények

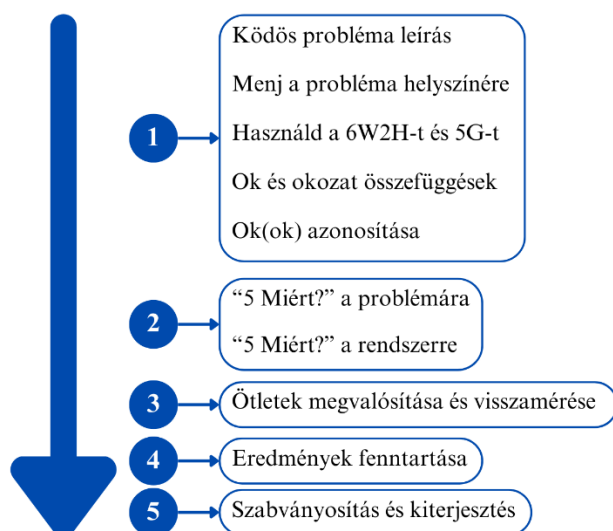
A kritikus négy gép kivizsgálását az ún. PDCA (tervezni – tenni – ellenőrizni - cselekedni) ciklusban [3] végeztük el és ennek megfelelően kerülnek majd bemutatásra is.

3.1. Kupakoló gép

A kupakoló gép a vizsgált három hónap alatt 2057 perc (34,3 óra) állásidőt generált 810 darab állásból, tehát havonta átlagban 685,7 percet (11,4 óra), amely 270 állást eredményezett. Ez a veszteség miatt havi szinten átlagosan 137.000 termékkel kevesebbet tudott termelni a sor.

Első lépés a tervezés, ezért meg kellett határozni a folyamatot, amellyel a kivizsgálást végrehajtjuk, mivel ez adott volt, az Unilever Manufacturing System (Unilever Gyártási Rendszer) által elvárt gyökér ok elemzés [4] (3. ábra) lépéseit követtük és célul tűztük ki, hogy az állásidőt a felére csökkentsük. A 3. ábrához végzett adatgyűjtés alapján a legnagyobb veszteség a kupakoló gépnél keletkezett, amely a gyártósoron, a töltő-kupakoló gépben található meg.

Kivizsgálás részletessége érdekében a kupakok teljes útszakaszát megvizsgáltuk onnan kezdve, hogy bekerültek a gyártási láncba.

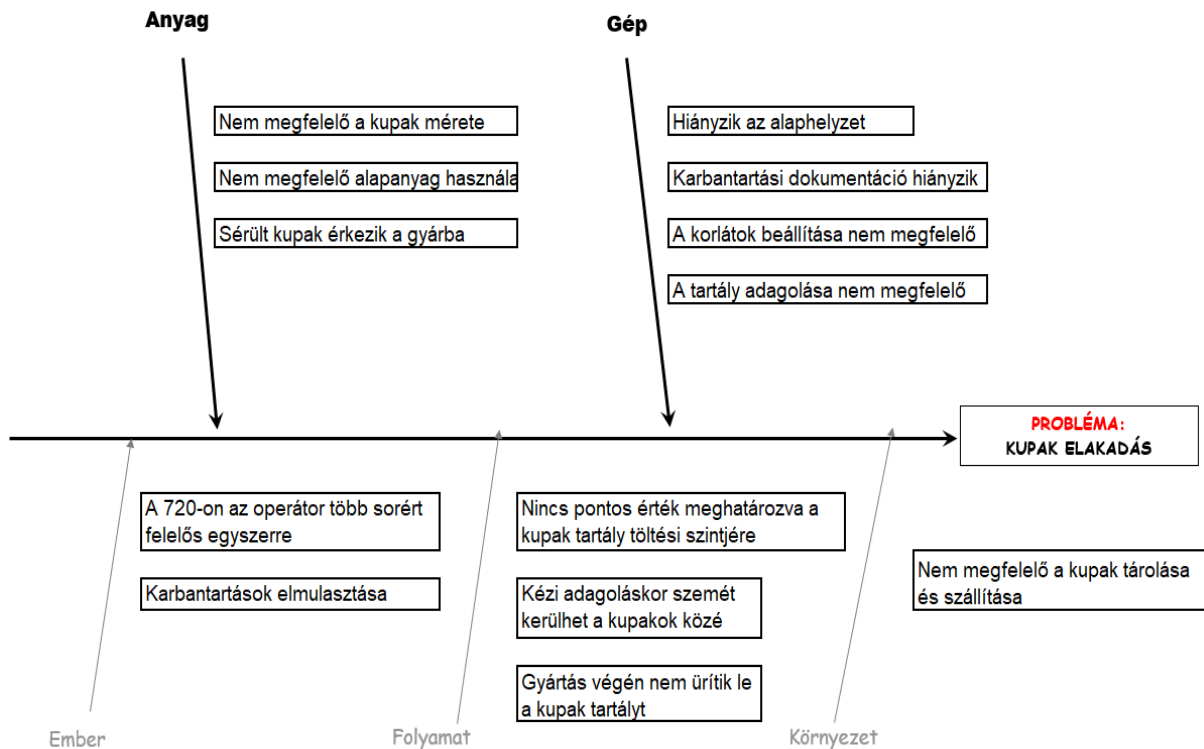


3. ábra: Unilever gyökér ok elemzés lépései

Forrás: Saját szerkesztés

A probléma meghatározásához első körben a Minerva rendszerben rögzített adatok segítettek, amelyek alapján a megállások fő oka a kupak elakadás volt és azt is megtudtuk, hogy a kupakrendező gépben és a kupakoló gépben egyaránt előfordul a jelenség.

Ezután megvizsgáltuk a probléma lehetséges gyökér okait, amelyeket öt kategóriára osztottuk: anyag, gép, ember, folyamat és környezet (4. ábra) [5].



4. ábra: 5M halszálka diagram (részlet a kivizsgálásból) Forrás: Saját szerkesztés

A gyárba érkező kupakok közül a szállítás során egyetlen sérült kupakot sem találtunk, ennél fogva kizártuk azt a lehetőséget, hogy szállítás során sérülnek meg. Az adagoló tartálynál, viszont több problémát is megfigyeltünk: Szűk nyílások voltak a tartály oldalán, ahova a kupakok szárai be voltak szorulva. Az operátorok nem követik az előírt adagolási szintet, túltöltik a tartály, ezért nagyobb mennyiség kerül a veszteségmentes szalagra, mint amennyi szükséges lenne. Olyan megoldást kellett alkalmazni, amely egyértelmű (bolondbiztos) és megkönnyíti az operátor feladatát. A tartály oldalán levő nyílásokat lezártuk és a tartály maximális töltési szintjét jól észrevehető piros vonallal szemléltettük. A javaslatok alkalmazása ellenére, még mindig gyakori volt a görbe szárú kupak jelenléte a soron, ezért tovább vizsgáltuk az esetet és arra a következtetésre jutottunk, hogy annak ellenére, hogy alacsonyabban van a töltési szint, az adagolás nem folyamatosan történik, hanem egyszerre nagyobb mennyiségek kerülnek a veszteségmentes szállítószalag lemezei közé.

Egy rezgőmotorra helyezett lemez segítségével sikerült elérni, hogy az adagolás olyan mértékben és mennyiségben történjen, amelyben a kupakok szárai nem szenvednek maradandó deformációt (5. ábra).



5. ábra: Az adagoló tartály fejlesztése Forrás: Saját szerkesztés

3.2 Töltő és csomagoló gép

A töltő és csomagoló gép esetében mivel a problémák jellege hasonló volt, ezért egyszerre mutatjuk be azokat. A töltő gép a három hónap alatt 846 perc (14,1 óra) állásidőt generált 189 darab állásból. Havi szinten a 63 darab állás 282 perc (4,7 óra) állásidőt eredményezett. A csomagoló gép esetében három hónap alatt 721 percnyi (12 óra) állásidő keletkezett 396 darab állásból. Havi szinten ez átlagosan 240 perc (4 óra) állásidőt okozott 132 darab állásból. A két gép együttesen 8,7 óra kihasználatlan időt okozott havonta, amely idő alatt a sor még 104.400 flakont töltött és csomagolt volna be.

A Minerva rendszer alapján mind a két gépnél a flakon borulás és flakon karambol volt a legmeghatározóbb, de a csomagoló gépnél a flakon elakadás is jellemző volt. Az állások időpontjából következtetve azt vettük észre, hogy ezek a problémák átszerelések és méretváltások után jelentkeznek sűrűbben. A következő első átszereléskor részt vettünk a folyamatban és segítettünk az operátoroknak hamarabb elvégezni a feladatot, a tapasztalat az volt, hogy az átszerelési folyamatban sokszor elakadtunk abban, hogy mit és hova kell beállítani, illetve többször előfordul az, hogy a cserealkatrészeket összetévesztettük. A 6W2H dokumentáció alapján közben kiderült, hogy a beállítási pontok értékei nincsenek betartva a soron és a gépeket átszereléskor a termék méretére vagy saját jelölésük alapján állítják be az operátorok.

Az ilyen helyzetek kezelésére tökéletes megoldás a 6W2H, hiszen a dokumentáció második részénél már meg is követeli, hogy a teljes gépet alapállapotba kell helyezni, ez vonatkozik a beállítási pontokra is [6]. Tehát a feladat adott volt, mindegyik gépen meg kellett határozni az adott méretre a megfelelő beállítási pontok értékét, jelölni a soron és betartani azok használatát.

A sor teljes átszerelésének átlagos ideje két fővel számolva 128 perc volt a vizsgált időszakban. A folyamat része a cserelakatrészek váltása a méretnek megfelelően, a korlátok és más elemek megfelelő méretre való beállítása, amelyek lehetnek számlálóval ellátott kézikérék vagy marokcsavarok, illetve rögzítő karok. A megoldás elérése érdekében az 5S lépéseit alkalmaztuk, melynek célja az átszerelés pontosságának és egyszerűségének elősegítése, illetve az átszerelési

idő csökkentése a teljes gyártósorra [7]. A töltő-kupakoló gép esetében átszereléskor 6 db csillagkereket cserélni kell, de mivel azokat két félkörívben kellett felhelyezni lassította a folyamatot. A javaslat, a két ív összeillesztése, hegesztett kötéssel, ahol nem akadályozta a felhelyezést, ezen kívül 3D-vel nyomtatott számjegyeket illesztettünk a megfelelő orientáció könnyebb meghatározása érdekében. Majd a cserealkatrészt szállító kocsin, a sorszámok alapján fényképpel ellátott hatékony elrendezési sorrendet alakítottunk ki a csillagkerekek és a korlátok számára (6. ábra).



6. ábra: Cserelakatrészek elrendezése a szállító kocsin vizualizációval ellátva Forrás: Saját szerkesztés

A következő lépés a megfelelő beállítási pontok meghatározása, dokumentálása és standardizálása volt. A töltő és csomagoló gépek esetében 3, illetve 45 olyan beállítási pont van, amelyet az operátoroknak manuálisan kell a megfelelő értékre beállítaniuk és külön megnevezítette a feladatukat, hogy egyes helyeken hiányos vagy helytelen volt a jelölés. A megfelelő értékek meghatározásához többszöri átszerelés után összegyűjtöttük az értékeket és az esetleges eltérésekre, igyekeztünk egy szűk toleranciát felállítani, amely útmutatást nyújt az operátoroknak, abban az esetben, ha például a legyártott flakonok valamelyik specifikációja eltér a megszokottól. Az optimális értékeket ezután frissítettük minden gép átszerelési útmutatójában, amelyet a soron felhelyeztünk a gép oldalára és vizuális jelölést alkalmaztunk a beállítási pontok számozására, illetve a középértékekre, toleranciával ellátva.

3.3 A flakon-összeterelő csiga

A flakon-összeterelő csiga a flakonrendező után gép, amelynél a két szállítószalagon érkező flakonokat egy szállítószalagra vezetjük át és innen haladnak tovább az orientáló géphez. A vizsgált három hónap alatt 601 perc veszteséget okozott a 426 darab flakon borulás, amely átlagosan számítva havonta 200 perc állást igényelt, tehát 40.000 flakonnal tudott volna többet termelni a sor.

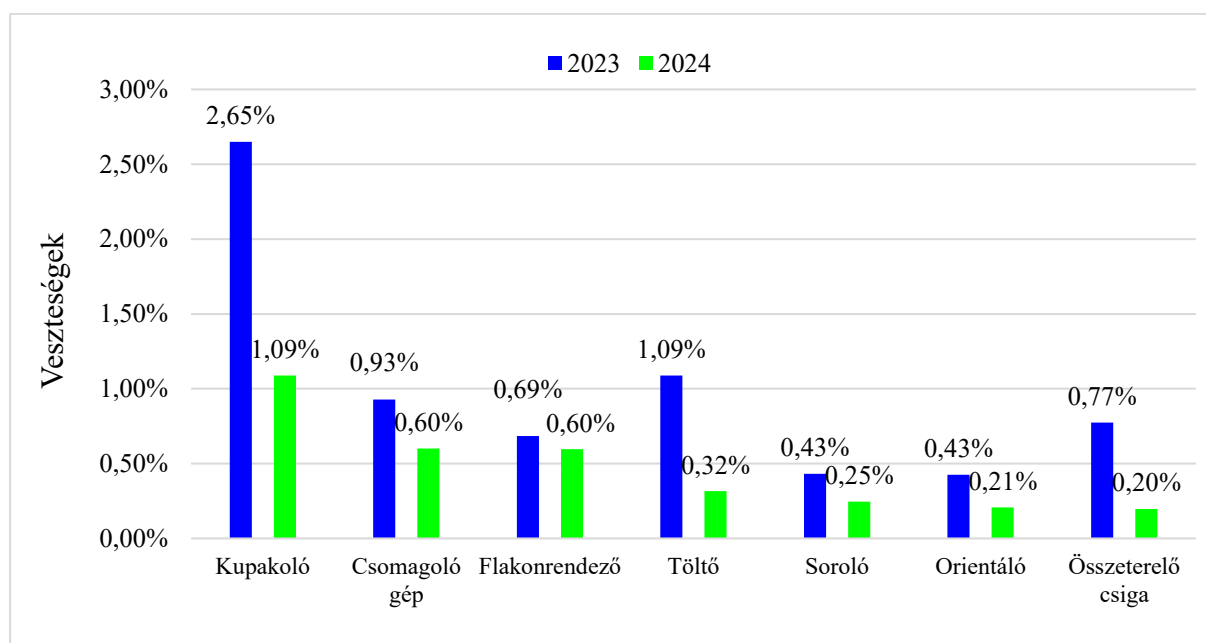
A Minerva rendszer alapján a probléma a flakon-összeterelő csigánál csak a flakon borulás, mind a két típusú flakonnál, de nagyobb mértékben ez a kisebb flakonokra volt jellemzőbb. A kivizsgálási dokumentációban a 6W2H lépései alapján azt vettük észre, hogy az egyik szalagon gyakrabban borulnak a flakonok, mint a másikon. Következő lépés a halszálla diagram, amely

alapján az ok-okozati összefüggésekben megvizsgáltuk a lehetséges javaslatokat. Azt állapítottuk meg, hogy a flakonok haladási sebessége és a csigák forgási sebessége okozhatja a flakonok borulását.

A szállítószalag sebességének ellenőrzésénél azt tapasztaltuk, hogy tartotta a névleges gyártási sebességet, viszont az összetereelő csigák leállításának nem volt egy meghatározott lassulási szakasza. A javaslat tehát a szállítószalag és az összetereelő csigák sebességének az optimalizálása, és összehangolása.

A gyártósor stabil működése érdekében a töltő gép kell, hogy a leglassabb legyen a soron, ez adja meg a névleges sebességét a sornak és mindegyik másik gép, amely előtte vagy utána helyezkedik el minimálisan gyorsabbnak kell lennie. A kismegállások, sebesség csökkenések kiegyensúlyozására, viszont nem volt beállítási lehetőség. Egy fotoelektromos érzékelő ellenőrzi a flakonok mennyiségét a soron, amely alapján, ha 1 másodpercig nem észleli a kibocsátott fényimpulzust akkor leállítja az összetereelő csigákat. Ezt az érzékelőt közelebb helyeztük el az összetereelő csigákhoz és egy új érzékelőt telepítettünk a sorra a PLC programozókkal, amely ugyanúgy 1 másodperc impulzus hiány esetén 10%-os forgási sebesség lassulást parancsol a flakon-összterelő csigáknak.

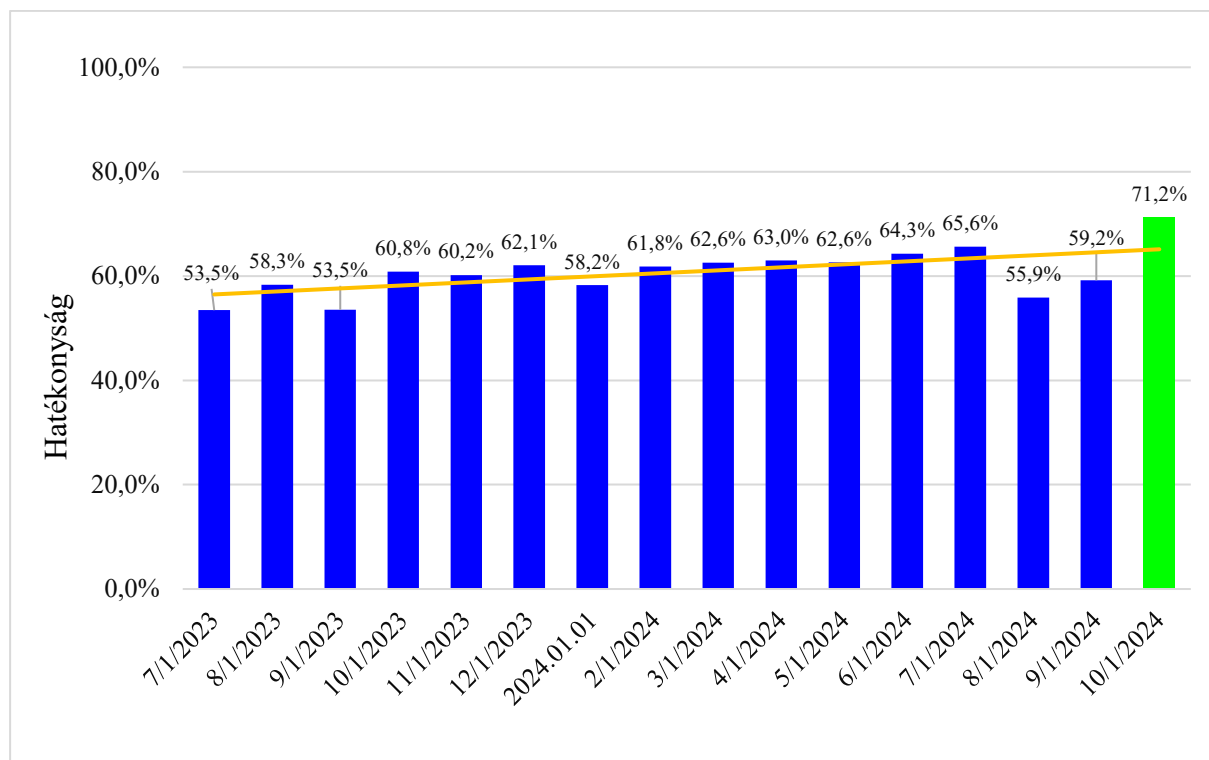
A 7. ábra alapján összehasonlítottuk a 2023. 07.-09. hó között meghatározott főbb veszteséget okozó gépeket a 2024. 08.-10. hó között ugyanazon gépek veszteségével. Megfigyelhető, hogy a kivizsgálásoknak jelentős hatása volt a problémás területekre a soron és annak ellenére, hogy nem minden gépre végeztünk külön mélyreható kivizsgálást, minden gépnél javulás tapasztalható. A javulás azzal magyarázható, hogy minden gépen meghatároztuk az ajánlott beállítási pontok értékét, ezeket a méreteknak megfelelő színnel jelöltük, ezáltal az operátorok kevesebb utólagos állítgatással tudták az optimális értékre beállítani a gépeket a folyamatos termelés érdekében. Továbbra is prioritásban lesz a kupakoló gép, a csomagoló gép, és a flakonrendező gép is, mivel a veszteségeket 0,5 % alá szeretnénk vinni, illetve ezeknél a gépeknél a fejlődés minimális mértékű.



7. ábra: Az állásidők összehasonlítása a Curie soron Forrás: Saját szerkesztés

4. Következtetések

A lean eszközök alkalmazásának köszönhetően növekedett a sor hatékonysága, csökkent a meghibásodások és a minőséghibás termékek száma. Ezeknek a céloknak az elérése a költségek nagymértékű csökkenésével járt, tehát a vevők számára továbbra is versenyképes áron tudja a gyár előállítani a termékeket a konkurensekhez képest. A gyártósor havi átlag 71,2%-os hatékonyságának elérése 53,5%-ról bő egy év leforgása alatt -17,7%-os fejlődés - jól alátámasztja a lean eszközök hatékonyságát egy multinacionális vállalat esetében, hogyha a javasolt intézkedéseket a megfelelő módon alkalmazzuk és minden dolgozónak, aki a területen munkát végez át tudjuk adni a lean gondolkodás alapelvét (8. ábra).



8. ábra: A Curie sor hatékonyságának javulása 2023. 07. – 2024. 10. hó között Forrás: Saját szerkesztés

5. Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutatómunkát a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa támogatta.

Irodalomjegyzék

- [1] Balamurugan, R., Kirubagharan, R., & Ramesh, C. (2020). Implementation of lean tools and techniques in a connecting rod manufacturing industry. *Materials Today: Proceedings*, 33, 3108-3113.
- [2] Abyad, A. (2020). The pareto principle: applying the 80/20 rule to your business. *Middle East Journal of Business*, 16(1), 6-9.
- [3] Jagusiak-Kocik, M. (2017). PDCA cycle as a part of continuous improvement in the production company- a case study. *Production Engineering Archives*, 14.
- [4] Mahto, D., & Kumar, A. (2008). Application of root cause analysis in improvement of product quality and productivity. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 1(2), 16-53.
- [5] Pacana, A., & Siwiec, D. (2020). Improving the process of analysing the causes of problem by integrating the Ishikawa diagram and FAHP method. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, 143, 247-257.
- [6] Prajapati, U., Mawandiya, B. K., Patel, K., & Shah, D. (2020). Process capability analysis of worm gearbox manufacturing. *Technologies for Sustainable Development*, 334-338.
- [7] Al-Aomar, R. A. (2011). Applying 5S LEAN Technology: An infrastructure for continuous process improvement. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 59, 2014-2019.

A részleges és dinamikus árnyékolás hatása különböző napelemes technológiák teljesítményére és hőmérsékleti viselkedésére

¹Bencs Péter ²Szalánczi Dávid

^{1,2} Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola
szdszd007@gmail.com

A tanulmány a részleges és dinamikus árnyékolás hatásait vizsgálja különböző napelemes technológiák (hagyományos szilícium, PERC, PERC + UV fólia) esetében. A Simulink-alapú szimulációk segítségével elemeztük a belső panelhőmérséklet és hatásfok változását tiszta időben, részleges, erős és mozgó árnyékolási körülmények között. Az eredmények alapján a részleges árnyékolás nemlineáris hatásokat idéz elő, a hagyományos panelek esetében jelentősebb hőmérséklet-emelkedést és teljesítménycsökkenést tapasztaltunk. A PERC technológia mérsékli a hőmérsékleti ingadozásokat, míg a PERC + UV fólia a legnagyobb hatásfokstabilitást és hővédelmet biztosította az összes szimulált árnyékolási esetben. A dinamikus árnyékolás (pl. faágak által) további kihívásokat jelent, de jól modellezhető, és jelentős különbségeket mutat a technológiák között.

Kulcsszavak: Árnyékolás, Napelem, PERC technológia, UV fólia, Hőmérséklet, Hatásfok, Simulink szimuláció

1. Bevezetés

A napelemes rendszerek teljesítményét számos környezeti tényező befolyásolja, melyek közül az egyik legkritikusabb a részleges árnyékolás. Árnyékot vethetnek fák, kémények, antennák, vezetékek vagy más épületszerkezetek, amelyek lokálisan jelentős teljesítménycsökkenést és hőmérsékleti egyenlőtlenségeket okozhatnak. A nem egyenletes besugárzás hatására a panel bizonyos cellái túlmelegedhetnek, ún. „hot-spot” jelenség alakulhat ki, amely hosszú távon károsítja a modult és csökkenti az élettartamát.

Az elmúlt években számos új napelem-technológia jelent meg, amelyek célja a hatásfok javítása és a termikus stabilitás növelése. A PERC (Passivated Emitter Rear Cell) és annak UV-fóliás változata különösen ígéretes, azonban még nem teljesen ismert, hogy ezek milyen mértékben képesek mérsékelni a részleges árnyékolásból eredő lokális hőhatásokat és teljesítményvesztéseket.

Jelen tanulmány célja, hogy szimulációs vizsgálat segítségével elemezze a részleges és erős árnyékolás hatását három különböző napelem-technológia viselkedésére, különös tekintettel a belső hőmérsékletre és hatásfokra. A vizsgált rendszerek: a hagyományos szilícium alapú, a PERC, valamint a PERC + UV fóliás kivitel.

1.1. Célkitűzés

A tanulmány célja, hogy szimulációs környezetben elemezze a részleges árnyékolás hatását különböző napelem-technológiák hőmérsékleti és teljesítménybeli viselkedésére. Arra keressük a választ, hogy milyen mértékben változik a panelek belső hőmérséklete, valamint mennyire csökken a hatásfok, ha a nap bizonyos óráiban árnyék éri a modul egy részét.

A kutatás során három technológiát hasonlítottunk össze:

- Hagyományos szilícium alapú napelem,
- PERC (Passivated Emitter Rear Cell) technológia,
- PERC + UV fóliával ellátott fejlettebb megoldás.

A szimulációk célja annak feltárása, hogy a modern technológiák milyen mértékben képesek csökkenteni az árnyékolásból eredő lokális hőhatásokat és a teljesítményvesztést.

1.2. Irodalmi áttekintés

A részleges árnyékolás az egyik leggyakoribb probléma a napelemes rendszerek működésében, amely jelentős hatással lehet a teljesítményre és a rendszer élettartamára. Az árnyék nemcsak az aktuális energiatermelést csökkenti, hanem ún. "hot-spot" jelenséget is okozhat, amely a panelek lokális túlmelegedéséhez és hosszú távú károsodásához vezethet (Pandian et al., 2016) [1].

Különböző tanulmányok kimutatták, hogy a PERC technológia hatékonyabban képes kezelni a hőeloszlási egyenetlenségeket, mint a hagyományos szilícium alapú panelek (Vogt et al., 2017) [2].

A kutatások rámutattak arra is, hogy az árnyékolási hatás nem lineáris: akár kis mértékű, ideiglenes árnyék is aránytalanul nagy teljesítménycsökkenést válthat ki a fotovoltaikus rendszerekben. Ez különösen igaz részleges árnyékolás esetén, amikor a panelek csak részben kapnak fényt, de a cellasorozat karakterisztikája miatt az egész rendszer hatásfoka csökkenhet (Yaoba et al., 2022) [3].

3. Anyag és módszer

A vizsgálat célja annak meghatározása volt, hogy különböző napelemes technológiák – hagyományos szilícium alapú, PERC, valamint PERC + UV fóliás panelek – hogyan viselkednek részleges árnyékolás esetén, különös tekintettel a hőmérsékleti változásokra és teljesítményvesztésre.

3.1. Technológiai háttér

- **Hagyományos szilícium alapú napelemek:** alacsonyabb hatásfok (kb. 18%), érzékenyebbek a lokális melegedésre árnyékh hatás alatt.
- **PERC technológia:** körülbelül 20%-os hatásfokkal bír, passzívált hátoldali rétegének köszönhetően jobban tolerálja az árnyékolási hatásokat.
- **PERC + UV fólia:** 22%-os névleges hatásfok, UV-szűrő rétegének köszönhetően csökkentett hőfelvétel és egyenletesebb hőeloszlás jellemzi.

3.2. Szimulációs környezet

A szimulációkat Simulink környezet elvei alapján modelleztük, 24 órás ciklusra vonatkozóan, valós környezeti paraméterekkel (Miskolc városi adatok alapján). A modellezett időjárási környezet egy nyári nap, részleges árnyékolás szakaszos megjelenésével.

3.3. Árnyékolási forgatókönyv

A szimuláció három szakaszból áll:

1. **Napsütéses reggel:** 0–9 óra között zavartalan működés.
2. **Részleges árnyékolás:** 9–14 óra között véletlenszerűen váltakozó 15–45 perces árnyékos szakaszok, amelyek 25–50%-os teljesítménycsökkenést eredményeznek.
3. **Délutáni helyreállítás:** 14–20 óra között a panel ismét teljes megvilágítást kap.

3.4. Vizsgált paraméterek

- A panel belső hőmérsékletének alakulása időben.
- A hatásfok csökkenésének mértéke az árnyékolt időszakban.
- A teljesítményvesztés százalékos értéke.
- A technológiák közötti különbségek kiemelése ugyanazon időjárási környezetben.

3.5. Hatásfok értékek és kiindulási feltételek

A kiindulási feltételeket az alábbi táblázatban (1.táblázat) foglaltam össze.

1. táblázat: a 3 típusú napelem panel kiindulási feltételei

Technológia	Névleges hatásfok	Kiinduló hőmérséklet	belső	Hővezetési együttható (W/mK)
Hagyományos	18%	25 °C		148
PERC	20%	25 °C		130
PERC + UV fólia	22%	25 °C		120

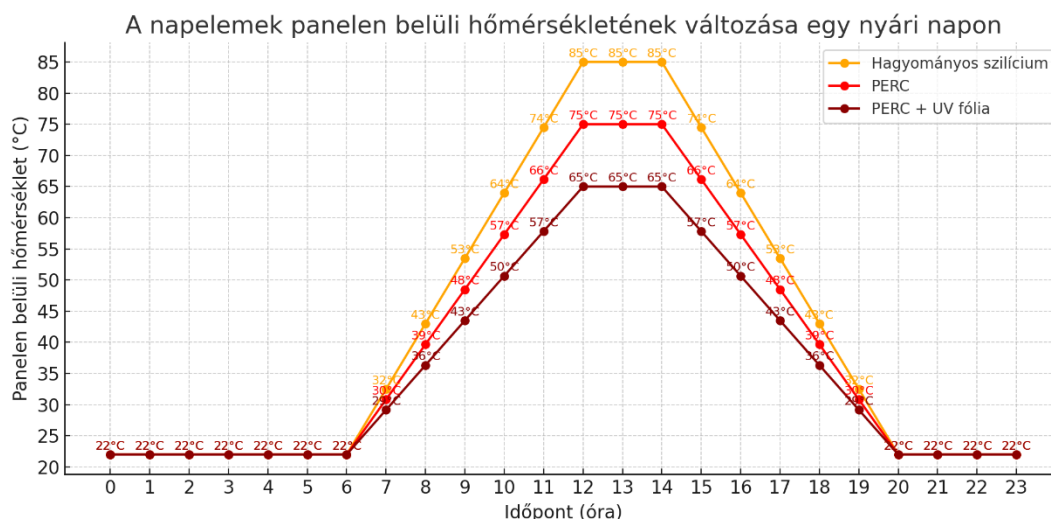
3.6. Árnyékolási forgatókönyvek definíciói

A szimulációk során három különböző árnyékolási helyzetet vizsgáltunk:

- Tiszta időjárás (alapeset): zavartalan napsütés, árnyékolási hatás nélkül. Referenciaértékként szolgál minden technológiához.
- Részleges árnyékolás: kb. 70%-os besugárzás-csökkenés egy meghatározott időszakban (pl. 9:00–11:00 vagy 12:00–14:00). Ez jellemzően egy fa, antenna, vagy más objektum árnyékát szimulálja, amely részben takarja a panel felületét.
- Erős árnyékolás: intenzívebb takarás (~50%-os vagy annál nagyobb beeső sugárzáscsökkenés), amely akár folyamatos zónát is érinthet, pl. szomszédos épület vagy tetőszerkezeti kiugrás esetén.
- Mozgó árnyékolás (ágas scenárió): dinamikus, nem teljes takarást szimulál, amely változó intenzitással és időtartammal terheli a panelt. Ez a scenárió jobban modellezi a valós körülményeket a természetes, időszakos zavarokról, pl. lombos fa leveleinek mozgása vagy gyorsan mozgó felhőárnyék esetén.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Árnyékolás nélkül tiszta időben



1. ábra: a 3 típusú napelem panel hőmérsékletének változása az idő múlásával tiszta idő esetén

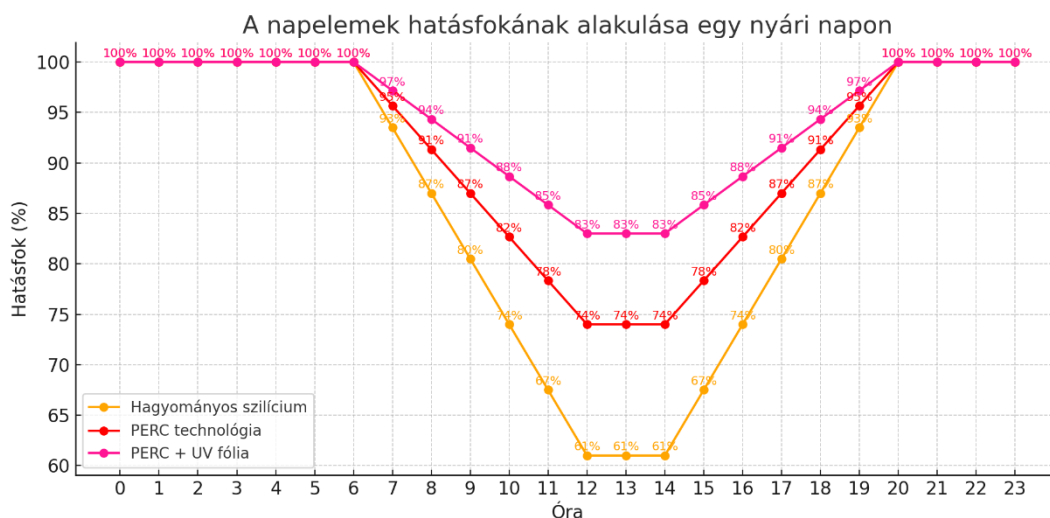
Az alábbi ábra (1. ábra) három napelem-technológia – **hagyományos szilícium**, **PERC**, valamint **PERC + UV fólia** – panelen belüli hőmérsékletének alakulását mutatja egy tiszta, zavartalan nyári napon, órás bontásban, 0–24 óra között.

Megfigyelések az ábráról:

- **0–6 óra között** minden technológia hasonló, alacsony értéken (22 °C) marad.
- **7–11 óra között** a melegedés fokozatosan felerősödik, technológiánként eltérő ütemmel:
 - A **hagyományos szilícium** panel hőmérséklete gyorsan nő, és **11–14 óra között** eléri a **85 °C-os csúcst**.
 - A **PERC technológia** hőmérséklete 75 °C-ig emelkedik, ezzel 10 °C-kal mérsékeltebb.
 - A **PERC + UV fóliás panel** hőmérséklete maximum **65 °C**, tehát ~20 °C-kal marad el a szilícium paneltől.
- **15–18 óra között** megkezdődik a visszahűlés:
 - A leggyorsabb hőleadás a **PERC + UV** rendszernél tapasztalható.
 - A **hagyományos** panel hűlése a leglassabb, hőtehetetlenség miatt.
- **Este 19–24 óra között** minden technológia visszaesik **22–23 °C-ra**, stabil nyugalmi szintre.

4.2. Értelmezés:

A görbék egyértelműen mutatják, hogy a technológiai felépítés jelentős hatással van a hőmérsékleti viselkedésre. A **hagyományos szilícium** panelek hajlamosak a túlmelegedésre, ami hosszú távon rontja a teljesítményt és gyorsítja az öregedést. A **PERC + UV fóliás** panelek ezzel szemben **kisebb hőterhelést és gyorsabb visszahűlést** biztosítanak, ami jobb működési stabilitást eredményez.



2. ábra: a 3 típusú napelem panel hatásfokának változása az idő múlásával tiszta idő esetén

Az ábra (2. ábra) három napelemes technológia – hagyományos szilícium, PERC és PERC + UV fólia – hatásfokának napi alakulását mutatja be egy tiszta nyári napon. A szimuláció célja az volt, hogy feltárjuk, a hőmérséklet-emelkedés miként befolyásolja az energiaátalakítás hatékonyságát.

Megfigyelések az ábráról:

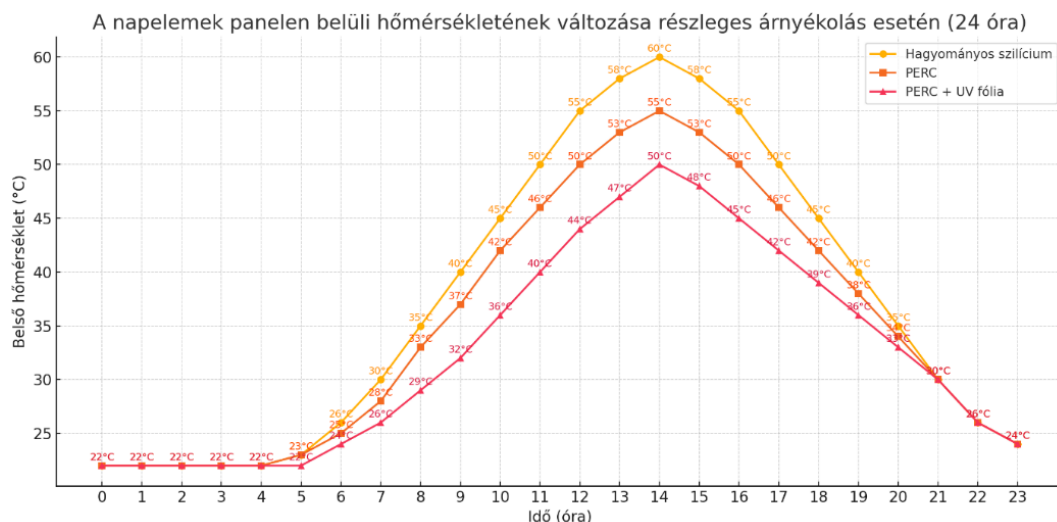
- **0–6 és 19–24 óra között** minden rendszer közel **100%-os** hatásfokon működik.
- A hatásfok reggel **7 órától csökkenni** kezd, és **12–14 óra között** éri el minimumát:
 - A hagyományos **szilícium panel** hatásfoka akár **61%-ra is visszaesik** a maximális hőmérséklet (~85 °C) idején.

- A **PERC technológia** ennél jobban tartja magát, **74%-os** minimummal.
- A PERC + UV fóliás rendszer a legstabilabb, hatásfoka 83%-nál tetőzik, így csupán 17%-os visszaesést mutat.
- A **délutáni lehűlés** hatására a hatásfok fokozatosan helyreáll, leggyorsabban a **PERC + UV** esetén.

Következtetés:

A nyári napsütés alatt is jelentős különbségek mutatkoznak a technológiák teljesítményében. Míg a hagyományos szilícium panelek jelentős hatásfokvesztést szenvednek, a PERC + UV fólia technológia stabilabb teljesítményt garantál, és jobban ellenáll a hőmérsékleti stressznek.

4.3. Gyenge árnyékolás



3. ábra: a 3 típusú napelem panel hőmérsékletének változása az idő múlásával részleges árnyékolás esetén

Az alábbi ábra (3. ábra) a három különböző napelemes technológia – hagyományos szilícium, PERC, illetve PERC + UV fólia – belső hőmérsékletének alakulását szemlélteti 24 órás időintervallumban, részleges árnyékolás mellett. A vizsgálat célja annak feltérképezése volt, hogy az egyes technológiák milyen mértékben melegsznek fel, illetve hűlnek vissza a napsütés és az árnyék dinamikus váltakozása során.

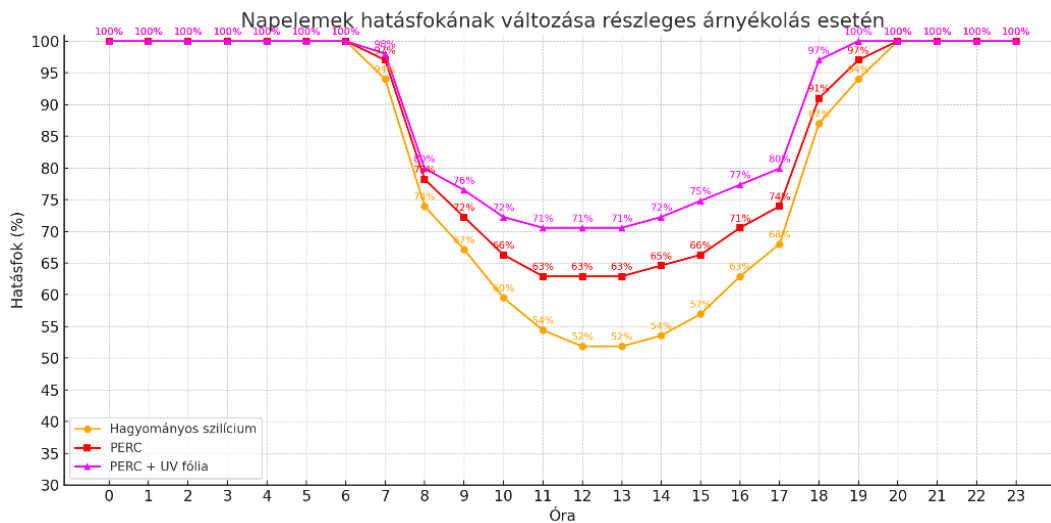
Megfigyelések az ábráról:

- Hajnali és kora reggeli órákban (0–6 óra) minden technológia esetén konstans, alacsony hőmérséklet figyelhető meg (~22 °C), mivel a napsugárzás hiánya nem indukál melegedést.
- A reggeli órától (6–10 óra) kezdve fokozatos hőmérséklet-emelkedés tapasztalható, amely a déli időszakra tetőzik. A hagyományos szilícium panelek mutatják a legnagyobb emelkedést, elérve a 60 °C-os csúcértéket, míg a PERC technológia 55 °C, a PERC + UV fólia pedig csak 50 °C körüli maximumot mutat.
- A délutáni órákban (14–20 óra) a hőmérséklet csökkenése technológiánként eltérő ütemű. A hagyományos panelek lassabban hűlnek vissza, míg a PERC + UV fóliás technológia gyorsabb lehűlést mutat, ami a hőleadási tulajdonságok különbségére utal.
- Az esti órákban (20–23 óra) a hőmérsékletek konvergálnak, újra közelítenek a kiindulási értékhez.

Következtetések:

- A hagyományos szilícium technológia nagyobb mértékű felmelegedést és lassabb lehűlést mutat, ami hosszú távon az anyagfáradás és a degradáció fokozott kockázatát jelenti.
- A PERC technológia közepes teljesítményt nyújt, javítva a melegedési viselkedést.
- A PERC + UV fólia a legjobb hőmérséklet-szabályozási tulajdonságokat mutatja: alacsonyabb maximum hőmérséklet és gyorsabb lehűlés, ami hozzájárul a stabilabb hatásfokhoz és a hosszabb élettartamhoz.

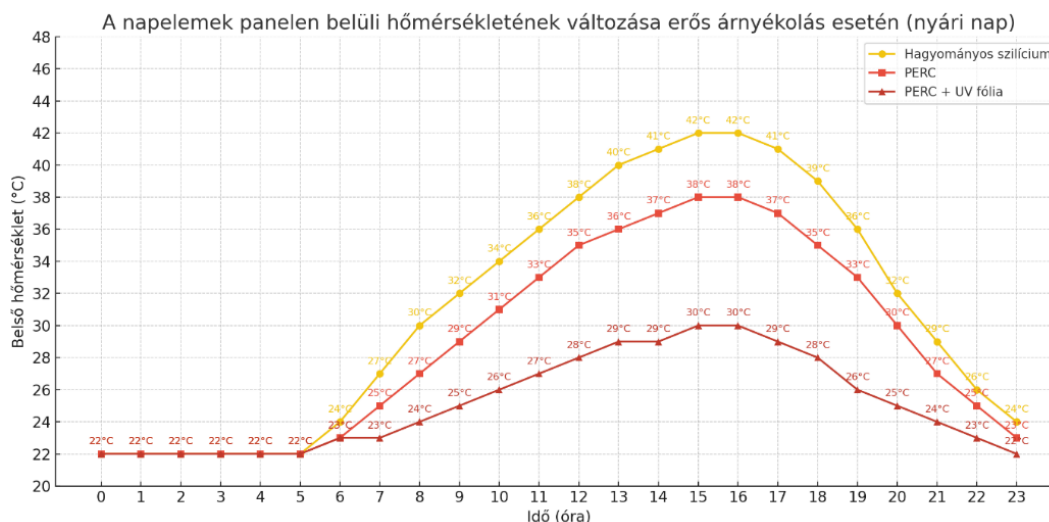
Ez az eredmény alátámasztja a modern, hővédelmi rétegekkel ellátott technológiák alkalmazásának létjogosultságát a változó környezeti viszonyok közötti stabil energiatermelés biztosítására.



4. ábra: a 3 típusú napelem panel hatásfokának változása az idő múlásával részleges árnyékolás esetén

A fenti ábra (4. ábra) azt mutatja be, hogyan változik a napelemek hatásfoka részleges árnyékolás esetén egy tipikus nyári napon. A déli órákban jelentkező árnyékhatás a hatásfokban is érezhető visszaesést eredményez, különösen a hagyományos szilícium technológiánál. A hatásfokcsökkenés mértéke jól követi a panel belső hőmérsékletének emelkedését és az árnyékos cellák által okozott energia-egyensúly megbomlását. A PERC technológia jobban viseli a részleges árnyékolást, míg a PERC + UV fóliás megoldás esetén a hatásfok stabilabb, és a visszaesés mérsékeltebb. Ez a viselkedés különösen előnyös városi vagy félig beépített környezetekben, ahol az árnyék gyakran mozgó vagy időszakos jellegű.

4.4. Erős árnyékolás



5. ábra: a 3 típusú napelem panel hőmérsékletének változása az idő múlásával erős árnyékolás esetén

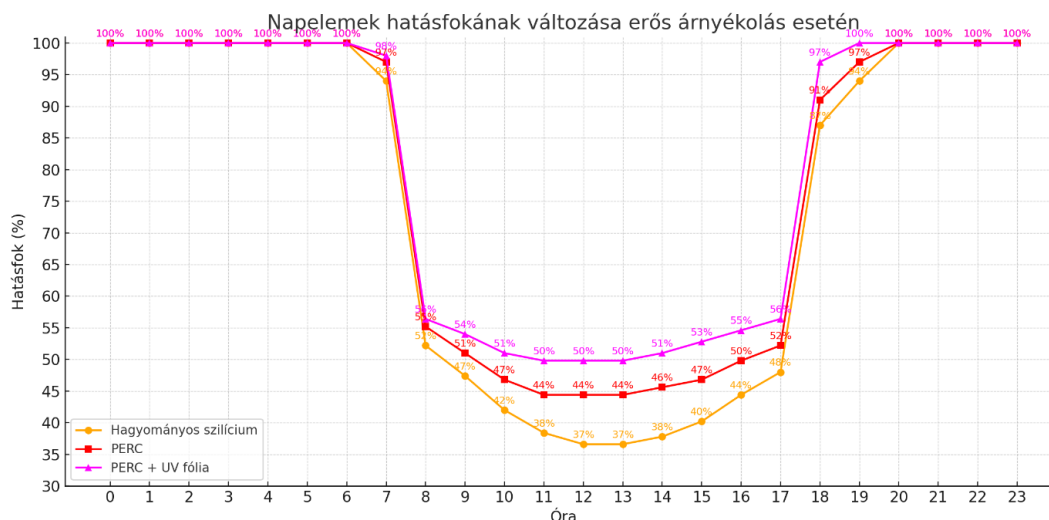
Az alábbi ábra (5. ábra) három technológia – hagyományos szilícium, PERC és PERC + UV fólia – belső hőmérsékletének szimulált változását mutatja be erős, egész napos részleges árnyékolás esetén. A cél az volt, hogy meghatározzuk, mely technológia képes hatékonyabban mérsékelni a hőfelhalmozódást alacsony direkt napsugárzás mellett.

Megfigyelések az ábráról:

- A kora reggeli órákban **(0–5 óra)** minden panel közel azonos, alacsony (**~22 °C**) hőmérsékleten marad.
- Napközben **(6–16 óra között)** a technológiák közti eltérések fokozatosan megnőnek:
 - A **hagyományos szilícium panel** hőmérséklete eléri a **42 °C**-ot, ami még árnyékolás mellett is jelentős hőterhelést mutat.
 - A **PERC technológia** maximuma **kb. 38 °C**, ami javított hőmenedzsmentet jelez.
 - A **PERC + UV fólia** technológia hőmérsékleti csúcsa mindössze **30 °C**, köszönhetően az **UV-fény** visszaverésének és a hővezetés csillapításának.
- A **délutáni és esti órákban** a lehűlési görbék is eltérnek:
 - A hagyományos panelek lassabban hűlnek vissza.
 - A PERC + UV technológia gyorsabban visszatér az alapállapothoz.

Következtetések:

- Erős árnyékolás esetén is jelentős hőmérséklet-emelkedés figyelhető meg, különösen a hagyományos szilícium technológiánál.
- A **PERC** és különösen a **PERC + UV fólia** technológiák lényegesen **kedvezőbb hődinamikát** mutatnak.
- Ez a viselkedés közvetlenül befolyásolja a hatásfokot és a hosszú távú élettartamot.



6. ábra: a 3 típusú napelem panel hatásfokának változása az idő múlásával erős árnyékolás esetén

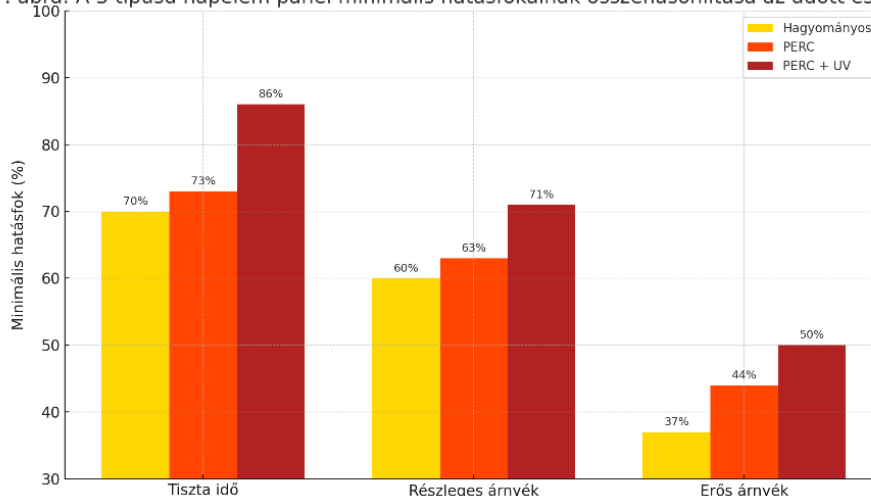
Az ábrán (6. ábra) látható, hogy az erős árnyékolás hatására a napelemek hatásfoka jelentős mértékben visszaesik, különösen a déli órákban, amikor a napfény intenzitása elvileg a legnagyobb lenne. Az árnyék nemcsak a direkt sugárzást csökkenti, hanem a panel hődinamikáját is módosítja, ami további hatásfokromláshoz vezet. A hagyományos szilícium technológia mutatja a legnagyobb visszaesést, a hatásfok akár 37%-ra is leeshet. Ezzel szemben a PERC technológia 44%-os, míg a PERC + UV fóliás megoldás 50%-os minimumértéket tart, tehát lényegesen stabilabb marad a legkritikusabb időszakban is.

Ez az eltérés különösen hangsúlyossá válik olyan környezetben, ahol tartós vagy intenzív árnyékolás léphet fel, mivel ilyenkor a technológiai különbségek nemcsak hatékonyságban, hanem megbízhatóságban is számottevőek. A PERC + UV fóliás megoldás ismét kiemelkedik kiegyensúlyozott és ellenálló teljesítményével, így extrém környezeti hatások mellett is előnyösebb választásnak bizonyul.

4.5. Összefoglaló hatásfok-összehasonlítás a három árnyékolási eset alapján

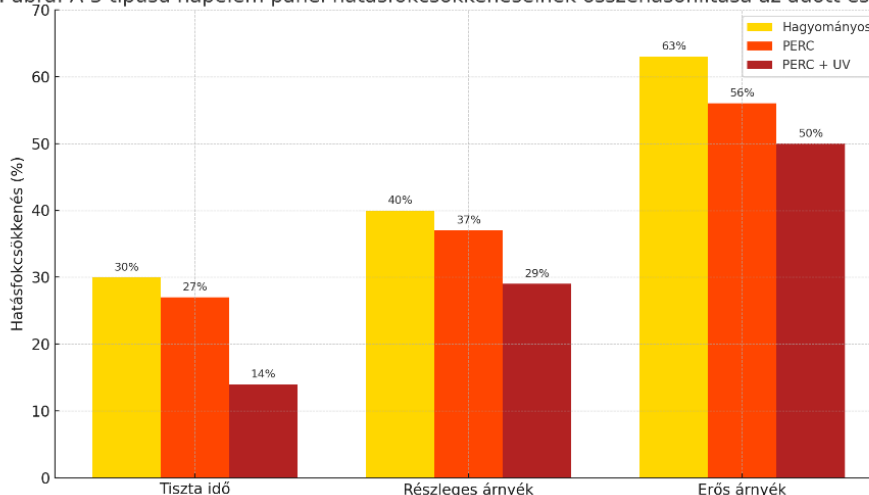
A jelenségek részletesebb összehasonlításához külön oszlopdiagramokat készítettünk a minimális hatásfok és hatásfokcsökkenés értékeiről.

7. ábra: A 3 típusú napelem panel minimális hatásfokainak összehasonlítása az adott esetekben



7. ábra: a 3 típusú napelem panel minimális hatásfokainak összehasonlítása az adott esetekben

8. ábra: A 3 típusú napelem panel hatásfokcsökkenéseinek összehasonlítása az adott esetekben

**8. ábra:** a 3 típusú napelem panel hatásfokcsökkenéseinek összehasonlítása az adott esetekben

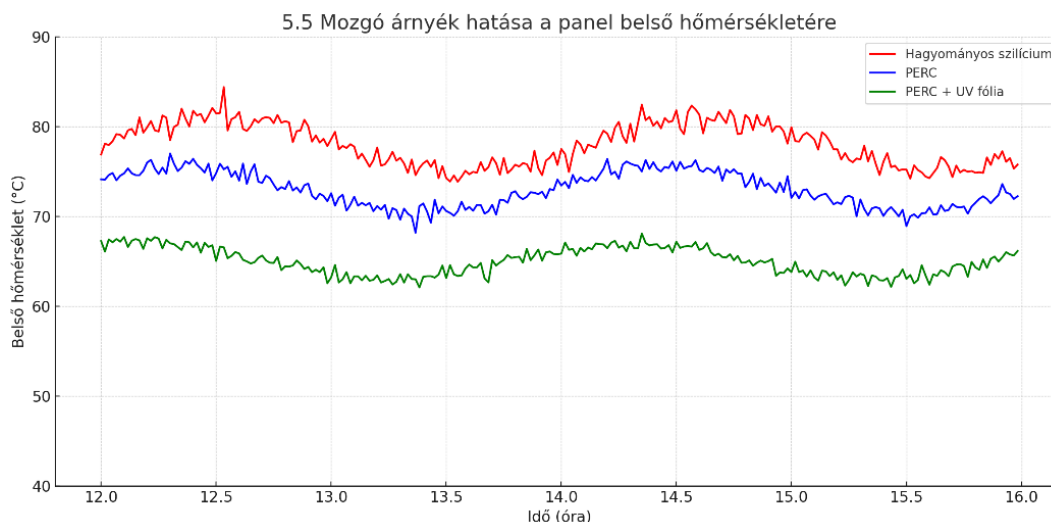
Az alábbi oszlopdiagramok (7. ábra, 8. ábra) három technológia – hagyományos szilícium, PERC, valamint PERC + UV fólia – minimális hatásfokát és hatásfokcsökkenését mutatják be három különböző körülmény (tisztá idő, részleges árnyékolás, erős árnyékolás) esetén. Az összehasonlítás célja annak szemléltetése, hogy a különböző technológiák mennyire érzékenyek a hőterhelésre és az árnyékhatásokra.

Az adatok alapján a hagyományos szilícium technológia mutatja a legnagyobb hatásfokzuhanást mindhárom esetben, különösen részleges és erős árnyékolás mellett. A PERC technológia stabilabb, de még mindig érzékeny a hőmérséklet- és árnyékhatásokra. A legjobb eredményeket minden körülmény között a PERC + UV fólia alapú rendszer produkálta, amely alacsonyabb maximális hőmérséklet mellett is kisebb hatásfokvesztéssel és gyorsabb visszaállással működött.

4.6. Dinamikus árnyékolás szimulációja (faágak)

A szimuláció célja, hogy feltérképezze a napelemes technológiák viselkedését egy valósághű, mozgó árnyékolási környezetben, ahol a fényintenzitást a szél által mozgatott faágak szabálytalan mintázatban változtatják. A vizsgált időszak 12:00–16:00, azaz a nap legmelegebb szakasza, amikor a panelek már alaphőmérsékletre melegedtek.

Az alap hőfok-, és hatásfokgörbéket a tiszta időjárási forgatókönyvből vettük, és erre szuperponáltuk a dinamikus árnyék hatását.



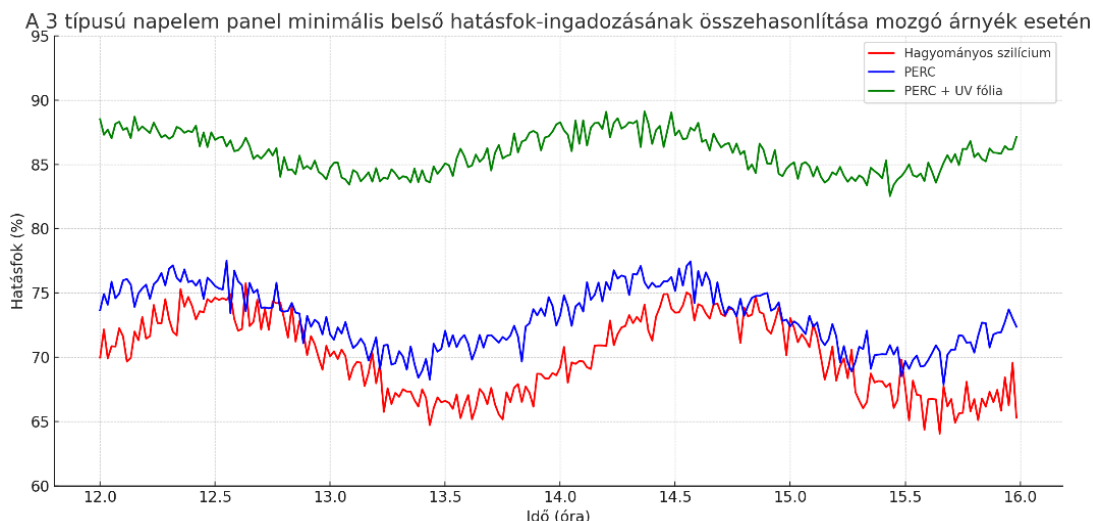
9. ábra: a 3 típusú napelem panel minimális belső hőmérsékleteinek összehasonlítása mozgó árnyék esetén

Az ábra (9. ábra) bemutatja, hogy a mozgó árnyék hatására a panelek belső hőmérséklete nemcsak csökken, hanem dinamikusan ingadozni is kezd. Ez jól modellezi a faágak által okozott fényáteresztés-változást, különösen szeles időjárási körülmények között.

A szimulált görbék alapján:

- A hagyományos szilícium panel érte el a legmagasabb hőmérsékleti értékeket, ~76–85 °C tartományban, jelentős kilengésekkel.
- A PERC panel valamivel stabilabb volt, hőmérséklete ~70–77 °C között mozgott.
- A PERC + UV fólia alapú panel belső hőmérséklete a legkiegyensúlyozottabbnak bizonyult, ~62–68 °C sávban, mérsékelt ingadozással, jól ellenállva a rövid idejű árnyékolási impulzusoknak.

Ez a viselkedés jól mutatja, hogy nemcsak a hatásfok, hanem a hőstabilitás is kritikus tényező mozgó árnyékolási környezetben — különösen a túlmelegedés, anyagfáradás és hosszú távú degradáció szempontjából.



10. ábra: a 3 típusú napelem panel minimális belső hatásfok-ingadozásának összehasonlítása mozgó árnyék esetén

A ábra (10. ábra) alapján egyértelműen látszik, hogy a hagyományos szilícium technológia a legérzékenyebb a gyors fényintenzitás-ingadozásokra: a hatásfokgörbéje erősen hullámzik, és

időszakosan 65% alá is csökken. A PERC technológia ezzel szemben már kiegyensúlyozottabb viselkedést mutat, de továbbra is jelentős kilengéseket tapasztalunk.

A PERC + UV fólia alkalmazásával azonban jól láthatóan csökken a mozgó árnyék hatása: a hatásfok stabilan 84–88% között marad, és csak enyhe fluktuációt mutat.

Ez a szimulációs forgatókönyv jól rámutat arra, hogy a technológiák közötti különbségek dinamikus árnyékolás esetén még hangsúlyosabbak lehetnek, ami különösen fontos lehet városi környezetekben, ahol az árnyék gyakran mozgó vagy időszakos jellegű (pl. faágak, járművek, szomszédos épületek miatt).

5. Értelmezés és következtetések

A szimulációk alapján egyértelműen megfigyelhető, hogy a napelem-technológiák viselkedése jelentősen eltér az eltérő árnyékolási viszonyok között. A hagyományos szilícium alapú panelek esetében a legnagyobb hőmérsékleti emelkedés és hatásfokcsökkenés jelentkezett, különösen részleges és erős árnyékolás esetén. Ez a típus különösen érzékeny a hot-spot jelenségekre, és lassabban áll vissza az eredeti hatásfokra.

A PERC technológia jobban viseli a hőterhelést, és árnyékolás esetén is mérsékeltebb hatásfokzuhanást mutat. Ugyanakkor továbbra is jelentős a különbség a tiszta és árnyékolt állapot között, és a visszatérési idő sem minden esetben optimális.

A PERC + UV fólia kombináció emelkedik ki a mezőnyből: minden vizsgált körülmény között ez a technológia mutatta a legkisebb hatásfokcsökkenést, a legalacsonyabb hőmérsékleti csúcsokat, valamint a leggyorsabb visszaállást. Az UV-védő réteg hőstabilizáló hatása tehát nemcsak a túlhevülés elkerülésében segít, hanem a teljesítményveszteségek mérséklésében is.

Összefoglalva: az árnyékolás típusától függetlenül a PERC + UV fóliás panelek bizonyultak a legellenállóbbnak és legkiegyensúlyozottabbnak, ezért technológiai szempontból ez tűnik a legalkalmasabb megoldásnak részlegesen vagy időszakosan árnyékolt környezetben való alkalmazásra.

6. Összefoglalás és javaslatok

A tanulmány célja az volt, hogy szimulációs vizsgálatokon keresztül összehasonlítsa három különböző napelem-technológia (hagyományos szilícium, PERC, PERC + UV fólia) viselkedését különböző árnyékolási körülmények között. A vizsgálat három fő forgatókönyvet vett figyelembe: tiszta időjárás, részleges árnyékolás és erős árnyékolás egy nyári napon.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a technológiai különbségek jelentős hatással vannak a napelemek teljesítményére. A hagyományos szilícium cellák erősen érzékenyek az árnyékhatásokra, míg a PERC technológia mérsékeltebb veszteséget mutatott. A legjobb teljesítményt és hőstabilitást a PERC + UV fóliás rendszerek produkálták.

A szimulációk azt is kimutatták, hogy nemcsak az árnyékolás mértéke, hanem annak típusa (egyenletes vs. részleges) is jelentősen befolyásolja a hatásfokot és a hőmérsékleti viselkedést.

További javasolt vizsgálati irányok:

- **Téli időszakra vonatkozó szimulációk**, ahol alacsonyabb a hőterhelés, de magasabb a relatív árnyékarány.
- **Dinamikus, mozgó árnyékolás** (pl. felhők vagy ágak mozgása) modellezése.
- **Bypass diódák szerepének** szimulációja különböző technológiák mellett.
- **Valós mérések** (labor vagy terepi környezetben) a szimulációk validálására.

A mozgó árnyékolás (pl. ágas vagy felhős) modellezése újabb szimulációs kihívásokat vet fel, amelyek még pontosabb predikciós eszközöket igényelhetnek a jövőben.

Irodalomjegyzék

- [1] Pandian, A., Bansal, K., Thiruvadigal, D. J., & Sakthivel, S. (2016). Fire Hazards and Overheating Caused by Shading Faults on Photo Voltaic Solar Panel. *Fire Technology*, 52, 349-364.
- [2] Vogt, M. R., Schulte-Huxel, H., Blankemeyer, S., & Offer, M. (2016, November). Reduced module operating temperature and increased yield of modules with Perc instead of al-Bsf Solar Cells | Request PDF. Reduced Module Operating Temperature and Increased Yield of Modules With PERC Instead of Al-BSF Solar Cells. https://www.researchgate.net/publication/309756771_Reduced_Module_Operating_Temperature_and_Increased_Yield_of_Modules_With_PERC_Instead_of_Al-BSF_Solar_Cells
- [3] Yaouba, Bajaj, M., Welba, C., Bernard, K., Kitmo, Kamel, S., & El-Naggar, M. F. (2022, June 3). An experimental and case study on the evaluation of the partial shading impact on PV module performance operating under the sudano-sahelian climate of Cameroon. *Frontiers*. <https://www.frontiersin.org/journals/energy-research/articles/10.3389/fenrg.2022.924285/full>

A WATCH+ pályáorientációs program bemutatása és továbbfejlesztési lehetőségei

¹Kulcsár Kira, ²Sarvajcz Kornél

^{1,2} Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
kulcsar.kira02@gmail.com

Napjainkban is jelentős problémát jelent, hogy létszamarányukhoz képest lényegesen kevesebb lány választ mérnöki pályát. Ezt felismerve indította el az Agóra Tudományos Élményközpont 2021 őszén a WATCH (Women at Tech) elnevezésű pályáorientációs programját, amely élményszerűen biztosítja a technológiai és mérnöki ismeretekkel való megismerkedést a debreceni tizedikes lányok számára. A következő tanévet megkezdők csatlakozhatnak az alumniprogramhoz, a WATCH+-hoz, amely a projektalapú munkán túl pályáorientációs eseményeket is kínál. Dolgozatomban ezt a kezdeményezést szeretném bemutatni, amelynek jómagam is aktív résztvevője voltam, emellett ismertetem jövőbeli terveimet arra vonatkozóan, hogyan kívánom – immár a program nagyköveteként - tartalmasabbá tenni a résztvevők számára nyújtott élményeket a Debreceni Egyetem Mechatronika Tanszéke által kínált lehetőségek révén.

Kulcsszavak: felsőoktatás, hallgatói nemi arány, nők a mérnöki pályán, pályáorientáció, WATCH program

1. Bevezetés

A tudományos világban a nők szerepe az elmúlt évtizedekben jelentős átalakuláson ment keresztül. Bár globális szinten mára a nők többséget alkotnak a felsőoktatási intézmények hallgatói között, STEM területeken továbbra is jelentős alulreprezentáltság tapasztalható. Jelen kutatás célja e strukturális egyenlőtlenségek feltérképezése különböző szempontok alapján, kiemelt figyelemmel azokra a programokra, amelyek kifejezetten a mérnöki pálya iránt érdeklődő lányokat célozzák meg – ilyen például az Agóra Tudományos Élményközpont WATCH (Women at Tech) elnevezésű pályáorientációs kezdeményezése, melyet elsőéves mechatronikai mérnökhallgatóként a Debreceni Egyetem bevonásával szeretnék továbbfejleszteni.

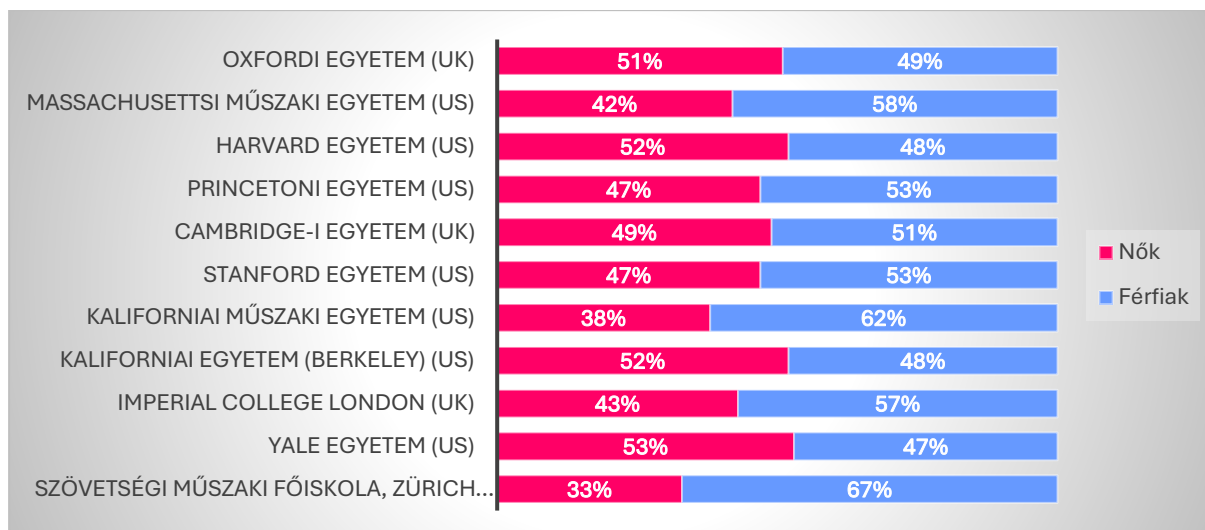
2. A nők többségi jelenléte a felsőoktatásban

Az Egyesült Államokban a főiskolai beiratkozási és diplomamegszerzési arányok tekintetében a nők jelentősen meghaladják a férfiakat. Országos szinten a nők az összes főiskolai hallgató 58%-át tették ki 2020-ban, szemben a hat évvel korábbi 56,6%-kal. A nők évtizedek óta többen vannak a hallgatók között, mint a férfiak, a különbség azonban folyamatosan növekszik. A diploma megszerzésének aránya is magasabb: 2022-ben a nők diplomázási aránya (67,9%) több mint 6 százalékponttal magasabb volt a férfiakénál (61,3%). [1]

Európában is hasonló tendencia figyelhető meg: 2013 és 2018 között 25 ország adatai alapján a nők és férfiak beiratkozási aránya átlagosan 1,4:1 volt. [2]

3. Nemi arányok a világ élvonalbeli egyetemein

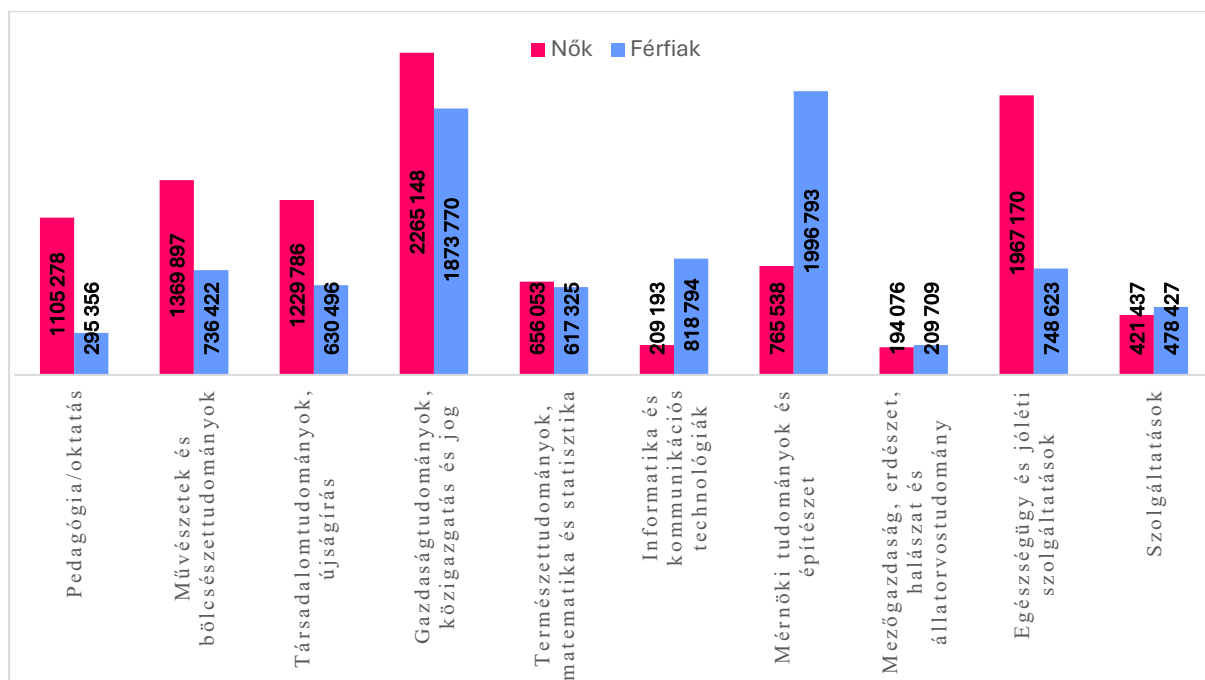
A világ vezető felsőoktatási intézményeiben a legfrissebb adatok alapján eltérő nemi arányok figyelhetők meg. Bár sok esetben közel kiegyenlített a hallgatók megoszlása, általánosságban még mindig jellemző a férfiak enyhe túlsúlya, bizonyos egyetemeken pedig a férfiak kétharmados többsége is előfordul, mint ahogy az az 1. ábrán látszik. [3]



12. ábra: Nemek eloszlása a világ vezető egyetemein a 2024/25-ös tanévben [3] alapján saját szerkesztés

4. Egyenlőtlenségek tudományterületenként

A képzési területek szerinti vizsgálat még árnyaltabb képet nyújt a felsőoktatásban tapasztalható nemi megoszlásról. A 2023-as európai uniós statisztikák alapján világosan kirajzolódik, hogy az egyes tudományterületek között jelentős különbségek figyelhetők meg. A 2. ábra alapján láthatjuk, hogy míg a pedagógusképzés, a művészeti ágak, bölcsészettudományok, valamint az egészségügyi szakirányok esetében a női hallgatók száma meghaladja a férfiakét, addig a mérnöki képzések esetében fordított tendencia érvényesül: a férfiak aránya több mint két és félszerese a nőkének. [4]



13. ábra: A hallgatók nemi megoszlása képzési területenként (EU, 2023) [4] alapján saját szerkesztés

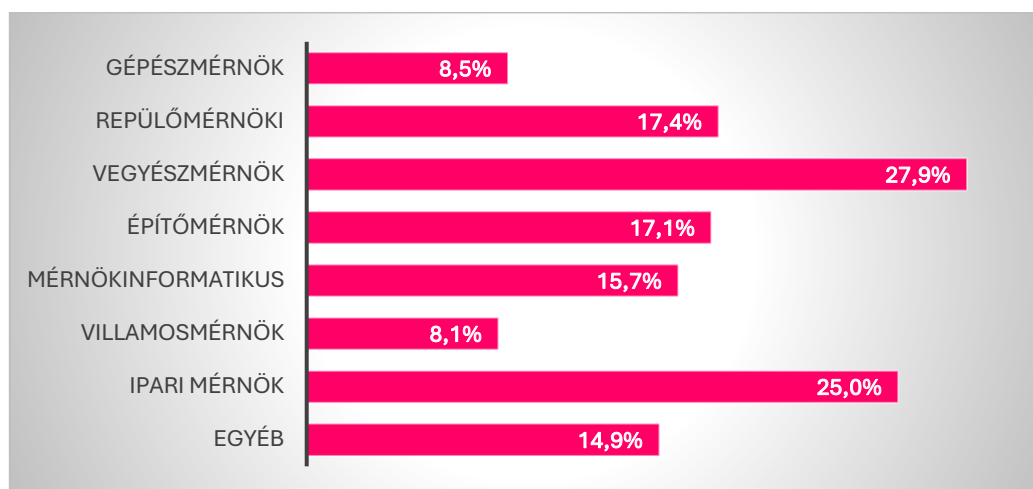
5. A STEM-területek nemi megoszlása és bérkülönbségei nemzetközi szinten

Az Európai Unió 2021-es jelentése a továbbra is fennálló nemi szakadékról számol be a digitális készségekkel rendelkező szakemberek körében. A technológiai szektorban dolgozók mindössze 19%-a, míg a STEM-diplomások körülbelül egyharmada nő. E téren alig tapasztalható előrelépés,

az utóbbi években ezek az arányok nem változtak számottevően. Európában a technológiai szektorban dolgozó férfiak átlagosan 19%-kal keresnek többet, mint női kollégáik, és a szakemberek több mint 80%-át férfiak teszik ki. Jelenleg a pályakezdő pozíciókban a nők aránya 29,4%, ám ez az arány drasztikusan visszaesik felsővezetői szinteken 12,4% és 17,8% közé. Az Egyesült Királyság 2022-es adatai szerint a mérnöknők csupán 16,5%-a nő, ami mindössze 6 százalékpontos növekedést jelent 2010 óta. Hasonló tendenciák figyelhetők meg az Egyesült Államokban is, ahol a női mérnökök aránya 14%, míg a mérnökinformatikusok és matematikusok között ez körülbelül 26%. Ausztráliában is hasonló adatokat találunk: a STEM-területen dolgozók mintegy 28%-a nő, a nemek közötti bérkülönbség pedig körülbelül 18%. A 2023-as Világgaazdasági Fórum Globális Nemi Egyenlőségi Jelentése szerint 132 évre lesz szükség a teljes egyenlőség eléréséhez. [5]

6. Nemi megoszlás az egyes mérnöki szakterületeken

Az Egyesült Államok 2022-es statisztikai adatai szerint a mérnöki és építészeti szakmákban foglalkoztatottak mindössze 16,1%-a volt nő. A különböző mérnöki területeket megvizsgálva azonban jelentős eltérések figyelhetők meg: a legmagasabb részvételi arány a vegyészmérnöki (27,9%) és az ipari mérnöki (25%) területeken mutatkozott. Ezzel szemben a villamosmérnöki (8,1%) és a gépészmérnöki (8,5%) területen is a munkaerő kevesebb mint 10%-át teszik ki. Ez a megoszlás jól szemlélteti, hogy míg egyes területeken már közelebb kerültek az arányok a nemek közti egyensúlyhoz, bizonyos mérnöki pályák még mindig jelentős mértékben férfiak által domináltak. [6]



14. ábra: Nők aránya az egyes mérnöki szakterületeken (USA, 2022) [6] alapján saját szerkesztés

7. Globális programok a nők támogatására a mérnöki és STEM-pályákon

A nemek közti egyenlőségek előmozdítása érdekében világszerte számos kezdeményezés, intézmény és program jött létre annak céljából, hogy növelje a nők részvételét a mérnöki és más STEM területeken.

1.3. OxWEST

Az OxWEST (Oxford Women in Engineering, Science, and Technology) az Oxfordi Egyetem egyik legnagyobb hallgatói szervezete. Célja a nők támogatása a tudományos, technológiai, mérnöki és matematikai területeken, valamint a nemek közti egyenlőség előmozdítása ezekben a szakterületeken. Olyan workshopokat és eseményeket szerveznek, ahol a diákok kapcsolatba léphetnek a szponzoraikkal és a közösségükkel, évente konferenciákat rendeznek a legtehetségesebbeknek, valamint mentorálást is nyújtanak, hogy kineveljék a jövő mérnökeit. [7]

7.1. WTP

Az MIT Women's Technology Programja (WTP) a jövőbeli terveikkel kapcsolatban bizonytalan középiskolás végzősöknek szól. A WTP egy négy hetes egyetemi bentlakásos kurzus, mely célja, hogy a 11. osztály utáni nyáron gyakorlati órák, labormunkák és csapatmunkán alapuló projektek segítségével vezesse be a lányokat a mérnöki tudományokba. Olyan diákoknak szól, akik érdeklődnek a matematika és a természettudományok iránt, azonban nincs mérnöki előéletük, és kevés lehetőségük van ezen területek felfedezésére. [8]

1.4. WiSTEM

A WiSTEM (Women in Science, Technology, Engineering, and Mathematics) küldetése egy olyan környezet megteremtése és fenntartása, mely elősegíti a Harvardi Egyetemen tanuló nőket a STEM területeken való érvényesülésben mentorálás révén. A mentorprogram célja, hogy összepárosítsa az alapképzésen részt vevő hallgatókat a hasonló területeken dolgozó posztgraduális képzést végző hallgatókkal, ezáltal példaképekhez és mentorokhoz kapcsolják őket, akik biztosítják számukra a fejlődést és a boldoguláshoz szükséges támogatást. Hosszú távú célkitűzése, hogy megerősítse a befogadó közösséget a nők számára a Harvardon a STEM területeken, miközben elősegíti a nők szélesebb körű képviseletét ezen karrierekben. [9]

8. A nők STEM-pályára ösztönzése Magyarországon: a WATCH program bemutatása

Magyarországon is működnek hasonló kezdeményezések, ezek közül kiemelkedik az Agóra Tudományos Élményközpont által 2021-ben elindított WATCH (Women at tech) elnevezésű pályaaorientációs program. Célja, hogy a középiskolás lányok számára élményszerű módon tegye vonzóvá a STEM-területeket való életből vett mérnöki problémák megoldásán keresztül. A résztvevők a projekt során nemcsak műszaki ismereteket sajátíthatnak el, hanem a csapatmunka örömeit és előnyeit is megtapasztalhatják. [10]

A program egy alapozóképzéssel kezdődik, amely során a diákok betekintést nyerhetnek a 3D modellezés alapjaiba, különböző programozási nyelvekbe, robotikába, elektrotechnikába, valamint fejleszthetik előadói készségeiket is. Ezt követően mentoraik útmutatásával, csapatban dolgoznak egy választott projekten, melyet a tanév végén, júniusban mutatnak be egy záróesemény keretében, majd júliusban a Campus Fesztiválon és ősszel a Kutatók éjszakáján is bemutatásra kerülnek az elkészült interaktív eszközök. [10]

A program pályaaorientációs elemekkel is kiegészül, így a résztvevők sikeres mérnöknőkkel találkozhatnak, gyárlátogatásokon és egyetemi bejárásokon vehetnek részt. A programot stratégiai partnerként az EMERSON | NI támogatja, valamint évről évre egyre több önkéntes csatlakozik mentorként nem csak tőlük, hanem a Sensirion Hungary Kft. és a Diehl Aviation Hungary Kft. cégektől is. 2023-tól a program WATCH+ néven tovább bővült, amely lehetőséget biztosít a korábbi résztvevőknek tudásuk elmélyítésére újabb projektmunkákon keresztül. [10]

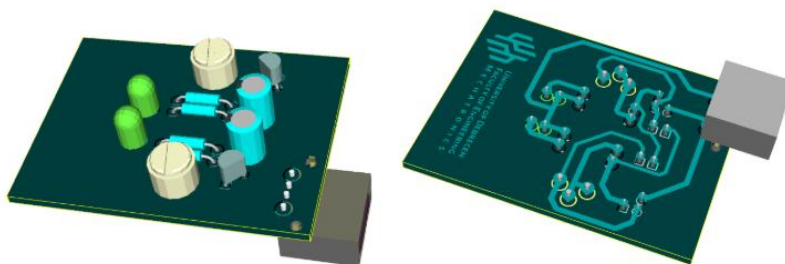
9. Fejlesztési irányok és célok

Személyes tapasztalataimmal is kapcsolódom a programhoz, hiszen résztvevője voltam az első WATCH évfolyamnak. Projektünk egy zoetróp volt - egy lótoszvirág formájú optikai illúzió -, amely a forgatási és a villogtatási sebesség harmóniájára épült. Az eszköz azóta is megtekinthető az Agóra Tudományos Élményközpont interaktív terében. A következő tanévtől, a WATCH+ program keretében, több összetettebb projektet is megvalósítottunk, építettünk például hiperkockát, zuhanó rudas reflexjátékot, ultrahangos lebegtetőt, valamint egy okosotthon makettét.



15. ábra: A projektzáró eseményen bemutatjuk a lótuszvirágot, 2022

2024 szeptemberétől már a Debreceni Egyetem mechatronikai mérnök szakos hallgatójaként, a program nagyköveteként igyekszem hozzájárulni a tanszék adta lehetőségekkel a WATCH további szakmai gazdagításához. Célunk, hogy az újonnan csatlakozó lányok számára még szélesebb lehetőségeket kínáljunk. Ősszel tervezem első egyetemi projektem megvalósítását: egy villogtató eszköz készülne el, a NYÁK-tervezéstől kezdve a gyártáson és összeszerelésen át. Emellett hosszabb távú céljaim között szerepel olyan mini projektek és interaktív játékok kidolgozása, amelyek akár beiskolázási és pályaeorientációs rendezvényeken is hasznosíthatók lennének.



16. ábra: Az őszi projekt látványterve

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.forbes.com/sites/michaelnietzel/2024/08/07/women-continue-to-outpace-men-in-college-enrollment-and-graduation/>
- [2] MEGALOKONOMOU, Rigissa; VIDAL-FERNANDEZ, Marian; YENGİN, Duygu. *Underrepresentation of women in undergraduate Economics degrees in Europe: A comparison with STEM and Business*. IZA Policy Paper, 2021. Online: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/243461/1/pp175.pdf>
- [3] <https://www.statista.com/statistics/1345939/gender-distribution-world-leading-universities/>
- [4] https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/educ_uae_enrt03_custom_13164948/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=50c16ded-963e-4867-80cd-708aaffd705f
- [5] BORK, Sarah Jane; MONDISA, Joi-Lynn. Engineering graduate students' mental health: A scoping literature review. *Journal of Engineering Education*, 2022, 111.3: 665-702. Online: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/cae.22751>
- [6] <https://www.fictiv.com/articles/women-in-engineering-statistics-32-notable-facts>
- [7] <http://www.ox-west.org/>
- [8] <https://web.mit.edu/wtp/>
- [9] <https://hwc.college.harvard.edu/get-involved/mentorship/wistem>
- [10] https://www.agoradebrecen.hu/hirek/2/watch-women-at-tech?fbclid=IwY2xjawKjHm9leHRuA2FlbQlXMAbicmlkETFUSVRZUFpobTVwvwlldmRaAR71384U2kxUb21MARjdPtsggMYoyeJ1leEMaweu4cmZynqaodKGzLxdiwbfiQ_aem_r09ykafQOD064FPQUD45sg

Dekubituszok szegmentálása neurális hálók és képi adatbázisok segítségével

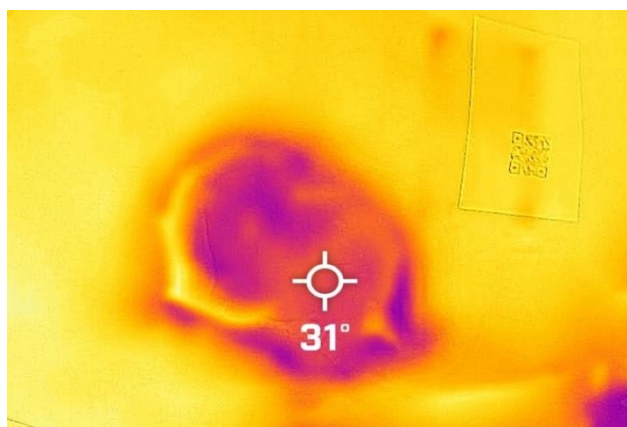
Molnár-Zékány Szabina
 Bay Zoltán Alkalmazott Kutatási Nonprofit Kft.
 sz.zekany@gmail.com

Absztrakt: A dekubitusz, vagy más néven felfekvés, egy olyan súlyos és a legtöbb esetben visszafordíthatatlan szövetkárosodás, amely elsősorban tartósan ágyhoz kötött betegek esetében alakul ki. A korai felismerés, pontos sebkövetés kulcsfontosságú lehet a gyors romlás előrehaladásának megállítása és a komplikációk megelőzése érdekében. A tanulmány során több forrásból származó és saját adatbázist felhasználó annotált sebfotókat alkalmazunk a háló feltanításához és teszteléséhez. A képek több előfeldolgozási műveleten mentek keresztül, mint például a normalizálás, augmentáció, illetve a saját képekhez tartoznak hőkamerás felvételek is, amelyek további adatokat biztosítanak számunkra a seb állapotáról. A hálózat célja a dekubituszok területének minél pontosabb, pixelalapúszegmentációja. A kutatás hozzájárul a számítógépes sebanalízis fejlődéséhez, valamint elősegíti a klinikai gyakorlatban alkalmazható sebmonitorozási rendszerek fejlődését.

Kulcsszavak: dekubitusz, háromdimenzió, képközpont, szegmentálás

1. Előzetes lépések

A tanulmányhoz szükséges adatok begyűjtése a kórházi betegágyak mellett történtek, amelyek segítségével szolgálnak a rendszerben használt neurális háló feltanításhoz. A szkennelt háromdimenziós adatok egy feldolgozási, előkészítési és augmentálási folyamaton mennek keresztül, mielőtt tanítóadatként szolgálnának. A rendelkezésre álló adatmennyiségek korlátozottsága, illetve a háló szerkezetének sokrétűsége miatt a saját adatokat nyílt hozzáférésű adatbázisokkal egészítettem ki. A begyűjtött adatok esetében rendelkezünk egy termokamera felvétellel is, amely segítségével szolgál a seb felvételkor történt részletesebb állapotáról, a seb gyulladásának fokáról. Ezen szkennelési folyamatot a továbbiakban a kórházi ellátás keretein belül a nővérek munkájának részeként szeretnénk beintegrálni az időnként elvégzett ápolási műveletbe. Ezért a szkennelési eljárás egyszerű, rövid betanítási folyamat után egyedül is elvégezhető. A szkennelés LiDAR technológiának [10] köszönhetően megfelelően pontos objektumot kapunk, amelyet a szkennelést követően először a szkennelést végző telefonon, majd egy külön szerveren tárolunk és dolgozunk fel.



17. ábra - Dekubitusz hőkamerás felvétel

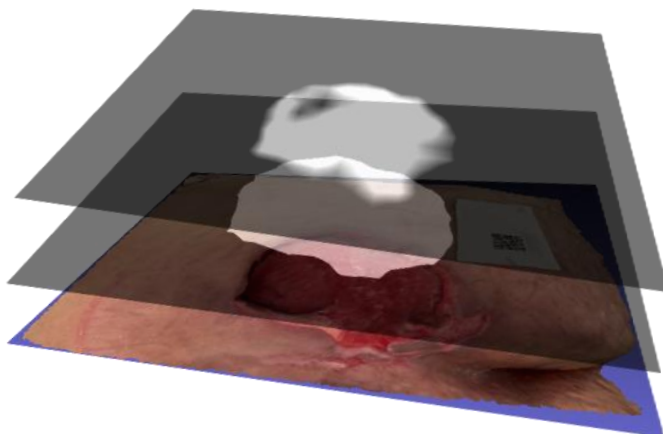
A neten elérhető tanítóadatok nem rendelkeznek termokamerás plusz információ kiegészítéssel, így ezek az adatok egyelőre nem bemenetei a hálónak. Az ingyen letölthető képadatbázis nem csak

lágýéki területen található dekubituszokat tartalmaz, hanem sarkokat érintő területen kialakult sebeket is. [11]

A tanítóadatok minősége fontos befolyásoló tényező a háló eredményessége szempontjából. Több adatbázis használata esetében elengedhetetlen, hogy megfelelő és egységes felbontásban használjuk a képeket a tanítás és tesztelés folyamata során és a háló használata közben is, így a bekért adatok egy felbontás ellenőrzésen esnek át, mielőtt a háló feldolgozná őket. Képi adatbázis feldolgozását tekintve konvolúciós neurális háló alkalmazása a megfelelő. Jelenleg MobilnetV2 és UNet hálók tesztelése történik. [12] Cél a tökéletes háló megtalálása és a folyamatos fejlesztés, visszacsatolás. [13] [14]

2. Szegmentációs maszk

A háló egy képet kap bemenetként, amely a háromdimenziós objektumról készült felülnézetben. A képen a seb és az azt körülvevő kis mennyiségű egészséges bőrfelszín található. A háló egy szegmentációs maszkot ad kimenetként, amely tehát egy szürkeárnyaltos kép. [15] Fekete és fehér, illetve a két szín közötti szürke szín árnyalatai jellemzik a képpontokat. A képen a teljesen fekete pixelek azoknak a képpontoknak felelnek meg, amelyeket a hálózat 100%-os biztonsággal egészséges bőrfelületként osztályozott. Ennek megfelelően a teljesen fehér pixelek a 100%-os valószínűséggel sebterületként azonosított pontokat jelölik.



18. ábra - Felfekvées seb 3D képe, maszk és neurális háló eredmény

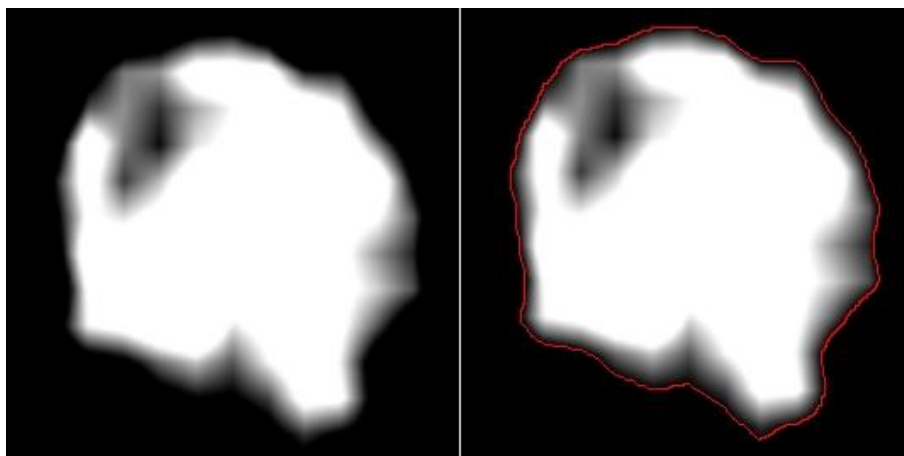
3. Kontúrdetektálás

A kontúr azért fontos számunkra, hogy a szkennelt objektumot le tudjuk zárni, illetve egy következő fejlesztési lépésként rekonstruálni az eredeti egészséges bőrfelszínt. A kontúr meghatározza a seb szélét, körvonalát, ahonnan a lezárás kezdődik. Nem minden esetben egyszerű a seb szélének megkeresése, főleg, amikor gyulladt állapotról beszélünk. Emiatt fontos a betegek időnkénti újra szkennelése és a hőkamerás felvétel. A seb lezárása elengedhetetlen, hogy a seben történőket elvégezzük, mint térfogat, legmélyebb pont és további mérések, melyek információt adnak a beteg állapotáról. [16] Ezen méréseket akkor tudjuk elvégezni, ha az objektum háromdimenziós hálója vízzáró (watertight), tehát teljesen zárt, ami akkor igaz, ha az alábbi kritériumok teljesülnek:

- Nincs lyuk a hálóban
- A felszín egybefüggő tehát teljesen lezárja a térfogatot
- Nincsenek nyitott élek
- Nincs nem-manifold elem

- A poligon normálvektorai egységesen kifelé vagy befelé mutatnak

A szegmentációs maszkon a kontúr megkeresése úgy történik, hogy végig iterálunk a kép pixelein és megvizsgáljuk a nem fekete pixeleket, illetve azok szomszédjait. Ha a nem fekete pixelek szomszédos pixeljei közül legalább 1 darab pixel, illetve legfeljebb 3 darab pixel fekete, akkor a vizsgált pixel a kontúr része.



19. ábra - Szegmentációs maszk kontúrvonala

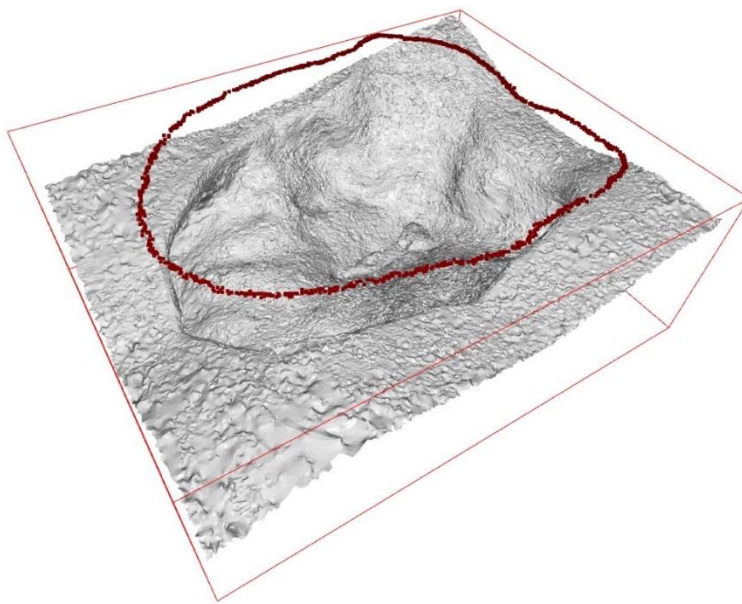
4. Pontok átalakítása

A kontúr képpontjainak felhasználásával azonosítjuk a seb háromdimenziós körvonalát az objektumon. Ehhez első körben viszont a kétdimenziós pixelekből háromdimenziós pontokat kell képeznünk. A pontok átalakítása úgy történik, hogy a kétdimenziós x, y pontokat megfeleltetjük a térben, illetve hozzárendelünk minden ponthoz egy z koordináta értéket. A háromdimenziós objektum körbe fogható egy úgynevezett befoglaló téglalattal (bounding box) a háromdimenziós koordinátarendszer úgy épül fel, hogy a határoló téglalattal közepe az origó tehát innen haladunk a térben x, y, z valamint $-x, -y, -z$ irányba. A szegmentációs maszk kép esetében a koordináta-rendszer a bal felső sarokból indul, ahol az x -tengely jobbra, az y -tengely pedig lefelé növekszik, a képpontok pozícióit ennek megfelelően értelmezzük. Így tehát ezeket a pontokat át kell számítanunk a háromdimenziós koordinátarendszerbe, amelyet az alábbi képlet ír le:

$$x = (\text{contour_pixels_x} / \text{img_width} * (\text{max_x} - \text{min_x})) + \text{min_x}$$

$$y = \text{max_y} + (\text{contour_pixels_y} / \text{img_size_height} * (\text{min_y} - \text{max_y}))$$

Miután megvannak a térbeli pontok x és y értékei, a hozzájuk tartozó z értéket úgy határozzuk meg, hogy a befoglaló téglalattal négy felső pontját, amely az origótól pozitív z irányban található, megvizsgáljuk. Ezen pontok z értékei tehát a felső négy pont z koordinátaértéke természetesen megegyezik. Ez a z_{max} érték lesz hozzárendelve az átalakított pontok mindegyikéhez. Így a határoló téglalattal felső síkjában fogjuk látni a kontúrponthoz háromdimenzióban. Erről láthatunk egy képet az alábbi ábrán.



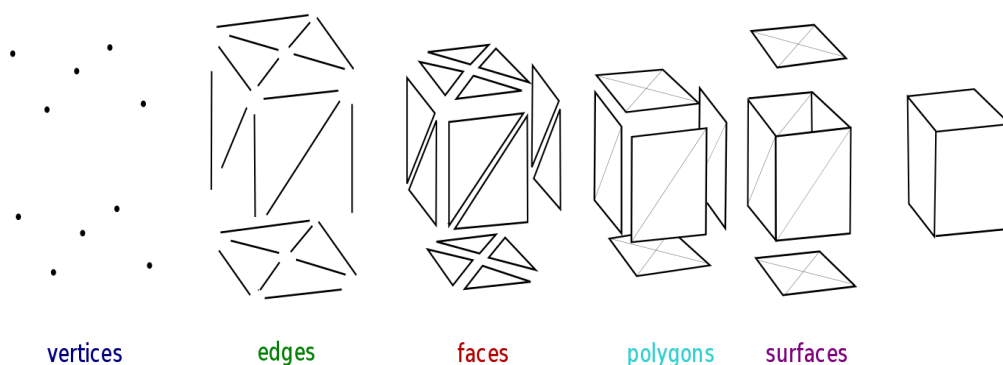
20. ábra - Átalakított 3D kontúrpontok

Levetítés

A lezáráshoz vezető következő lépés a felső síkban található pontok úgynevezett levetítése a meshre. A levetítés úgy történik, hogy végigiterálva a kontúrpontokon, minden pontból egy irányított egyenest definiálunk a negatív z tengely mentén. Ennek az egyenesnek a hálóval alkotott első metszéspontját (intersection) határozzuk meg. A metszés tulajdonképpen a mesh egy lapján, esetünkben háromszögon történik. Itt érdemes részletezni, hogy hogyan épül fel egy háló (mesh). A hálót alkotó elemek a következők:

- Csúcsok (vertices)
- Élek (edges)
- Lapok, amik lehetnek háromszögek vagy négyzetes lap (faces – triangle, quad)

A poligonháló csúcsokból (vertices), élekből (edges) és lapokból (faces) épül fel. A háromszög alapú mesh a legelterjedtebb, mivel egyszerű és hatékony számításokat tesz lehetővé.



21. ábra - 3D mesh felépítése

Az egyenes tehát a mesh lapjait metszi. Előfordulhat olyan, hogy egy lapot két egymáshoz közel álló pont is metsz. A duplikációkat úgy kezeljük, hogy a többször megjelent elemeket töröljük. A lapok, ahogy minden más elem is – tehát csúcsok és élek – rendelkeznek azonosítóval. Az azonosító alapján ki tudjuk törölni a duplikációkat. A lezáráshoz nem lapokra, hanem pontokra van szükségünk. Ezért a metszett lapok pontosabban háromszögek csúcsai szolgálnak segítségül a

lezárás tekintetében. Azokra a csúcspontokra van szükségünk, melyek a sebhez közeli csúcspontok. Itt tehát történik egy szűrés, mely eldobja azokat a csúcspontokat, amelyek távoliak és irrelevánsok a lezárás tekintetében. Abban az esetben, ha két szomszédos lappal is történt metszés, előfordulhat, hogy mivel a két lap szomszédos, így mind a két lap esetében a releváns csúcspontok szintén duplikálva jelennek meg. Ezen pontokat is szűrjük. Az utóbbi két szűrést követően megkapjuk a végső listát a lezáráshoz szükséges sebkontúr pontokkal.

5. Következő lépések

A háromdimenziós objektumon történő kontúrponthoz meghatározását követően a pontok könnyebb kezelhetősége és felhasználhatósága érdekében sorrendbe kell helyezni őket, ugyanis a pontok véletlenszerűen lettek eltárolva egy vektorba. A csúcspontokhoz tartozó azonosító továbbra is fix, viszont a vektorba kerülésük sorrendje nem prediktálható a különböző futtatási esetek tekintetében. A kontúr tulajdonképpen valamilyen deformált, szabálytalan körvonal, ami azért fontos, mert ennek tudatában polárkoordinátarendszerbe [17] történő átalakítás segítségével sorrendbe rendezhetőek a pontok. A kezdő vagy kiindulási pont nem befolyásoló tényező, így az x vagy akár az y tengely is kijelölhető referenciapontnak. A sorbarendezett pontok ismeretében történik a későbbi munka folyamán a seb lezárásának művelete.

Irodalomjegyzék

- [1] N. O. a. A. A. (NOAA), „An Introduction to Lidar Technology, Data, and Applications,” 2012.
- [2] R. S. M. D. S. M. C. J. C. M. Cheryl Bansal BA, „Decubitus ulcers: A review of the literature,” International Journal of Dermatology, 2005.
- [3] D. F. *. a. E. K. Nyark, „2D/3D Wound Segmentation and Measurement Based on a Robot-Driven Reconstruction System,” Sensors (MDPI), 2023.
- [4] Z. Li, F. Liu, W. Yang, S. Peng és J. Zhou, „A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects,” IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022.
- [5] S. Y. C. L. T. X. X. Z. Xuecheng He, „Integrated Wound Recognition in Bandages for Intelligent Treatment,” Advanced Healthcare Materials, 2020.
- [6] Z. C. W. 1. Q. F. 1. R. K. 1. F. H. 1. B. Y. 2. T. Y. 2. a. M. G. 3. Ying Yu 1, „Techniques and Challenges of Image Segmentation: A Review,” Electronics, 2023.
- [7] S. N. Kriangkrai Tassanavipas, „An Integrated Hardware and Software Application to Support Wound Measurement Using a 3D Scanner and Image Processing Techniques,” The Open Biomedical Engineering Journal, 2020.
- [8] M. Tripathi, Coordinate Geometry: Polar Coordinates Approach - Hardcover, Alpha Science International Ltd., 2005.

Gépi tanulás a szabványosított ipari rendszerekben

¹Baráth Zoltán, ²Veres Péter

¹ Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar Hatvany József Informatikai
Tudományok Doktori Iskola

² Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar Logisztikai Intézet
barath.zoltan.13@gmail.com;

A mesterséges intelligencia (MI) és a gépi tanulás (ML) technológiáinak fejlődése számos iparág számára kínál jelentős lehetőségeket, különösen az ipari automatizálás és gyártás területén, beleértve a beszerzést, gyártást, termeléstámogatást és adatkarbantartást. Az olyan szabványosított keretrendszerek, mint az ISA-95 (2003), lehetőséget adnak robusztus termelés-tervezési modellek kialakítására, amelyek strukturált alapot nyújtanak MI-alapú megoldások integrálásához. Ezek a modellek feltölthetők szabványosított operatív adatokkal, így lehetővé téve adateltérések vagy könyvelési hibák észlelésére. Bár a frissített szabványok és fejlett modellező eszközök gyakran kereskedelmi korlátozások alá esnek, az alapelvek továbbra is alkalmazhatók, és támogatják a skálázható, interoperábilis MI-megoldások bevezetését. A tanulmány az MI/ML technológiák alkalmazásait, bevált gyakorlatait és a szabványosítás szerepét vizsgálja az ipari logisztikában és termelésben.

Kulcsszavak: ISA-95, gyártás, tervezés, ipar, termelés, logisztika, mesterséges intelligencia, szabványosítás

1. Bevezetés

Jelen világunkban az ipari tevékenységek fő mozgatórugója egyre inkább a bizonytalanná vált gazdaság, amely különösen az egyre fokozódó amerikai vámháborúk az orosz-ukrajnai háború és a globális ellátási lánc zavarai következtében kapott kiemelt figyelmet. A vállalatok számára kulcsfontosságúvá vált, hogy működésüket adaptív módon átalakítsák: gyorsabban reagáljanak a piaci változásokra, optimalizálják erőforrásaikat, és csökkentsék a gyártás- és készletköltségeket. Ebben a környezetben a gyártás-ütemezés kérdésköre középpontba került, hiszen a termelési folyamatok hatékonyságának és rugalmasságának biztosítása nélkülözhetetlen a versenyképesség megőrzéséhez.

A globális ellátási láncok egyre gyakrabban szakadnak meg, ami új kihívásokat jelent a termelési tervek betarthatóságában. A gyártóvállalatok kénytelenek újratervezni folyamataikat, hogy fenntartsák versenyképességüket a kiszámíthatatlan piaci körülmények között. A hagyományos gyártás-ütemezési rendszerek gyakran nem tudják kezelni a gyorsan változó környezetből eredő komplexitást, így szükségessé válik olyan intelligens megoldások bevezetése, amelyek képesek a dinamikus alkalmazkodásra.

A mesterséges intelligencia és a gépi tanulás technológiái ezen a ponton kínálnak áttörést: képesek valós idejű adatokból tanulni, előre jelezni eltéréseket és optimalizálni a döntéshozatalt. Az ipari digitalizáció következő nagy hullámát ezek az MI/ML technológiák képviselik. Ezek a módszerek nem csupán az automatizálás szintjét emelik, hanem lehetőséget kínálnak az előrejelzésre, az anomáliák detektálására, valamint a döntéstámogatás új szintjeinek bevezetésére. Azonban az MI/ML megoldások sikeres alkalmazása erőteljesen függ a rendelkezésre álló adatok minőségétől és strukturáltságától. A strukturált, szabványosított adatkezelés alapfeltétele a hatékony MI-alkalmazások működésének.

Itt lép be a képbe a standardizáció szerepe, különösen az ISA-95 szabvány, amely átfogó keretrendszert biztosít az ipari rendszerek informatikai integrációjához. Az ISA-95 nemcsak a vállalati (ERP) és gyártási (MES) szintek közötti kommunikáció egységesítését támogatja, hanem

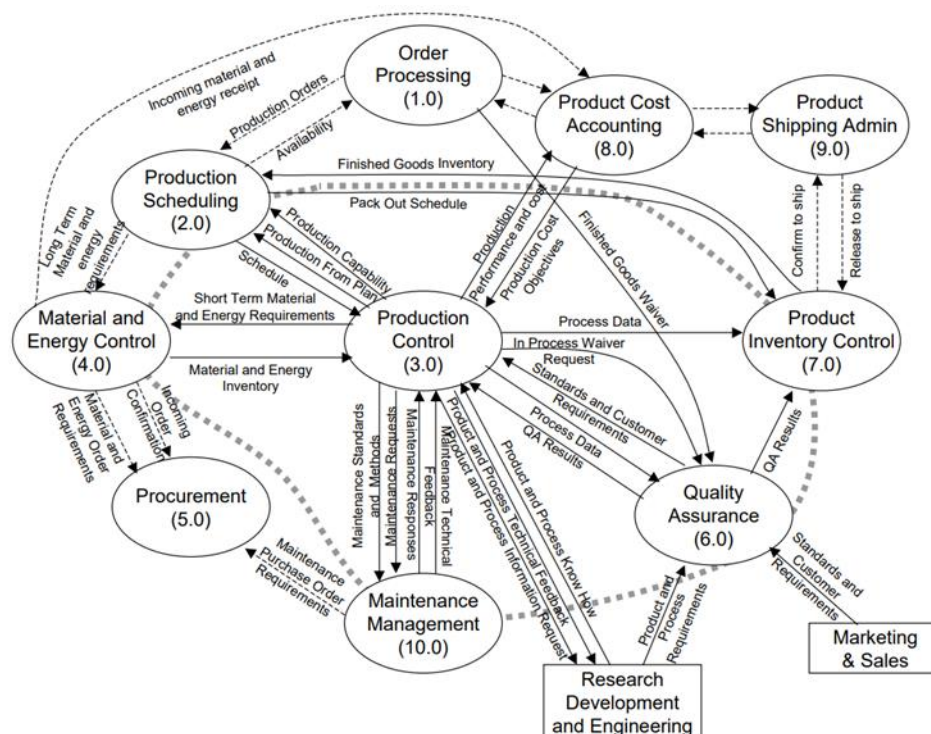
egységes adatmodellt és fogalomkészletet kínál, amely ideális alapot nyújt az MI/ML alapú rendszerek felépítéséhez. A szabvány által definiált funkcionális és adatmodellek lehetővé teszik az interoperábilis, moduláris és skálázható MI-megoldások bevezetését. A szabvány rétegmodellje révén pontosan meghatározhatók azok az adatpontok, amelyekből egy gépi tanulási algoritmus képes tanulni és optimalizálni például a gyártásütemezést vagy a karbantartási erőforrásokat.

Az MI-alapú gyártásütemezés nemcsak pontosságot, hanem prediktív képességeket is nyújt, csökkentve a leállásokat és optimalizálva az erőforrásokat. A vállalatok számára ez nemcsak technológiai, hanem stratégiai előnyt is jelenthet egy turbulens gazdasági környezetben. A cég működése így ellenállóbbá válhat a külső zavarokkal szemben, miközben növeli az ügyfélelégedettséget és a belső hatékonyságot. A mesterséges intelligencia és a szabványosított adatstruktúrák kombinációja új lehetőségeket nyit meg a prediktív ütemezés, a valós idejű kapacitáskezelés és a rugalmas gyártásirányítás terén.

Tanulmányunk célja, hogy rávilágítson az ISA-95 és a mesterséges intelligencia kapcsolatára a gyártásütemezés vonatkozásában, módszertani alapokkal alátámasztva. A következőkben áttekintjük a szabvány felépítését, elméleti hátterét, majd megvizsgáljuk, hogyan építhetők fel olyan AI-alapú modellek, amelyek képesek a gyártás valós idejű optimalizálására az ISA-95 alapelveire építve.

2. ISA-95 szabvány elmélete

Az ISA-95, hivatalos nevén ANSI/ISA-95 Enterprise-Control System Integration, egy nemzetközi ipari szabvány, amelyet az International Society of Automation (ISA) dolgozott ki azzal a céllal, hogy strukturált modellt biztosítson a vállalati (ERP) és gyártási (MES) rendszerek integrációjához. A szabvány fő célkitűzése a különböző szintű ipari rendszerek közötti kommunikáció és adatcsere egységesítése, ezáltal támogatva a heterogén IT-környezetek közötti interoperabilitást. A szabványt először 2000-ben publikálták, de az ipar digitalizációjának előrehaladtával többször frissítették például 2018-ban ISO 62264 néven is elfogadták.[1]



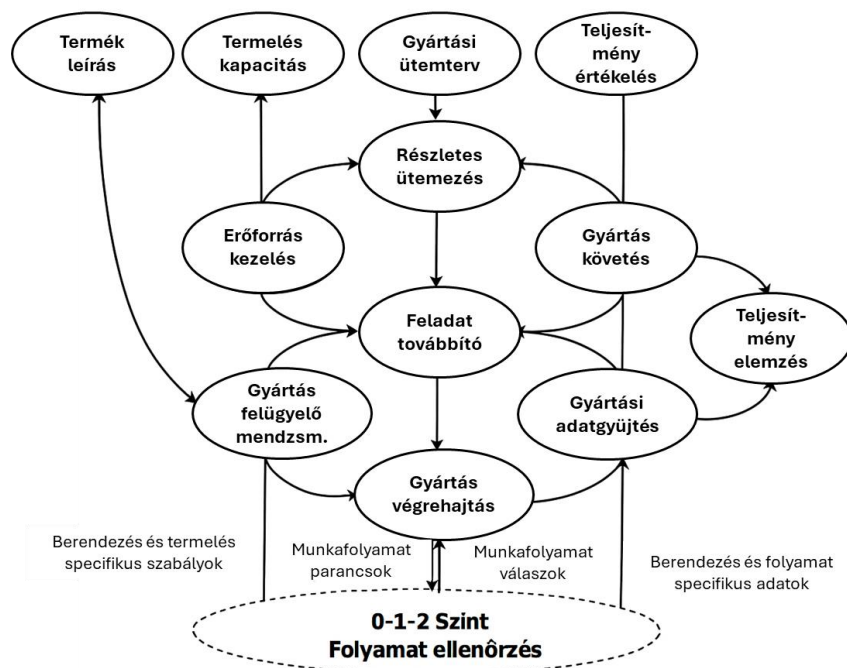
1. ábra: Funkcionális vállalati irányítási modell [2]

Az első ábrán jól látszik, hogy egy vállalat életében mennyi féle kapcsolat alakul ki, és milyen bonyolultak ezek, ahogy az információáramlás is rendkívül komplex. Az ISA-95 alapvetően egy rétegmodellre épül, amely öt szintre bontja az ipari rendszerek működését. A legalsó, 0–2. szintek fizikai gyártási műveleteket (pl. gépek, szenzorok, vezérlőrendszerek) reprezentálnak, míg a 3. szint a gyártásirányítás (Manufacturing Operations Management, MOM), a 4. szint pedig az üzleti tervezés funkciók színtere. A szabvány fő erőssége abban rejlik, hogy világszinten definiálja, milyen adatcserére van szükség ezek között a szintek között, és hogyan kell ezeket modellezni a gyakorlatban.[2]

Az ISA-95 három kulcsfontosságú modelltypust definiál:

- Funkcionális modell: meghatározza a gyártásirányítási funkciókat (pl. termelésütemezés, minőségellenőrzés, karbantartás).
- Adatmodell: egységesíti az üzemi adatstruktúrákat, pl. erőforrások, termékek, folyamatok, ütemezések.
- Objektummodell: leírja az entitások (pl. berendezések, személyzet, anyagok) viselkedését és kapcsolatait.[2]

E szabvány előnye, hogy technológia-agnosztikus, azaz független a használt szoftverektől, hardverektől vagy gyártói megoldásoktól. Ez lehetővé teszi a cégek számára, hogy hosszú távon is fenntartható, rugalmas informatikai architektúrát építsenek ki, amely könnyen illeszthető a későbbi MI- vagy adatvezérelt megoldásokhoz [1].



2. ábra: Gyártási műveletek – C. Johnsson (2004) alapján újrakészítve [2]

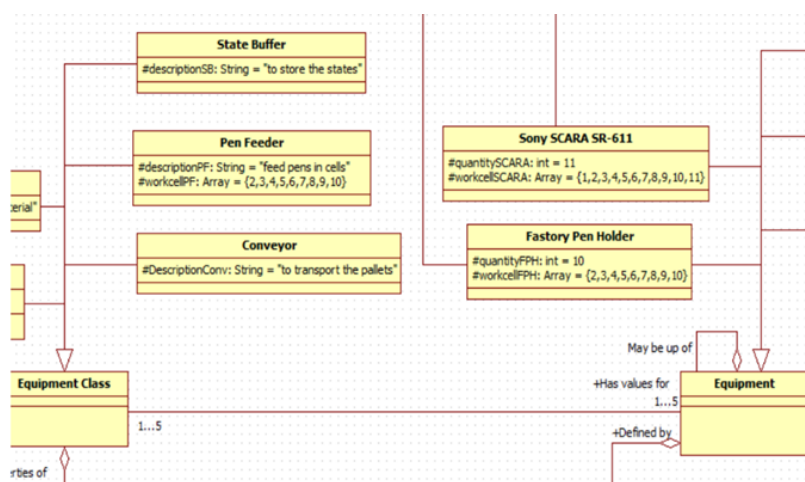
A szabvány strukturált adatmodellje kulcsfontosságú az MI- és ML-alapú gyártásütemezés szempontjából is, mivel biztosítja az adatok konzisztenciáját és egységességét, amelyek elengedhetetlenek az algoritmusok tanításához. Egy jól implementált ISA-95 rendszer keretét ad

az adatok gyűjtéséhez, validálásához és tárolásához, ami egyúttal lehetőséget teremt a prediktív és adaptív ütemezési technológiák integrálására is. Ezt jól prezentálja a második ábra, ahol látszanak a rétegek és az egyes területi és adatok összeolvadása. Az ISA-95 nemcsak egy szabályrendszer, hanem egy filozófia, amely a gyártási és vállalati rendszerek közötti átlátható, egységes és skálázható kapcsolatot helyezi előtérbe. Ez a szemléletmód tökéletes alapot szolgáltat az olyan intelligens rendszerek fejlesztéséhez, amelyek a jövő gyártásütemezését meghatározzák. [1-2]

3. Termelésütemezés és ISA-95 kapcsolata

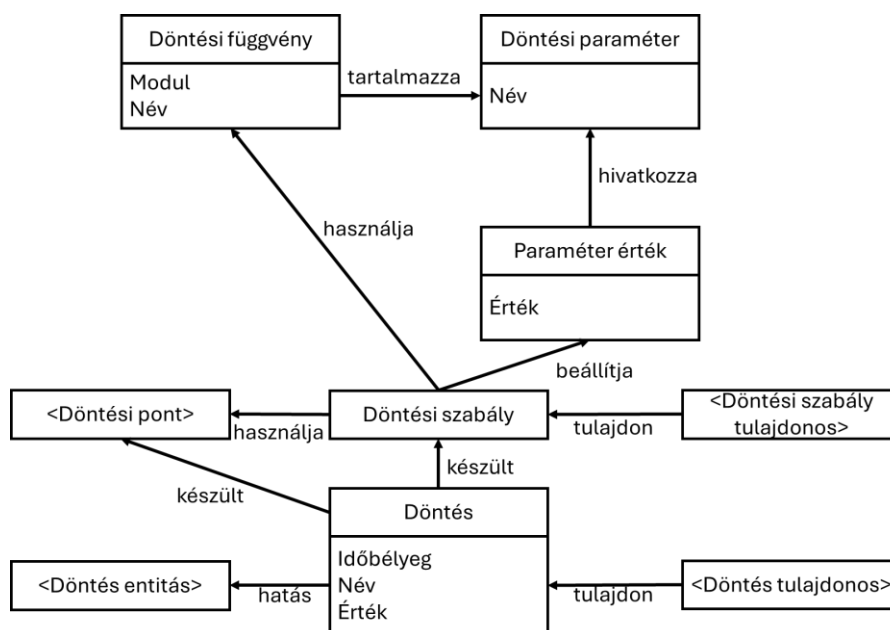
A gyártásütemezés a termelési folyamat egyik legkritikusabb eleme, amelynek célja a termelési feladatok optimális időbeli elosztása az erőforrások hatékony kihasználása mellett. Az ütemezés feladata, hogy meghatározza, mikor, milyen sorrendben és milyen kapacitással kell a termelést végezni annak érdekében, hogy a vevői igények időben és költséghatékonyan teljesüljenek. Az ipari környezet komplexitása, például a gyártási kapacitások, az anyagáramlás, az emberi munkaerő, és a gépek rendelkezésre állása – miatt az ütemezési folyamat nehézségei jelentősök, különösen a gyorsan változó és bizonytalan gazdasági helyzetben. Az ISA-95 szabvány egy átfogó keretrendszert kínál a gyártási és vállalati rendszerek integrációjához, amely közvetlenül érinti és támogatja a gyártásütemezés feladatait. A szabvány 3. szintje, azaz a MOM tartalmazza a gyártásirányítási funkciókat, köztük a termelésütemezést, és meghatározza azokat az információs kapcsolatokat, amelyek a gyártás folyamatos tervezéséhez, végrehajtásához és ellenőrzéséhez szükségesek. Ennek révén az ISA-95 egységes adatmodellt biztosít az ütemezési feladatok támogatására. Az ISA-95 adatmodellje lehetővé teszi az ütemezési folyamatokhoz szükséges adatok egységes kezelését. Például a termékek, műveletek, erőforrások, kapacitások és időbeli korlátok pontos, standardizált ábrázolása biztosítja, hogy a gyártási rendszerek – legyenek MES, ERP vagy speciális ütemező rendszerek – összehangoltan működjenek. Ez az egységes adatstruktúra kulcsfontosságú a gyártásütemezés hatékonyságának növelésében, mert a rendszer minden komponense ugyanarról a „valóságról” rendelkezik információval, így a döntések megalapozottabbak és következetesebbek lehetnek. Az ISA-95 ezen felül támogatja a valós idejű adatgyűjtést és visszacsatolást, amely nélkülözhetetlen a dinamikus gyártásütemezés megvalósításához. A termelési folyamatok során folyamatosan érkező adatok – például gépállapot, készletváltozás vagy emberi munkaerő elérhetősége – beépíthetők az ütemezési modellekbe, amelyek így képesek valós időben módosítani a termelési terveket, reagálva az előre nem látott eseményekre, például gépleállásokra vagy anyaghiányra. Ez az alkalmazkodóképesség egyre fontosabbá válik a globálisan kiszámíthatatlan gazdasági környezetben.[3]

A gyártásütemezés és az ISA-95 kapcsolata különösen releváns a mesterséges intelligencia és gépi tanulás alkalmazása szempontjából. Az ISA-95 szabványban lefektetett szabványosított adatszerkezetek ideális alapot nyújtanak az MI/ML algoritmusok tanításához és működtetéséhez. Az MI technológiák képesek komplex ütemezési problémák megoldására, például többcélú optimalizációra, prediktív karbantartás integrálására vagy valós idejű anomáliadetektálásra, amely növeli a termelés hatékonyságát és csökkenti a leállások számát. Az ISA-95 adatmodellje révén ezek az intelligens megoldások egyszerűen integrálhatók bármely gyártási végrehajtási rendszerbe, függetlenül a gyártó specifikus technológiáitól. Ezen túlmenően az ISA-95 támogatja a különböző gyártási helyszínek és üzemi egységek közötti adatcserét és összehangolt ütemezést, ami kritikus a nagyobb vállalatok és multinacionális gyártók számára. Az egységes szabvány megkönnyíti a komplex ellátási láncok átláthatóságát és koordinációját, hozzájárulva a gyártási folyamatok globalizált optimalizálásához. Így az ISA-95 nem csupán egy belső vállalati eszköz, hanem kulcsszereplő az ipari digitalizáció és az ipar 4.0 megvalósításában.[4]



3. ábra: A FASTory gyártósor berendezésobjektum-modelljének része[2]

A harmadik ábrán jól látható egy adatstruktúra felépítése, a használt mezők, valamint az is, hogy ezek a folyamat egyes részein hogyan kapcsolódnak össze – amit az negyedik ábra is szemléltet. Ugyanakkor a [5] forrás több beállítási lehetőséget kínál az adatok strukturálására.



4. ábra: Döntési ontológiák – A. Sohr, F. G. Listl, K. Ecker, J. Fischer, J. C. Wehrstedt és M. Weyrich (2022) alapján újrakészítve [2]

A gyártásütemezés és az ISA-95 szabvány szorosan összefonódnak, mivel az ISA-95 egy strukturált keretet kínál a gyártásirányítási adatok kezelésére – ez pedig alapvető feltétele a hatékony, adaptív és intelligens ütemezési rendszerek kialakításának. A szabvány által definiált egységes modellek és interfészek lehetővé teszik, hogy a gyártóvállalatok rugalmasan reagáljanak a gazdasági bizonytalanságokra, miközben maximalizálják a termelékenységet és minimalizálják a működési kockázatokat. Ez a kapcsolat kulcsszerepet játszik abban, hogy a modern gyártási környezetekben az MI-alapú ütemezési megoldások hatékonyan működhessenek, és ezáltal fenntartható versenyelőnyt biztosítsanak számukra. [3][4][6]

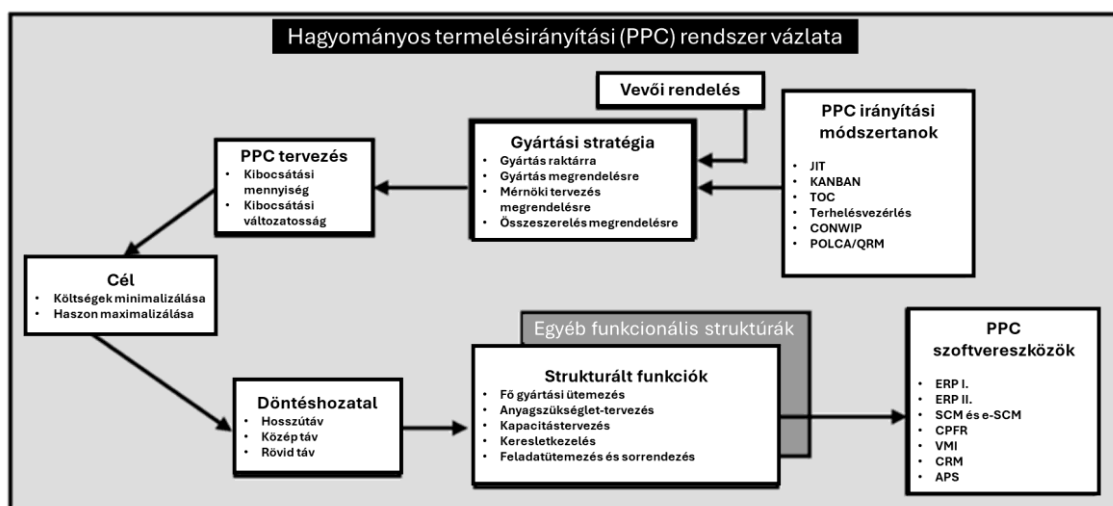
A [2] és [5] forrásokban részben szintén megjelennek hasonló megállapítások, bár ezekben a gyártásütemezés nem szerves része a modellnek. A [6] forrás viszont kiemelten tárgyalja a gyártásütemezést, különösen az intelligens ütemezés kontextusában.

4. Technológiai adatintegrációk

A modern gyártási környezetek egyre összetettebbek, és a hatékony működéshez elengedhetetlen a különböző technológiai rendszerek közötti zavartalan adatáramlás. A technológiai adatintegráció célja, hogy a gyártás különböző szintjein és komponensein található információforrások összekapcsolódjanak, így valós idejű, pontos és megbízható adatokat szolgáltatassanak a döntéshozatalhoz. Az ISA-95 szabvány alapvető eszközt nyújt ennek a kihívásnak a kezelésére, mivel egységesített adatmodelleket és interfészeket definiál, amelyek segítségével a vállalati és gyártási rendszerek közötti adatok könnyen, biztonságosan és interoperábilisan cserélhetők. A technológiai adatintegráció három fő dimenzió mentén valósul meg: adatstruktúra, adatkommunikáció és adatbiztonság. Az adatstruktúra biztosítja, hogy az információk egységes formátumban és tartalommal legyenek kezelhetők; az adatkommunikációs protokollok pedig lehetővé teszik a rendszerek közötti hatékony adatcserét, legyen az PLC, SCADA, MES vagy ERP rendszer. Az ISA-95 által előírt standardizált interfészek, például az objektum- és funkcionális modellek, garantálják, hogy az integrált rendszerek képesek legyenek szinkronban működni, minimalizálva az adatduplikációt és az inkonzisztenciákat. Ezek a rendszerek kiemelt hangsúlyt kapnak a [1] fő szabványban.[2]

Különösen a gyártásütemezés területén az adatintegráció lehetővé teszi, hogy a termelési tervek, kapacitásadatok, készletinformációk és valós idejű gyártási állapotok egyetlen átfogó rendszerben jelenjenek meg. Ez támogatja az adaptív és dinamikus ütemezési algoritmusokat, amelyek gyorsan reagálnak a változó körülményekre, például anyagihiányra vagy gépleállásra. Az integrált adatok révén a gyártóvállalatok optimalizálni tudják a gyártási folyamatokat, csökkenthetik a lead time-t, és javíthatják a termékek minőségét.[6]

Főként az ipar 4.0-ra való koncentrálás miatt, az egyes rétegek automatikus adatintegrációját kell biztosítani a szabványokkal, amit az 5. ábra jól szemléltet az előzőkhöz hasonlóan.



5. ábra: Hagyományos PPC rendszer vázlata – H. Cañas, J. Mula, F. Campuzano-Bolarín és R. Poler (2022) alapján újrakészítve [6].

Az ISA-95 szabvány lehetőséget teremt a különböző gyártási helyszínek és technológiai platformok közötti adatintegrációra is. Ez azt jelenti, hogy akár globális gyártási hálózatok esetén is megvalósítható az egységes adatkezelés és a koordinált termelésütemezés. A szabvány elősegíti a modularitást és skálázhatóságot, amelyek kulcsfontosságúak a folyamatosan fejlődő ipari

környezetekben. H. Cañas, J. Mula, F. Campuzano-Bolarín, és R. Poler (2022) a jól bevált ISA-95-ös modellt használják a gyártási szintek azonosításhoz:

1. Konfigurációs szint (Önkonfiguráció):
 - Konfiguráció rugalmasságra
 - Alkalmazkodás eltéréshez
 - Optimalizálás zavarásra
2. Kognitív szint
 - Integrált szimuláció és szintézis
 - Távoli vizualizáció ember számára
 - Kollaboratív diagnosztika és döntéshozatal
3. Kiber szint
 - Digitális ikermódellem komponensekhez és gépekhez
 - Időgép az eltérések azonosítására és megjegyzésére
 - Klaszterezés hasonlóság alapján az adatbányászatban
4. Adat-információ átalakítási szint
 - Intelligens analitika a Gépegységek állapotára és többdimenziós adatok összefüggéseire
 - Hasonlóság szerinti lebontás az adatbányászatban
5. Okos kapcsolódási szint
 - Plug and play (automatikus csatlakozás)
 - Vezeték nélküli kommunikáció

Szenzorhálózat

Az adatintegráció megvalósítása során egyre nagyobb szerepet kapnak a modern digitális technológiák, mint az IoT (Internet of Things), az Edge Computing és a felhőalapú rendszerek. Ezek az eszközök további lehetőségeket nyújtanak a valós idejű adatok gyűjtésére és feldolgozására, amelyek az ISA-95 keretrendszerben strukturált formában hasznosíthatók. Az MI-alapú gyártásütemezési megoldások ezen integrált adatkörnyezetekben működve képesek jelentősen növelni a termelékenységet és rugalmasságot. A technológiai adatintegráció az ISA-95 szabvány alkalmazásával olyan megbízható és egységes információs infrastruktúrát teremt, amely a gyártásütemezés hatékonyságának és a gyártási folyamatok átláthatóságának alapja. Ez elősegíti a modern ipari rendszerek folyamatos fejlődését, támogatva az intelligens és adaptív gyártási stratégiák megvalósítását.[7][8]

A [7] és [8] források lényegében egymásra épülnek: mindkettő a raktároptimalizálás egységesítésével foglalkozik, különös hangsúlyt fektetve a valós idejű visszajelzésekre. A [7] forrás egy algoritmikus megközelítést ismertet a készletek optimalizálására, míg a [8] forrás ezt kiegészíti egy gyártóegység és raktár közötti kapcsolat leírásával, rávilágítva az élő adatok szerepére az automatizált döntéshozatalban.

5. Összefoglalás és jövőbeni kutatási irányok

Az eddigi tapasztalatok alapján a szabványokra az MI/ML alapú alkalmazásoknál azért van szükség, hogy az adatstruktúra egységes legyen. A mesterséges intelligencia alapú adat vezérelt modellek instabillá válnak, ha az adatokat nem lehet biztos alapra építeni. Aminek rövid és hosszútávú következményei is lehetnek, így az integrációt csak megfelelő alapra érdemes készíteni, amit a felhasznált irodalmak mindegyike kiemel.

A mesterséges intelligencia alkalmazása a gyártásütemezésben és az ipari logisztikai rendszerekben csak akkor lehet eredményes, ha a mögöttes adatstruktúrák egységesek és stabilak. A gyakorlatban az elmúlt évek tapasztalatai azt mutatják, hogy az adatintegráció egyik legkritikusabb pontja az, hogy az adatforrások ne csak mennyiségileg, hanem szerkezetileg és tartalmilag is konzisztens módon legyenek kezelhetők. Amennyiben ez nem valósul meg, a mesterséges intelligencia-alapú, adatvezérelt modellek instabillá válhatnak. Ez az instabilitás rövid távon előrejelzési hibákhoz, hosszú távon pedig a teljes rendszer megbízhatatlanságához vezethet, amely nemcsak a döntéstámogatást gyengíti, hanem a termelési folyamatokat is kockára teszi.

A jövőbeni kutatásaink egyik lehetséges iránya az, hogy feltárja, miként támogathatják ezek a szabványokon alapuló adatmodellek az adaptív, önoptimalizáló logisztikai és ütemezési megoldásokat. A jelenlegi geopolitikai és gazdasági instabilitás – különösen a vámháborúk, nyersanyaghiány és keresleti ingadozások – arra kényszerítik a vállalatokat, hogy gyorsan és pontosan tudjanak reagálni a hálózati zavarokra. E cél elérésében kulcsszerepet játszanak az olyan MI-alapú rendszerek, amelyek képesek valós időben újratervezni a szállítási útvonalakat, gyártási sorrendeket, készletkiegénylést vagy akár kapacitáselosztást is.

Ezeket a lehetőségeket egy kísérleti modell kidolgozásával tervezzük tovább vizsgálni, amelyben mesterséges intelligencia algoritmusokat tanítunk be vállalati termelési adatokon. Meg fogjuk vizsgálni, hogy két különböző környezetben: egy ISA-95 szabvány szerint strukturált és egy strukturálatlan, heterogén környezetben milyen teljesítménykülönbség látható.

A kísérlet célja annak vizsgálata, hogy az egységes adatstruktúrák milyen hatással vannak az MI-modellek teljesítményére – különös tekintettel az előrejelzési pontosságra, stabilitásra és reagálóképességre. Az így nyert eredmények gyakorlati útmutatást nyújthatnak a vállalatok számára abban, hogyan alakítsanak ki megbízható, rugalmas és jövőálló digitális gyártási és logisztikai rendszereket az adatvezérelt döntéshozatal korszakában.

Irodalomjegyzék

- [1] ISA, Enterprise-Control System Integration – Part 1: Models and Terminology, ANSI/ISA-95.00.01-2000 (IEC 62264-1 Mod), Research Triangle Park, NC, USA: *International Society of Automation*, 2003.
- [2] C. Johnsson, ISA-95 – how and where can it be applied?, *ResearchGate, ISA Expo 2004*.https://www.researchgate.net/publication/281063570_ISA_95-_how_and_where_can_it_be_applied
- [3] Harjunkoski, R. Bauer, Sharing data for production scheduling using the ISA-95 standard, *Frontiers in Energy Research* 2.sz., 44, 2014. Available: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenrg.2014.00044/full>
- [4] D. He, A. Lobov, J. L. Martinez Lastra, ISA-95 Tool for Enterprise Modeling, *Proceedings of the Seventh International Conference on Systems (ICONS 2012)*, 2012, pp. 83–88. https://personales.upv.es/thinkmind/dl/conferences/icons/icons_2012/icons_2012_4_30_20136.pdf
- [5] Sohr, F. G. Listl, K. Ecker, J. Fischer, J. C. Wehrstedt, M. Weyrich, Decision modeling for an ISA-95 based production ontology, *IFAC-PapersOnLine*, 55sz.10, pp. 371–376, 2022.
- [6] H. Cañas, J. Mula, F. Campuzano-Bolarín, R. Poler, A conceptual framework for smart production planning and control in Industry 4.0, *Computers & Industrial Engineering*, 173 sz. 108659, 2022.
- [7] V. S. Yosephine, M. Batara, M. Setiawati, Scalable and Affordable IoT-based Inventory Control with Real-Time Monitoring for Small and Medium Enterprises, *Jurnal Teknik Industri*, 27 sz.2025.
- [8] T. Sufian, B. M. Abdullah, O. J. Miller, Smart Manufacturing Application in Precision Manufacturing, *Applied Sciences*, 15 sz. 2, 915, 2025

MPS 404-1 állomás bemutatása

Béni Boglárka, Antal Róbert, Szilágyi Zoltán, Tóth Péter Marcell, Sarvajcz Kornél
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
benibogi@mailbox.unideb.hu

A cikk a kutatásunkra használt MPS 404-1 állomásról, valamint a kutatásunk témájáról fog szólni. A kutatásunk célja, hogy egy Digital Twin hozzunk létre az állomásról, illetőleg optimalizáljuk a gyártási folyamatot. Ezekhez a FESTO CIROS 7 szoftverét fogjuk használni. Viszont ahhoz, hogy ezen terveinket meg tudjuk valósítani, átfogóan tanulmányoznunk kell a rendszer működését, ismernünk kell az egyes folyamatokat, szenzorok, aktuátorok működését, feladatát. Jelen cikk, az állomás működését írja le részletesen és betekintést nyújt a jövőbeli terveinkbe.

Kulcsszavak: MPS 404-1, Digital Twin, CIROS 7, Optimalizálás

1. Bevezetés:

A projekt célja, hogy az ipari gyártósorok működését hatékonyabbá tegyük, ezáltal gyorsabb és költségcsökkentő megoldásokat kínálva a termelésben. Továbbá a termelési idő csökkentése különböző eszközökkel, mint például a gyártósorok sebességének növelése vagy a gépek állásidejének minimalizálása. Digitális iker létrehozásával, olyan régebbi, nem okos gyártósorok okosíthatók fel, amelyek korábban erre nem voltak képesek. Célunk azt elérni, hogy a Mechatronika Tanszéken lévő eszközök digitális iker alkalmazásával alkalmasak legyenek a kor kihívásainak ellátására. Az MPS 404-1 állomás egy oktatási célú rendszer, mellyel a hallgatók megismerhetik a modern gyártósorok elvi működését, az iparban is használt alkatrészeket, szenzorokat, eljárásokat. Megismerkedhetnek a MES rendszer működésével, a PLC programozással és a PLC üzemeltetésével, valamint az Ipar 4.0-nak megfelelő rendszerek működésével.

1.1. Ipari gyártás fejlődése

A legújabb technológiai áttörések lehetővé teszik a vállalatok számára, hogy jelentősen növeljék termelési hatékonyságukat. A gépek és rendszerek közötti intelligens kommunikáció, valamint az önálló döntéshozatal révén a munkafolyamatok gyorsabbá és átláthatóbbá válnak. Ennek köszönhetően csökkennek a hibák és az állásidők, ami hosszú távon komoly költségmegtakarítást eredményez. Az ipari dolgok internete (IIoT) platformjai lehetővé teszik a valós idejű adatgyűjtést és -figyelést, amely során az érzékelők és különféle eszközök folyamatosan szolgáltatnak információt az ipari folyamatok nyomon követéséhez, irányításához és optimalizálásához. Ez az adatalapú megközelítés támogatja a megalapozott döntéshozatalt, elősegítve a működés hatékonyságának növelését, a leállások minimalizálását, valamint az általános rendszer teljesítményének javítását.

A folyamatos innovációk új szintre emelték a gyártási és ellátási rendszerek automatizálását is. Az intelligens gépek és robotok már képesek önállóan kezelni a készletgazdálkodást, optimalizálni a gyártási lépéseket, sőt még a logisztikát is hatékonyabban szervezik meg. Mindez lehetővé teszi, hogy a vállalatok gyorsabban és eredményesebben elégítsék ki ügyfeleik igényeit.

2. Módszertan

1. MPS állomások megismerése
2. MPS állomások megrajzolása 3D-ben
3. Technomatix plan simulation programban felparaméterezni a futási paramétereket
4. Szimuláció készítése

5. Szimuláció optimalizálása
6. Továbbfejlesztés

2.1. MPS 404-1 állomás:

Moduláris felépítés: A rendszer különböző alkalmazási modulokból áll, amelyek egyedi feladatokat látnak el a gyártási folyamatokban.

Pallet alapú szállítás: Az egyes modulok közötti anyagmozgatás pallet rendszer segítségével történik, amely lehetővé teszi a rugalmas és hatékony termelési folyamatokat. A **pallet alapú szállítás** (vagy **palettás szállítás**) egy **anyagmozgatási megoldás**, ahol a munkadarabokat vagy termékeket **egy kis méretű tálca-szerű platformon, ún. paletten** mozgatják végig a gyártósoron vagy oktatórendszeren. Úgy van kialakítva, hogy automatizált szállítószalagokon vagy sínrendszeren tudjon mozogni.

Integrált vezérlés: A rendszer PLC (Programmable Logic Controller) vezérléssel működik, amely biztosítja a különböző modulok közötti koordinációt és az automatizált működést. A PLC egy speciális ipari számítógép, amit gépek, gyártósorok, robotok és automatizált folyamatok irányítására használnak. Képes érzékelők, kapcsolók, motorok, szelepek, lámpák stb. vezérlésére. Valós időben dolgozik, azaz gyorsan és pontosan reagál a beérkező jelekre.

Valós idejű adatgyűjtés és elemzés: A rendszer képes valós időben adatokat gyűjteni és elemezni, ami segíti a gyártási folyamatok optimalizálását és a hibák gyors felismerését.

Mechatronikai alapok: A rendszer lehetőséget biztosít a mechatronikai rendszerek alapvető működésének megértésére és gyakorlati alkalmazására.

Automatizálás és PLC programozás: A felhasználók megismerkedhetnek az ipari automatizálás alapjaival, beleértve a PLC-k programozását és alkalmazását a gyártási folyamatokban.

Industry 4.0 és IoT alkalmazások: A rendszer bemutatja az Ipar 4.0 koncepcióit, beleértve az intelligens gyártást és az IoT eszközök integrációját a gyártási környezetbe.

Adatgyűjtés és analitika: A valós idejű adatgyűjtés és elemzés lehetővé teszi a gyártási folyamatok teljesítményének nyomon követését és javítását.

Az MPS System 404-1 egy kis gyártósort képvisel, amely négy állomásból áll: Elosztó állomás, Összeszerelő állomás, Mérő állomás, Válogató állomás. Az egész rendszer hálózatba van kötve, és több RFID író/olvasó fejjel bővítették ki.



1.ábra: Elosztó állomás



2.ábra: Összeszerelő állomás



3.ábra: Mérő állomás



4.ábra: Válogató állomás

Az MPS rendszer a MES-ben rögzített munkamegrendeléseket dolgozza fel oly módon, hogy a folyamat elején szétválasztja a munkadarabot, majd az első állomás végén az integrált RFID címkére ráírja a megrendelésszámot és a pozíciószámot.

Az Összeszerelő állomás kiolvassa az RFID címkét, és a munkamegrendelés alapján dönti el, mi történjen a munkadarabbal.

A Mérő állomás a munkadarabok magasságának és súlyának mérésére szolgál. Ha az eredmény megfelelő, a munkadarabot továbbítják a következő állomásra.

A végső, Válogató állomáson kiolvassák az RFID címkéket, és a munkadarabokat a szállítószalag végére vagy az egyik két csúszda egyikére irányítják, a munkamegrendeléstől függően.

A MES **valós időben** figyeli, irányítja és optimalizálja a gyártási folyamatokat a gyártóüzem szintjén. Segít abban, hogy:

- kövesd a termelést lépésről lépésre,
- láthatóvá váljanak a problémák (pl. gépállás, selejt),
- javuljon a hatékonyság és minőség,
- döntéseket hozhass gyorsan és adat alapján.

2.2. Mit csinál egy MES rendszer konkrétan?

- Gyártási adatok gyűjtése (gépektől, operátoroktól)
- Munkautasítások kezelése (milyen terméket, hogyan, mikor kell gyártani)
- Minőségellenőrzés (pl. hibák, selejt követése)
- Karbantartási információk kezelése
- Készlet- és anyagmozgás nyomon követése

2.3. Az MPS 404-1 a következő komponenseket tartalmazza:

- 1x MPS Elosztó állomás
- 1x MPS Összeszerelő állomás
- 1x MPS Mérő állomás
- 1x MPS Válogató állomás
- RFID készletek
- IO-Link szenzorok
- IoT eszköz (kamerás kiértékelés formájában)
- 3x EduTrainer S7-1512C PLC
- 1x Érintőképernyős számítógép a MES-hez
- Az összes állomás hálózatra kötése



5.ábra: RFID modul



6.ábra: IO-Link szenzor



7.ábra: IoT modu



8.ábra: EduTrainer PLC

3. Folyamatmenet

Megadjuk a „rendelést” az MES számítógépen. Megnyomjuk az indítógombot az Elosztó állomáson. A munkadarab megáll az RFID író/olvasó fej előtt olvasás/írás céljából. A munkamegrendelés száma és a rendelési pozíció beírásra kerül az RFID címkére. A munkadarab továbbításra kerül az Összeszerelő állomásra. A munkadarab megáll a második állomás első RFID író/olvasó fejénél olvasás/írás céljából. Az RFID címke kiolvasásra kerül. A címkét leolvasva dönti el a rendszer, hogy mi történjen a továbbiakban.

Például, ha azt a megrendelést adtuk le, hogy **„szerelj sapkát a munkadarabra”**, akkor ezek a további lépések:

Az MES értesíti a PLC programot, hogy ehhez a munkadarabhoz sapkát kell felhelyezni. Amikor a megrendelés feldolgozása befejeződik, a dugós munkahenger visszahúzódik és az elterelő aktiválódik. A munkadarab megáll az elterelőnél és sapkát észlelnek a második szállítószalagon. A Pick&Place modul vákuumos megfogóval megfogja a sapkát és összeilleszti a munkadarabbal. A Pick&Place modul visszatér a kiindulási helyzetébe. Az elterelő visszahúzódik. A munkadarabot észlelik a Mérő állomás szállítószalagjának elején. A munkadarab megáll a harmadik állomás első RFID író/olvasó fejénél az adatírás/olvasás céljából. A rendelési számot beolvasják, és a szükséges lépéseket lekérdezik az MES rendszertől. A munkadarab az első villás fénysorompóhoz mozog, majd csökkentett sebességgel halad tovább. A két villás fénysorompó segítségével meghatározzák, hogy a munkadarab hengeres (kerek) vagy karton. A kartonokat nem mérik meg a tapintós mérőmodullal, így az adott műveleti lépést kihagyják. A webes felület státuszterületén tájékoztató üzenet jelenik meg. A munkadarabot megfogja a megfogó, majd a megfogó felemelkedik. A további művelet az MES-rendelés alapján változik.

Tegyük fel például, hogy meg kell határozni egy munkadarab tömegét

A munkadarabot a mérlegmodulhoz szállítják, és ott elhelyezik. A tömeget meghatározzák. A mért értéket paraméterként adják tovább. A megelőző műveletsor és annak eredménye alapján a munkadarabot vagy kilöki a folyamatból, vagy tovább szállítják.

Ha a mérési eredmény(ek) megfelelő(ek)

A munkadarabot a szállítószalag végére vagy a következő állomásra szállítják. A munkadarab megáll a Válogató állomás első RFID író/olvasó fejénél adatírás/olvasás céljából. Az ellenőrzési eredmények és a megrendelés alapján (a munkadarabot a szállítószalag végére szállítják). A munkadarabokat elszállítják, vagy például a Robotino veszi fel őket. A rendszer készen áll az újabb műveletre.

4. Befejezés:

A projekt során eddig sikeresen összeszereltük a Festo MPS 404-1 rendszert alkotó négy állomást. Emellett letöltöttük és telepítettük a CIROS szimulációs szoftvert, amely lehetővé teszi a gyártósor digitális modellezését és tesztelését. A gyakorlati munka részeként részletesen tanulmányoztuk az egyes állomások működését, különös figyelmet fordítva a szenzorok, aktuátorok és vezérlőelemek közötti együttműködésre. Ezek az előkészületek megalapozzák a következő lépéseket, mint például az automatizált folyamatok programozását és optimalizálását.

4.1. Tervek, jövőbeli kutatások:

Kutatásunk alapját a FESTO MPS 404-1 gyártósor továbbfejlesztése és bővítése képezi. Terveink között szerepel egy magasanyagraktár megvalósítása, amely a szortírozó állomás tárolóegységei után kapna helyet. Ez a raktár a munkadarabokat rendszerezve tárolná, és egy másik rendszer utasítására képes lenne a megfelelő munkadarabot előkészíteni. Emellett célunk egy olyan rendszer létrehozása, amely a selejtesnek minősített munkadarabokat automatikusan megvizsgálja és osztályozza. A rendszer meghatározná a selejt okát, valamint mérlegelné, hogy a hibás munkadarab javítható-e. Amennyiben igen, úgy automatikusan továbbítaná azt javításra. Ez a megoldás hozzájárul a gyártási folyamat optimalizálásához, mivel hibás termék előállítása esetén nem szükséges megvárni az emberi beavatkozást – a rendszer képes önállóan reagálni és kezelni a problémát. További célunk, hogy különböző módszereket dolgozzunk ki a rendszer működésének finomhangolására és optimalizálására. Ezeknek a feladatoknak az elvégzéséhez nagy segítséget nyújt a FESTO CIROS 7 szoftver és a Digital Twin technológia, mivel a fejlesztési folyamat során nincs szükség a fizikai rendszer módosítására. Ehelyett virtuálisan, biztonságos környezetben tudjuk megtervezni és tesztelni a működést, így a végső rendszer már egy megbízható, többszörösen ellenőrzött megoldás lesz, ami jelentős erőforrás-megtakarítást eredményez.

Irodalomjegyzék

[https://airmonitor.hu/ipar-4-](https://airmonitor.hu/ipar-4-0/?srsltid=AfmBOOpCsQlm2nIcqYwOojiYE00eXdU2ynkCZljcX8Cmse-MwMd9uFSn)

[0/?srsltid=AfmBOOpCsQlm2nIcqYwOojiYE00eXdU2ynkCZljcX8Cmse-MwMd9uFSn](https://airmonitor.hu/ipar-4-0/?srsltid=AfmBOOpCsQlm2nIcqYwOojiYE00eXdU2ynkCZljcX8Cmse-MwMd9uFSn)

<https://new.abb.com/news/hu/detail/94154/minden-egy-helyen-amit-az-ipar-40-rol-tudni-erdemes>

<https://ip.festo-didactic.com/Infoportal/mps/MPS404I4.0/EN/index.html>

MPS 404-1 állomás elosztó egységének bemutatása

¹Tóth Péter Marcell, ²Szilágyi Zoltán, ³Béni Boglárka, ⁴Antal Róbert, ⁵Sarvajcz Kornél
^{1,2,3,4,5} Debreceni Egyetem, Műszaki Kar Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
peti0918@mailbox.unideb.hu

Absztrakt: A cikk a kutatásunkra használt MPS 404-1 állomásról és azon belül is az állomás elosztó egységének bemutatásáról, valamint a kutatásunk témáját mutatja be. A kutatásunk célja, hogy egy Digital Twint hozzunk létre az állomásról, illetőleg optimalizáljuk a gyártási folyamatot. Ezekhez a FESTO CIROS 7 szoftverét fogjuk használni. Viszont ahhoz, hogy ezen terveinket meg tudjuk valósítani átfogóan tanulmányoznunk kell a rendszer működését, ismernünk kell az egyes folyamatokat, szenzorok, aktuátorok működését, feladatát. Jelen cikk, az állomás működését írja le részletesen és betekintést nyújt a jövőbeli terveinkbe.

1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Mechatronikai Tanszékén, a FESTO-val való együttműködésének köszönhetően egy mini gyártósor került telepítésre. Ez az állomás hivatott szemléltetni egy nagyobb gyártósor modelljét, több olyan modullal, ami az ipari gyártásban is előfordulhat. Az állomásnak köszönhetően jobban bele tudunk látni az ipari termelésbe, kézzel foghatóan előttünk van egy gyártási folyamat és annak minden apró eleme is. Ez azért nagyon jó lehetőség, hiszen az állomáson tanulva és dolgozva kicsi felelősség mellett hasznos kísérleteket végezhetünk, miközben megismerjük egy gyártósor legfontosabb részeit, esetleges buktatóit, amikre érdemes nagyon odafigyelni egy ipari gyártósor tervezésekor, hiszen célunk a gyártás hibaarányainak csökkentése. Láthatjuk, hogy mik azok az elemek, modulok, amelyeknek beállítására a legnagyobb hangsúlyt kell fektetnünk, hiszen nagyaóban hozzáadnak a ciklusidőhöz, az optimális használatuk mellett pedig akár meg is tudjuk sokszorozni a gyártósor kapacitását.

Az Ipar 4.0 elterjedésével fontos megértenünk a gyártósor egyes moduljai közötti kommunikációt, ezeket a lehető legegységesebbé és leggyorsabbá tenni ahhoz, hogy a gyártás a lehető legproduktívabban működjön.

2. Mini gyártósor felépítése

Az alábbi fejezetben az állomás egy részét fogom bemutatni. Az állomás alapvetően négy egységből áll, amelyek közül ebben a cikkben az első egység kerül bemutatásra.

Az első egység, az elosztó állomás (angolul Distributing Station Pro) egy tápláló egység. A tápláló egység funkcióit tekintve az alábbiakat látják el: a munkadarabok tárolása, válogatása, rendezése és táplálása a többi munkaállomás felé. Az állomás azt is lehetővé teszi, hogy a munkadarabokat különböző tulajdonságok alapján (a munkadarabok alakja, súlya szerint) rendezi.

Az adagoló egység részei azok a tárolók, melyek adagolóválasztóval vannak felszerelve, rezgéseket érzékelő szállítószalagok, döntött szállítószalagok és tápélválasztóval ellátott adagolótárolók. Az adagolóegységek különféle megmunkálással készült munkadarabokat tudnak tárolni. Ezek a galvanizált darabok, az öntött műanyag alkatrészek, a bélyegzett és az esztergálással megmunkált alkatrészek.

2.1. Adagolóválasztóval felszerelt tároló modul

A modul az egymásra helyezhető munkadarabokat tudja adagolni. Maximum 7 munkadarabot lehet ebben a tárolóban egymásra helyezni. Egy IO-Link érzékelő segítségével vagyunk képesek információt nyerni a tároló töltöttségi szintjéről. Míg optikai és ultrahangos távolságmérő szenzorokkal meg tudjuk állapítani a pontos értékét, hogy mennyi munkadarab van az

adagolóban, addig a kapacitív szenzorral csak állapotokat tudunk megállapítani (üres, teli vagy esetenként félig teli az adagoló). A kilökhenger véghelyzeteit közelségérzékelőkkel lehet megállapítani. Ennek a kilökdései és visszahúzási sebességét egyirányú áramlást biztosító szabályozószeleppel lehet állítani.

Egy kettős működésű munkahenger tolja ki a munkadarabot a tárolóból és helyezi rá a szállítószalagra. A visszahúzást követően a gravitációnak köszönhetően a következő munkadarab a munkahenger elé fog esni.

Három ilyen modullal rendelkezik az állomás. Ezeket aktiválni vagy deaktiválni külön-külön, a modulhoz csatlakoztatott gombbal lehet.

4.2. Szállítószalag

Ez a modul maximum 40 mm-es szélességű munkadarabokat tud szállítani. A modulhoz szerelt motor egyaránt lehetővé teszi az óramutató járásával és azzal ellentétes forgást. A szállítószalag egyaránt alkalmas a munkadarabok szállítására és pufferelésére is (a munkadarabok feltorlaszolására). A munkadarabok a szállítószalag elején és végén optikai közelítéskapcsolókkal vannak ellenőrizve. A szalag egy egyenáramú motorral van hajtva.

2.1. RFID modul

A RFID modul, azaz a rádiófrekvenciás azonosító modul lehetővé teszi a logikai információk és a fizikai környezet összekapcsolását. Tehát a tárgyak információt hordoznak vagy környezetükkel információkat cserélhetnek. Egy RFID rendszer áll egy jeladóból (RFID címke) – ami a tárgyon vagy a tárgyba beleépítve van –, egy olvasó- és íróeszközből, ami ezt a jeladót olvassa és írja, illetve egy kapuból, ami lehetővé teszi a kommunikációt az író-, olvasó eszköz és az állomás között.

2.2. Az IO-Link modul

Az IO-Link multiprotokoll modul létrehozza a kapcsolatot a különféle IO-Link eszközök – optikai távolságmérő, ultrahangos érzékelő és kapacitív érzékelő – valamint az automatizálási rendszer között.

3. Az állomás működési elve

Az állomáshoz tartozik egy monitor is, amelyen a szoftver segítségével ki tudjuk választani, hogy a három, a rendelkezésünkre álló munkadarabból melyik az, amiből szeretnénk dolgozni, mennyi darabot szeretnénk ebből a darabból a folyamat végén kapni, illetve további opciók közül is választhatunk, mint például, hogy legyen-e kupakja, vagy súly-, illetve magasságellenőrzésen átessen-e a munkadarab a gyártását követően. Ezt követően a számítógép PLC-n keresztül juttatja el az információt és bírja működésre a különböző szenzorokat, szállítószalagokat, illetve a pneumatikus működtetésű karokat és munkahengereket. A kívánt terméket kiválasztva és a programot elindítva az elosztóállomás szétválasztja az egymásra helyezett munkadarabokat. Ezután egy kettős működésű munkahenger egyenként kitolja a kívánt munkadarab(oka)t a szállítószalagra. Ezt követően a szállítószalag a munkadarab(oka)t jobbra vagy balra, a szállítószalag végére szállítja. Minden egyes tároló modul különböző munkadarabokkal szerelhető fel. Ezek a tárolóegységek működés közben aktiválhatók vagy deaktiválhatók. Ha egyszerre több adagoló is aktív, akkor mindegyikből egymás után tolódik ki egy-egy munkadarab, ez viszont mindig balról jobbra haladva történik.

4. Jövőbeli céljaink

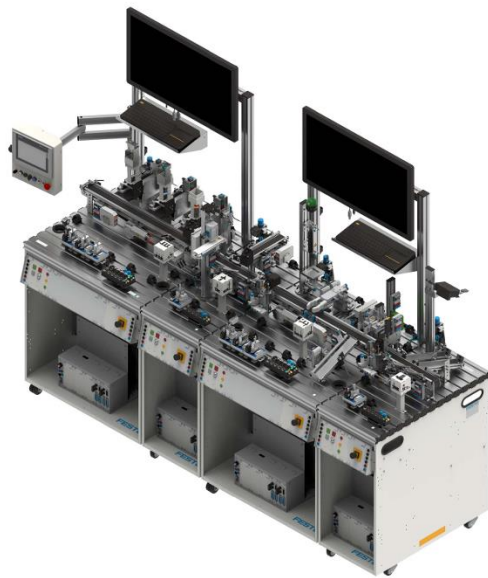
Négyen dolgozunk az MPS 404-1 állomás egységeinek feltérképezésével, szenzorjainak, illetve moduljainak megismerésével, tanulmányozásával. A célunk ezt a megszerzett tudást ahhoz felhasználni, hogy a FESTO CIROS 7 számítógépes program segítségével fel tudjuk építeni az állomás digitális mását, azaz az állomáshoz tartozó Digital Twin-t. Ehhez első lépésként az egységek gyári leírásából készültünk fel. Az egész kutatás célja, hogy a Digital Twin felépítése után a gyártósort imitáló állomás működésének optimalizálását hajtsuk végre. A kutatásunk során szeretnénk a gyártás idején csökkenteni, a szenzorok érzékelési idejének, a szállítószalagok sebességének, a pneumatikusan működtetett eszközök sebességének és az ellenőrző modulok hatékonyságának változtatásával, javításával. Emellett szeretnénk a munkaállomás hatékonyságát növelni, a hibaszázalékot csökkenteni és egy olyan módszert találni, hogy a selejtezett munkadarabok újra felhasználhatóak legyenek.

MPS 404-1 állomás mérési egységének bemutatása

¹Szilágyi Zoltán, ²Antal Róbert, ³Béni Boglárka, ⁴Tóth Péter Marcell, ⁵Sarvajcz Kornél
^{1,2,3,4,5} Debreceni Egyetem Műszaki Kar Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
 zolkox08@mailbox.unideb.hu

Absztrakt: A cikkem célja bemutatni a kutatásunkhoz használt MPS 404-1 típusú állomást, különös figyelmet helyezve annak mérési egységére (Measuring Pro Station). A kutatásunk elsődleges célja egy Digital Twin modell létrehozása az állomásról, illetve ennek segítségével a gyártási folyamat optimalizálása, hatékonyabbá tétele. Ennek a megvalósításához a Festo CIROS 7 szimulációs szoftvere lesz a segítségünk. Ahhoz, hogy a kutatás sikeres legyen szükségünk van az állomás egyes egységeinek a részletes feltérképezésére, megértésére, technológiai folyamatok, szenzorok és aktuátorok működésének átfogó elemzésére. Jelen cikk, az állomás működését írja le részletesen és betekintést nyújt a jövőbeli terveinkbe.

Kulcsszavak: MPS 404-1, CIROS 7, Digital Twin



1.ábra: MPS 404-1 station

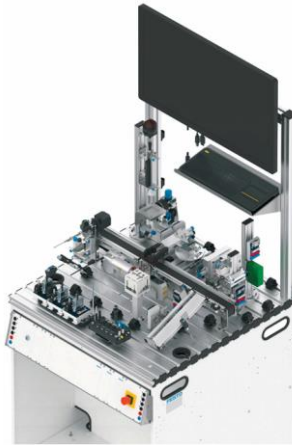
1. Bevezetés

Az MPS 404-1-es állomás segítségünk lehet a modern gyártósori elemek, technológiák megismerésére. Elsősorban tanulmányi célokra alkalmas, bemutatja az Ipar 4.0 rendszer működését, megismerjük a MES rendszert, betekintést nyerhetünk a PLC-k világába, programozásába, és a modern gyártósori szenzorok, aktuátorokat is lehetőségünk van az állomást használva igénybe venni. Az egész állomás 4 kisebb mobilis egységből áll, melyeket lehetőségünk van egymással összeköttetésbe, és ezáltal működésbe hozni. A 4 állomás a következők: Mérési, elosztó, összeszerelő és szortírozó egység,

Ezen 4 állomás közül az én cikkemben a measuring pro, azaz a **mérési egységet** mutatom be részletesen, kitérve az összes részletes paraméterére az állomásnak. Ez a része a kutatásnak elengedhetetlen, mivel ahhoz, hogy optimalizálni tudjuk az egész rendszert, először tudunk kell mindegyik egységről, hogy miként épül fel, milyen szenzorok játszanak szerepet a működésben, milyen technológiát alkalmazunk.

1.1. Mérési egység

Az MPS 404-1 measuring pro (mérési) állomását a lenti 2. ábrán figyelhetjük meg. Ez az egység mérésre, ellenőrzésre szolgál. A fő feladata ezáltal, hogy a szenzorok, aktuátorok segítségével összegyűjtse az adatokat és összehasonlítsa a tényleges értékekkel. Ezeknek az alapértékeknek a birtokában a rendszer döntést tud hozni, hogy megfelel-e a mért érték az elvártnak, és ezen információk birtokában egy igen-nem, megfelel-nem megfelel döntést tud hozni. Erre nagyon nagy szükségünk van akkor, ha a gyártás során fontos, hogy megfelelő súllyal, magassággal szeretnénk elkészíteni az adott termékeket. Az állomáshoz tartozik még a Raspberry Pi, illetve egy érintőképernyős monitor, amik segítségével lehetőségünk van folyamatosan nyomon követni a szenzorok által mért értékeket. Ezen állomáshoz tartozik még egy Slide Modul, azaz egy csúszda/tároló, amire a termék kerül, ha nem felelt meg az elvártnak, és az a termék ezáltal selejtnek minősül. Ez a selejt nem megy tovább a futószalagon a következő, egyben végső állomásra, ami jól mutatja magát a mérési egységnek a feladatát, miszerint ténylegesen egy mérő-ellenőrző feladatot lát el.



2. ábra: Measuring Pro Station

1.2. Futószalag modul



3. ábra

Ez a futószalag (3.ábra) szállítja a szerelő állomáshoz a munkadaraboka szerelendő kupakokat. A futószalag alkalmas 40 mm átmérőjű munkadarabok szállítására. A futószalagot egy szabadon pozicionálható DC motor hajtja meg. A motorunknak köszönhetően a futószalagot mindkét irányba tudjuk mozgatni és szabadon beállíthatjuk a futószalag sebességét. A futószalag akkor

indul el, ha egy kupakot, vagy egyéb munkadarabot észlel az elején. Az észlelést optikai szenzorok segítségével valósul meg.

1.3. A tömegmérő modul (4.ábra)

Ez a modul az MPS munkadarabok, próbadarabok mérésére alkalmas. A mérőcella egy profil oszlopon helyezkedik el. A mérőcella kimeneti jeleit mérőerősítő méri és dolgozza fel. A jelek analóg jelként továbbíthatók a vezérlőhöz. A 0,2 g-os pontosságnak köszönhetően a mérőcella még a munkadarab súlyának a legkisebb változását is képes érzékelni.



4.ábra

1.4. A mérőmodul (5.ábra)

Ez a modul vagy a munkadarabok töltési szintjét méri, vagy tömör test esetében a magasságot. A kommunikációt IO linken keresztül valósítja meg, ezen keresztül áramlik az információ. Ezen modulhoz tartozik egy jelző LED is, amely képes jelezni számunkra, hogy a test megfelelt-e az elvárt feltételeknek. A potenciométerrel ellátott henger egy profiloszlopra van felszerelve. A mérés egyszerűen történik, a munkadarabot ráhelyezi a rendszer egy megfogóval ellátott forgó emelőhengerrel. Amint rajta van a test a felületen a mérőhenger a munkadarab felületén mozogva képes mérni a magasságát vagy a töltöttségi szintjét.



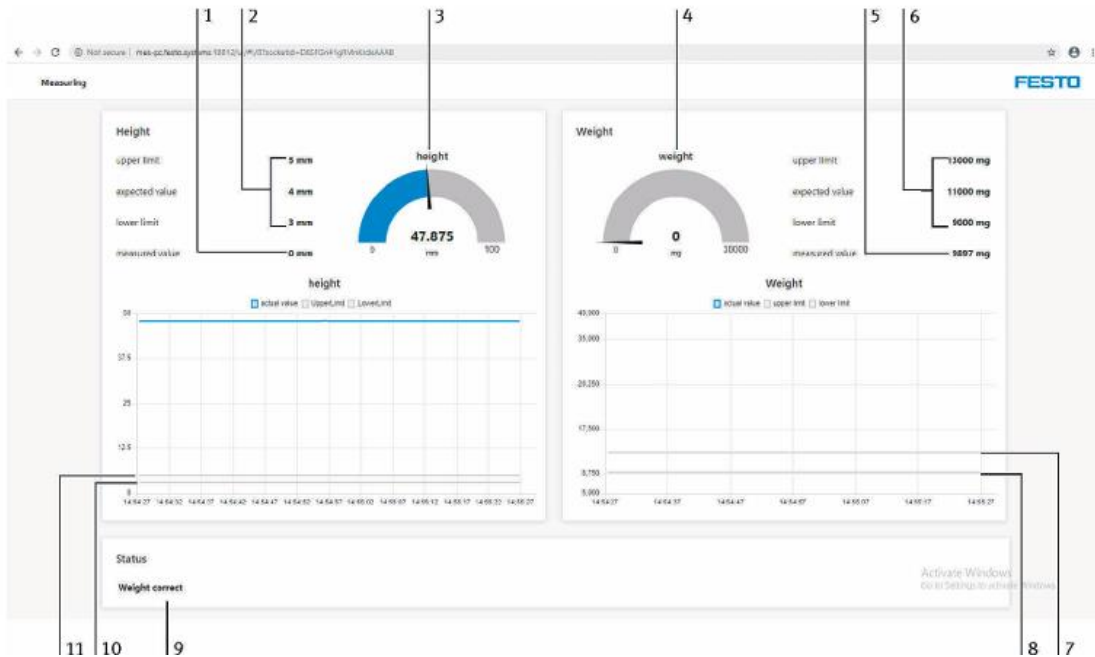
5.ábra

1.5. Raspberry Pi (6.ábra)

A mérőmodul és a tömegmérési modul eredményeit valós időben követhetjük nyomon a Raspberry Pi és a monitor segítségével. A megfelelő IP címet alkalmazva a weboldalon láthatjuk a magasságát és a súlyát a munkadarabunknak.

A weboldal a MES PC-n található, és a következő címen érhető el: 172.21.0.90:18812/ui

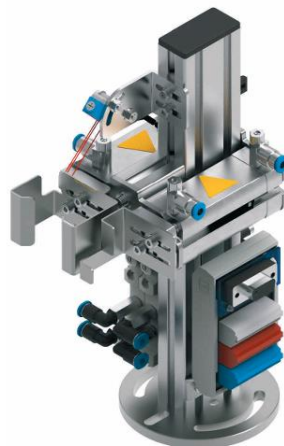
Ahhoz, hogy lássuk az eredményt a rendszernek kötelezően csatlakoznia kell a MES PC-hez



6.ábra

1.6. szortírozó modul (7.ábra)

Ez a modul képes a munkadarabokat kiszelektálni, leállítja ezen termékek tovább áramlását, mivel képes a hozzá csatlakoztatott csúszdára/slidera kilögni a terméket. Ezt a folyamatot kettő darab 5/2 es szelep, 2 darab kétműködésű henger végzi el. Mivel maga az állomás az ellenőrző szerepre lett kitalálva, a termékeknek, amelyeket nem felelnek meg a követelményeknek ez a modul biztosítja a rendszerből való kiesését. A rendszer közli, hogy nem felel meg a termék, a diffúzérzékelő amint észleli a selejtes terméket a kettő darab henger működésbe lép és a terméket a vele szemben elhelyezett csúszdára löki.



7.ábra

1.7. Csúszda Modul (8.ábra)

A Slide modul a munkadarabok szállítására vagy tárolására szolgál. Ha a végzáró be van szerelve, akkor tárolóként alkalmas és 5 munkadarabot képes elraktározni. Abban az esetben, ha nincs a végén a végelzáró akkor ez a slide modul egy anyagtovábbításra alkalmas egység, de jelen esetben ki tárolásra használjuk ezen a Measuring Pro állomáson.

A modul a változtatható dőlésszögnek és magasságnak köszönhetően univerzális használatra is alkalmas lehetne. Természetesen a rendszernek tudnia kell, hogy mennyi hely szabad még a tárolón, ezt a diffúz érzékelők alkalmazásával tudja meghatározni a MES rendszer.



8.ábra

1.8. Magasságbeállítással ellátott RFID modul (9.ábra)

Az RFID modul (Radio Frequency IDentification of objects) rádiófrekvenciás jelek alapján ismeri fel a termékeket. A MES rendszer alapjául szolgáló RFID lehetővé teszi, hogy a munkadarabok információt továbbítsanak saját magával. Az RFID tag, amely maga az információhordozó, amit írni és olvasni tudunk a modulok segítségével. A MES rendszerünk által kapott információt képes feldolgozni és beleírni a modul az tagba. Ezek alapján elmondhatjuk, hogy ez a kommunikáció teljes mértékben megfelel az Ipar 4.0 követelményeinek.



9.ábra

2. Tervek, célok

Cikkemben a Measuring Pro állomás részletes bemutatása mellett fontos figyelmet kap a kutatásunk további, fő céljai, amik a következők lehetnek:

- A FESTO MPS 404-1 gyártósor továbbfejlesztése és bővítése.

Tervünk egy magasanyagraktár kialakítása, amely a 4. egység, a szortírozó állomás mögött kapna helyet. Ez a raktár a különböző munkadarabokat egységesen tárolná, és egy másik vezérlőrendszer utasítására képes lenne a megfelelő darab kiadására.

- Ezen felül szeretnénk egy olyan rendszer kiépítésén dolgozni, amely a selejtesnek minősített munkadarabokat automatikusan megvizsgálja és osztályozza. A rendszer célja, hogy képes legyen azonosítani a hiba okát, majd eldönteni, hogy a termék javítható-e. Amennyiben igen, a hibás munkadarab automatikusan továbbítódna a javító állomásra

Ezen megközelítések jelentősen növelnék a gyártósor hatékonyságát, mivel a rendszer emberi beavatkozás nélkül is képes lenne kezelni a hibás termékeket.

A cikkemben részletesen szót ejtettem a mérési állomás pontos paramétereiről, ami a kiindulási alapja a kutatásunknak. A társaim és az én cikkem alapján a jövőbeli terveink megvalósíthatóak lesznek, a következő lépések az optimalizálás és a Ciro 7 program megismerése lesz.

3. Irodalomkutatás

Az ipari automatizálás alapvetően megváltoztatta a gyártási folyamatokat, lehetővé téve a termelés hatékonyságának növelését és a költségek csökkentését. A technológiai fejlődés révén olyan eszközöket és rendszereket fejlesztettek ki, amelyek képesek automatizáltan, gyorsan és precízen elvégezni az ismétlődő vagy veszélyes feladatokat. Az automatizálás csökkentette az emberi hibák számát, javítja a végtermék minőségét, és hozzájárul a munkavédelmi kockázatok csökkentéséhez is. A cikk részletesen ismerteti, hogy mi az ipari automatizálás, milyen célokat szolgál, és hogyan alakult ki a technológia történelmi fejlődése során. Már a 18. században megjelentek az első gépesített megoldások, például az erőgépek és a gőzgépek, amelyek elindították az ipari automatizálás fejlődését. Napjainkban az automatizálás az intelligens ipar alapját képezi, és nélkülözhetetlenné vált a versenyképes ipari működéshez.

Irodalomjegyzék

Forrás: Ipari automatizálás: koncepció és alkalmazások

MPS 404-1 állomás összeszerelő és szortírozó egységeinek bemutatása

¹Antal Róbert, ²Szilágyi Zoltán, ³Béni Boglárka, ⁴Tóth Péter Marcell, ⁵Sarvajcz Kornél
^{1,2,3,4,5} Debreceni Egyetem, Műszaki Kar Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék
antalrobert777@mailbox.unideb.hu

A cikk a kutatásunkra használt MPS 404-1 állomásról és azon belül is az állomás összeszerelő és szortírozó egységének bemutatásáról, valamint a kutatásunk témájáról szól. A kutatásunk célja, hogy egy Digital Twint hozzunk létre az állomásról, illetőleg optimalizáljuk a gyártási folyamatot. Ezekhez a FESTO CIROS 7 szoftverét fogjuk használni. Viszont ahhoz, hogy ezen terveinket meg tudjuk valósítani átfogóan tanulmányoznunk kell a rendszer működését, ismernünk kell az egyes folyamatokat, a szenzorok és az aktuátorok működését, feladatát. A cikk részletes információt ad az állomás működéséről és munkafolyamatairól. Továbbá betekintést nyújt a jövőbeli kutatásaink lehetséges irányába.

Kulcsszavak: MPS 404-1, Digital Twin, CIROS 7

1. Bevezetés:

Az MPS 404-1 állomás egy oktatási célú rendszer mellyel a hallgatók megismerhetik a modern gyártósorok elvi működését, az iparban is használt alkatrészeket, szenzorokat, eljárásokat. Megismerkedhetnek a MES rendszer működésével, a PLC programozással és a PLC üzemeltetésével. Megismerkedhetnek az Ipar 4.0-nak megfelelő rendszerek működésével. A cikk célja az MPS 404-1 állomás összeszerelő és szortírozó munkaállomások működésének részletes ismertetése, és a jövőbeli lehetőségek felvázolása, hogyan tudnánk ezen állomások munkafolyamatait tovább optimalizálni, milyen célokat tűzünk ki, hogy a terveinket megvalósítsuk.

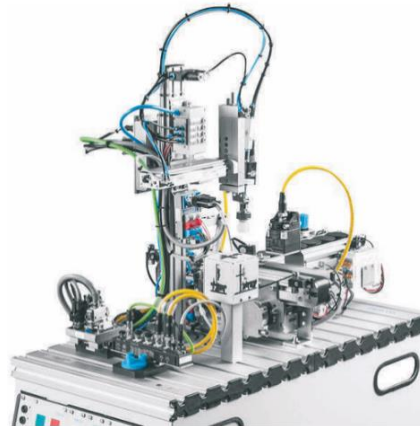
A publikáció tartalmát öt részre lehet bontani. Az első részben a cikk bemutatja az MPS 404-1 gyártósor működését. A második részben az összeszerelő állomást mutatja be, ismerteti az állomás munkafolyamatait, az állomás alkatrészeit, és azok feladatait. A második részben a szortírozó, mutatja be, milyen módon képes a bemenő alkatrészek megkülönböztetését és válogatását végrehajtani, és hogyan szűri ki a selejtet, hogyan tudja a tárolók kapacitását monitorozni. A negyedik részben a MES rendszer szerepét és jelentőségét tárgyalja a cikk. Az utolsó részben pedig a cikk betekintést nyújt a jövőbeli tervekbe, feladatokba, melyek a soron következő kutatásaink tárgyát fogják képezni.

1.1. MPS 404-1 gyártósor:

Az MPS 404-1 (1. ábra) a FESTO egy gyakorló gyártósora, mely megfelel a modern ipari trendeknek és az Ipar 4.0 követelményeknek.



22. ábra: MPS 404-1 system



23. ábra: Joining station

A rendszer négy modulból áll. Az első az adagoló modul, itt történik meg a munkadarab megrendelése és az alapanyag adagolása. Az adagoló állomásról a munkadarab az összeszerelő állomásra kerül, ahol az állomás elvégzi a megrendelés alapján a szükséges folyamatokat, majd továbbítja a mérő állomásra. A mérő állomáson a megrendelés szerint az állomás megmérheti a munkadarab tulajdonságait. Ha a mérések alapján a munkadarab megfelelő, akkor a munkadarabot a szortírozó állomáshoz továbbítja. A szortírozó állomáson történik a munkadarabok szétválogatása.

A mérő állomáson kiszűrt selejtet az állomás egy selejt tárolóba továbbítja. A szortírozó állomáson észlelt selejtet pedig a futószalag végre viszi.

2. Összeszerelő állomás:

Az 2. ábra az MPS 404-1 állomás összeszerelő munkaállomását ábrázolja. Ennek az állomásnak az a feladata, hogy a megrendelés alapján a munkadarabra egy kupakot szereljen. Az állomás továbbá alkalmas arra is, hogy az előre összeszerelt alkatrészt szétszerelje, azaz a munkadarabról levegye a kupakot [1], [2].

Az állomás öt fő egységből áll. Kettő futószalagból, egy Pick&Place modulból és tartalmaz még kettő RFID író-olvasó modult [1], [2].

2.1. 1-es Futószalag modul:

Ez az a fő futószalag modul, amely a munkadarabot továbbítja, pozicionálja az állomásokon belül az egyes munkafolyamatok végrehajtásához, illetve szállítja az egyes állomásokhoz. A futószalagot a 3. ábra ábrázolja [2].

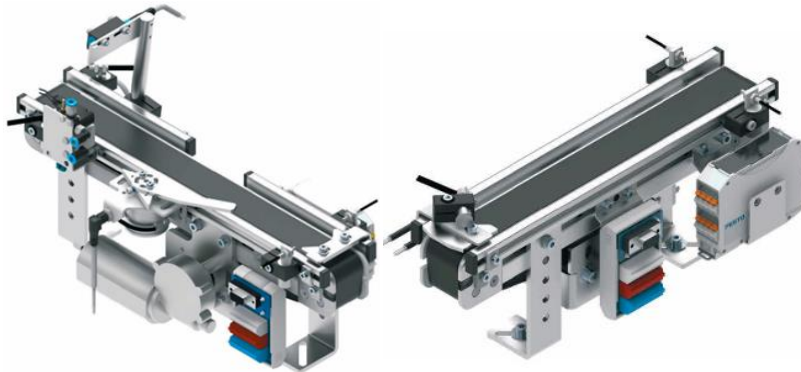
A futószalag alkalmas 40 mm átmérőjű munkadarabok szállítására. A futószalagot egy szabadon pozicionálható DC motor hajtja meg. A motorunknak köszönhetően a futószalagot mindkét irányba tudjuk mozgatni és szabadon beállíthatjuk a futószalag sebességét [2], [3].

A futószalag akkor indul el, ha egy munkadarabot észlel az elején. Az észlelést optikai szenzorok segítségével valósul meg. A futószalag végén található optikai szenzorral, ellenőrizhetjük, hogy a munkadarab elérte-e vagy elhagyta-e a szállítószalag végét [2], [3].

A munkadarabot egy elektromosan vezérelt terelőkarral meg tudjuk állítani a szerelési pozícióban [2], [3]. A szerelés végeztével ez a futószalag továbbítja a darabot a soron következő munkaállomásra.

2.2. 2-es Futószalag modul:

Ez a futószalag szállítja a szerelő állomáshoz a munkadaraboka szerelendő kupakokat. A futószalagot a lenti 4. ábra mutatja be.



24. ábra Conveyor module 1.

25. ábra Conveyor module 2.

A futószalag tulajdonságai a 3.1.-es alfejezetben már részletesen jellemezve van.

Amikor a Pick&Place modul elvesz egy kupakot a szalagról, hogy felszerelje a munkadarabunkra, akkor a futószalag újra elindul, hogy a következő kupakot a szalag végére pozícionálja.

2.3. Pick&Place modul:

A 5. ábra az összeszerelő munkaállomás Pick&Place modulát ábrázolja, melynek feladata a kupak (vagy egyéb munkadarab) rászerezése a hengeres testre.



26. ábra Pick&Place module



27. ábra RFID module

A Pick&Place modul egy univerzális kéttengelyű megfogó egység. A munkahengerek véghelyzetét mágneses Hall elven működő pozícióérzékelők (REED-relék) jelzik. Ezek a szenzorok programozhatóak, és pozíciójuk a hornyon belül állítható [2].

Egy vákuumos megfogó fogja meg a munkadarabot. A megfogóba egy szűrő található, ami megóvjaa a berendezést, hogy ne kerüljön bele por, ami eltömíthetné a vákuumgenerátort. Egy látjelző jelez, ha a megfogó biztonságosan megfogta a munkadarabot [2].

2.4. RFID modul

Az **RFID** (**R**adio **F**requency **I**dentification of objects) modul rádiófrekvenciás jelek alapján ismer fel különböző objektumokat. Lásd 6. ábra.

Az RFID technológia segítségével a fizikai környezet logikai információt tud szállítani magával [2], amelyet a környezete automatikusan ki tud olvasni.

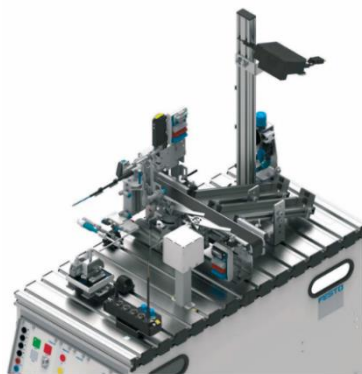
Az RFID rendszer áll egy információ hordozóból, ezt RFID címkének nevezzük. Ez az az eszköz, amibe az RFID író-olvasó modulunk információt tud írni, valamint információt tud kiolvasni. Ezen felül szükségünk van még egy RFID kapura, amely az adatok összegyűjtésére és továbbítására szolgál az RFID író-olvasó és a munkaállomás között [2].

Az RFID modul a MES rendszer által szolgáltatott adatot írja bele az RFID címkébe, amely a gyártósornak a munkadarabon elvégezendő feladatait, illetőleg a kész munkadarabnak a paramétereit tartalmazza.

Az RFID technológiával olyan kommunikációt tudunk megvalósítani az egyes állomások között, ami megfelel az Ipar 4.0 követelményeinek.

3. Szortírozó állomás:

A 7. ábra az MPS 404-1 állomás szortírozó munkaállomását mutatja be. Az állomás külön válogatja a beérkező munkadarabokat és a selejtet. A megfelelően legyártott munkadarabokat pedig fizikai tulajdonságaik alapján szétválogatja két tárolóba. A tárolók kapacitását egy IoT modul monitorozza.



28. ábra Sorting Inline Station



29. ábra Detection module

A munkaállomás számos alkatrészből áll, amik a munkadarabok szétválogatásához szükségesek. Ilyen például a számos terelőkar, melyek a munkadarab útját változtatják meg [3]. A munkadaraboknak egyesével kell végig haladjanak az állomáson, hogy ne zavarja meg esetlegesen a rendszert a soron következő, más tulajdonságú munkadarab [3].

A szortírozó állomás szín és anyagminőség szerint válogatja szét a munkadarabokat [3]. Azokat a darabokat, amik nem felelnek meg az RFID címkébe írt információknak selejtnak minősíti, és a futószalag végére viszi.

3.1. Észlelő modul:

Az észlelő modul feladata, hogy a beérkező munkadarab fizikai tulajdonságait meghatározza. A mérés során kapott tulajdonságokat összevesse az RFID címkéből kiolvasott tulajdonságokkal, eldöntse, hogy a munkadarab megfelel-e a követelményeknek, és ez alapján utasítást küld a PLC az állomás többi részének, hogy milyen módon kell eljárni. A modult a 8. ábra ábrázolja.

Az észlelő modul meg tudja határozni, hogy a munkadarab piros, fekete, átlátszó, illetve, hogy a munkadarab fémből készült-e [3].

Ezeket a tulajdonságokat három szenzor jeleinek kombinációjából tudja meghatározni. Rendelkezik egy induktív közelítéskapcsolóval, és kettő optikai szenzorral [3]:

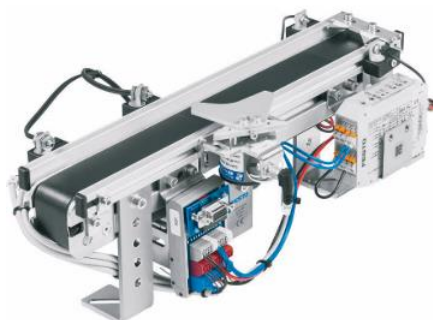
- Az induktív közelítéskapcsoló megállapítja, hogy a munkadarabunk fémből van-e.
- A diffúz szenzor érzékeli a piros, és a fémes munkadarabokat.
- A fénykapu pedig az összes munkadarabot érzékeli.

3.2. Csúszdák (tárolók):

A csúszdákat egyaránt alkalmazhatják gravitációs elven működő anyagmozgatásra, vagy tároló modulokként. Ezeket a 9. ábra szemlélteti.



30. ábra Slide module



31. ábra Conveyor module

Ha a csúszda végére felszerelik a végelzárót, akkor tárolóként, ha pedig nem szerelik fel, akkor pedig anyagmozgatóként funkcionál [3]. Ha tárolóként alkalmazzuk, akkor öt munkadarabot képes tárolni [3]. Ahogy a képen is látszik a munkaállomásunkban a kettő csúszdát tárolóként alkalmazzuk. A beérkező, a minőségi elvárásoknak megfelelt munkadarabokat ezekbe a tárolókba helyezik el.

A tárolók telítettségét egy tükörrel irányba állított fénykapu érzékeli [3]. Ez a fénykapu nem csak a két tároló telítettségét vizsgálja, hanem akkor is jelez, ha a selejtes anyag elér a futószalag végére, ezért van szükség a tükörrre, hogy meg tudjuk változtatni a lézersugár irányát.

3.3. Futószalag:

Ez az a futószalag, amely a munkadarabot szállítja az állomáson belül és a megfelelő tárolóba helyezi azt. A futószalagot 10. ábra szemlélteti.

A futószalag tulajdonságai a 2.1.-es alfejezetben már részletesen jellemezve van.

Azonban, hogy a feladatát tökéletesen be tudja tölteni néhány átalakításra van szükség [3]:

Komponensek, amikre nincs szükség:

- Szenzor, amely a munkadarab közbenső pozícióját jelzi a futószalagon

Komponensek, amiket fel kell szerelnünk:

- Terelőkar
- Induktív közelítéskapcsoló, az 1-es terelőkar nyitott állapotához
- Induktív közelítéskapcsoló, a 2-es terelőkar nyitott állapotához
- Mind a két terelőre olyan kart szerelünk, ami a munkadarab útját változtatja meg, nem pedig megállítja
- Tükört szerelünk a futószalag végére, mely segítségével egy fénykapuval tudjuk monitorozni a futószalag végét és hogy megteltek-e a tárolók

3.4. RFID modul:

Az **RFID** (**R**adio **F**requency **I**dentification of objects) modul rádiófrekvenciás jelek alapján ismer fel különböző objektumokat. Lásd 11. ábra. Az RFID modul jellemzése a 3.4.-es alfejezetben megtalálható.



32. ábra RFID module



33. ábra IoT module

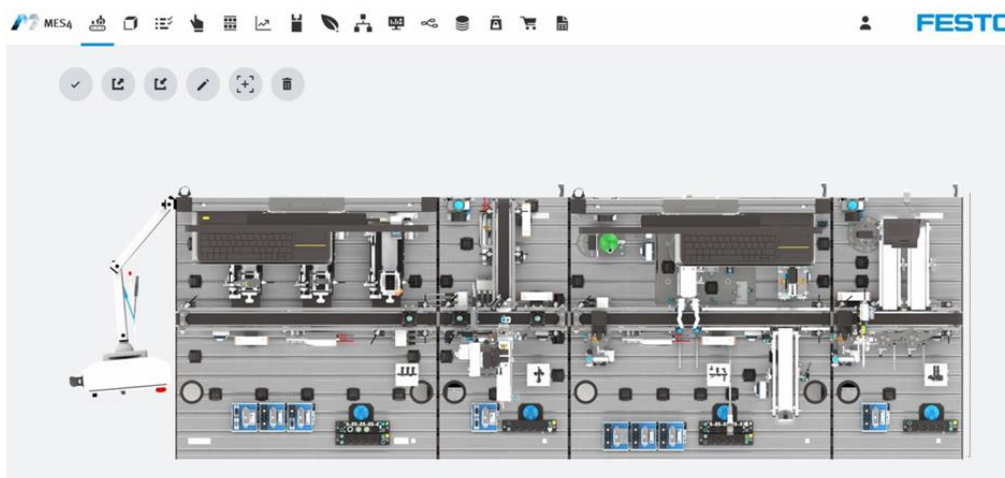
3.5. IoT modul:

Az IoT modul feladata a munkadarab tárolók telítettségének monitorozása. A tárolók pillanatnyi töltöttségi szintjét egy weblapon jelzi ki [3]. Ez az eszköz független az MPS rendszertől [3]. A 12. ábra szemlélteti.

Az IoT kamera egy Raspberry PI-al van összekapcsolva. A Raspberry PI további funkciók létrehozására is alkalmas [3]. A webszervert közvetlenül a Raspberry PI-ról vagy akár egy másik PC-ről is meg lehet nyitni, ha ugyanazon a hálózaton vannak [3].

3.6. MES rendszer:

A 13. ábrán a teljes MPS 404-1 állomás MES rendszere látható. A MES rendszerrel termékeket és munkafolyamatokat lehet tervezni, melyek információit egy RFID címkébe írja bele a rendszer az RFID technológia használatával [1].



34. ábra MES system

Az első munkaállomáson beleírja az RFID író-olvasó a munkadarabban található RFID címkébe a megrendelési számot (Order Number, ONo), és a megrendelés helye (Order Position, OPos). A

következő munkaállomások leolvassák az RFID címkéből a megrendelési számot és a megrendelési helyet. Miután kiolvasták ezeket az információkat, az állomás lekéri a MES rendszerből a munkadarab adatait az ONo és az OPos alapján. A MES rendszer ezután elküldi a munkafolyamatot annak a munkaállomásnak, amelyik lekérte az adatokat a MES rendszerből [1].

4. Tervek, jövőbeli kutatások:

A jövőbeli célunk és kutatásunk alapját képezi a FESTO MPS 404-1 gyártósor továbbfejlesztése, kiegészítése, optimalizálása. A terveink között van egy magasanyagraktár megvalósítása, mely a szortírozó állomás tárolói után helyezkedne el, és a munkadarabokat rendszerezve tárolná, amely egy másik rendszer parancsára a megfelelő munkadarabot rendelkezésre állítaná.

Továbbá célunk egy olyan rendszer felépítése, amely a selejtesnek állapított munkadarabokat megvizsgálja, osztályozza.

Ezeknek a feladatoknak az elvégzésében nagy hasznát tudjuk venni a FESTO CIROS 7 szoftverének és a Digital Twin technológiának, mivel nem kell belenyúlni a fejlesztés során az épített fizikai környezetbe, csak már a kész, többször letesztelt, megbízhatóan működő rendszert kell megépítenünk, ezzel jelentős erőforrást takarítva meg.

Irodalomjegyzék

- [1] FESTO MPS 404-1 documentation, operating manual: https://media.festo.com/assets/attachment-files/8150260_deenesfr_v1.1_LP8150266_MPS-D_System_404-1_Operating_Instructions.pdf
- [2] FESTO MPS Joining 400 Series documentation, operating manual: https://media.festo.com/assets/attachment-files/8129125_deenesfr_v1.0_LP8122168_MPS_D_Joining_Station_400series_Operating_instructions.pdf
- [3] FESTO MPS Sorting Inline 400 Series documentation, operating manual: https://media.festo.com/assets/attachment-files/8129438_deenesfr_v1.0_LP8129442_MPS_D_Sorting_Inline_Station_400_series_Operating_Instructions.pdf

Napelemes technológiák viselkedése hirtelen időjárási változások esetén – szimulációs elemzés

¹Bencs Péter ²Szalánczi Dávid

^{1,2} Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti Tudományok Doktori Iskola
szdszd007@gmail.com

A tanulmány célja, hogy szimulációs modellezés segítségével elemezze a különböző napelemes technológiák – hagyományos szilícium, PERC és PERC + UV fólia – hőmérséklet- és hatásfokváltozásait időjárási hatások alatt. A vizsgálat három tipikus időjárási szekvenciára (felhősödés, zápor, borultság–eső–napsütés) és három évszakra (nyár, ősz, tél) terjed ki. A kapott eredmények alapján a PERC + UV fólia technológia mutatta a legkisebb teljesítményvesztést és a legkiegyensúlyozottabb hőviselkedést. A vizsgálatok rávilágítanak arra, hogy a különböző technológiák hőmérsékletfüggő viselkedése jelentősen befolyásolja a hosszú távú hatásfokot és a termelési stabilitást.

Kulcsszavak: napelem, PERC, UV fólia, hőmérséklet, hatásfok, időjárási szimuláció

1. Bevezetés

A napelemes rendszerek hatékonyságát nemcsak az alkalmazott technológia, hanem a környezeti tényezők is jelentősen befolyásolják. A hőmérséklet-ingadozások, a napsugárzás változásai, valamint a hirtelen időjárási átmenetek – például a felhősödés, eső vagy gyors lehűlés – dinamikus alakítják a panelek teljesítményét. Ezen hatások elemzése különösen fontos a hosszú távú energiatermelés optimalizálása és a technológiai választások szempontjából.

A korábbi kutatások rámutattak arra, hogy a modern napelem-technológiák – mint a PERC (Passivated Emitter and Rear Contact) és a PERC + UV fóliás rendszerek – előnyösebb hőkezelési tulajdonságokkal rendelkeznek, és csökkenteni tudják a hő okozta hatásfokvesztést. Ugyanakkor ezeknek a rendszereknek a viselkedése **hirtelen időjárási változások esetén** kevésbé vizsgált, pedig ezen átmenetek során akár jelentős termikus és elektromos változások is felléphetnek.

A vizsgálat célja, hogy szimulációs környezetben modellezze három különböző napelemes technológia – **hagyományos szilícium alapú, PERC és PERC + UV fólia** – viselkedését **hirtelen időjárási változások során**, különös tekintettel a belső hőmérséklet-ingadozásra és a hatásfokváltozásokra. A modellezés valós időjárási viszonyokat alapul véve készült, Miskolc város adataira építve, és három eltérő évszakot – **nyár, ősz és tél** – vizsgál.

A vizsgálatok nemcsak a technológiai különbségekre világítanak rá, hanem arra is, hogy az időszakos környezeti hatások mennyiben befolyásolják a hosszú távú teljesítményt. Az őszi időszak elemzése alapján megállapítható, hogy az eredmények **jó közelítéssel alkalmazhatók a tavaszi hónapokra is**, mivel az időjárási jellemzők (pl. hőmérséklet és besugárzás) ebben az időszakban hasonló dinamikát követnek.

1.1. Irodalmi áttekintés

Számos kutatás megerősítette, hogy a működési hőmérséklet emelkedése csökkenti a napelemek hatásfokát. A szilícium félvezetők termikus érzékenysége miatt már 1 °C-os emelkedés is 0,4–0,5% teljesítménycsökkenést eredményezhet (Idzkowski et al., 2020) [1]. A túlmelegedés hosszú távon nemcsak a hatásfokot rontja, hanem az anyagfáradás és a degradáció kockázatát is növeli (del Cueto & Rummel, 2010) [2].

A gyorsan változó időjárási körülmények – például felhősödés, eső vagy szél – rövid időn belül jelentős hőmérséklet- és sugárzásváltozást eredményeznek. Ezek a hirtelen változások gyakran termikus sokkot idéznek elő, ami negatívan befolyásolja a napelemek stabilitását és teljesítményét. Különösen a hagyományos szilícium panelek érzékenyek az ilyen ingadozásokra (Kurtz et al., 2011) [3].

Egyes tanulmányok pedig a különböző épületbe integrálható napelemek (BIPV) hatásfokát vizsgálták különböző időjárási körülmények között (Zhang et al., 2017) [4].

2. Anyag és módszer

2.1. Vizsgált technológiák rövid bemutatása

A tanulmány során három különböző napelemes technológia teljesítményét és hőmérsékleti viselkedését vizsgáljuk:

- **Hagyományos szilícium alapú napelemek:** ipari szinten legelterjedtebb típus, magas hőérzékenységgel.
- **PERC technológia (Passivated Emitter and Rear Contact):** megnövelt fényelnyelés és hővisszaverő hátoldali réteg jellemzi.
- **PERC + UV fólia technológia:** az UV-sugárzás blokkolásával csökkenti a belső hőterhelést és anyagfáradást.

Ezeket a rendszereket szimulációs környezetben vetjük össze különböző időjárási viszonyok között, hogy meghatározzuk, melyik technológia nyújtja a legstabilabb teljesítményt gyors környezeti változások esetén.

2.2. Szimulációs környezet és időjárási adatok

A modellezés a Simulink szimulációs környezet elvein alapul. A szimulációs forgatókönyvek során a **valós miskolci éghajlati viszonyokat** vettük figyelembe, különböző hónapokat és napszakokat reprezentálva.

Vizsgált időpontok:

- **Július 20.** – tipikus nyári nap, erős napsütés, hirtelen felhősödéssel
- **Október 15.** – őszi, változékony időjárás, enyhébb napsütés, gyakori felhő- és csapadékváltozás
(Megjegyzés: a tavaszi hónapokhoz hasonló eredmények várhatók, így az őszi szimulációs szempontból reprezentatívnak tekinthető.)
- **Január 10.** - tipikus téli nap, gyenge napsütés

2.3. Szimulált időjárási forgatókönyvek

A szimulációk során három tipikus **időjárás-változási szekvenciát** alkalmazunk:

1. Napsütés → 30 perc felhősödés → napsütés
2. Napsütés → 30 perc zápor → napsütés
3. Részleges borultság → eső → gyors napsütésszerű szakasz

Mindegyik szekvenciát **24 órás ciklusba** illesztettük, órás bontásban modellezve a változásokat.

2.4. Mért paraméterek

A szimuláció során az alábbi paramétereket vizsgáltuk technológiánként:

1. Belső hőmérséklet-változás (°C)

2. Hatásfokváltozás (%)

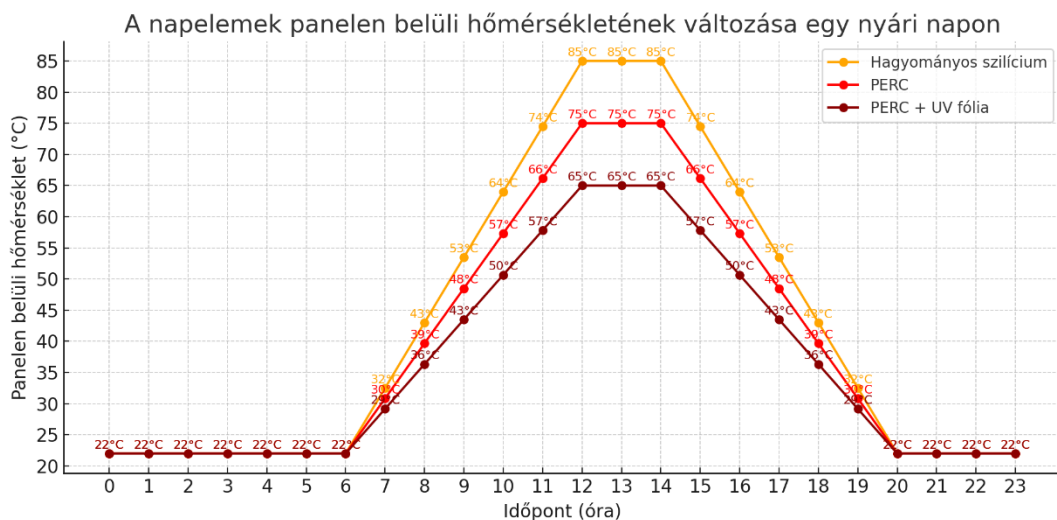
2.5. Cél és módszertani megjegyzések

A módszertan célja nem a teljes év lefedése, hanem **extrém, gyors időjárási változások hatásainak vizsgálata** a kiválasztott technológiákra. A modell **lineáris hővezetési és hatásfokcsökkenési egyenleteken** alapul, de a gyors átmenetek dinamikáját kiemelten kezeljük.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. A napelemek panelen belüli hőmérséklet vizsgálata különböző évszakonként

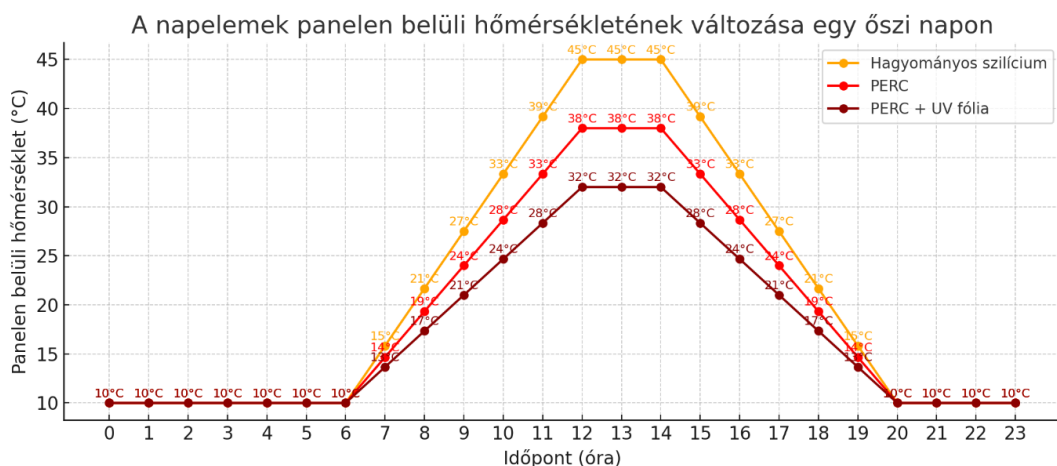
1.eset: Nyár



1. ábra: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy nyári napon

Az ábra (1. ábra) jól mutatja a napsugárzás hatására bekövetkező hőmérséklet-emelkedést: a hagyományos technológia melegszik a legintenzívebben, míg a PERC + UV fólia rendszer mutatja a legkiegyensúlyozottabb belső hőmérsékletet.

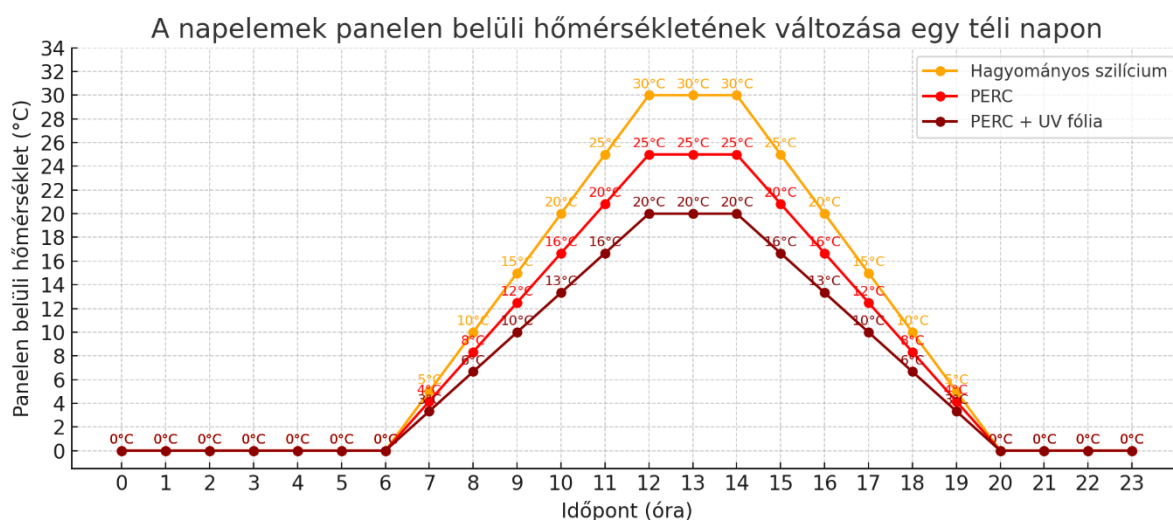
2.eset: Ősz/Tavaszi



2. ábra: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy őszi napon

A mérsékelt napsütés és gyakoribb felhőzet miatt a hőmérséklet-emelkedés kisebb mértékű, de a technológiák közötti különbség továbbra is érzékelhető (2. ábra).

3. 3.eset: Tél

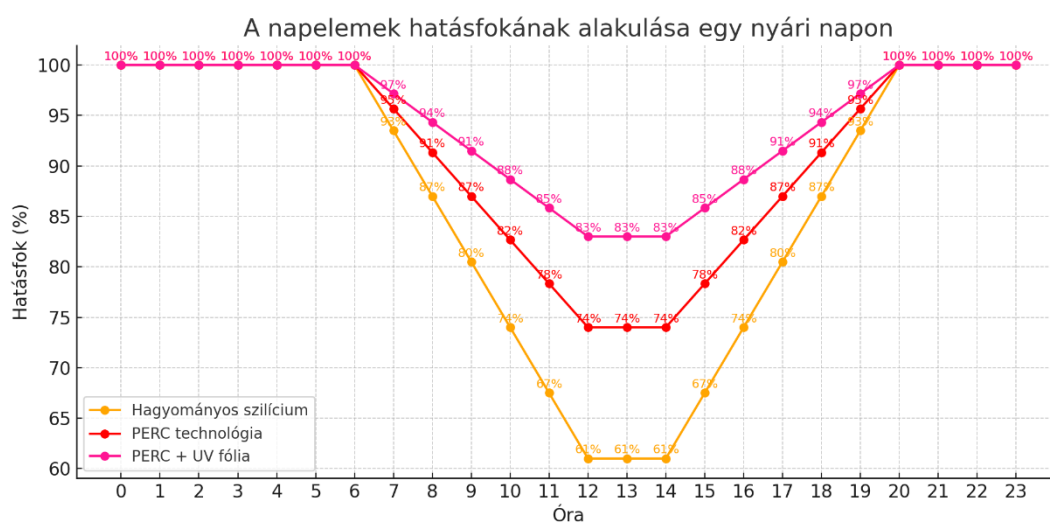


3. ábra: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy téli napon

A téli napsütés gyengesége miatt a hőmérséklet-emelkedés minimális, de még ebben az esetben is a PERC + UV technológia mutatja a legkisebb hőmérsékleti ingadozást (3. ábra).

2. A napelemek hatásfokának alakulása különböző évszakoként

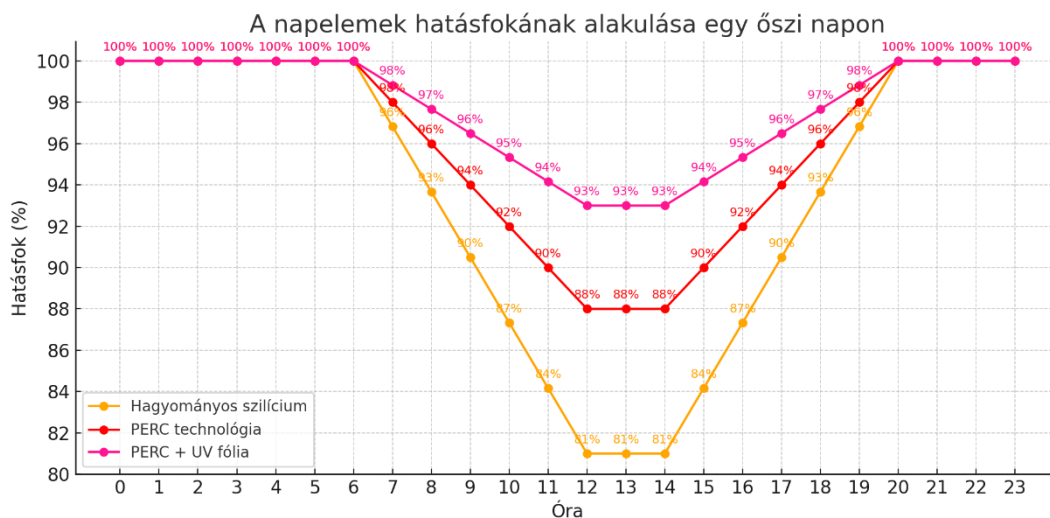
1.eset: Nyár



4. ábra: A napelemek hatásfokának alakulása egy nyári napon

A nagyobb hőmérséklet-ingadozás a nyári napsütés során a hagyományos panelek hatásfokában látványos csökkenést okoz, míg a PERC + UV rendszer jobban tartja a kezdeti hatásfokot (4. ábra).

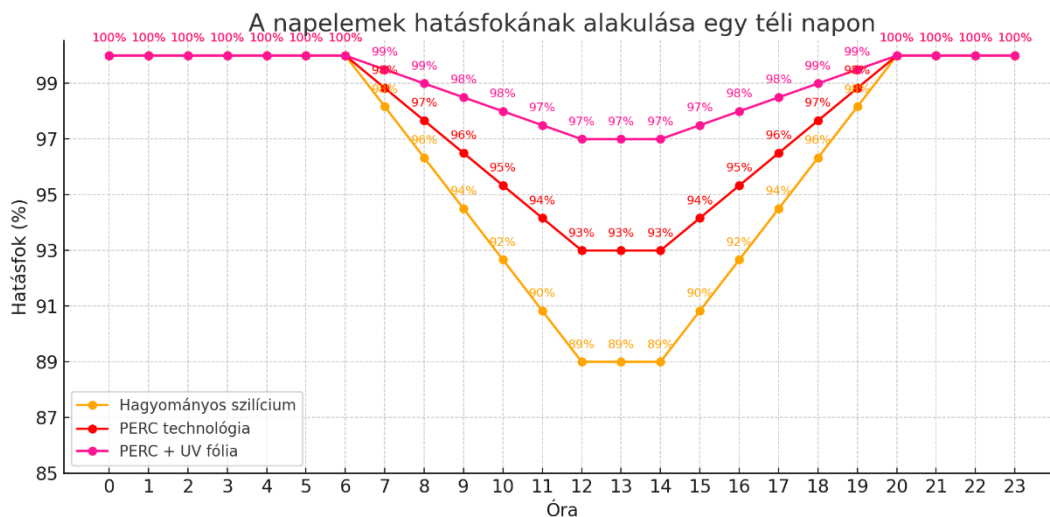
2.eset: Ősz/Tavaszi



5. ábra: A napelemek hatásfokának alakulása egy őszi napon

Az ábrán (5. ábra) mérsékeltőbb csökkenések figyelhetők meg, de technológiai sorrendben a teljesítményvesztés hasonló dinamikát követ, mint nyáron.

3.eset: Tél



6. ábra: A napelemek hatásfokának alakulása egy téli napon

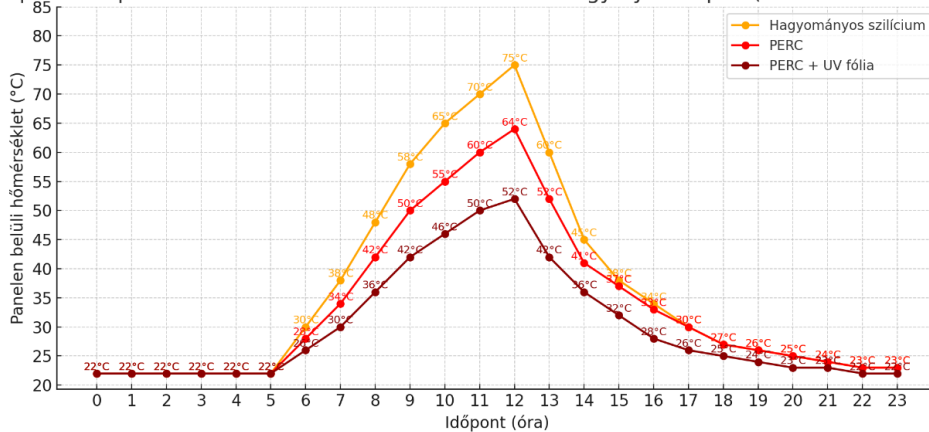
A hatásfokváltozás kismértékű, azonban a hagyományos panel itt is érzékenyebb a kis mértékű hőmérséklet-ingadozásra, mint a korszerűbb technológiák (6. ábra).

2.1. Időjárásváltozást vizsgáló esetek nyáron

Az időjárásváltozást vizsgáló eseteket nyáron vizsgáltam, hisz ekkor a legnagyobb a hőmérséklet-ingadozás, és a veszteség is.

1.eset: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy nyári napon felhősödéssel (13 órákor)

A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy nyári napon (felhősödéssel 13 órákor)



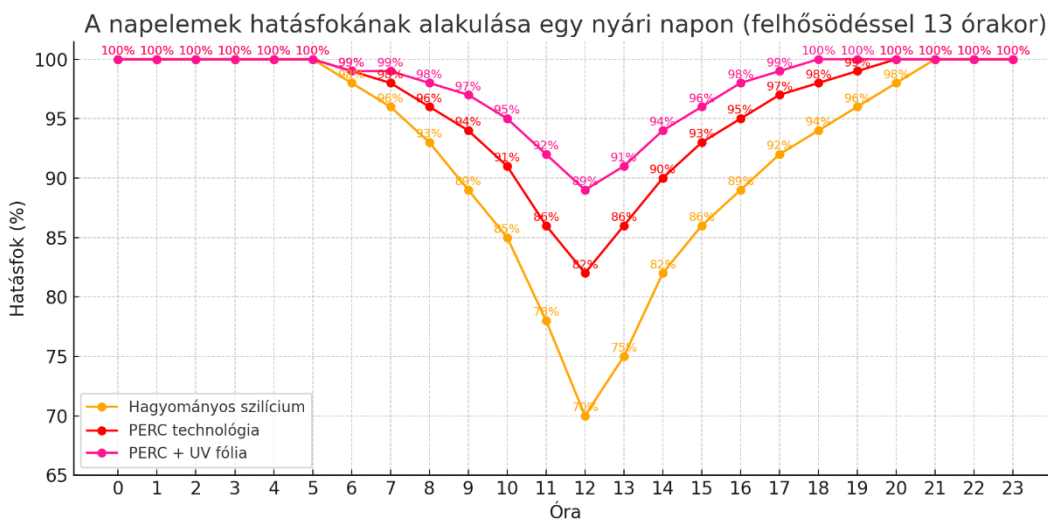
7. ábra: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy nyári napon felhősödéssel (13 órákor)

A 13 órákor bekövetkező hirtelen felhősödés hatása a panelen belüli hőmérséklet alakulására jelentős, és jól megfigyelhető visszaesést eredményez a hőmérsékleti görbékben (7. ábra). A jelenség során a korábban intenzív besugárzás miatt folyamatosan emelkedő hőmérséklet gyors csökkenésnek indul, amint a napsugárzás leárnyékolódik.

Jellemzők:

- **Reggeli induláskor** (0–6 óra között) minden technológia azonos hőmérsékleten, ~22 °C-ról indul.
- **6 óra után** megindul a felmelegedés a napsugárzás hatására, az eltérő technológiák szerint eltérő intenzitással.
- **13 órákor** történő felhősödés hatására a belső hőmérséklet látványosan visszaesik, és a melegedés megtorpan.
- **A délutáni órákban** a panelek folyamatosan hűlnek, estére a hőmérsékleti értékek ismét közel azonos szintre süllyednek.

Következik az ehhez tartozó másik ábra: a hatásfok-változások ugyanebben az időjárási szekvenciában.

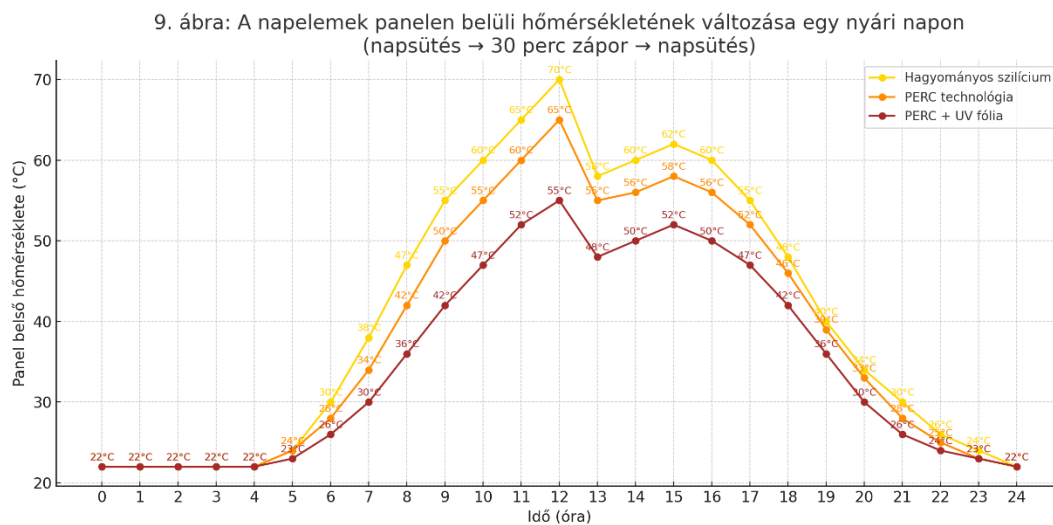


8. ábra: A napelemek hatásfokának alakulása egy nyári napon felhősödéssel (13 órákor)

Az ábrán (8. ábra) jól megfigyelhető, hogy a hőmérséklet-ingadozást okozó felhősödés során a különböző technológiák eltérően reagálnak a gyors lehűlésre.

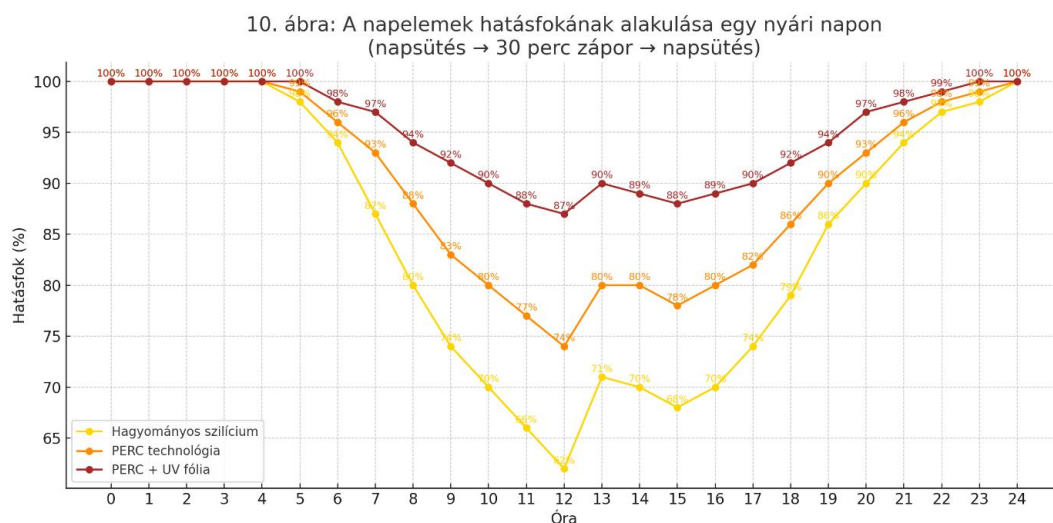
- A **hagyományos szilícium** napelemek hatásfoka **meredeken csökken**, és csak fokozatosan tér vissza.
- A PERC és PERC + UV fólia technológiák mérsékeltabb hatásfokcsökkenést mutatnak, és gyorsabban stabilizálódnak, ezáltal jobban alkalmazkodnak a dinamikus körülményekhez.

2.eset: Második időjárási forgatókönyv szimulációval (napsütés → 30 perc zápor → napsütés)



9. ábra: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy nyári napon a második időjárási forgatókönyv szimulációval (napsütés → 30 perc zápor → napsütés)

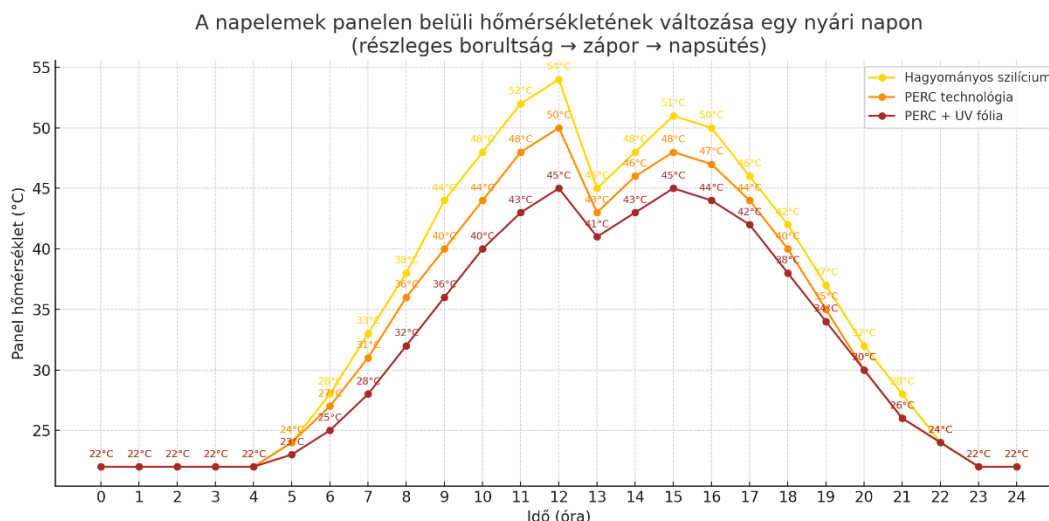
A zápor következtében a napelemek belső hőmérséklete hirtelen visszaesik, amelyet egy viszonylag gyors visszamelegedési szakasz követ (9. ábra). A technológiák közti különbség nemcsak a maximális hőmérsékletben, hanem a lehűlési sebességben és az utólagos stabilizációs képességben is megmutatkozik.



10. ábra: A napelemek hatásfokának alakulása egy nyári napon a második forgatókönyvi szimulációval (napsütés → 30 perc zápor → napsütés)

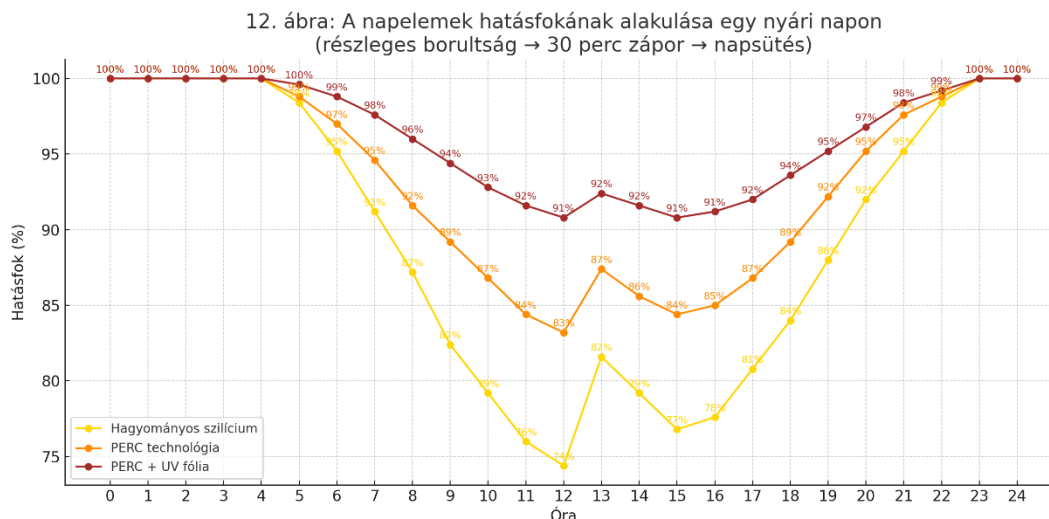
A zápor okozta hirtelen hőmérséklet-csökkenés következtében a napelemek hatásfoka rövid időre javul (10. ábra). A csökkenő belső hőmérséklet különösen a hagyományos technológiánál eredményez látványos hatásfokemelkedést, míg a PERC és PERC + UV rendszerek kisebb kilengéssel és gyorsabb stabilizációval reagálnak.

3.eset: Harmadik forgatóköri szimulációval (részleges borultság → 30 perc zápor → napsütés)



11. ábra: A napelemek panelen belüli hőmérsékletének változása egy nyári napon a harmadik forgatóköri szimulációval (részleges borultság → 30 perc zápor → napsütés)

Ezen az ábrán (11. ábrán) látható hőmérsékletváltozás jól tükrözi a dinamikus időjárás hatásait: a borult reggel lassú melegedést eredményez, a zápor hatására hirtelen lehűlés következik be, majd a napsütés visszatérése gyors újramelegedés figyelhető meg.



12. ábra: A napelemek hatásfokának alakulása egy nyári napon a harmadik forgatóköri szimulációval (részleges borultság → 30 perc zápor → napsütés)

A hatásfok alakulása szoros összefüggést mutat a panel hőmérsékletgörbéjével: a reggeli fokozatos emelkedés csökkenő hatásfokot eredményez, majd a zápor miatti lehűlés ideiglenes javulást hoz. A napsütés visszatérése ismét teljesítménycsökkenést okoz a hőmérséklet újbóli növekedésével (12. ábra).

3. Összehasonlító elemzés

3.1. Általános megfigyelések

A szimulációk során három különböző időjárás forgatókönyv (felhősödés, zápor, borultság-eső-napsütés) hatását vizsgáltuk a három technológia – hagyományos szilícium, PERC, illetve PERC + UV – működésére. Az eredmények alapján általános következtetésként elmondható, hogy a napelemek viselkedése erőteljesen függött a hirtelen hőmérséklet-változások dinamikájától, különösen a napfény-intenzitás gyors változása esetén.

A hőmérsékleti görbék azt mutatták, hogy:

- A **hagyományos szilícium napelemek** a legérzékenyebbek a hőmérsékleti ingadozásokra, gyorsan melegednek fel és lassan hűlnek vissza.
- A **PERC technológia** kiegyensúlyozottabb hőreakciókat mutatott, az infravörös visszaverő réteg csökkentette a túlzott melegedést.
- A **PERC + UV fóliás rendszerek** reagáltak a leglassabban a környezeti változásokra, ami stabilabb belső hőmérsékletet eredményezett.

A hatásfokgörbék ezzel összhangban azt jelezték, hogy a hőmérsékleti csúcsokat követően a hagyományos technológia mutatta a legnagyobb hatásfokvesztést, míg a PERC + UV panelek teljesítménye kevésbé esett vissza, és gyorsabban stabilizálódott.

3.2. Teljesítményveszteségek mértéke

A szimulációk során kvantitatív módon is vizsgáltuk, hogy a különböző időjárás forgatókönyvek milyen mértékű teljesítménycsökkenést okoztak a három napelem-technológia esetén.

A legnagyobb hatásfokromlást minden scenárióban a **hagyományos szilícium napelemek** mutatták. Például egy záporral vagy hirtelen felhősödéssel járó napon akár **5-7%-os** teljesítményvesztés is kialakulhatott rövid idő alatt, amely csak fokozatosan csökkent a panel lehűlésével.

A **PERC technológia** esetében a veszteség általában mérsékeltebb volt: **3-5% közötti értéket** tapasztaltunk, és a visszaállás gyorsabban következett be a jobb hőmenedzsment miatt.

A **PERC + UV fóliás napelemek** teljesítménye mutatta a legnagyobb stabilitást: jellemzően csak **2-3%-os** átmeneti hatásfokcsökkenés volt megfigyelhető, és a panelek gyorsabban alkalmazkodtak a változó körülményekhez.

Ezek az adatok igazolják, hogy a korszerűbb hővédelmi technológiák – különösen az UV-fólia – nemcsak a hőmérséklet-szabályozásban, hanem a **hatásfok stabilizálásában** is jelentős szerepet játszanak.

3.3. Technológiai érzékenység az időjárás ingadozásokra

A szimulációk alapján jól látható, hogy a napelemes technológiák eltérő mértékben reagálnak az időjárás ingadozásokra. A **hagyományos szilícium napelemek** a legérzékenyebbek, mivel a hőmérséklet gyors emelkedése és az esőt követő lehűlés jelentős hatással van teljesítményükre. A **PERC technológia** már lényegesen stabilabb, köszönhetően az infravörös visszaverő rétegnek. A **PERC + UV fólia** mutatja a legkisebb ingadozást, így hosszú távon a legalkalmasabb az instabil időjárás viszonyokhoz.

3.4. A lehűlés hatékonyságának szerepe

Az eredmények azt mutatják, hogy az időjárási események – például eső vagy felhősödés – utáni **lehűlés mértéke és sebessége** kulcsszerepet játszik a napelemek teljesítményének helyreállításában. A **PERC + UV fóliás panelek** gyorsabban és hatékonyabban hűlnek vissza, így **rövidebb ideig szenvednek hatásfokcsökkenéstől**. Ezzel szemben a hagyományos panelek a hőtehetetlenségük miatt lassabban reagálnak, ami hosszabb teljesítménycsökkenést eredményez. A lehűlési dinamika tehát közvetlenül befolyásolja az energiahozamot, különösen gyakori időjárási változások esetén.

4. Eredmények értelmezése és következtetések

A vizsgálatok és szimulációk alapján egyértelműen megállapítható, hogy a különböző napelemes technológiák jelentősen eltérően reagálnak a hőmérsékleti és időjárási hatásokra. A hagyományos szilícium alapú napelemek hajlamosak a gyors belső felmelegedésre, amely a hatásfok jelentős csökkenéséhez és hosszú távon anyagfáradáshoz vezet. Ezzel szemben a PERC technológia hatékonyabban szabályozza a belső hőmérsékletet, míg a PERC + UV fóliás rendszerek kiemelkedően teljesítettek a hőmérséklet-ingadozások kezelésében és az emissziós veszteségek csökkentésében.

Az időjárási forgatókönyvek – például felhősödés, zápor vagy részleges borultság – egyértelműen kimutatták, hogy a gyors hőmérsékletváltozások komoly teljesítményvesztést okozhatnak a hagyományos szilícium technológiánál. A legstabilabb teljesítményt minden körülmény között a PERC + UV fóliás napelemek nyújtották, amelyek gyors hőleadási képességgel és lassabb felmelegedési reakcióval rendelkeznek, és így hosszabb távon fenntartják a magas hatásfokot.

5. Következtetések:

- A **hőkezelési technológiák alkalmazása** elengedhetetlen a modern napelemes rendszerek hosszú távú hatékonysága szempontjából.
- A **PERC + UV fóliás technológia** nemcsak a hőmérséklet-ingadozásokkal szemben nyújt védelmet, hanem stabilabb energiahozamot is biztosít instabil időjárási viszonyok között.
- A **lehűlés dinamikája** és a **technológiai hőreakciók** összehasonlítása alapján kijelenthető, hogy nem csupán a melegedés, hanem a visszahűlés sebessége is döntő fontosságú a napi teljesítmény szempontjából.

Jövőbeli kutatási irányok közé tartozik a valós időjárási mérések bevonása, valamint a nemlineáris degradációs folyamatok pontosabb modellezése, hogy még megbízhatóbb hosszú távú előrejelzések készülhessenek.

Ezek az eredmények hozzájárulhatnak a technológiai fejlesztések megalapozásához és a jövő napelemes rendszereinek optimalizálásához. Az eredmények alapján a PERC + UV technológia előnyben részesítendő olyan régiókban, ahol gyakoriak a gyors időjárási változások.

Irodalomjegyzék

- [1] Idzkowski, A., Karasowska, K., & Walendziuk, W. (2020, August 18). Temperature analysis of the stand-alone and building integrated photovoltaic systems based on simulation and measurement data. MDPI. <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/16/4274>
- [2] J.A., del C., & Rummel, S. (2010, August). Degradation of Photovoltaic Modules Under High Voltage Stress in the Field: Preprint. https://www.researchgate.net/publication/255216076_Degradation_of_Photovoltaic_Modules_Under_High_Voltage_Stress_in_the_Field_Preprint
- [3] Kurtz, S., Whitfield, K., Miller, D. C., & Joyce, J. (2009, July). Evaluation of high-temperature exposure of rack-mounted photovoltaic modules.

https://www.researchgate.net/publication/224113570_Evaluation_of_high-temperature_exposure_of_rack-mounted_photovoltaic_modules

[4] Zhang, R., Mirzaei, P. A., & Carmeliet, J. (2017, May). Prediction of the surface temperature of building-integrated photovoltaics: Development of a high accuracy correlation using computational fluid dynamics. Solar Energy. <https://www.dora.lib4ri.ch/empa/islandora/object/empa:13845>

Validation of large language model supported control system¹Martin Kernács, ²Olivér Hornyák^{1,2} University of Miskolc, Department of Information Engineering
martin.kernacs@gmail.com

The integration of large language models (LLMs) into industrial control systems presents a promising shift from traditional rule-based platforms like programmable logic controllers (PLCs) and distributed control systems (DCSs). Unlike these conventional systems, LLMs offer flexible, natural language-driven control and configuration capabilities, enabling adaptive behavior in dynamic manufacturing environments. This opens opportunities for rapid customization, intuitive user interaction, and context-aware decision-making without extensive programming expertise. However, such capabilities also introduce significant challenges, particularly around system reliability, transparency, and operational safety. Because LLMs often act as black boxes—processing inputs and delivering outputs without interpretable intermediate steps—rigorous validation is essential. This paper explores the feasibility of LLM-based industrial control, identifies the main risks and limitations, and outlines criteria for safe deployment. We argue that, while LLMs are not ready to fully replace deterministic control systems in safety-critical environments, they can serve as powerful augmentative tools when appropriately validated and constrained.

Keywords: validation, LLM, control system, NLP

6. Introduction

Industrial control systems are traditionally based on programmable logic controllers (PLCs) or distributed control systems (DCSs), which have become the main support of industry due to their reliability, robustness, and deterministic operation. However, in recent years, the development of artificial intelligence (AI), especially large language models (LLMs), has opened new possibilities in the design and operation of control systems [[2]].

Large language models are able to evaluate natural language instructions, recognize complex relationships, and respond flexibly to various situations. This allows for the creation of control systems that are not only based on prewritten logical rules, but also can respond, learn, and interpret environmental changes in an adaptive manner.

Natural language (NL) programming allows competent users to understand, troubleshoot, configure, or modify the system [[1]]. While programming a PLC requires specialist knowledge and a programming approach, for an LLM-based system even a simple text command, for example in a word or text document, can be sufficient. LLMs are capable of more than just predefined responses to different environmental inputs. This can be especially useful in changing manufacturing environments. A user prompt-based control can be quickly customized and is sufficient to determine only the user's needs, which can mean significant time savings, especially during operation, but also during system development. At the same time, LLM-based control also raises several new challenges. Most notably, the reliability of the system and the accuracy of the modification, which may raise questions. In the case of agentless systems, we do not know the specific procedural steps, and the thought process cannot be followed, so we only get the final result. This hinders the precision of the task solution [[3]].

Validation is essential because control systems often serve critical functions in areas such as production lines, transportation, and other industrial technologies. LLM-based control systems

can only be deployed responsibly if they undergo rigorous validation processes [4][5]. The purpose of this validation is to ensure that the system:

- responds correctly to all relevant input states and does not misinterpret unintended inputs,
- avoids unsafe or erroneous decisions, and
- behaves in a predictable and consistent manner under known conditions.
- Formal verification

Defining evaluation metrics: We want to evaluate the success of the validation quantitatively, for example, based on the input-output difference (error rate), reaction time, reliability score, and frequency of incorrect decisions.

7. Objective and methodology of the study

We have developed a simulated control environment in which an LLM is tasked with making decisions based on input sensor data or user prompts. The control task may range from simple, discrete logic operations (e.g., starting and stopping a conveyor belt) to more complex process control tasks (e.g., regulating multiple parameters based on target specifications and dynamic feedback). The LLM is integrated using prompt-based interactions, and the system's behavior is observed under a variety of operating conditions. The goal is to emulate how a human operator might instructor query the system in natural language, and how the LLM translates that into control actions.

Key aspects of the system include:

- the type of LLM used (e.g., general-purpose vs. fine-tuned),
- the design of prompts and responses,
- the mechanism by which LLM output is translated into actuation signals or control logic.

The objective of our study is to demonstrate the possibilities of applying LLMs in control systems and to develop a reliable validation method. To do this, we follow the following methodology.

We create a simulated environment in which an LLM is responsible for controlling the operation of a system. This can be a simple process control task (e.g., a conveyor belt) or a more complex decision-making system.

Selection of a validation model: The goal is to find or develop an algorithm that can quickly and efficiently evaluate the operation of the LLM under different input conditions. Possible validation methods include:

- Simulation-based testing
- Formal verification

Defining evaluation metrics: We want to evaluate the success of the validation quantitatively, for example, based on the input-output difference (error rate), reaction time, reliability score, and frequency of incorrect decisions.

7.1. Analyzed model

We create a model with S7-1500 PLC. The model is a roller line with seven end opportunities. In the user prompt we can determine the speed of roller line too. In the user prompt there is no

binding, so if the prompt is incorrect (for example the user asks for not exists storage unit), the system does not do correction or any warning.

7.2. Validation

For the validation we ask the system to take the palett/box to the 1st storage unit. We get an answer what exactly the system does, without the PLC anyway. If the user prompt asks, the system can write in the terminal what would write in the register if connected to the PLC.

This method is a model-based validation.

The model based on modbus communication, we can write a modbus register with calculated decimal number.

In the test we asked for the 1st place with 33% of speed, but the speed is obviously not correct. The value of register 0 and 1 is correct, based on the calculation.

7.3. Error analysis and refinement

Because the system is gave incorrect answer [[7]], which means the answer and the asked values are not ekvivalent. So we need to modificate or need some binding in user prompt.

We need to redesign the algorithm responsible for interpreting the prompt. [[6]] As we can see, the percentage processing not working. So we need to supplement the system with percentage process method. This method is replace the „%” sign to „percent” text. After this the LLM can understand and can execute correctly.

The second formal correction is the value validation. In this method we limited the range of speed to 0-100. If speed in the user prompt higher than 100 or lower than 0, we are going to get an warning text.

And the last possibilty is the input sanitization. If use more special character in the program as prediend character, the model can understand this character such as ordinal number, percentag sign etc.

8. Conclusion

As demonstrated, an LLM-based control system does not always behave reliably or interpret inputs as intended, particularly when faced with ambiguous phrasing, unsupported symbols, or out-of-range values. This highlights the critical need for a robust validation algorithm to ensure the system's correctness, safety, and predictability before deployment in industrial applications. Our results show that while LLMs can successfully parse and translate natural language instructions into control commands, their behavior is sensitive to variations in input structure and format. This makes validation not just useful, but essential — especially in scenarios where control systems operate in dynamic or safety-critical environments.

Furthermore, our preliminary experiments were based on a single task domain and a specific simulated model. However, in real-world applications, LLMs would need to handle a broader set of commands, environments, and failure conditions. Therefore, our future work will focus on developing generalized validation strategies, capable of evaluating LLM-based systems across diverse tasks and use cases. This includes automated test case generation, formal constraint enforcement, input/output consistency checks, and integration with simulation-based and rule-based validation frameworks.

References

- [1] Tamer M Washfy, Ahmed K Noor, Rule-based natural-language interface for virtual environments, *Advances in Engineering Software* Volume 33, Issue 3, March 2002, Pages 155-168
- [2] Wayne Xin Zhao, Kun Zhou, Junyi Li, Tianyi Tang, Xiaolei Wang, Yupeng Hou, Yingqian Min, Beichen Zhang, Junjie Zhang, Zican Dong, Yifan Du, Chen Yang, Yushuo Chen, Zhipeng Chen, Jinhao Jiang, Ruiyang Ren, Yifan Li, Xinyu Tang, Zikang Liu, Peiyu Liu, Jian-Yun Nie, Ji-Rong Wen, A Survey of Large Language Models, arXiv:2303.18223 [cs.CL]
- [3] Ningzhi Tang, Towards Effective Validation and Integration of LLM-Generated Code DOI:10.1109/VL/HCC60511.2024.00051
- [4] Ninad Naik Probabilistic Consensus through Ensemble Validation: A Framework for LLM Reliability DOI:10.48550/arXiv.2411.06535
- [5] Christian Munley, Aaron Jarmusch, Sunita Chandrasekaran LLM4VV: Developing LLM-Driven Testsuite for Compiler Validation DOI:10.48550/arXiv.2310.04963
- [6] Y. Xia, J. Zhang, N. Jazdi, and M. Weyrich, "Incorporating Large Language Models into Production Systems for Enhanced Task Automation and Flexibility," *Automation* 2024, Jul. 2024, doi: 10.51202/9783181024379.
- [7] Andrew Blair-Stanek, Nils Holzenberger, and Benjamin Van Durme. 2023a. Blt: Can large language models handle basic legal text? arXiv:2311.09693

Az IKT eszközökkel támogatott tesztelés szerepe a mérnökhallgatók matematika oktatásában

Árvai-Homolya Szilvia

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Matematikai Intézet,
szilvia.homolya@uni-miskolc.hu

A Z-generáció megváltozott tanulási szokásai, a felsőoktatásba belépő hallgatók esetenként elvártnál alacsonyabb kompetenciaszintje új kihívások elé állítják, folyamatos módszertani fejlődésre sarkallják az egyetemi oktatókat is. Az információs-kommunikációs technológiák (IKT) használata nemcsak a tanítási-tanulási folyamatban jelenik meg, a mérés-értékelésben is egyre hangsúlyosabb szerepet játszik. Az elérhető digitális eszközök sokfélesége számtalan lehetőséget kínál a „hagyományos” számonkérési formák kiegészítéseként a hallgatók tanulását serkentő, innovatív értékelések megvalósítására.

Jelen publikáció célja az IKT-eszközökkel támogatott korszerű és hatékony értékelési módszerek lehetőségeinek rövid bemutatása, melyet a mérnökhallgatók analízis oktatásából vett gyakorlati példákkal szemléltetünk.

Kulcsszavak: Z generáció, online teszt, azonnali visszajelzés, Kahoot

1. Bevezetés

Az egyetemi oktatásban is egyre fontosabb szerepet játszanak a digitális technológiák, ezt a folyamatot különösen felerősítette a világjárvány miatti távoktatás időszaka. A tanítási-tanulási folyamatban szemléletváltás következett be az utóbbi években, a hallgató áll a középpontban, a fókusz a tartalom központúság helyett a tanulási eredményekre helyeződött át, a tudás megszerzése mellett a képesség, attitűd fejlesztése is hangsúlyos. A hallgatónak – az oktató támogatásával – kell fejlesztenie az elvárt kompetenciákat. Számos kutatás igazolja, hogy a technológia alkalmazása pozitív hatással van a hallgatók bevonódására és motivációjára. Az IKT eszközök segítségével élményszerű, inspiráló tanulási környezet alakítható ki, amelyben a hallgató már nemcsak passzív befogadóként, hanem aktív közreműködőként vesz részt. [1]

Napjainkban a felsőoktatásban tanulók többsége a Z generációhoz tartozik, akikről úgy tartják, hogy elkötelezett technológiahasználók és valódi digitális bennszülöttek. Olyan világban nőnek (nőttek) fel, amelyet teljességgel átsző(tt) a technológia, ennek is köszönhetően az előző generációktól eltérő, sajátos tanulási stílusuk alakult ki. [2]

A Z generációs diákok jellemzője többek között, hogy jobban vonzódnak a vizuális tartalmakhoz, mint pusztán a szöveges tananyaghoz, azt tanulják szívesen, ami mielőbb alkalmazható, igénylik a gyakori értékelést, az azonnali visszajelzést a tanulási folyamat sikerességéről. Az előzőekben elmondottak alapján indokolt az IKT eszközök bevonása az értékelés folyamatába is, hiszen ezek alkalmazása lehetőséget kínál a hatékony visszacsatolásra, a hallgatók teljesítményének sokoldalúbb és valós idejű nyomon követésére.

1.1. Interaktív tesztkészítő platformok

Több tanulmány rámutatott (pl. [3,4]), hogy az oktatás akkor lehet igazán adaptív és eredményes a tanulók fejlesztését tekintve, ha rendszeresen végzett, pontos értékelésen alapul. A hagyományos értékelési módszerek alkalmazása mellett szükséges új típusú eszközök bevezetése.

A felsőoktatásban tanuló (Z generációs) hallgatók számára különösen fontos az azonnali, egyénre szabott visszajelzés, amely hatékonyan támogatja a saját előrehaladásukat. Kiemelt jelentőséggel bírnak számukra a kurzuson belüli rendszeres, félévközi visszajelzések is. Ezen elvárások

kielégítésére célravezető az online tesztek alkalmazása, amelyek kiértékelése automatikusan történik, így csökkenthetőek az oktatók adminisztratív terhei, miközben gyors és pontos visszajelzést adnak. Innovatív megközelítést képvisel az adaptív tesztelés alkalmazása, mely tovább fokozza a mérési eljárások hatékonyságát. Továbbá a teszt során – elágazások beépítésével – biztosítható, hogy a felmérés személyre szabottan, a diákok képességeinek megfelelően történjen. [4]

A következőkben példaként három olyan digitális alkalmazás rövid bemutatására kerül sor, amelyek segítségével létrehozott tesztek megfelelnek az új típusú értékeléssel szemben támasztott követelményeknek, mindenki számára elérhetőek és könnyen kezelhetőek.

1.2. Kahoot!

A Kahoot! egy játékalapú válaszadási rendszer (GSRS), amely a 2006-ban létrehozott „Lecture Quiz” nevű kutatási projektből indult el a Norvég Műszaki és Természettudományi Egyetemen (NTNU). A kezdeményezés sikerén felbuzdulva 2012-ben egy induló egyetemi vállalkozás alakult az NTNU-n a játékalapú tanulási platform fejlesztésére, amely végül Kahoot! nevet kapta. A platform nyilvánosan 2013-ban vált elérhetővé. [5]

A Kahoot! egyik legfontosabb eleme a tartalomkészítő eszköz, amely lehetővé teszi a felhasználók számára úgynevezett „kahoot”-ok létrehozását. Ezek különféle kérdéstípusokat tartalmazhatnak: például feleletválasztós kvízkérdéseket, igaz-hamis állításokat, nyílt végű kérdéseket, kirakós feladatokat, szavazásokat, szóképfelhőket vagy diavetítéseket. A szerkesztőfelület lehetőséget nyújt arra is, hogy témakörök alapján, kérdésbankból keressenek és illesszenek be releváns kérdéseket, vagy akár táblázatból importálják azokat. Emellett testre szabható minden kérdés: beállítható az időkeret (5 és 120 másodperc között), a kérdésenként adható pontszám, valamint médiatartalom is csatolható. A képek akár fokozatosan is megjeleníthetőek. [1]

Az alkalmazás mára már több mint 70 millió felhasználóval rendelkezik világszerte. Széles körű kutatások igazolják a platform használatának pozitív hatásait, többek között a tanulói elköteleződés, motiváció, koncentráció, tanulási teljesítmény és kritikus gondolkodás fejlesztésében. [6]

1.3. Quizlet

A Quizlet egy webalapú tanulási alkalmazás, amelyet Andrew Sutherland fejlesztett ki 2005-ben azzal a céllal, hogy hatékony tanulástámogató eszközt hozzon létre. A platform két fő működési módot kínál: a tanulási, illetve a játék üzemmódot. A tanulási módban kártyák (Flashcard), memóriatesztek segítik a fogalmakat és meghatározások megtanulását. A kártyák interaktív módon, „megfordítható” formában jelennek meg, így lehetővé válik a diákok számára, hogy gondolkodva sajátítsák el a tananyagot. A Live funkció lehetőséget biztosít valós idejű osztálytermi játékok lebonyolítására, akár csoportos, akár egyéni formában, így alkalmas a hallgatók tudásszintjének ellenőrzésére. A platform automatikus tesztgenerálást is kínál a létrehozott kártyacsomagok alapján, ezzel tovább egyszerűsítve az értékelés és gyakorlás folyamatát.

1.4. Quizizz

A Quizizz nevet viselő online, gamifikációra épülő oktatási eszközt 2015-ben hozta létre Ankit és Deepak, akik akkoriban felzárkóztató matematikát tanítottak egy indiai iskolában. A platform ingyenesen használható, és világszerte számos oktató által készített, nyilvánosan megosztott kvíztartalom is elérhető rajta, amely szabadon felhasználható és szerkeszthető. A beépített kvízkészítő eszköz alkalmas egyéni, interaktív feladatsorok létrehozására, amelyek automatikusan

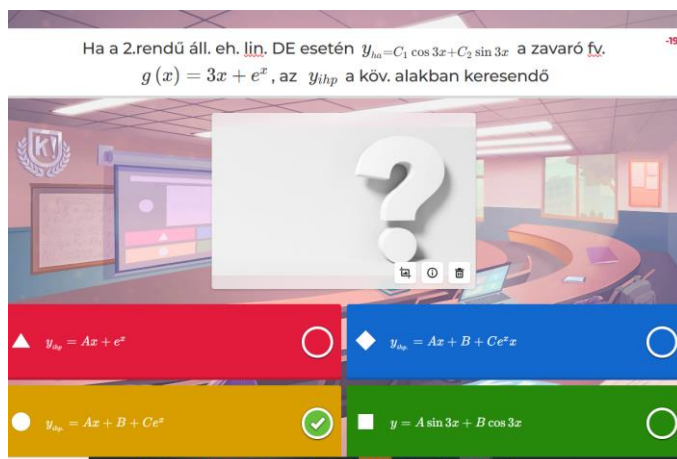
mentésre kerülnek. A Quizizz rendszer osztály- és tanulósztintú jelentéseket is képes generálni, amelyek segítik a tanulók előrehaladásának nyomon követését. A platform különösen hasznos az egyéni tesztelés során, mivel lehetőséget biztosít arra, hogy a tanulók önállóan, saját tempójukban dolgozzanak, miközben azonnali visszajelzést kapnak válaszaikról.

2. Online tesztek alkalmazása az Analízis II. kurzus keretében

A Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karán a mérnökhallgatók matematikaoktatásában évek óta alkalmazzuk a digitális eszközök nyújtotta lehetőségeket (lásd [1]). Az egyetemi elearning rendszerben közzétett online oktatási anyagok támogatják a hallgatókat az órákon tanultak elmélyítésében. Az óravégi Kahoot gyakorló tesztek, illetve a zárt elearning rendszerben létrehozott online teszteken szerezhető jutalompontok segítségével igyekeztünk eddig is ösztönözni a hallgatók tanulási kedvét.

A bevezetőben említett Z-generációs sajátosságokra tekintettel a járműmérnöki, valamint a villamosmérnöki alapképzési szakos hallgatók Analízis II. kurzusán az idei évtől módosítottuk a számonkérések gyakoriságát, továbbá a jutalompontrendszert. A korábbi félévközi két zárthelyi dolgozat (elérhető összesen maximum 100 pont) és két, az elearning rendszerben elérhető „pluszpont szerző” online teszt (legfeljebb 10 pluszpont érhető el) helyett a 2024/2025. tanév II. félévében három zárthelyi dolgozatot írtak a hallgatók (két „kis” zárthelyi dolgozat: 25-25 pont, egy „normál” ZH: 50 pont), valamint két óravégi Kahoot teszten (3-3 pont), illetve egy „elearning”-es online teszten (4 pont) lehetett összesen 10 pluszpontot elérni.

Az óravégi Kahoot gyakorlótesztek változatlanul megmaradtak, előzetesen nem került kihirdetésre a pluszpontszerző Kahoot időpontja, a hallgatók csak az adott napi előadás során értesültek arról, hogy az aznapi teszt eredménye kerül majd beszámításra. Az egyetemi elearning rendszerben kitölthető teszt időpontját előzetesen rögzítettük. A hallgatók egy adott négy órás időintervallumon belül tetszőleges időpontban léphettek be a rendszerbe, de 15 perces időkorláttal tölthették ki az online tesztet.



1. ábra: Kahoot tesztkérdés a másodrendű, állandó együtthatós, lineáris differenciálegyenletek témaköréből

A kurzuson összesen 73 hallgató vett részt, közülük a félév végén 47 fő teljesítette eredményesen a tárgyat, 26 hallgató pedig elégtelen gyakorlati jegyet kapott. Az alábbi táblázatban foglaltuk össze, hogy a különböző érdemjegyeket elérő hallgatók milyen intenzitással éltek a pluszpontszerzés lehetőségével. Látható, hogy a jó, illetve jeles osztályzatot szerző diákok szinte mindegyike részt vett mind a három jutalompontot biztosító alkalmon, miközben az elégtelen gyakorlati jegyeseknek csak 11,5%-a próbált pluszpontot szerezni az összes lehetőségen. Megjegyezzük, hogy az elégséges osztályzatot elérő 3 hallgató, aki egyetlen tesztet sem írt meg, (az

Analízis I./II. tárgyak ismételt felvétele miatt) felsőbb éves diák volt, így ők az előadás látogatása alól felmentést kaptak.

1. táblázat: Az Analízis II. kurzus eredményei és a pluszpontszerző alkalmakon résztvevő hallgatók létszáma

Érdemjegy	Egyiket sem	1 Kahoot	Elearning teszt	1 Kahoot + elearning teszt	2 Kahoot	2 Kahoot + elearning teszt	Összesen
Elégtelen	11	7	1	1	3	3	26
Elégséges	3	1	3	3	2	10	22
Közepes				2	1	7	10
Jó		1		1		6	8
Jeles				1		6	7
Összesen	14	9	4	8	6	32	73

A következő táblázatban az egyes pluszpontszerző teszteken résztvevő hallgatók számát, az egyes teszteken elért átlagpontoszámot, illetve azok szórását adjuk meg. Az előzőekben elmondottak alapján a két Kahoot! teszten 3-3 pontot lehetett szerezni, az elearning rendszeren belüli teszten pedig 4 pontot. A kurzus 73 hallgatóját figyelembe véve a maximum 10 jutalompontból hallgatónként átlagosan 5,4 pont került kiosztásra.

2. táblázat: Pluszpontszerző tesztek statisztikai adatai

	Kahoot1	Kahoot2	Elearning teszt
Létszám	46	47	44
Átlagpont	2,41	2,55	3,7
Szórás	0,69	0,62	0,67

A félévvégi eredmények összesítése során megvizsgáltuk, hogy mennyire segítették a pluszpontok a jobb osztályzatok megszerzését. Ezek alapján a 7 jelesből 6, a 8 jóból szintén 6, a 10 közepesből 9, a 22 elégségesből 10 olyan hallgató volt, aki a jutalompontok segítségével érte el a jobb osztályzatot. Fontos azonban megjegyezni, hogy ezen hallgatók mindegyike a zárthelyi eredmények alapján az adott jegy ponthatárától legfeljebb 10%-kal maradt le, például a jeles osztályzat esetén minimum 90 pontot kellett elérni, a „leggyengébben” teljesítő jeles hallgató 84 pontot szerzett a három zárthelyi dolgozaton a 100 pontból.

3. Konklúzió

A félév lezárását követően a kurzus hallgatói egy anonim kérdőív kitöltésével oszthatták meg véleményüket a Kahoot! és az elearning használatával kapcsolatban.

A kérdőív értékelő jellegű kérdései esetén a hallgatók ötfokozatú Likert-skálán adhatták meg válaszaikat, ahol az 1-es érték az „egyáltalán nem”, az 5-ös pedig „a teljes mértékben” választ jelentette.

- A válaszadók átlagosan 4,21 pontot adtak arra a kérdésre, hogy mennyire tartják fontosnak az online eszközök használatát az ismeretek ellenőrzésében, illetve a gyakorlás során.
- A „Mennyire segítette Ön szerint az egyetemi elearning rendszerben megvalósított online teszt a tanultak elmélyítését” kérdésre az értékelések átlaga 4,43 volt.
- A „Mennyire segítették Ön szerint a pluszpontszerző Kahoot tesztek a tanultak elmélyítését?” kérdésre átlagosan 4,57 pontot adtak az érintett hallgatók.

Mind az Analízis II. kurzus előző fejezetben bemutatott eredményei, mind a tárgy hallgatóinak visszajelzései megerősítették, hogy az online tesztek alkalmazása hatékony kiegészítése a hagyományos számonkérési formának. A pluszpontszerzési lehetőségek pozitívan befolyásolják a hallgatók tanulási motivációját, miközben a bónuszpontok arányos mértéke (legfeljebb +10%) biztosítja, hogy a végső eredmények ne torzuljanak, így a kurzus követelményei ne értéktelenedjenek el.

4. Irodalomjegyzék

- [1] Homolya Sz., „Digital technology in university mathematics education”. *Multidiszciplináris Tudományok*, 13. kötet, 2. sz., pp. 220-231, 2023. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2023.2.20>
- [2] A. Alruthaya, T. T. Nguyen, T. T. and S. Lokuge, S. „The Application of Digital Technology and the Learning Characteristics of Generation Z in Higher Education.” in *Proceedings of the Australasian Conference on Information Systems (ACIS)*, Sydney, 2021. <https://aisel.aisnet.org/acis2021/65>
- [3] Molnár, Gy. és Csapó B., „A diagnosztikus mérési rendszer technológiai keretei. Az eDia online platform”. *Iskolakultúra*, 29(4-5), pp.16–17, 2019. <https://doi.org/10.14232/ISKKULT.2019.4-5.1>
- [4] Gróf A., „IKT-eszközökkel támogatott értékelés.” in: *Módszertani eszköztár a felsőoktatásban tanító oktatók számára 2.*, Gödöllő, MATE Press pp. 197-213. 2024. ISBN: 9789636230913
- [5] A. I. Wang, „The wear out effect of a game-based student response system.”, *Computers & Education*, 82, pp. 217–227, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.11.004>
- [6] O. Özdemir, „Kahoot! Game-based digital learning platform: A comprehensive meta-analysis”. *Journal of Computer Assisted, Learning, Wiley, Vol.41 (1)*, 2025.

Egy nem szokványos szakítóvizsgálat: kísérletek befőttesgumival

¹Beszeda Imre, ²Stonawski Tamás

^{1,2} Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet
beszeda.imre@nye.hu

A hagyományos, leggyakrabban acélokon végzett szakítóvizsgálat helyett egy másik anyagot veszünk szemügyre, amely szerkezetileg teljesen eltér az acéltól. A gumi, amely sokkal nagyobb alakváltozást képes elviselni anélkül, hogy jelentősebb maradandó deformációt szenvedne, számos olyan tulajdonságot mutat, amelyek gyökeresen különböznek az acél viselkedésétől. A gumi nemlineáris rugalmassága és csillapító hatásai izgalmas lehetőségeket kínálnak a mélyebb vizsgálódásra – akár középiskolások számára is, valamint remek lehetőséget kínálnak a diákok érdeklődésének fenntartására, miközben remek alkalmat adnak a kreatív problémafelvetésre és -megoldásra

1. Bevezetés

Az acélrugóval végzett kísérletek közismerten remek lehetőséget nyújtanak Hooke törvényének bemutatására, a rugóállandó meghatározására, valamint a harmonikus rezgőmozgás vizsgálatára, nemcsak a közoktatásban a fizikaórákon, de a felsőoktatásban a műszaki képzésben résztvevő mérnökhallgatók számára (a Mérnöki fizika c. tantárgy kereteiben), vagy a fizikatanár szakos hallgatók számára is. Az ilyen alapvető kísérletek és mérések nemcsak a mechanika alapszabályainak megértését segítik, hanem hozzájárulnak a tanulók és az egyetemi hallgatók mérési és elemzési képességeinek fejlesztéséhez is.

A felsőoktatásban a fenti alapok után fizikatanár szakos hallgatókkal vékony fémdrót nyúlását szoktuk vizsgálni egy maximum 30N terhelés kifejtésére képes ún. törpe szakítógéppel, míg a mérnök hallgatókkal normál szakítóvizsgálatot végzünk a több nagyságrenddel nagyobb terhelési tartományban, és ezekből a vizsgálatokból határozzuk meg a fémek mechanikai tulajdonságait, mint pl. a Hooke-törvényét, a nyújtási diagramot és a szakítószilárdságot.

A közoktatásban ilyen további vizsgálatok elvégzésére azonban a legtöbb esetben nincs lehetőség, ezért elgondolkodhatunk, hogy mi történik, ha valamilyen másik anyagot veszünk szemügyre, amely szerkezetileg teljesen eltér az acéltól. Ilyen anyag lehet pl. a gumi, a hajszál vagy esetleg egy damilszál is. Ezek nyújtásához ugyanis nincs szükség szakítógépre, hanem egy egyszerű rugós erőmérővel vagy esetleg ráakasztott súlyokkal is megoldható a terhelés fokozatos növelése.

A gumi sokkal nagyobb alakváltozást képes elviselni anélkül, hogy számottevő maradandó deformációt szenvedne, számos olyan tulajdonságot mutat, amelyek gyökeresen különböznek a fémek viselkedésétől. A gumi nemlineáris rugalmassága és csillapító hatásai izgalmas lehetőségeket kínálnak a mélyebb vizsgálódásra – akár középiskolások számára is.

Egyszerű kísérletek segítségével bemutatható, hogy míg az acélrugók viszonylag konstans értékű rugóállandót mutatnak, a guminál a rugalmasság jelentősen változhat a terheléstől vagy az ismételt használatától függően. Ez az eltérő viselkedés megfigyelhető például az erő-megnyúlás grafikonban, vagy a hosszabb terhelés hatására bekövetkező anyagfáradásban.

Az ilyen típusú kísérletek remek lehetőséget kínálnak az iskolai tanulók természettudományos vagy műszaki érdeklődésének felkeltésére, a kreatív problémafelvetésre és -megoldásra. Projektként vagy szakköri keretben a diákok mélyebben beleáshatják magukat a rugalmasság világába, és összehasonlíthatják az acél és a gumi eltérő viselkedését. Ezáltal nemcsak a tananyag bővül, hanem a természeti jelenségek jobb megértését is elősegíti.

Ebben a cikkben a gumi rugalmassági tulajdonságainak vizsgálatára vonatkozó egyszerű és ezért iskolában is könnyen elvégezhető kísérleteket és méréseket mutatunk be. A mérések egy része egy tanárszakos hallgató részvételével történt, aki az iskolában a diákjait is bevonta a munkába. A mérési adatok elemzése és a tapasztalatok alapján világosan kirajzolódnak a gumi egyedi fizikai sajátosságai, amelyek különleges betekintést nyújtanak az anyagok mechanikai viselkedésének sokszínűségébe.

4.1. A befőttesgumi szakítószilárdsága

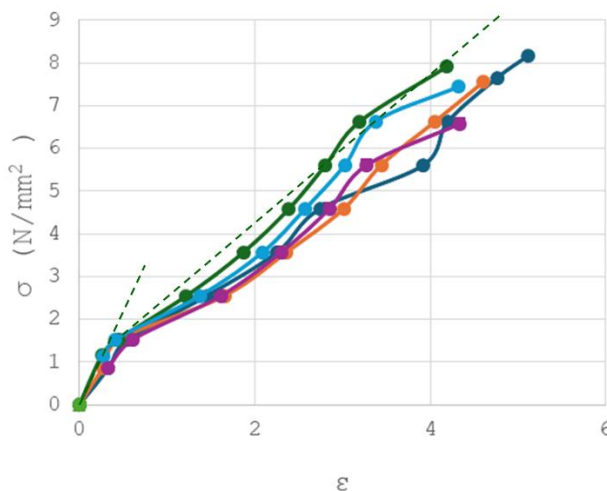
A gumi szakítószilárdságának vizsgálata kiváló kiindulópont lehet az anyagok rugalmasságának [1-3] tanulmányozására. Az egyetemen a fizikatanár szakos hallgatók oktatásában (a mechanika laboron) is használt (ingás mechanikájú) fonálszakító gép segítségével pontos adatokat gyűjthettünk arról, hogy hogyan viselkednek a gumik különböző terhelések alatt.

Gumiszálát legegyszerűbb módon pl. egy befőttesgumi-karika felvágásával kaphatunk. Ennek szakítószilárdságát előzetesen rugós erőmérővel vizsgálva megállapítottuk, hogy 20N terhelés alatt mindegyik elszakad (a mérések szerint a szakadás mindegyik gumiszál esetén a 15N – 17N tartományban következett be), így a maximálisan 30N húzóerő kifejtésére képes szakító gép megfelelő lesz a mérések elvégzéséhez.

A befőttesgumiból készített gumiszál négyzet keresztmetszetű, de nem teljesen egyenletes vastagságú: tolómérővel mérve a legvékonyabb helyen a vastagsága 1,4 mm. A mérésekben a gumiszál kezdeti hosszúsága a 75-80 mm tartományban volt. Tapasztalataink szerint a gumi igen nagymértékű, négy-ötszörös megnyúlásra is képes.

Hogy az összetartozó erő-megnyúlás adatokat rögzíteni tudjuk, a méréseket videóra vettük, majd a leolvasott adatokat táblázatba rendeztük és grafikonon ábrázoltuk. Az 1. ábra az anyagok viselkedésének fontos sajátosságait mutatja meg: a gumira jellemző nemlineáris rugalmasságot.

A grafikonon – a mérnöki gyakorlatnak is megfelelően – a húzófeszültséget ábrázoltuk a relatív alakváltozás (megnyúlás) függvényében. A valódi (pillanatnyi) feszültségértékek ismeretéhez szükséges lenne a gumiszál pillanatnyi keresztmetszetének ismeretére is, amit viszont nem tudtunk mérni, ezért a szokásnak megfelelően a gumiszál kezdeti vastagságából meghatározott keresztmetszettel kapott mérnöki feszültséget [2] ábrázoltuk.



35. ábra: Öt különböző színű befőttesgumin végzett nyújtási vizsgálat összehasonlítása

A közös grafikonon öt különböző színű befőttesgumin végzett mérési sorozat eredményei találhatók. A görbék általában kezdetben meredeken emelkednek, ami azt jelzi, hogy a gumi

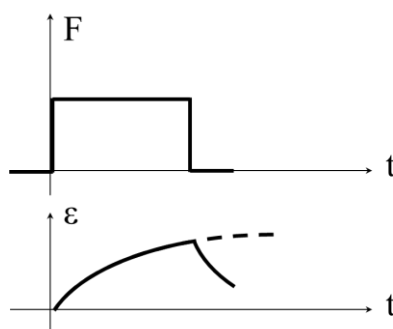
kezdeti nyúlási szakaszában nagyobb a nyúlási rugalmassági modulusza. Ahogy a terhelés nő, a görbék laposabbá válnak (illusztrációként a zöld pontokra szaggatott vonallal berajzoltuk a két különböző meredekségű szakaszt).

A különböző színek és jelölések azt mutatják, hogy ugyanazon típusú befőttes gumik is mutathatnak némi eltérést a viselkedésükben, ami az anyag szerkezeti változatosságával, technológiai pontatlansággal, esetleges mikrohibákkal vagy használati előzményekkel magyarázható (jelen esetben új gumikkal végeztük a kísérleteket). Érdekes megfigyelni, hogy a görbék a nagyobb relatív megnyúlásnál egyre szélesebb eltérést mutatnak, ami arra utal, hogy a szakadás előtti szakaszban az anyag egyre kevésbé viselkedik homogénen.

Az ilyen jellegű kísérletek nemcsak az anyagok rugalmasságának megértését segítik, hanem az optimális terhelési tartomány meghatározását is lehetővé teszik a további vizsgálatokhoz. Például a következő kísérletekben már célzottan tudjuk kiválasztani azokat a terhelési értékeket, amelyek a gumi viselkedésének legérdekesebb aspektusait mutatják meg.

4.2. Rugalmas utóhatás és hiszterézis

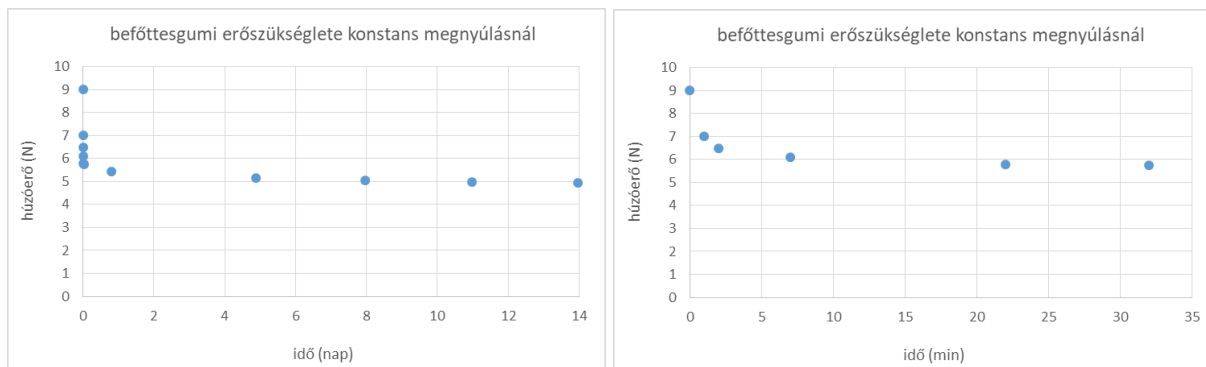
Ismeretes, hogy a legtöbb hétköznapi anyagnál, pl. a fémeknél kellően lassú deformáció esetén az alakváltozás időben azonnal követi az erő változását [3]. Ha viszont a terhelés hirtelen növekszik, az alakváltozás jól kimutatható késéssel követi – elvi illusztrációként ld. a 2. ábrát. Ez a rugalmas utóhatás néven is ismert jelenség jól megfigyelhető pl. műanyag fonal vagy gumiszálak nyújtása esetén (de kellően gyors mérési elrendezéssel még a fémeknél is kimutatható).



2. ábra: Gumi, műanyagok és több más anyagnál hirtelen változás esetén az alakváltozás jól kimutatható késéssel követi a terhelést (elvi ábra)

A befőttesgumival kétféle módon is végeztünk ilyen nyújtási vizsgálatokat, melyek jól illusztrálják ezt a jelenséget.

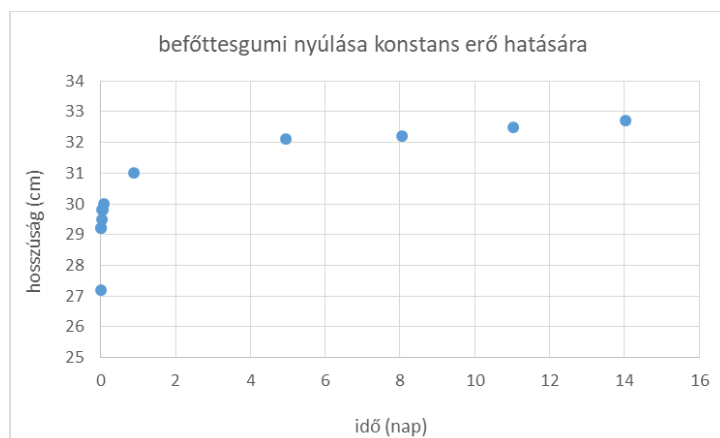
1. Konstans megnyúlás a szakítógépben: először a közel 8 cm hosszúságú gumiszálát rögzítettük a szakítógépben, majd – hogy biztosan ne szakadjon el – a szakadás alatti 9 N húzóerővel megterheltük, és ebben a helyzetben megállítottuk a mozgófejet, és az inga fékezését is megszüntettük, hogy a terhelőerő időbeli változását követni tudjuk. A kapott értékeket a 3. ábra mutatja.



3. ábra: Befőttesgumi konstans megnyúláshoz tartozó erőszükséglete az idő függvényében. A bal oldali ábra a teljes mérést mutatja, a jobb oldali pedig a kezdeti fél órát, amikor a változás még gyors volt. Látható, hogy az alakváltozás még 14 nap alatt sem fejeződött be teljesen

Láthatjuk, hogy kezdetben, kb. az első 30-35 perc során a gumi szál belső szerkezetének változása gyorsan „követi” a terhelést, vagyis a húzóerő a kezdeti 9N értékről lecsökken 6N alá. Ezután az alakváltozás sokkal lassabb, viszont igen sokáig tart (még 14 nap után sem ért véget), ezért szerepelnek nagy időértékek a bal oldali grafikonon.

2. *konstans terheléssel*: egy másik módszerként a gumiszálát konstans erővel terheltük, és figyeltük a megnyúlását az idő függvényében. Ehhez egy 7,2 cm kezdeti hosszúságú gumiszálát az egyik végénél felfüggesztettük, majd a másik végére 200 g tömegű terhet akasztottunk, 2 N konstans húzóerőt létrehozva. Az itt kapott hosszúság értékeket a 4. ábra mutatja az idő függvényében.



4. ábra: Befőttesgumi megnyúlása 2N állandó erő hatására az idő függvényében

Tapasztalataink szerint ebben az esetben is az előbbiekhöz hasonló viselkedést kaptunk, vagyis a gumi anyagának belső szerkezeti változása és így a hosszváltozása meglehetősen lassan és hosszú időn át követi a terhelést, még 14 nap alatt sem fejeződött be teljesen.

A gumiszálak leterhelés utáni összehúzóási viselkedését vizsgálva megállapítottuk, hogy a szakítógépben nyújtott, eredetileg 7,9 cm hosszúságú gumiszál a terhelés megszűnte után 10,2 cm hosszúságúra változott. A gumiszál várakozásainknak megfelelően lassan húzódott össze, és eredeti hosszúságát sem nyerte vissza. Hasonló viselkedést mutatott a súlyokkal terhelt gumiszál

is: a kezdeti 7,2 cm-es hosszúságról a nyújtás után 8,4 cm-re nőtt, majd az összehúzódás során ugyanolyan időfüggést követett. Az összehasonlító eredményeket az 5. ábra szemlélteti.

5. ábra: Befőttesgumi összehúzódása a leterhelés után az idő függvényében a szakítógéppel, illetve a súlyokkal megnyújtott gumiszálak esetén

A szakítógéppel 9-5 N közötti húzóerőt alkalmazva a gumiszál hossza a 14 napos kísérleti periódus során a kezdeti 7,9 cm-ről 9,2 cm-re változott, ami 1,3 cm-es maradó megnyúlást eredményezett. Ezzel szemben az akasztós súlyokkal előidézett lényegesen kisebb, 2 N-os terhelés esetén a megnyúlás mértéke is jóval mérsékeltebb volt: a gumiszál hossza a kezdeti 7,2 cm-ről 7,8 cm-re nőtt, amely 0,6 cm-es maradó megnyúlást jelent. Az eredmények alapján a terhelés nagysága és a maradó deformáció között szignifikáns összefüggés figyelhető meg.

Fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy a gumiszál segítségével látványosan szemléltethető a mérnöki gyakorlatban jól ismert kúszás (más néven tartósfolyás) [2] jelensége is, amikor a rugalmas alakváltozásra képes szilárd anyagoknál is előfordulhatnak olyan atomi-molekuláris szintű szerkezeti változások, melyek makroszkopikus szinten csak hosszú idő elteltével figyelhetők meg (pl. az acélokban is, még a folyáshatárnál kisebb feszültség esetén is).

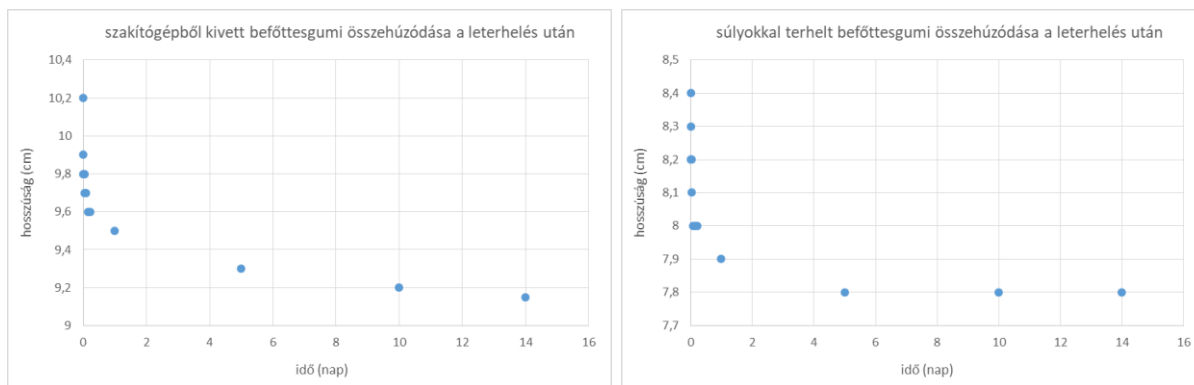
A *histerézis* [3] jelensége is gyakran előfordul a gyakorlati problémákban. A befőttesgumi histerézisének vizsgálata során azt a folyamatot tanulmányoztuk, amikor egy anyag nem tér vissza eredeti állapotába az őt ért terhelés megszűnte után. Ugyanez a helyzet periodikus terhelés során is, amikor a deformáció nincs fázisban a terheléssel. Ez különösen érdekes a gumik esetében, mivel ezek az anyagok jelentős rugalmas és viszkoelasztikus tulajdonságokat mutatnak.

Kísérletünket azonos csomagból kivett két gumival végeztük, melyeket közel azonos kezdeti hosszra ($\ell_0 = 8$ cm) állítottunk be. Az egyik guminál a megnyúlásokat azonnal leolvastuk a terhelés növelése és csökkentése után, míg a második esetben a terhelés/leterhelés után öt-öt percet várakoztunk a megnyúlás leolvasása előtt. A terhelés növelését 50 grammos súlyokkal oldottuk meg a 0 – 450 gramm tartományban, majd fokozatosan visszasedtük azokat. Ezután megállapítottuk a maradandó alakváltozás mértékét. A kapott eredményeket a 6. ábra mutatja.

Az azonnali leolvasások eredményei:

A grafikon ezen esetben szorosabb "nyílást" mutat a terhelési és az azt követő visszatérési görbe között. A visszatérési szakasz során azonban még így is megfigyelhető egy maradandó alakváltozás, amely az anyag rugalmas határán túli nyúlásra utal.

A terhelés változtatása után 5 perces várakozást követő leolvasások eredményei:



A görbe egyértelműen laposabb a terhelési szakaszban, és a visszatérési szakasz nagyobb mértékű eltérést mutat az azonnali leolvasáshoz képest. Ez a gumi nyúlásának időfüggő tulajdonságára,

azaz viszkoelasztikus viselkedésére utal. A várakozás hatására az anyag belső szerkezete részlegesen átrendeződött, ami nagyobb maradandó deformációhoz vezetett.

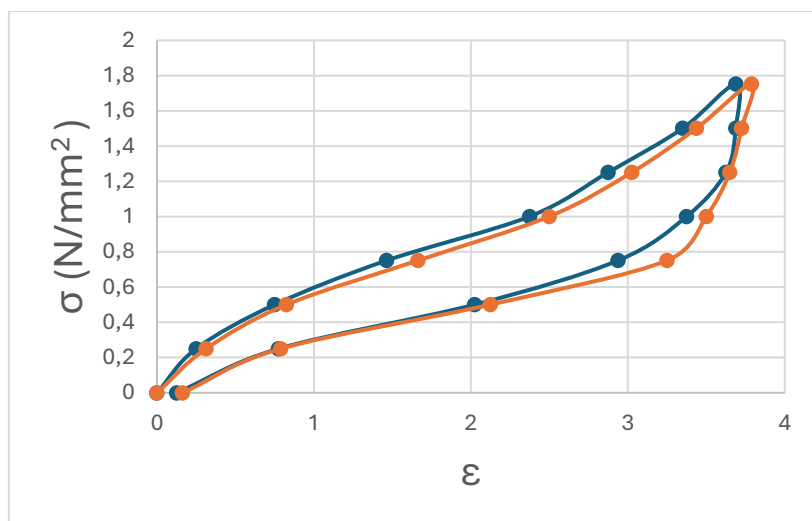
Előbbiekből az alábbi következtetések szűrhetők le:

A gumi histerézise, azaz a terhelés és tehermentesítés közötti energiaelnyelés mértéke jelentősen függ a terhelés időtartamától.

Az azonnali és az 5 perc késéssel történő leolvasások közötti különbségek jól szemléltetik a gumi rugalmas és viszkoelasztikus komponenseinek összjátékát.

A maradandó alakváltozás nagyobb az 5 perces terhelés után, ami az időhatás szerepét hangsúlyozza a gumi szerkezeti változásaiban – összhangban [1] -el, és a rugalmas utóhatással kapcsolatban fentebb bemutatott eredményeinkkel.

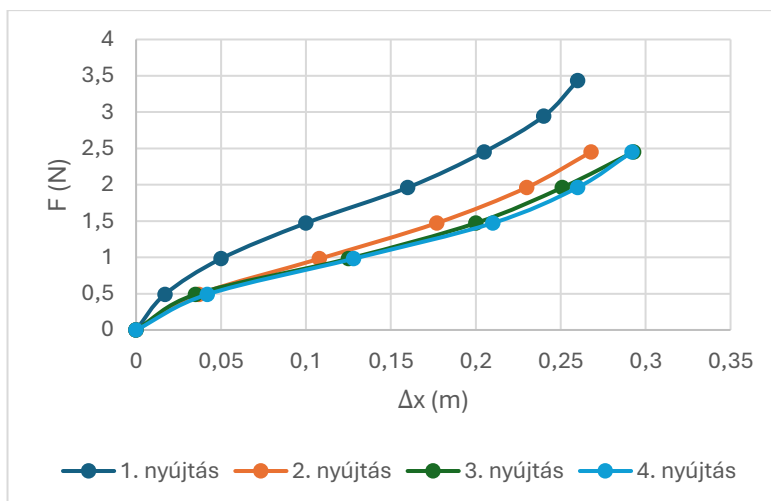
Ez a vizsgálat remek lehetőség a középiskolások számára a rugalmassági tulajdonságok mélyebb megértésére, miközben a histerézis jelenségével, a valós életben és a mérnöki gyakorlatban is előforduló problémákkal is megismerkednek.



6. ábra: Két, azonos csomagból vett, 8 cm-es hosszal befogott befőttesgumi histerézise. A kék színnel jelölt gumi megnyúlásait a terhelés/leterhelés után azonnal, a narancs színnel jelöltét pedig a terhelést/leterhelést követő 5 perc várakozás után olvastuk le

4.3. A rugalmasság változása sorozatos terhelés hatására

A mérés során ugyanazon a gumiszálon egymás után többször is elvégeztük a terheléses vizsgálatot, hogy megvizsgáljuk, hogyan változik az anyag rugalmassága többször ismételt terhelés hatására. A 7. ábrán látható mérési eredmények azt mutatják, hogy a nyúlási képesség az első egy-két nyújtási ciklus során drasztikusan, majd a későbbi nyújtásoknál egyre kevésbé változik. Ez szintén az anyag rugalmas és viszkoelasztikus tulajdonságainak kombinációjára utal.



7. ábra: Egy 8 cm-es kezdeti hosszúságú gumiszál megnyúlása egymás után alkalmazott terhelések hatására. Jól látható, hogy az első terhelésnél (sötétkék görbe) nagyobb erőhatás szükséges egy adott megnyúlás eléréséhez, míg későbbi nyújtásoknál egyre csökkenő erővel lehet ugyanazokat a megnyúlásokat elérni, amit értelmezhetünk a gumi „gyengüléseként” is

Az első nyújtási ciklusban (sötétkék görbe) a gumi egy adott terhelés hatására mutat valamekkora deformációt (pl. 2N hatására 0,16m a megnyúlás). A későbbi nyújtási ciklusok során egyre csökkenő erővel lehet ugyanazokat a megnyúlásokat elérni, vagy ugyanakkora erőhatásokra egyre nagyobb megnyúlásokat mérhetünk (pl. a 2. ciklusban a 2N terheléssel már 0,23m, a harmadik ciklusban 0,25m, míg a negyedekben 0,26m a megnyúlás), amit értelmezhetünk a gumi „gyengüléseként” is.

Az első két nyújtási ciklusban jelentkező drasztikus csökkenés jól mutatja, hogy az anyag kezdetben még rendezetlen szerkezetű volt. A csökkenés a molekuláris láncok átrendeződésével és jelentős plasztikus deformációval magyarázható. Az ismételt nyújtások során a gumi egyre inkább "megnyúlt", plasztikusan deformálódott – ahogy fentebb is láttuk a kúszás kapcsán, így kevésbé reagál az ismételt terhelésekre. A negyedik nyújtási ciklusban a deformáció már közel állandó maradt, ami arra utal, hogy az anyag elérte azt az állapotát, ahol a viszkoelasztikus átalakulás lezajlott, az ismétlődő nyújtások további jelentős szerkezeti változást nem eredményeznek, csak a rugalmas komponens figyelhető meg.

Ezt a tapasztalatot a hétköznapiakban is sokan ismerik: a lufit felfújás előtt sokan először kézzel megnyújtják, amivel túl lehet lendíteni a lufi anyagát ezen a kezdeti szakaszon, és utána sokkal kevésbé kell erőlködni a felfújás során.

A kapott eredmények nemcsak az anyagtudomány szempontjából érdekesek, hanem praktikus jelentőséggel is bírnak pl. a gumi anyagok tartósságának és terhelhetőségének vizsgálatában.

4.4. Mérési lehetőségek iskolai körülmények között

A kutatás során kapott eredmények nemcsak számunkra, a felsőoktatásban dolgozók számára bizonyultak érdekesnek.

Nemzetközi tendencia, hogy a diákok természettudományok iránti érdeklődése jelentősen csökkent az elmúlt időszakban, ezért a cikk szerzői évtizedek óta foglalkoznak tudománynépszerűsítéssel. Érdekes, látványos fizika kísérleteket mutatunk be, előadásokat tartunk a Nyíregyházi Egyetemen és iskolákban is, továbbá nyári táborokat és fizikaversenyeket szervezünk a fizika, technika, elektronika és informatika iránt érdeklődő (10-18 éves) diákok számára.

Az utóbbi években online fizikaversenyeket is szervezünk, ez a Kreatív Fizika Verseny [6], ahol valós műszaki feladatokat kell megoldani, pl. eszközöket (pl. működő modelleket) kell készíteni, méréseket elvégezni. A verseny meghirdetése után (november-december környékén) a diákok otthon vagy az iskolában dolgozhatnak a projekteken (a szülők, barátok vagy tanárok segíthetnek a munkában). A diákoknak saját munkájukat fotókkal és videókkal kell dokumentálniuk, amelyekből egy max. 5-6 perces rövid videót kell készíteniük és beküldeniük. A zsűri értékeli ezeket a videókat (májusban), és a legjobb munkákat díjakkal jutalmazzuk.

Idén a fenti téma is szerepelt a Kreatív Fizika Verseny kitűzött projektjei között. A nevezések számában is látszott, hogy a diákok és a tanárok nagy érdeklődést mutatnak a téma iránt.

Az iskolákban meglevő szűkebb lehetőségek miatt sokkal egyszerűbb eszközökkel lehet/kell elvégezni a fentebbi méréseket, mint pl. mérőszalag, rugós erőmérő vagy helyette ismert tömegű testek (pl. csavaranyák) segítségével.

Volt hallgatóink és más kollégák diákjai is részt vettek a gumiszál vizsgálatában. Általában rugós erőmérővel, vagy ismert tömegű akasztós súlyokkal végezték a méréseket, de volt olyan diák is, aki pl. csavaranyákat használt az akasztós súlyok helyett, míg más versenyző lakáskulcsot és egyéb kéznél levő tárgyakat (amiknek természetesen konyhai mérlegen megmérték a tömegét).

Jó megoldásnak bizonyult ebben az esetben is a mérési folyamat videóra vétele, amiből az összetartozó erő-megnyúlás adatokat kinyerték és ábrázolni tudták. Ennek a mérésnek az egyik pillanatképét illusztrálja a 8. ábrán látható fotó.



8. ábra: Diákok mérőszalaggal mérik a gumi megnyúlását, a húzóerőt pedig rugós erőmérővel. A folyamatot videóra vették, amiből az összetartozó erő-megnyúlás adatokat rögzíteni tudták

A diákok kreativitása többféleképpen is megnyilvánult: volt olyan versenyző, aki nemcsak közönséges befőttesgumit vizsgált, hanem hétköznapi használatú, de más anyagú gumikat is (mint pl. az ú.n. postásgumi). A szobahőmérsékleten elvégzett mérések mellett többen végeztek méréseket más hőmérsékleteken: pl. vízforralóval felmelegített forró vízben és jeges vízben (de ezek a versenyzők nem mérték a konkrét hőmérsékletet); míg mások pl. szaunában 77°C-on és kinti hidegben 12°C-on is mértek. Minden versenyző tapasztalata az volt, hogy magasabb hőmérsékleten nagyobb a mérhető megnyúlás. Egyetlen ennek ellentmondó tapasztalat volt az egyik iskolában, nyilván ezeket a méréseket ellenőrizni szükséges.

Az iskolások munkáiból leszűrhető egyik tapasztalat az, hogy nem teljesen kiforrattak a mérések, vagyis valóban szükség lenne a mérési és kiértékelési képességeik fejlesztésére, ami a felsőoktatásban a leendő tanárok, de akár a mérnökhallgatók képzésében is fontos feladatot jelent; a másik pedig az, hogy nem teljesen tiszta még a rugalmasság fogalma, vagyis az elméleti alapok megbeszélése, a fogalmak tisztázása szintén fontos feladat.

2. Konklúziók

A gumi, bár egy egyszerűnek tűnő anyagnak látszik, rendkívül sokrétű és érdekes tulajdonságokkal bír. A mindennapi háztartásokban és az iskolákban is könnyen elérhető, mégis igazi tudományos „felfedezésekhez” vezethet, ha alaposabban vizsgáljuk. Az iskolai tanulmányok során már a 7. osztályban találkozunk a gumi rugalmasságával, de ahogy előrehaladunk a tanulmányokban, egyre inkább megnyílnak előttünk a mélyebb anyagszerkezeti összefüggések. Így középiskolában lehetőség van a gumi viselkedésének részletesebb elemzésére, és a műszaki oktatás során a fenti kísérletek is elvégezhetők, amelyek segítenek jobban megérteni az anyag viselkedését. A kísérletek nemcsak a tanulás szempontjából fontosak, hanem izgalmas felfedezéseket is kínálnak. A gumi rugalmasságának és akár a hőmérséklet változtatás hatására adott reakciójának vizsgálata pedig lehetőséget ad arra, hogy a diákok mélyebben elmerüljenek a tudományos kutatásban, elősegítve ezzel a STEM-területek felé történő orientációjukat is!

3. Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki Gombosné Kovács Kinga tanárnőnek (volt hallgatónknak) és diákjainak a téma iránt mutatott érdeklődéséért és az elvégzett mérésekért, valamint a 2025. évi Kreatív Fizika Versenyen a témában résztvevő diákoknak és segítőiknek, tanáraiknak.

Irodalomjegyzék

- [1] Főzy István-Juhász András-Tasnádi Péter: A gumi rugalmas és termikus tulajdonságai (Fakultatív tankönyv a gimnáziumok IV. osztálya számára) Műszaki Könyvkiadó, 1985
- [2] Dr. Pék Lajos: Anyagszerkezetten és anyagismeret, Dinasztia Kiadó, Budapest, 2000.
- [3] Holics László: Fizika, Akadémiai Kiadó, 2015.
- [4]https://web.unideb.hu/~vgaspar/educ/A%20gumiszalag%20termodinamikaja.pdf?utm_source=chatgpt.com
- [5] <https://www.muszeroldal.hu/assistance/anyagokhotecnikaijellemzoi.html>
- [6] <https://kreativfizika.webnode.hu/kreativ-fizika-verseny/>

Elsőéves mérnökhallgatók térszemlélet mérése és az eredmények alapján azonosított oktatási eszközök beépítése az ábrázoló geometria tantárgy ütemtervébe

¹Nagyné Kondor Rita, ²Szilvásiné Rozgonyi Erika

¹Debreceni Egyetem, Műszaki Kar

²Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar

rita@eng.unideb.hu

Kutatások szerint az egyetemi hallgatók térbeli készségei és a STEM tudományágakban elért teljesítményük között szoros összefüggés van, ugyanis a térbeli képességének szintje előre jelezheti a hallgatók tanulmányi eredményét, többek között a mérnökképzésben és hatással van a további karrierjére, tehát az oktatásban a térszemlélet fejlesztése később széleskörű hatást gyakorolhat a hallgatók tanulmányi előmenetelére. Ez vezérelt bennünket arra, hogy a meglévő tantervekbe beépítendő oktatási eszközöket azonosítsunk, a Miskolci Egyetem és a Debreceni Egyetem elsőéves gépészmérnök és környezetmérnök hallgatói körében vizsgálva a térszemléletet. A térbeli képességeiknek, problémamegoldó módszereiknek tesztel történő vizsgálatával tipikusan elkövetett hibák megtalálására, helytelen sémák feltárására összpontosítottunk, majd visszaméréssel is azt vizsgáltuk, hogy az aktuálisan hiányos készségeket mennyire sikerült fejlesztenünk a félév során beillesztett fejlesztéssel.

Kulcsszavak: Felsőoktatás, Mérnökképzés, Problémamegoldás, STEM tudományágak, Térszemlélet.

1. Bevezetés

A térszemléletet a kognitív komponensek komplex rendszereként definiálhatjuk, amely magában foglalja a 3D világ konstruált és érzékelt képei összekapcsolásának képességét [5].

Az elmúlt évtizedekben jelentős előrelépés történt a vizuális kutatások területén [10], a térbeli képesség és a STEM-oktatás közötti összefüggést, tipikus gondolkodási hibákat vizsgáló tanulmányok [5, 7, 14] tárgyalták, részkomponenseket mérő tesztet kidolgozva [6], míg mások a specifikus nehézségeket leíró elemzésekre támaszkodtak [2, 8].

A térszemlélet kulcsfontosságú a mindennapi életben, matematikai és geometriai ismeretek elsajátításában [6, 7], az útkeresésben [12], megfelelő fejlettségi szintje kulcsfontosságú az egyetemi szintű összetett tervezési feladatok, műszaki problémák megértésében, megoldásaiban, a számítógépes grafikában, az építészetben és a művészetekben [5, 6, 13].

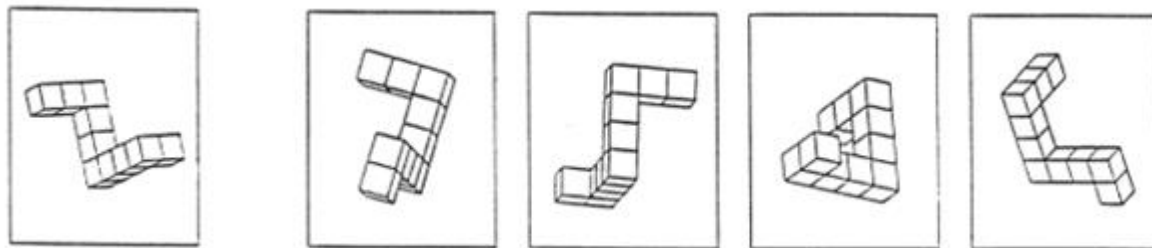
Kutatások szerint az egyetemi hallgatók térszemlélete és a STEM tudományágakban elért teljesítményük között szoros összefüggés van, ezért érdemes figyelmet fordítani a térbeli képesség több összetevőjének egyidejű vizsgálatára [5].

2. Módszertan

A térbeli képesség komponenseit számos különböző módszerrel mérhetjük [5, 9], amelyek közül a legfontosabbak a Mentális Rotációs Teszt (MRT) és a Mentális Vágási Teszt (MCT). A MCT [1] feladatainak lényege, hogy adott egy háromdimenziós test, melyet képzeletben elmetsszük egy adott síkkal. Öt válaszlehetőség közül kell kiválasztani a vágás eredményeként létrejövő metszési alakzatot. A MCT feladatok megoldásához szükséges a 3D alakzat felismerése, szerkezetének átlátása és képzeleti síkmetszése, majd a síkmetszet más nézőpontból történő felismerése.

A MRT-t Vanderberg és Kuse vezette be [15]. Minden feladat egy kis kockákból álló kritériumábrából, illetve két helyes és két helytelen alternatívából áll. A helyes alternatívák szerkezetileg megegyeznek a kritériummal, de elforgatott helyzetben láthatók. A feladat a

mentális forgás hatására keletkező a két helyes alternatíva megtalálása (1. ábra). A MRT feladatok megoldásához szükséges a 3D alakzat felismerése, szerkezetének átlátása és képzeleti forgatása.



1. ábra. MRT példafeladat [11, 15]

Térszemélet felmérésünk a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karán és a Debreceni Egyetem Műszaki Karán történt, 31 és 80 mérnök szakos hallgatót vizsgálva. Az első tesztet szeptemberben írták mindkét egyetem hallgatói. A Miskolci Egyetemen visszamérés történt ugyanazon csoporttal májusban, de csak azokat a hallgatókat vettük figyelembe a vizsgálat során, akik mindkét tesztet megírták, azaz 31 mérnök szakos hallgatót.

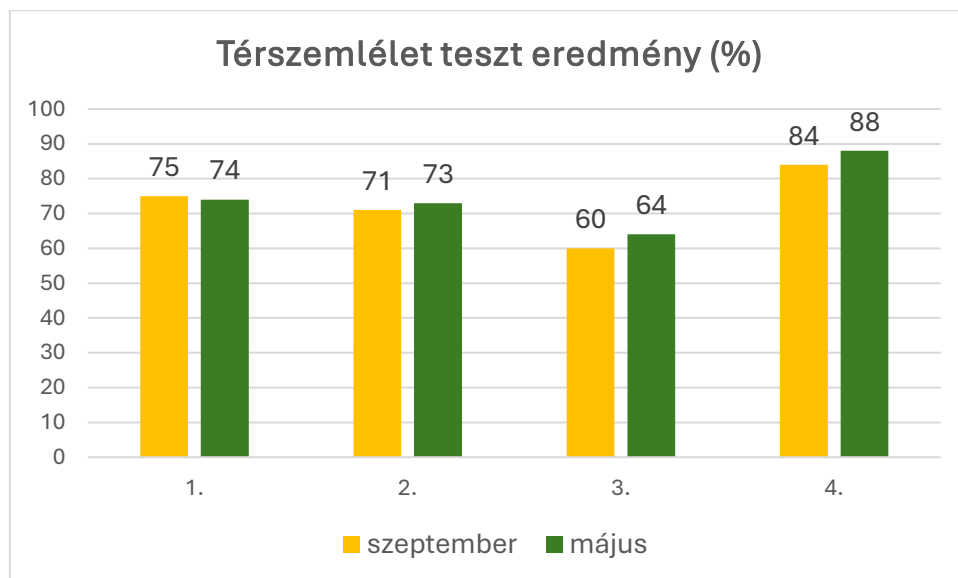
Céljaink között szerepelt a hallgatók térszemléletbeni változásának feltárása az ábrázoló geometria oktatásának hatására, illetve a változás eredményére reagálva új oktatási módszer tervezése.

A teszt feladatainak kiválasztásakor meghatároztuk a térszemélet azon részkomponenseit, amelyek leginkább szükségesek az ábrázoló geometria tantárgyhoz. Így vizsgáltuk a térszemléleten belül a 3D alakzat felismerését, szerkezetének átlátását, a 3D alakzat képzeleti manipulálását, forgatását és a 3D alakzat képzeleti síkmetszésének helyességét.

Az 1. feladattípus MCT feladatokat tartalmazott, 5 darabot. Az 2. feladattípusban jelölt lapokkal rendelkező kockát kellett képzeletben elforgatni és kiválasztani, hogy öt válaszlehetőség közül melyik ábrázolhatja e kockát valamilyen elforgatott helyzetben (2 ilyen feladat volt). A 3. feladattípusban kis kockákból álló, átlátszó drótvázmodelleket kellett képzeletben manipulálni és eldönteni, hogy öt válaszlehetőség közül melyik drótvázmodell fér át egy négyzetrácsos keletkezett lyukon, valamilyen elforgatott helyzetében (2 ilyen feladat volt). A 4. feladattípus MRT feladatokat tartalmazott (6 ilyen feladat volt). Összesen 15 feladatot kellett megoldani a diákoknak 15 perc alatt.

3. Eredmények

A 2. ábra mutatja a hallgatók által elért eredményeket (%) a négy feladattípus esetében a szeptemberi és a májusi felmérés esetén.



2.ábra. A térszemlélet teszt eredménye a Miskolci Egyetemen

A Debreceni Egyetem hallgatói egy kicsit jobb eredményt értek el a Miskolci Egyetem hallgatóinak szeptemberi teljesítményéhez képest, visszamérés csak a Miskolci Egyetemen történt. Összehasonlításként a Debreceni Egyetem hallgatóinak szeptemberi eredménye az egyes feladattípusokon a következők voltak: 1. feladattípus: 77%, 2. feladattípus: 75%, 3. feladattípus: 67%, 4. feladattípus: 92%.

Ahogy a 2. ábra mutatja, a Miskolci Egyetem 31 hallgatója esetében a 2., 3. és 4. feladattípusok esetében javult a hallgatói teljesítmény a térszemlélet ezen komponenseinél, azonban az 1. feladattípusnál (MCT) nem figyelhető meg javulás, 1% visszaesés történt. A mintában kapott eredmények elemzéséből kitűnik, hogy a mérnök szakos hallgatóknál nem szignifikáns a térbeli képességek különbsége a kurzus eleje és vége között.

4. Következtetések

A felmérés eredményeként azt tapasztaltuk, hogy a legnagyobb hiányosság a 3D alakzatok síkmetszése esetén volt tapasztalható, e feladattípus feladatainál derült ki, hogy a síkmetszés eredményeként létrejövő mentális kép a hallgatók esetében sok esetben helytelen. Továbbá a hallgatóknak gondot okozott a térbeli alakzat képzeletbeli manipulálása.

Az eredmények kiértékelése után arra a kérdésre kerestük a választ, hogy miért nem fejlődött vajon minden feladattípusnál a térszemléletük az ábrázoló geometria segítségével?

Válaszként az alábbi négy lényeges okot azonosítottuk:

- Gyenge alapok középiskolából: A középiskolai oktatásban a térgeometria oktatásában nincsenek a tesztfeladatokhoz hasonló feladatok, a másfajta térgeometriai feladatok pedig leegyszerűsödtek, így az egyetemi szintű ábrázoló geometria túl hirtelen, túl nehéz.
- Mechanikus feladatmegoldás, elmélyülés nélkül: Sok hallgató az ábrázoló geometria feladatokat algoritmikusan, lépésről lépésre, rutinból oldja meg anélkül, hogy valóban értelmezné a térbeli helyzeteket.
- Az egyetemi értékelés nem feltétlenül a térszemléletet méri: Gyakran a vizsgákon és zárthelyi dolgozatokon a formai precizitás, nem pedig a térbeli helyzetek értelmezése, átlátása kerül előtérbe. Így a hallgató inkább a szabályokat tanulja meg, mintsem a térbeli gondolkodást.

- Motiváció és tantárgyi érdektelenség: Az ábrázoló geometria sok hallgató számára kötelező tantárgy, a képzésük legelején. Ekkor nem látják még a tantárgy gyakorlati alkalmazását, és még nem érzik hasznosnak a saját szakterületükön, így hiányzik a belső motiváció a mélyebb megértésre és az aktív térbeli gondolkodásra való törekvés. Ezen okot igazolja az a kutatás is, amely szerint a diákok szívesebben oldanak meg példákat az alapozó tárgyakhoz kapcsolódóan, ha a példák gyakorlatiasak, alkalmazásszemléletűek [3, 4].

A felmérés eredményei és az azonosított négy ok alapján a meglévő tantervekbe beépítendő oktatási eszközök azonosítása szükségszerű. A felmérés eredményei alapján a célunk, hogy nagyobb hangsúlyt fektessünk azon feladatokra, amelyek kifejezetten a 3D alakzat felismerését, szerkezetének átlátását, a 3D alakzat képzeleti síkmetszés helyességét fejlesztik, az ábrázoló geometria tantárgy keretein belül, több hétig tartó többlépcsős fejlesztési terv kivitelezésével.

E tervet, motivációs céllal, még több szakterületi példát bemutatva, csapatmunka formájában célszerű megvalósítani, ahol az egyes tagok különböző képességei összeadódva, egymást kiegészítve képezik a megoldást, illetve ahol szükséges az együttműködés, a tagok közötti interakció a nagyobb hatékonyság elérésének érdekében.

5. Összegzés

A Miskolci Egyetem és a Debreceni egyetem mérnök szakos hallgatóinak térszemléletének komponenseit vizsgáltuk, ezen belül a 3D alakzat felismerését, szerkezetének átlátását, a 3D alakzat képzeleti forgatását és a képzeleti síkmetszés helyességét. A felmérés eredményeként azt tapasztaltuk, hogy a legnagyobb hiányosság a 3D alakzatok síkmetszése esetén volt tapasztalható, a feladatoknál derült ki, hogy a síkmetszés eredményeként létrejövő mentális kép a hallgatók esetében sok esetben helytelen. Továbbá a hallgatóknak gondot okozott a térbeli alakzat képzeletbeli manipulálása.

Az eredmények kiértékelése után négy okot azonosítottunk, amelyek hátráltathatják a térszemlélet fejlesztését. A felmérés eredményeit figyelembe kell vennünk az ábrázoló geometria tananyag felépítésénél és a hatékony oktatási anyagok kidolgozásánál.

Irodalomjegyzék

- [1] CEEB, "Special Aptitude Test in Spatial Relations", Developed by the College Entrance Examination Board, USA 1939.
- [2] G. Darai, G. Filep, R. Nagy-Kondor és G. Sziki, "Dynamics Experiments Applying NI Devices and LabVIEW", Proceedings of the 3rd International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering, ISBN 978-963-473-917-3, pp. 38–43, 2015.
- [3] C. Kézi, "Matematikai modellezés a középiskolában", Proceedings of the Conference on Problem-based Learning in Engineering Education, ISBN 9789634903130, pp. 17–21, 2021.
- [4] C. Kézi, "Modellalkotás középiskolás fokon", International Journal of Engineering and Management Sciences, Vol. 8, no. 4, pp. 76–83, 2023. DOI: 10.21791/IJEMS.2023.041
- [5] R. Nagy-Kondor, "Spatial Intelligence: Why Do We Measure?" Annales Mathematicae et Informaticae, Vol. 60, pp. 228–236, 2024. DOI: 10.33039/ami.2024.03.001
- [6] R. Nagy-Kondor és S. Esmailnia, "Development of Spatial Ability Extra Tasks (SAET): Problem Solving with Spatial Intelligence", Quality & Quantity, Vol. 56, pp. 3751–3768, 2022. DOI: 10.1007/s11135-021-01284-7
- [7] R. Nagy-Kondor és S. Esmailnia, "Polyhedrons vs. Curved Surfaces with Mental Cutting: Impact of Spatial Ability", Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 18, no. 6, pp. 71–83, 2021. DOI: 10.12700/APH.18.6.2021.6.4
- [8] R. Nagy-Kondor és C. Sörös, "Engineering students' Spatial Abilities in Budapest and Debrecen", Annales Mathematicae et Informaticae, Vol. 40, pp. 187–201, 2012.

- A. Pawlak-Jakubowska és E. Terczyńska," Evaluation of STEM students' spatial abilities based on a novel net cube imagination test", Scientific Reports, Vol. 13, no. 1, 2023. DOI: 10.1038/s41598-023-44371-5
- [9] E. Rozgonyi," Development and enhancement of spatial perception among university students for better retention", Multidisciplinary Sciences, Vol. 14, no. 2, pp. 55–63, 2024. DOI: 10.35925/j.multi.2024.2.6
- [10] R. N. Shepard és J. Metzler," Mental rotation of three-dimensional objects", Science, Vol. 171, pp. 701–703, 1971.
- A. Silverman et al.," Evolved mechanisms underlying wayfinding: further studies on the hunter-gatherer theory of spatial sex differences", Evolution and Human Behavior, Vol. 21, pp. 201–213, 2000.
- [11] G. Sziki, R. Nagyné Kondor és Cs. Kézi," Alkalmazásorientált matematikaoktatás a DE Műszaki Karán", International Journal of Engineering and Management Sciences, Vol. 2, no. 2, pp. 36–42, 2017. DOI: 10.21791/IJEMS.2017.2.4
- [12] M. Turgut és R. Nagy-Kondor," Comparison of Hungarian and Turkish prospective mathematics teachers' Mental Cutting performances", Acta Didactica Universitatis Comenianae, ISBN 978-80-223-3507-2, Vol. 13, pp. 47–58, 2013.
- [13] S. G. Vanderberg és A. R. Kuse," Mental Rotations, a group test of three dimensional spatial visualization", Perceptual and Motor Skills, Vol. 47, pp. 599–604, 1978.

Vehicle development projects at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen

¹Attila Szántó, ²Timotei István Erdei, ³Éva Ádámkó, ⁴Gusztáv Áron Sziki

^{1,3,4} University of Debrecen, Faculty of Engineering, Department of Basic Technical Studies

² University of Debrecen, Faculty of Engineering, Department of Vehicles Engineering,
szanto.attila@eng.unideb.hu

In engineering education, in line with the expectations of the industrial and automotive industries, in addition to theoretical knowledge, a practical approach to technical tasks and problems also plays a very important role, during which engineering students can encounter real engineering problems and challenges through project assignments, for example. The Faculty of Engineering of the University of Debrecen has been conducting various vehicle development and construction projects for a long time, as well as student car racing and motorsport teams, which greatly contribute to the practical development of the students participating in them. In this publication, we present the projects underway at the Faculty of Engineering, the vehicle development teams, from which engineering tasks and projects waiting to be solved are usually born. We also analyze the effects of such practical education based on real projects on students.

Keywords: real engineering project, practical education, education development, vehicle development project

1. Introduction

In engineering education, in addition to theoretical knowledge, the practical approach to technical tasks and problems plays a very important role. Consider, for example, the automotive industry and motorsports, where engineers are most often faced with a real problem, which they then solve using their theoretical knowledge and existing practical experience. Solving the tasks would be very difficult or impossible without practical experience. Therefore, practical education plays a significant role in education and higher education, during which engineering students can encounter real engineering problems and challenges, for example, through project tasks or in other ways, for which they must find solutions.

The Faculty of Engineering of the University of Debrecen has been conducting various vehicle development and construction projects for a long time, as well as student car racing and motorsport teams, which greatly contribute to the practical development of the students participating in them. These projects are based on a real engineering problem [4, 5, 6], and their solution requires knowledge gained in theoretical classes. Thus, while solving these, students, on the one hand, get an idea of the practical application of theoretical knowledge, which often helps in understanding it, and on the other hand, while solving the task, they also gain real practical (engineering) experience, which can be useful in their later work.

In this publication, we present the projects underway at the Faculty of Engineering, the vehicle development teams, from which engineering tasks and projects waiting to be solved are usually born. We also analyze the effects of such practical education based on real projects on students.

1.1. Vehicle Development at the Faculty of Engineering

Just as car racing began with the spread of vehicles and cars, whether between manufacturers, individuals, or racing teams, over time competitions between different universities also emerged, both nationally and internationally. Examples include the Shell ECO-Marathon, Formula Student, and Pneumobil competitions [7]. Vehicle construction and development teams were also formed at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen, which participated in domestic and

international competitions with various prototype race cars, typically with some kind of alternative drive.



Figure 1. The Faculty of Engineering's race car at the Shell ECO-Marathon

In each case, the teams entered the competitions with a prototype race car of their own design and construction, which was designed and manufactured by the students of the faculty with mentoring from instructors. Although the designed vehicles were often relatively simple in structure, the students still faced numerous engineering challenges during design and production, the solutions to which often go beyond the normal study material, and the students gained a lot of new practical experience in the process. This includes the design of the vehicle's frame structure, chassis, and drive; the sizing of individual components and machine elements; finite element testing; dynamic modeling of the vehicle; and the optimization of individual vehicle parameters for the given competition tasks. [3, 8, 9, 10]

2. Car racing and motorsport team

Based on the participation in university competitions presented in the previous section, our goal was to create a motorsport team with which we could participate in more prestigious national car racing series. Finally, the team will participate in the Hungarian Slalom Championship races, which will be a challenge for the team both from a technical and racing perspective.

This way, students participating in the teams can also get acquainted with the world of car racing, which, from the team's perspective, is not only about solving technical problems that arise before or during the race and vehicle development but also about other aspects, such as logistics, team organization, and marketing.

The team has competed with several cars in recent years (Fiat Punto, Toyota Yaris, Mini Cooper) and has achieved numerous victories, podium finishes, and championship titles. One key to this is the continuous development of vehicles based on experience. This allowed the students to face numerous projects and technical problems to be solved, the solution of which allowed them to encounter a real engineering task and thus to test the results of the development directly in competitions. This way, they can gain experience not only in car racing and teamwork but also in engineering practice.



Figure 2. The Faculty of Engineering's car in a slalom race

Our goal here is to provide new students with the opportunity to gain significant practical experience in addition to the theoretical side of education through competition year after year and the continuous technical development that comes with it. Since the practical side of education in higher education is quite limited, this greatly contributes to reducing this deficit. This will provide graduates with more practical engineering experience, and their ability to work both in a team and independently will improve. In addition, several theses and scientific publications have been produced from the technical projects, which also contributes to the success of both the students and the university.

2.1. New projects with real engineering problems

Based on previous experience in car racing, we developed new projects that confronted the students with new, modern engineering challenges. Our main goal is to create a self-developed and built, electric-powered prototype passenger car that is also suitable for the Hungarian Slalom Championship races. The basis was an old Toyota MR2 empty body. However, according to our plans, practically all parts except for a few elements of the body/chassis will be redesigned. The main design tasks: design of composite body elements with active aerodynamic elements, chassis design, electric brake assist and new brake system design, design of new electric steering and appropriate steering column, design of electric drivetrain, and design of interior and on-board systems suitable for racing, also taking into account safety aspects. In addition, vehicle dynamics simulations are performed.

The tasks to be completed were given to graduating vehicle engineering students as several smaller project assignments, so theses were also prepared on several topics. The participating students were able to gain experience in a real design task, and the completed designs will later be used to build the race car. This way, they will be able to receive feedback on the planned technical solutions with which the car will compete.

Of course, the designed components and technical solutions may still be modified during the construction of the car and after the first tests. However, students can learn a lot even from a design project that is initially less than good, as they can see in reality what problems may arise during implementation (production) and use (testing).

2.2. Modern laboratories for project implementation

One of the most important elements of developing the practical side of education is the creation of modern, well-equipped laboratories. At the Faculty of Engineering of the University of

Debrecen, we have been working on developing appropriate laboratories for years. Keeping the automotive industry in mind, we also have several important laboratories and workshops, which we are constantly developing in accordance with technical progress and industrial needs. These are the vehicle manufacturing laboratory, the machine components laboratory with the electric motor testing department, and the new vehicle development workshop.

In the Industrial Vehicle Manufacturing Laboratory [11, 12], developments and research are carried out primarily in the field of Cyber-Physics in relation to the automotive industry. A unique robotic cell system was designed and implemented to demonstrate Industry 4.0 manufacturing technology to the participants in the training. The lab itself provides the opportunity to develop and test custom controls for machines used in the automotive industry. The central element of the robot cell is a KUKA KR5 industrial six-axis robot, around which three platforms have been built. In order to evaluate the efficiency of individual programming tasks, a separate camera system was designed in the robot cell. This gives us the opportunity to accurately examine the effectiveness of each program written and executed on the robot.

Additionally, there are 3D printers within the lab that use FDM technology to manufacture the part. Students also have the opportunity to actually manufacture the designed 3D CAD models using 3D printers. In the lab, students can get closer to the engineering profession, as they can experience the different levels of design and manufacturing first-hand.



Figure 3. Vehicle Manufacturing Laboratory - Robot Cell

Industrial design software is also available to students in the lab, so they can learn how to use programs that they will later use in industry after graduation. The main goal of the Vehicle Manufacturing Lab is to present and educate CÍM and Industry 4.0 systems and research and develop their integration options.

The experimental testing department for electric motors, which consists of a complex measurement system [13], is located in the Mechanical Components Laboratory of the Faculty of Engineering.



Figure 4. Machine elements laboratory – electric motor experimental testing department [13]

The measurement system can test various types of electric motors used in the automotive industry and in our racing cars. The system is primarily used for research purposes, but it is also suitable for educational purposes, for example, for developing project tasks or demonstrating various phenomena. A detailed description of the measurement system can be found in the publication [13].

3. The impact of project assignments on students

We observed several effects of the project assignments, which were based on a real engineering problem, on the students. The tasks were given to participants in the motorsport team and other vehicle engineering students. One of the observed effects was that during the development and solution of project tasks, it was clearly visible that the students received extra motivation to solve them. Thus, the students viewed the assigned tasks not just as homework, but as a challenge whose solution could play a key role in the competition. As a result, the students devoted more time and energy to the solution, and it was noticeable that they came up with better engineering solutions. Moreover, in most cases, they paid more attention to the presentation of the tasks, and we received more detailed explanations and more careful elaboration than from those whose topics were not related to the previously mentioned vehicle development projects.

One reason for the above results is probably that while solving a regular homework assignment, students usually look for the fastest, simplest solutions to simply pass it; here they were striving for the best possible engineering solution. The reason for this is to prove in with the team, and the fact that the goal here is not only to complete the assigned task but also the quality of it is important, since not only the student's grade depends on it, but also the team's result in a national or international competition. It is important to highlight here that participating in a national competition, which is open to any team, not just university teams, is likely to be more motivating, as students are aware that they are competing not only against other university teams but also even against teams consisting of experienced professionals.

It is also important to highlight that the students involved not only developed their practical knowledge, but also their teamwork. On the one hand, this is due to the fact that we divided the students into groups to solve each task, and within the groups, each student was given smaller subtasks. Thus, they had to work together with other members of the group when solving the tasks. On the other hand, since several projects belonged to the same race car, the groups working on different projects also had to coordinate with each other, as in some cases the designed components and systems were built on each other or affected each other in the race car. Based on experience, it can be stated that even students who were less experienced in the given field were

able to successfully participate in solving the tasks. It can also be said that the experience gained in teamwork can later be useful in an industrial environment. It can generally be said that students who participate in teams and projects have an advantage in the labour market over those who do not have similar experience.

2. Conclusion

At the Faculty of Engineering of the University of Debrecen, we have been working on developing the practical side of education for a long time. The prototype race cars developed and built for various student competitions contributed greatly to this, as the students were faced with many real engineering tasks during the design and construction of the cars. Recently, we have expanded the tasks to include real engineering projects related to car racing, which is a new approach to practical education. Since the results of the projects are no longer used only in a university environment, but in a national competition series accessible to everyone, the students participating in them approached the tasks with greater motivation and more creativity. While solving the tasks, they were faced with real engineering problems, the solution of which allowed them to gain significant experience in the given field. In addition, solving the tasks involved not only individual but also teamwork, which developed additional skills in the students. This was also appreciated on the labour market, as students participating in the projects were able to find jobs more easily.

So, based on our experience, we can say that incorporating engineering tasks into education that are based on a real problem, and then implementing the planned solution, has a good impact on students' work. Thus, they gain more practical engineering experience when solving such tasks than when solving a fictional homework assignment.

The implementation of the projects is primarily carried out at the Faculty of Engineering, so the development of its infrastructure is also important. For this purpose, the development of various modern, well-equipped labs has been underway for a long time, which we are continuously developing, taking into account surrounding industrial trends, technological developments, and the needs and tools necessary for the implementation of project tasks. The most important labs related to the topic were briefly presented, but in addition to these, several new labs are in the process of being established, which are essential for the appropriate level of practical technical training and its development.

Our plans include developing additional projects, primarily for participation in car racing, so that students can encounter additional interesting, real engineering tasks.

3. Acknowledgments

SUPPORTED BY THE EKÖP-24-4 UNIVERSITY RESEARCH SCHOLARSHIP PROGRAM OF THE MINISTRY FOR CULTURE AND INNOVATION FROM THE SOURCE OF THE NATIONAL RESEARCH, DEVELOPMENT AND INNOVATION FUND.



References

- [1] Gábora, A., Szíki Gusztáv, Á., Szántó, A., Varga Tamás, A., Magyar, A., & Balázs, D. (2017). Prototípus elektromos tanulmányautó fejlesztése a Shell Eco-Marathon versenyre. *Műszaki Tudományos Közlemények*, (7), 167-170.

- [2] Gábora, A., Magyar, A., Zilahi, K. L., Lovadi, G. D., Varga, T. A., & Sipos, K. B. (2016). Elektromos járművek tervezése és építése. Múlt és jövő. Műszaki Tudományos Közlemények, (5), 173-176.
- [3] Szántó, A., Hajdu, S., & Sziki, G. Á. (2020). Dynamic simulation of a prototype race car driven by series wound DC motor in Matlab-Simulink. Acta Polytech. Hung, 17(4), 103-22.
- [4] Uziak, J. (2016). A project-based learning approach in an engineering curriculum. Global Journal of Engineering Education, 18(2), 119-123.
- [5] Mann, L., Chang, R., Chandrasekaran, S., Coddington, A., Daniel, S., Cook, E., ... & Smith, T. D. (2021). From problem-based learning to practice-based education: A framework for shaping future engineers. European Journal of Engineering Education, 46(1), 27-47.
- [6] Gómez Puente, S. M., van Eijck, M., & Jochems, W. (2011). Towards characterising design-based learning in engineering education: a review of the literature. European Journal of Engineering Education, 36(2), 137-149.
- [7] Juhász, Gy. (2011). The pneumobile races and education – preparing with a teacher’s eyes. Debreceni Műszaki Közlemények 2011/1 (HU ISSN 2060-6869)
- [8] Szántó, A., Hajdu, S., & Sziki, G. Á. (2023). Optimizing parameters for an electrical car employing vehicle dynamics simulation program. Applied Sciences, 13(15), 8897.
- [9] Szántó, A., Ádámkó, É., Juhász, G., & Sziki, G. Á. (2022). Simultaneous measurement of the moment of inertia and braking torque of electric motors applying additional inertia. Measurement, 204, 112135.
- [10] Sziki, G. Á., Sarvajcz, K., Kiss, J., Gál, T., Szántó, A., Gábora, A., & Husi, G. (2017). Experimental investigation of a series wound DC motor for modeling purpose in electric vehicles and mechatronics systems. Measurement, 109, 111-118.
- [11] Masuk, Sz. S. Diós, T. Dinya, A. Szántó, G. Husi; LABOR DEVELOPMENTS AND METHODS FOR SUPPORTING EDUCATION IN THE CYBER-PHYSICAL AND INTELLIGENT ROBOT SYSTEMS LABORATORY; Műszaki Tudományos Közlemények vol. 20. (2024) 36–41.
- [12] Kapusi, T. P., Erdei, T. I., Husi, G., & Hajdu, A. (2022). Application of deep learning in the deployment of an industrial scara machine for real-time object detection. Robotics, 11(4), 69.
- [13] Sziki, G. Á., Szántó, A., Kiss, J., Juhász, G., & Ádámkó, É. (2022). Measurement system for the experimental study and testing of electric motors at the faculty of engineering, University of Debrecen. Applied Sciences, 12(19), 10095.

Virtuális és kiterjesztett valóság alkalmazási lehetőségei a térszemlélet fejlesztésében

Lajos Sándor

Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Matematikai Intézet, Ábrázoló
Geometriai Intézeti Tanszék
sandor.lajos@uni-miskolc.hu

Az ábrázoló geometria oktatásában visszatérő probléma, hogy a hallgatók térszemlélete hiányos, így nehezen értelmezik a vetületi ábrákat. A hagyományos axonometrikus vetületekkel történő ábrázolás (akár árnyalt és mozgatható) tapasztalataink szerint csak korlátozottan segíti a térbeli elképzelést. A rendelkezésünkre álló HOLOVIZIO berendezés ugyan valódi 3D-s képet jelenít meg szemüveg nélkül, azonban egyszerre csak néhány hallgató tudja szemlélni. A geometria.uni-miskolc.hu honlapunkon elérhető 3D-s galériában található sztereoszkópikus képek pedig csak az előre beállított nézőpontból mutatják a modelleket. A virtuális valóság eszközök megjelenésével lehetővé vált interaktív, immerzív színterek kialakítása, ahol a modellek körbejárhatók, manipulálhatók. Ezek az élmények nemcsak a vetületi ábrák jobb megértését támogatják, hanem hatékonyan fejlesztik a térszemléletet is. A virtuális és kiterjesztett valóság technológiák tehát új pedagógiai lehetőséget kínálnak a térbeli vizualizáció támogatására.

Kulcsszavak: Virtuális valóság, kiterjesztett valóság, térszemlélet fejlesztés, szemléltetés

1. Bevezetés

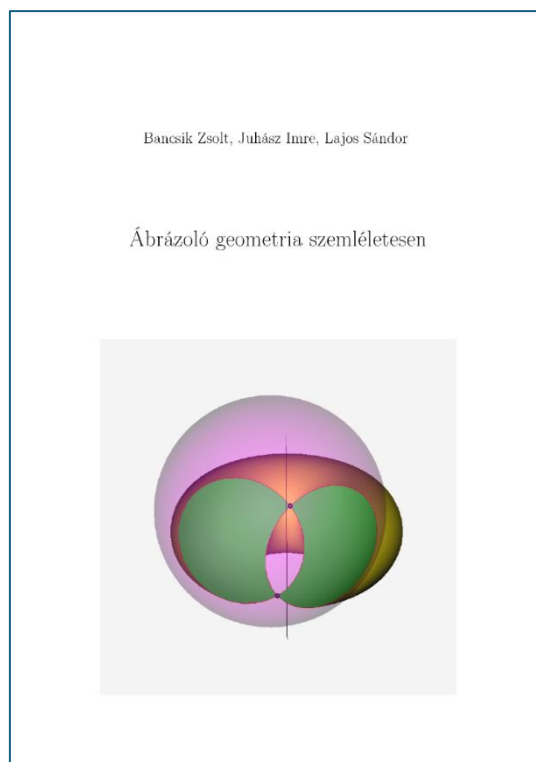
Az ábrázoló geometria tantárgy oktatása során gyakran szembesülünk azzal a problémával, hogy a középiskolából érkezett hallgatók szinte semmilyen térszemlélettel nem rendelkeznek. Ezért nagy gondot fordítunk a szemléltetésre. Hagyományos módon (segédeszközök nélkül) csak axonometrikus vagy centrális vetületeket tudunk megjeleníteni sík képernyőn vagy vetítővászonon, azonban a korábban említett hallgatói csoport még így sem tudja a térben elképzelni az ábrázolt alakzatokat.

1.1. A szemléltetés érdekében tett erőfeszítések

A következőkben néhány pontban összefoglaljuk az eddigi erőfeszítéseinket, amelyekkel a hallgatók térszemlélet fejlődését próbáltuk támogatni.

1.2. Mozgatható 3D-s ábrákat tartalmazó ábrázoló geometria elektronikus könyv

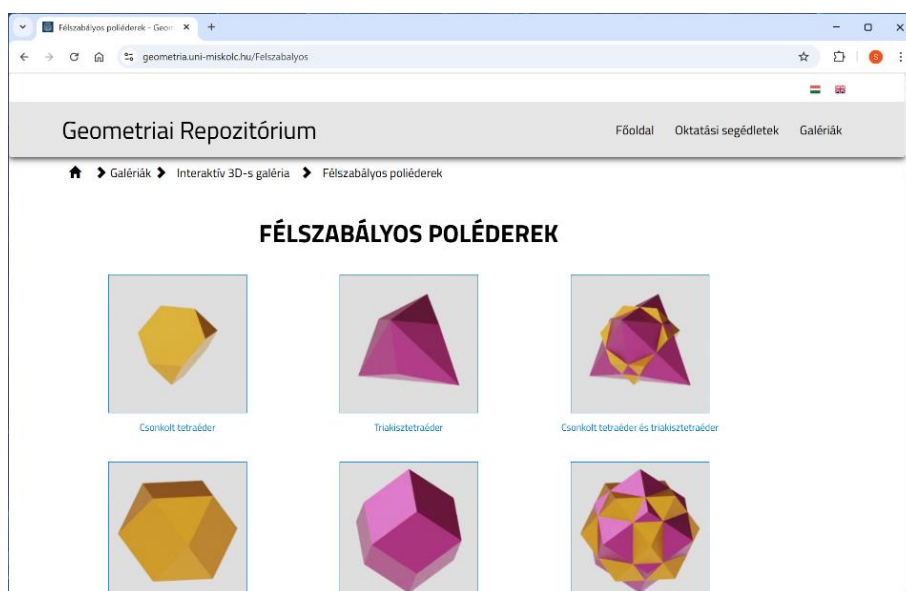
2007-ben készítettünk egy akkor egyedülálló ábrázoló geometria elektronikus könyvet [1], amelyben a síkbeli szerkesztések mellett ugyanaz a térbeli konfiguráció egy mozgatható 3D-s ábrán is látható. Ezek az ábrák azonban csak axonometrikus vetületek.



1. ábra: Ábrázoló geometria szemléletesen, elektronikus könyv

1.3. Interaktív 3D-s galéria

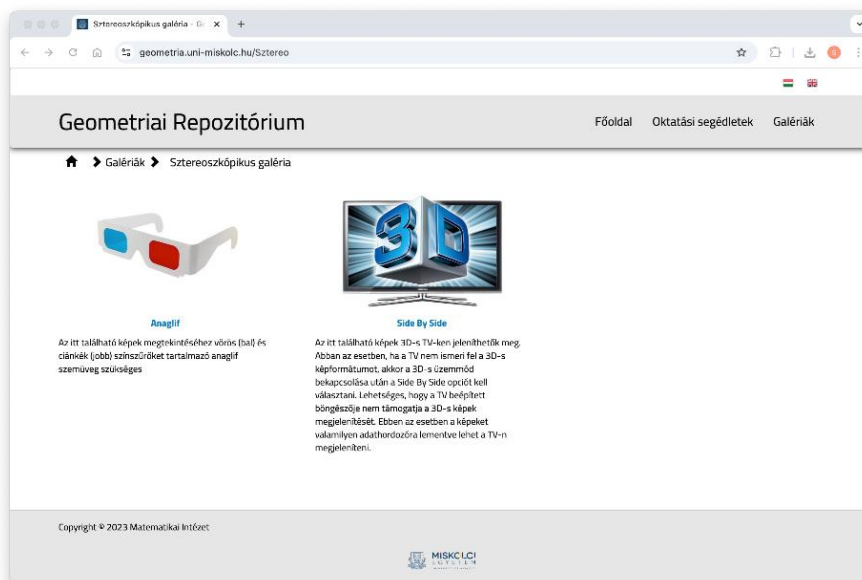
A <https://geometria.uni-miskolc.hu> címen elérhető Geometriai Repozitóriumban található egy Interaktív 3D-s galéria [2], amely különféle geometriai alakzatok fotorealisztikusan megjelenített háromdimenziós modelljeit mutatja be rövid, hozzájuk tartozó leírással. A modellek interaktívak, a felhasználó forgathatja őket. Fontos megjegyezni, hogy ezek az ábrák továbbra is csak axonometrikus vagy centrális vetületek.



2. ábra: Interaktív 3D-s galéria

1.4. Sztereoszkópikus galéria

Az előző pontban említett Geometriai Repozitóriumban található egy Sztereoszkópikus galéria is [3], ahol anaglif, illetve 3D-s tévén megjeleníthető formátumban tekinthetők meg azok a térbeli konfigurációk, amelyek az ábrázoló geometria órákon jellemzően előfordulnak. Ezek az ábrák már valódi térbeli élményt nyújtanak, ugyanakkor csak egy előre meghatározott nézőpontból láthatók.



3. ábra: Sztereoszkópikus galéria

1.5. HOLOVIZIO



4. ábra: HOLOVIZIO-val megjelenített modell

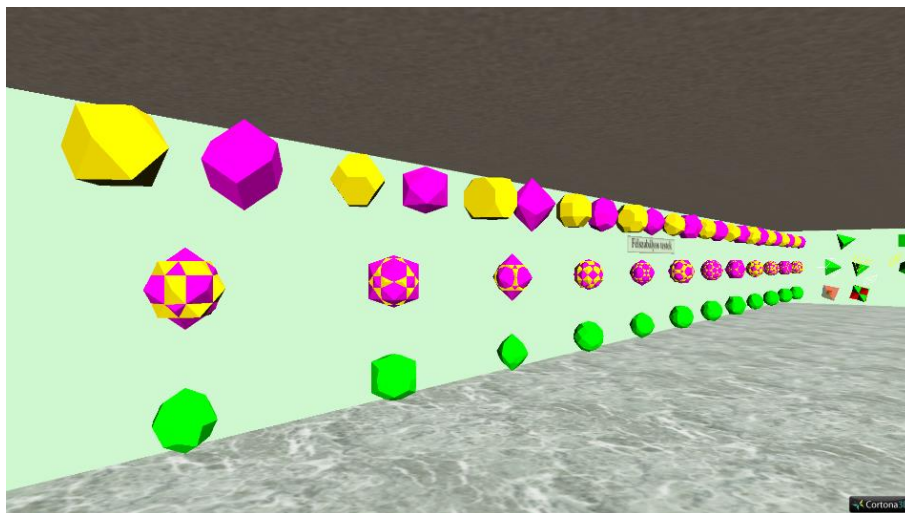
2008-ban pályázati forrásból sikerült beszereznünk egy HOLOVIZIO berendezést, amely szemüveg vagy bármilyen más kiegészítő nélkül képes valósághű, háromdimenziós képet előállítani. A megjelenített objektum – egy viszonylag szűk tartományon belül – körbejárható.

Az előző fejezetben említett Sztereoszkópikus galériában található modelleket a HOLOVIZIO eszközön is meg tudjuk jeleníteni, azonban ezeket egyszerre csak korlátozott számú hallgató tudja megtekinteni.

1.6. Virtuális modelltár

Már a 2000-es évek elején is próbálkoztunk egy virtuális modelltár létrehozásával. Akkoriban ez még csak a Virtual Reality Modeling Language (VRML) segítségével volt megvalósítható. Az így

létrehozott szinterek a megfelelő beépülő modulok telepítését követően böngészőben futtathatók voltak. Egy számítógépes játékhoz hasonló módon lehetett mozogni a modellek között, a modellekre kattintva pedig különböző információk jelentek meg az adott objektumról. A VRML támogatását azonban idővel megszüntették a modern böngészőkben.



5. ábra: Virtuális modelltár

2. Virtuális és kiterjesztett valóság

Az elérhető árú virtuális valóság (VR) szemüvegek megjelenésével új lehetőségek nyíltak a szemléltetés terén. Ezek segítségével a modellek immerzív módon jeleníthetők meg. Olyan virtuális és kiterjesztett valóság szinterek hozhatók létre, amelyekben a hallgatók teljes egészében körbejárhatják, vagy akár kézbe is vehetik a modelleket. Ezek a szinterek elősegítik a vetületi ábrák, a síkbeli szerkesztések jobb megértését, és önmagukban is hozzájárulnak a térszemlélet fejlesztéséhez.

2.1. Eszközök

Első lépésként természetesen megfelelő eszközök beszerzésére volt szükség. Jelenleg hét darab VR szemüveg áll rendelkezésünkre, és további kettő beszerzése van folyamatban. Amennyiben ezek is megérkeznek, összesen négy eszköz lesz alkalmas kiterjesztett valóság (AR) szinterek futtatására is.

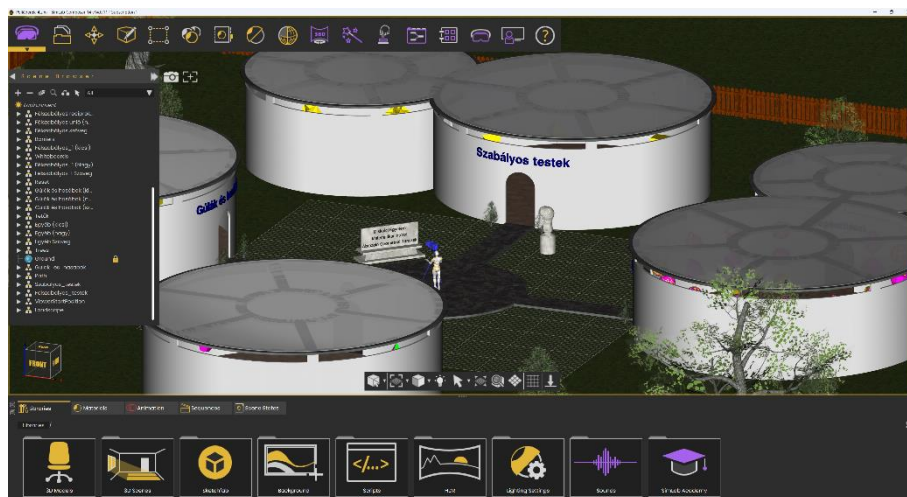


6. ábra: VR eszközeink

2.2. Fejlesztőkörnyezet

Az eszközök beszerzését követően a következő lépés a megfelelő fejlesztőkörnyezet kiválasztása volt. A választás a SimLab Soft által fejlesztett SimLab Composer programra esett. Ez egy könnyen használható, mégis professzionális 3D alkalmazás, amely minden szükséges eszközt biztosít a

- modellek importálásához,
- dinamikus vizualizációk készítéséhez,
- valósághű (fotorealistikus) megjelenítéshez,
- teljesen interaktív VR oktatóanyagok létrehozásához. [4]



7. ábra: Simlab Composer

A kiválasztásnál fontos szempont volt az is, hogy a színterek megjelenítésére szolgáló VR Viewer alkalmazás ingyenes, és futtatható Windows, MacOS, Android és IOS platformokon, valamint több standalone (számítógép nélkül is használható) VR szemüvegen is.

2.3. Bevezetés a virtuális valóságba tantárgy

Ez egy szabadon választható tantárgy heti 4 órában. Elsősorban programtervező és gazdaságinformatikus hallgatónak szántuk, de mérnökinformatikus és villamos mérnök hallgatók is választani szokták. A tantárgy egyre népszerűbb, ebben a félévben 19 hallgató vette fel. A félév végén a hallgatók egy tetszőlegesen választott projekt feladatra kapnak gyakorlati jegyet.



8. ábra: Hallgatói VR projekt

Eddig a számítógépes laboratóriumban a hallgatók a fejlesztőkörnyezet ingyenes változatát használták, amely vízjelet helyez el a színtéren, és számos hasznos funkció nem érhető el benne. A következő félévtől kezdődően támogatást kapunk a SimLab Composer laborlicencének megvásárlására, ami lehetővé teszi, hogy a programot harminc számítógépen futtassuk.

3. Virtuális és kiterjesztett valóság színterek

A virtuális (VR) és kiterjesztett valóság (AR) oktatási célú alkalmazása új távlatokat nyit a geometria tanításában. Három fő területet különítünk el, ahol ezek az eszközök különösen hatékonyan alkalmazhatók:

3.1. Lexikális tudás átadása

Interaktív tanulási formák alkalmazása révén lehetőség nyílik az elméleti ismeretek hatékonyabb átadására. A hallgatók érdeklődését felkeltő és fenntartó VR-élmények elősegítik a mélyebb megértést és a tudás hosszabb távon történő megőrzését.

Példa: A korábban ismertetett virtuális modelltár, modernizált változata, amely VR környezetben mutatja be a poliédereket.



9. ábra: Poliéderek VR színtér

Egy másik példa a geometriai céllövölde, amely játékos formában mélyíti el a szabályos testek felismerését.

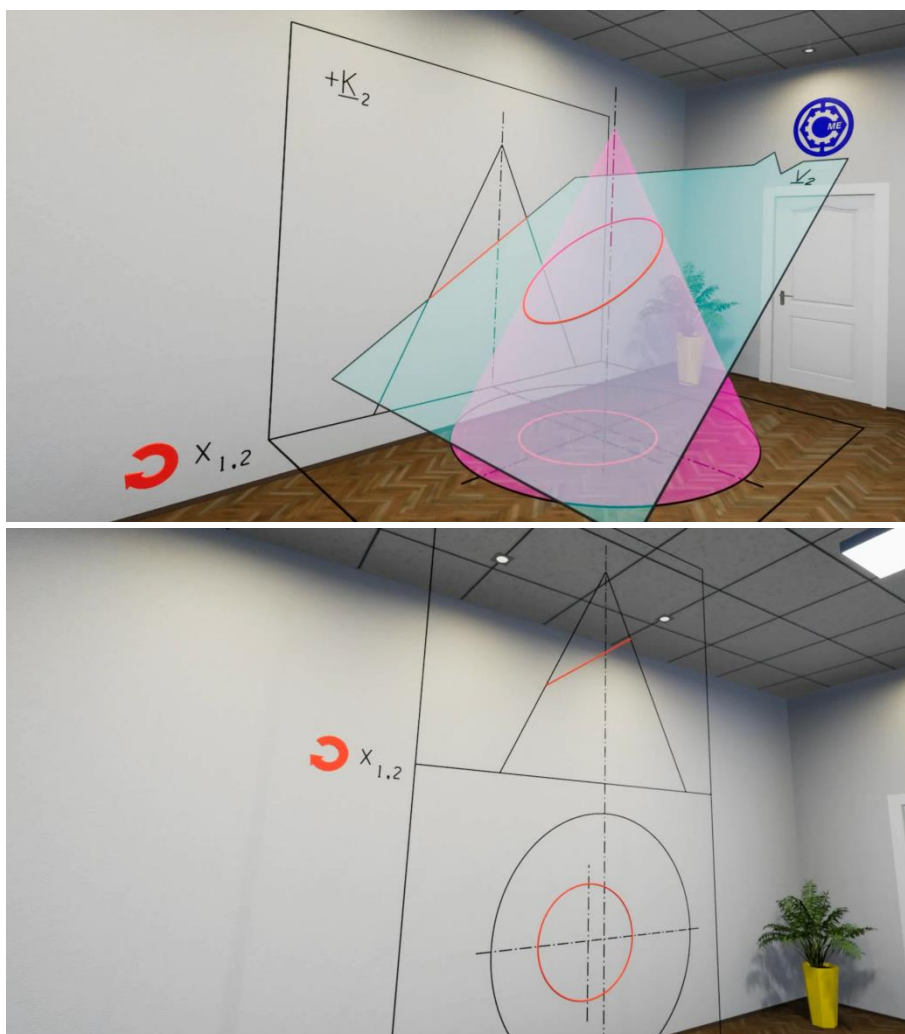


10. ábra: Geometriai céllövölde VR színtér

3.2. Térbeli konfigurációk szemléltetése

Az ábrázoló geometriai feladatok során gyakran előforduló térbeli konfigurációk megértését segítik az animációk és interaktív vizualizációk. Ezek az eszközök hatékonyan támogatják a térszemlélet fejlődését és a fogalmak mélyebb elsajátítását.

Példa: Egy interaktív VR színtér, amely a Monge-képsíkrendszer működését mutatja be animációval.

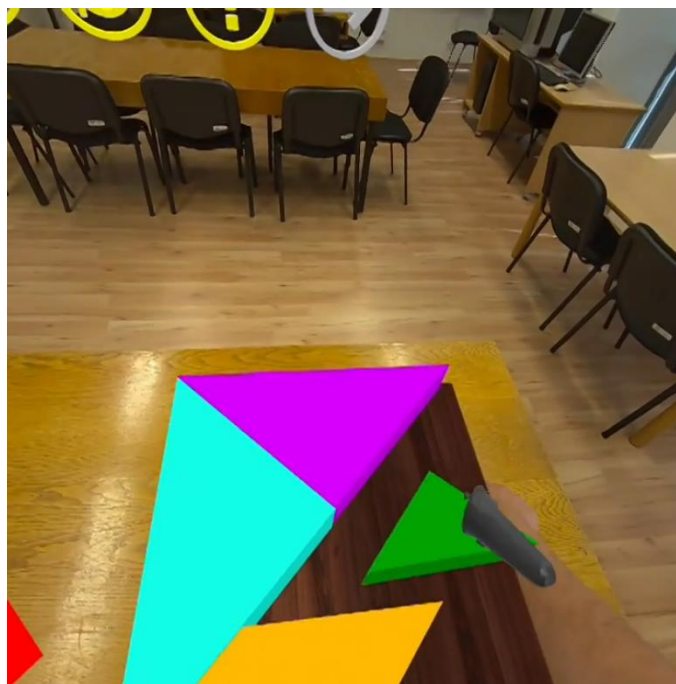


11. ábra: Monge VR színtér

3.3. Térszemlélet fejlesztése

Az aktív tanulást és motivációt segítik elő a játékosítási (gamifikációs) elemekkel kiegészített, interaktív VR és AR környezetek. Ezek a színterek különösen hatékonyak a térbeli gondolkodás fejlesztésében.

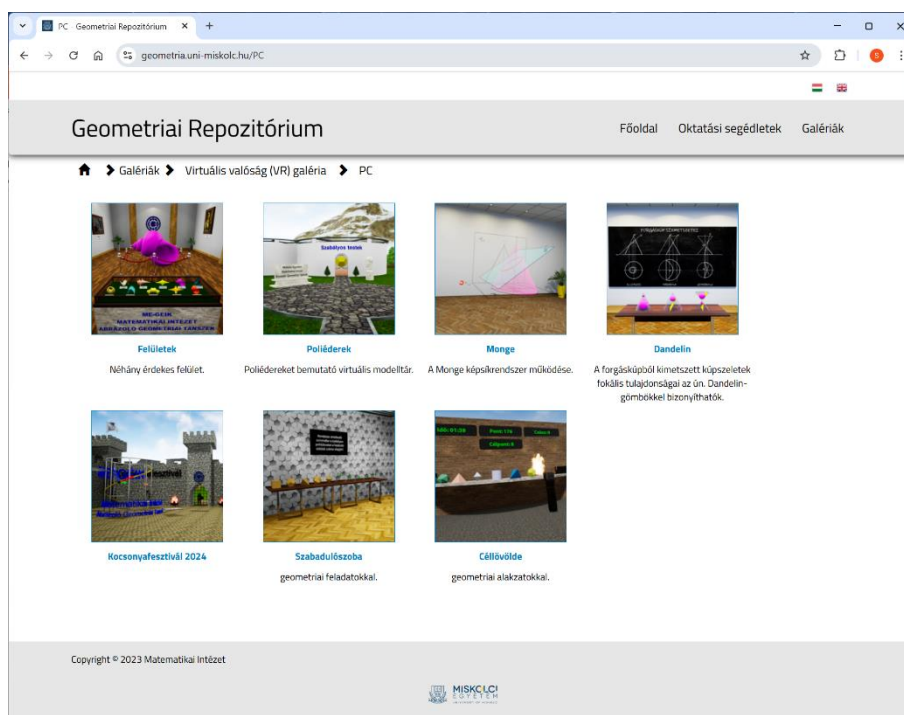
Példa: Egy AR alapú puzzle játék, amely a hallgatók térszemléletét fejleszti.



12. ábra: Puzzle AR színtér

3.4. Virtuális valóság galéria

A korábban bemutatott Geometriai Repozitóriumban található egy Virtuális valóság (VR) galéria is [5], amely tartalmazza az általunk készített, oktatási célú VR színtereket – köztük a fent ismertetett példákat is.



13. ábra: Virtuális valóság (VR) galéria

Irodalomjegyzék

- [1] Bancsik Zsolt, Juhász Imre, Lajos Sándor: Ábrázoló geometria szemléletesen, elektronikus könyv, 2007. [Online]. Elérhető: [https://geometria.uni-miskolc.hu/files/23277/Ábrázoló geometria szemléletesen.pdf](https://geometria.uni-miskolc.hu/files/23277/Ábrázoló_geometria_szemléletesen.pdf). [Hozzáférés: 2025. június 9.].

- [2] Geometriai Repoitórium / Interaktív 3D-s galéria, [Online]. Elérhető: <https://geometria.unimiskolc.hu/3D>. [Hozzáférés: 2025. június 9.].
- [3] Geometriai Repoitórium / Sztereoszkópikus galéria, [Online]. Elérhető: <https://geometria.unimiskolc.hu/Sztereo>. [Hozzáférés: 2025. június 9.].
- [4] Simlab Composer Features, [Online]. Elérhető: <https://www.simlab-soft.com/3d-products/simlab-composer-main.aspx>. [Hozzáférés: 2025. június 9.].
- [5] Geometriai Repoitórium / Virtuális valóság (VR) galéria, [Online]. Elérhető: <https://geometria.unimiskolc.hu/VR>. [Hozzáférés: 2025. június 9.].

A hegesztő szakemberek munkáját segítő, terepi hegesztési célfeladatokhoz igazodó, nem telepített hegesztőmunkahely tűzbiztonságát növelő tűzjelző készülék tervezése

¹Zákányi Balázs, ²Gánóczi Péter, ³Zákányiné Mészáros Renáta
¹²³ Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

A kutatásunk alapját a hegesztéshez kapcsolódó hazai és külföldi tüzesetek elemzése szolgáltatta. Ennek során célunk volt egy hazai és egy külföldi, kifejezetten hegesztési, lángvágási művelethez köthető tüzesetnek a rendelkezésre álló és elérhető információk alapján történő vizsgálata, a kiváltó okok elemzése. Megvizsgáltuk továbbá a jelenleg elérhető aktív és passzív, kifejezetten a hegesztési munkákhoz gyártott és forgalmazott védelmi eszközöket, amelyeket a vizsgálataink során a gyakorlatban teszteltünk. A levont következtetések alapján célul tűztük ki egy aktív védelmi megoldásnak a részben gyakorlati, részben pedig tervszintű megvalósítását, amelynek eredményeit fogjuk bemutatni.

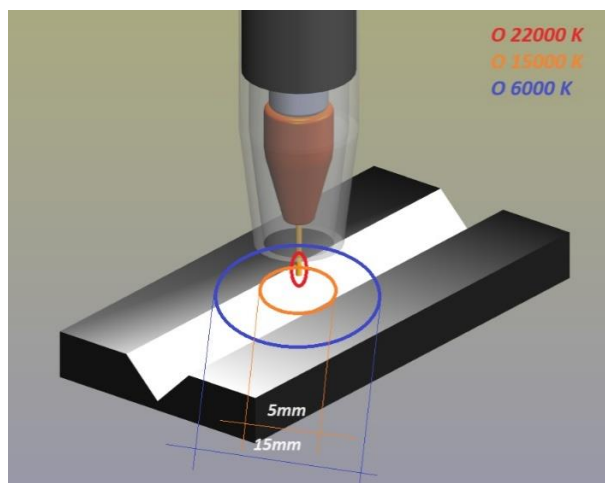
Kulcsszavak: tűzvédelem, bányászat, hegesztés, aktív és passzív védelmi eszközök

1. Bevezetés

Azokban az iparágakban, ahol fémekből készült alkatrészek egyesítésével, esetleg meglévő darabokon új felületi réteg kialakításával javítás, vagy új gyártmányok előállítása történik, a különféle hegesztési eljárások alkalmazása alapvető a roncsolással bontható kötések létrehozásában.

Az eljárás alkalmazása egészen az időszámításunk előtti időkig nyúlik vissza, már ie. 3000 környékén is alkalmaztak az egyiptomi kultúrákban sajtoló-kovács hegesztést a fegyverek gyártása során. Ez az egyesítési eljárás a középkorban kezdett széleskörűen elterjedni és akkor érte virágkorát, amikor a vasalapú fémek gyártása és hasznosítása egyre szélesebb körű lett. 1540-ben jelent meg az első olyan nyomtatott metallurgiai könyv, melybe a kovácshegesztés eljárás is szerepelt [1].

Kutatásunk témájának alapját a villamos ívhegesztési eljárásokkal és az acetilén-oxigén lánghegesztéssel kapcsolatos tűzvédelmet érintő anomáliák, azoknak egy bányai létesítményt kiszolgáló, telepített hegesztőhellyel nem rendelkező, illetve egy, a helyett létesítendő - már telepített hegesztői munkahellyel kialakított - új épület létesítése adja. Az érintett hegesztési eljárások az ömlesztő hegesztések csoportjába tartoznak, melyek - szemben a kovácshegesztéssel - a fémek egymással érintkező felületi rétegeinek és a hozaganyag megömlesztésével hozzák létre a fémes kötést, vagy pedig a munkadarab felületének megfelelő mélységben és a hozaganyag megolvasztásával alakítanak ki megfelelő tulajdonságokkal és geometriával rendelkező felületet. Míg első esetben kötőhegesztésről, addig utóbbi esetben felrakó hegesztésről beszélünk. Mind a kötő, mind pedig a felrakó hegesztési eljárások elvégzésekor az alacsony költségek és a nagy termelékenység miatt a nehézipari javítások és acélszerkezet gyártási munkák során széleskörűen elterjedt eljárás a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés. Ez az oxigén-acetilén kevertgázos lánghegesztés $\sim 3155^{\circ}\text{C}$ -on égő lángjához képest [2] $\sim 21\,700^{\circ}\text{C}$ -os villamos ív segítségével ömleszt meg a fémeket, így tűzvédelmi szempontból kiemelt figyelmet követel meg az alkalmazása. A vonatkozó irodalom [3] mérési eredményei alapján készített 1. ábra szemlélteti a fogyóelektródás védőgázos ívhegesztés hőmérséklet eloszlásának térben történő eloszlását.



1. ábra Hegesztés során kialakuló hőmérsékleti tartományok [3]

A másik vizsgálendő témakört egy-egy hazai és külföldi tűzeset elemzése szolgáltatja. Ennek során célunk két hazai és két külföldi, kifejezetten hegesztési, lángvágási művelethez köthető tűzesetnek a rendelkezésre álló és elérhető információk alapján történő vizsgálata, a kiváltó okok elemzése.

Munkánk záró része a jelenleg elérhető aktív és passzív, kifejezetten a hegesztési munkákhoz gyártott és forgalmazott védelmi eszközök vizsgálatán alapul. Ennek során célunk az volt, hogy ezek gyakorlati tesztelése és egy aktív védelmi megoldásnak a részben gyakorlati, részben pedig tervszintű megvalósítása megtörténjen.

2. Hazai és külföldi tűzeset vizsgálata

2.1. Bányaipari osztályozóberendezés tüze

Az alábbi tűzeset 2019. évben történt, bekövetkezésekor egy zúzottkő előállító és feldolgozó bányaüzemben lévő Metso CVB 403 típ. háromsíkú osztályozó berendezés feletti feladógarat kopásainak felrakó hegesztéssel (angol nyelvterületen „hardfacing” eljárás) történő javítása zajlott. Ennek során a hegesztő szakember munkavégzését másik két fő, a közvetlen munkahelyi vezetőjük által kiállított írásos utasítás szerint arra a munkavégzésre beosztott munkavállaló segítette. Rövid munkavégzést követően a hegesztést végző személyt a telephelyen szintén karbantartási munkát végzők figyelmeztették, hogy azonnal hagyja el a munkavégzés helyszínét, mert a berendezésben lévő poliuretán és szintetikus gumi alapú rostamezők kigyulladtak. A hegesztő szakembernek sikerült időben elhagynia a munkaterületet, ezt követően - néhány perccel később - a rostamezők teljes terjedelmükben lángba borultak, oltásuk a helyszínen lévő 6 kg oltóanyag töltetű, hordozható porral oltó készülékekkel nem hozott érdemleges eredményt, viszont a helyszíntől ~12 kilométerre lévő hivatásos tűzoltó parancsnokságról kérkező gépjárműfecskendő rövid idő alatt meggátolta a már feszültségmentesített feldolgozóüzemben a tűz tovább terjedését és a tüzet sikeresen eloltották (2. ábra).

Mivel az osztályozóberendezés tűzeset miatti kiesése mindössze néhány nap termelés kiesést okozott és a technológia módosításával tovább tudott üzemelni a bányaüzem, valamint az anyagi kár az előzetes becslések alapján nem érte el az 50 millió forintot, illetve később Bányavállalkozót a biztosítója teljeskörűen kártalanította, ezért az illetékes tűzvédelmi Hatóság tűzvizsgálatot nem indított, nem folytatott le.



2. ábra Ipari kamera felvétele, illetve saját készítésű fotó a tüzesetről

Belső tűzvizsgálat viszont történt a tüzesettel kapcsolatban és az az alábbi megállapításokat hozta:

- a hegesztést végző munkavállaló megfelelő képesítéssel rendelkezett a feladat elvégzéséhez,
- a munkavégzéshez alkalmoszerű tűzveszélyes tevékenységre vonatkozó engedély lett kiállítva,
- munkavállalók viselték az előírt egyéni védőeszközöket, ez utóbbiak sajnálatos módon a tűznek és kísérőjelenségeinek a hegesztő által történő észlelését nehezítették (fültök és légzésvédő félálarc),
- mindhárom érintett munkavállaló megfelelő tűzvédelmi oktatásban részesült,
- mindhárom munkavállaló rendelkezett az előírt tűzvédelmi szakvizsgával (45/2011. (XII.7.). BM rendelet alapján: (1) kategória tűzvédelmi szakvizsga – Hegesztők és az építőipari tevékenység során nyílt lánggal járó munkát végzők),
- a munkáltató és a feladat elrendelője biztosította a munkavégzéshez szükséges létszámot, közülük egy fő (termelésirányító) csoport irányítónak volt írásban kijelölve,
- munkavállalók nem végezték el a szükséges, korábban alkalmazott előmunkálatokat, vagyis az éghető anyagú rostamezőknek a zúzott kővel történő letakarását, vagy eltávolítását,
- a munkavégzés felügyeletével megbízott két munkavállaló nem kísérte folyamatosan figyelemmel a hegesztő tevékenységet, a közvetlen helyszínt mindketten elhagyták.

2.2. Aszfalttároló tartály tüzesete

A másik vizsgált külföldi tüzeset Texasban történt 2018 tavaszán [4]. Ez rávilágít arra, hogy léteznek olyan, évtizedek óta ismert kockázatok, amik meglehetősen nagy veszélyeket hordoznak magukban, a megfelelő jogi és munkáltatói szabályozás hiányában mégis rendszeresen visszatérő, gyakran sérülésekkel, vagy halálesetekkel járó tüzeket és robbanásokat okoznak. A konkrét eset során egy létesítményen belül, fűtött tartályokban aszfaltot tároltak, melyek közül az egyik ilyen tároló megsérült és a karbantartó brigádnak kellett volna elbontania. A brigádvezető ellenőrizte a részére kiadott engedélyt, amelyben szerepelt az, hogy lángvágót is használhatnak a sérült és a szomszédos tartályt összekötő járóosztály eltávolítására. A lángvágási feladatot végző szakember egyik lábával a járóosztályon állt, másikkal a tartály tetején. Ahogy begyújtotta a lángvágót, az alatta lévő tartály felső légterében felhalmozódott illékony szénhidrogének a levegő oxigénjével robbanóképes közeget alkotva berobbantak és a tartályból lángok törtek fel. A munkavállaló súlyos égési sérüléseket szerzett. Csak az Amerikai Egyesült Államokban az esetet megelőző évtizedben 17 olyan esetet regisztráltak, amely aszfaltfeldolgozó telepen történt és aszfaltot, vagy nehézelajat tartalmazó, fűtött tartályok robbantak fel hasonló gyújtóforrás hőjétől, egyes esetekben spontán öngyulladástól. Az esetek egy részében tűz ütött ki és terjedt át a szomszédos

tárolókra is, volt, hogy teljesen evakuálni kellett a környezetüket. Évtizedeken át az ipari szereplők és a jogszabályalkotók is kevésbé szigorúan kezelték az aszfaltnak és a nehézolajoknak a fűtött tartályokban történő tárolását, azonban az elmúlt 30 évben elkezdtek a gyártók olyan feldolgozást segítő adalékokat alkalmazni, melyek illékonyasága miatt veszélyes mértékben meg tud növekedni a tartályok felső légterében a robbanóképes gázok nyomása. A helyzetet súlyosbítja, hogy az USA egyes államaiban az ilyen telepeknek a kibocsájtási értékeit nem kell a Környezetvédelmi Hatóság felé jelenteni, ahol viszont előírás, ott egy olyan számítási metódust alkalmaznak, ami a valóságtól kisebb érték határoz meg, mindezt úgy, hogy az amerikai környezetvédelmi hatóság (EPA - Environmental Protection Agency) tisztában van a számítási eljárás hibáival. Azonban az aszfalt alapanyagok mindenféle illékony adalékok nélkül is tudnak robbanásveszélyesek lenni, mivel a bennük lévő hidrogénszulfidból a korrodált acél alkatrészekkel érintkezve piroforos tulajdonságú vegyület keletkezhet, ami a levegő oxigénjével exoterm reakcióba lép. A 2018. évi texasi tüzesetet ugyanazon a telephelyen két hónappal korábban egy másik, hasonló tartály tüzesete előzte meg, akkor a robbanás a tartály fedelét leröpítette, a helyszínre érkező tűzoltók - mivel emberi élet nem volt veszélyeztetve - felügyelet mellett hagyták kiégni a tárolóban lévő anyagot. Ennél az esetről - mivel nem sérült meg senki - nem folytattak le hivatalos tűzvizsgálatot. Az alábbi, 3. ábra egy 2020. évben történt hasonló, fűtött aszfalttároló tüzeréről készült videóriportból származik és a méretek, volumenek szemléltetése céljából emeltem át a hivatkozott irodalomból.



3. ábra Aszfalttároló tartály tüzesete [4]

Az aszfalttároló tüzeseténél megállapítható, hogy az alábbi tényezők játszottak kulcsszerepet:

- hiányos és az USA tagállamaira nem azonos jogi szabályozások, annak ellenére, hogy a fűtött tartályokban tárolt aszfalt és nehézolaj alapanyagokhoz visszatérő módon és rendszeresen előforduló, jelentős anyagi kárral, sérülésekkel, és olykor halállal végződő tüzesetek köthetőek,
- az adott létesítmény üzemeltetőjének felelőtlen kockázatkezelése, elégtelen belső szabályozás a tüzesetek megelőzésében, mindez annak ismeretében, hogy a vizsgált tüzesetet két hónappal megelőzően hasonló eset már történt a létesítményen belül,
- a munkavégzéshez szükséges engedélyeket kiállító szakértelmének hiánya, a lángvágó használatának engedélyezése,
- a munkavégzést irányító személy átgondolatlansága, mivel lehetősége lett volna az engedélyben leírtakat felülbírálni és alacsonyabb kockázatot jelentő vágóeszközt alkalmazni munkavégzése során, vagy egyéb előkészületeket végezteni (pl. kérni a tartály felső légterének az átszellőztetését).

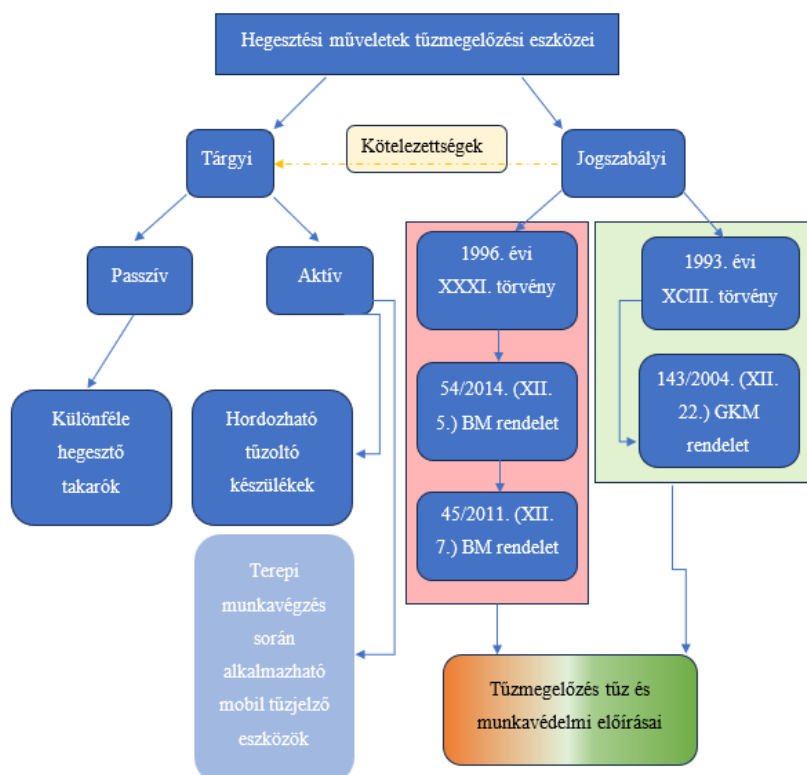
2.3. Konklúzió

A vizsgált hazai és külföldi tüzeset alapján megállapítható, hogy a hegesztési és lángvágási műveletek végzése során bekövetkező tüzek és robbanások jellemzően könnyen megelőzhetőek lennének és az emberi tényezők (elsősorban a tűzveszélyes tevékenységekhez kötődő előkészületek elmulasztása, munkavégzés közben az utasítások, jogszabályok figyelmen kívül hagyása, rutinból történő tevékenységvégzés), illetve a jogszabályok, utasítások és hibásan kiadott engedélyek hordozzák magukban a tüzek és robbanások kialakulásának legfőbb kockázatát. A hazai rendeleti előírások közül az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról (továbbiakban: OTSZ) 184. §-ában előírt, alkalomszerűen végzett tűzveszélyes tevékenységekhez kapcsolódó engedélyek körültekintő kiállításával és az azokban előírt utasítások betartásával, az előkészületek alapos kivitelezésével a tüzesetek és robbanások kialakulásának veszélye jelentősen csökkenthető.

3. Hegesztők munkáját segítő tűzvédelmi megoldások

3.1. Eszközök csoportosítása

A hegesztők szakemberek munkája során a tüzek keletkezésének megelőzésére és terjedésének megakadályozására szolgáló eszközöket a 4. ábrán látható blokkdiagram szerint csoportosítottuk.



4. ábra A hegesztési műveletek tűz megelőzési eszközei

A tűz megelőzést, illetve a keletkező tüzek terjedésének eszközeit egyrészt jogszabályi, másrészt tárgyi megoldásokra lehet bontani, azzal a megjegyzéssel, hogy a tárgyi megvalósulások részben jogszabályi kötelezettségek, részben pedig élet- és értékvédelmi, illetve erkölcsi elvárások alapján születnek meg. Jogszabályi oldalról nézve a Tűzvédelmi Törvény (1996. évi XXXI. törvény tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról) és a Munkavédelmi Törvény (1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről) szolgáltatja az alapvető előírásokat, elsődlegesen a szervezett

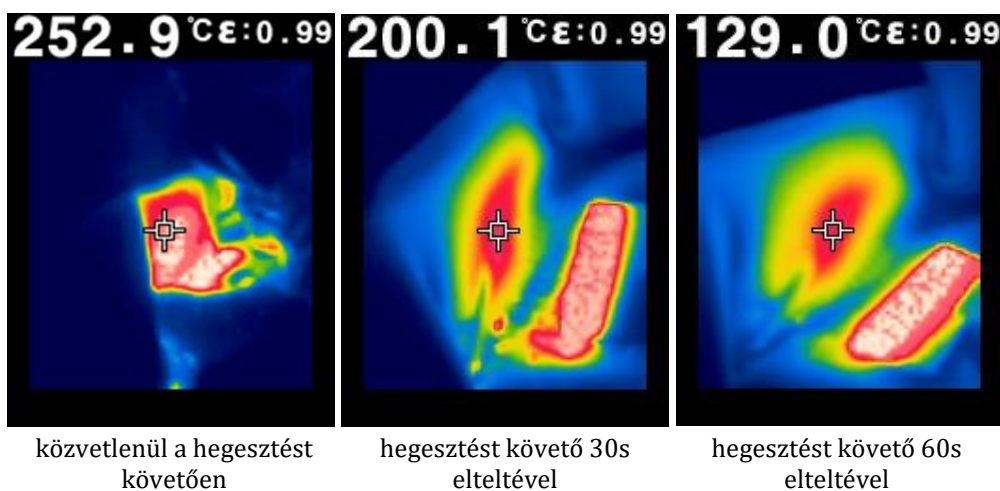
munkavégzés keretén belül végzett hegesztési műveletekre vonatkozóan. Ezen törvények végrehajtási rendeletei széleskörű előírásokat és kötelezettségeket támasztanak a hegesztés és egyéb tűzveszélyes tevékenységek biztonságos kivitelezése érdekében, köztük elsődlegesen az 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet, mely az alkalmoszerűen végzett tűzveszélyes tevékenységek végzésének feltételeit szabályozza, a 45/2011. (XII. 7.) BM rendelet (tűzvédelmi szakvizsgára kötelezett foglalkozási ágakról, munkakörökről, a tűzvédelmi szakvizsgával összefüggő oktatásszervezésről és a tűzvédelmi szakvizsga részletes szabályairól), mely a hegesztői foglalkozási ághoz írja elő szakvizsga megszerzésnek kötelezettségét, míg munkavédelmi oldalról nézve az 143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet (Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról), ami részletesen tartalmazza a specifikus előírásokat, illetve kötelezettségeket a munkáltatóra és a munkavállalókra vonatkozóan, egészen az előírt szakképesítésektől kezdve, az egyes hegesztési eljárások biztonsági követelményén át, a veszélyes körülmények közt végzendő munkáig.

3.2. Passzív védelemi megoldások – hegesztő takarók vizsgálata

A vizsgálatok során próbáltuk mind a négyféle terméket azonos módú és szintű igénybevételnek kitenni. A hegesztési munkadarabok 100x250x6 milliméter befoglaló méretűek voltak, melyeken a hegesztő szakmunkás a hosszanti oldaluktól befelé ~10mm-re egy-egy folyamatos, összefüggő hegesztési varratot készített, úgy, hogy a hegesztési folyamat befejezésekor a lemezek végén kilépő ív által okozott hőhatás is érvényesült.

A négyféle termék igen intenzív és szélsőséges hőhatásnak volt kitéve, ezt az eredmények is szemléltetik. Az „A” gyártó termékeinek csomagolásán lévő instrukciók alapján a gyártói ajánlás az, hogy mindig több rétegben kell ezeket a termékeket alkalmazni az esetleges átégések miatt, illetve a vízszinteshez képest legalább 15°-os szögben meg kell dönteni a felületeket, hogy a rájuk repülő fémcseppek ne álljanak meg egy helyen, hanem az érintkezést követően a gravitációnak köszönhetően még mozgásban legyenek, ezáltal szintén csökkentve az átégés kockázatát. Szintén feltűntetik a csomagoláson, hogy a takarókat rendszeresen ellenőrizni kell, nincs-e rajtuk sérülés és hogy – mivel számos és jelentősen eltérő felhasználási terület létezik – ezért a végfelhasználó felelőssége, hogy az adott munka elvégzésénél megfelelő védelmet fog-e biztosítani az eszköz. Ez utóbbi állítás egy védelmi célt szolgáló, tűz megelőzés céljára kifejlesztett terméknel mindenképpen figyelemfelhívás lehet arra, hogy alapos előkészületeket követően is nagyon körültekintően kell a hegesztési munkákat elvégezni és a HBSZ-ben leírtakat, illetve az adott feladatra érvényes, alkalmoszerű tűzveszélyes tevékenység végzésére feljogosító engedélyben előírtakat be kell tartani.

Sajnálatos módon a rendelkezésemre álló FLIR TG165 típusú hőkamera felső 380°C-os méréshatára nem tette lehetővé a hegesztési folyamat során keletkező hőeloszlás megfigyelését, de a 4. sz. termék esetében a hegesztés befejezése után vizsgálni tudtuk a kialakult hőmérsékelt eloszlást és annak a rövid idő alatt bekövetkező változását (5. ábra).



5. ábra Hőkamerával készült felvételek

A hőkamerával készült képeken megfigyelhető, hogy a villamos hegesztőív hőszugárzása igen intenzív, közvetlenül a hegesztési folyamat után, a függőleges síkon mérve több, mint 250°C-os a hőmérséklet. Ennek természetesen mind a négyféle termék kiválóan ellenállt, és habár a mindössze 100mm-es távolság elég kis méretűnek tekinthető, illetve a gyakorlati alkalmazás során ritkán előforduló, de a hőszugárzás időtartama is rövid volt, a leghosszabb is 38 másodpercig tartott. Terepi hegesztési munkák során előfordulhatnak olyan kényszerhelyzetben végzett hegesztési feladatok, amikor a vizsgálati időtartamtól hosszabban ideig tartó hőhatással kell számolni és a villamos ívhez hasonlóan közel helyezkednek el a védendő felületek. Ezt a tényezőt mindenképpen figyelembe kell venni abban az esetben, ha a védendő tárgyak a magas hőmérsékletre érzékenyek és eltávolításuk nem kivitelezhető.

4. Aktív védelmi eszköz tervezése

Mint minden tervezési folyamatnál, itt is az alapot az szolgáltatja, hogy milyen tűzvédelmi felhasználási célra tervezzük meg az adott eszközt. Az alap kiindulási elvet az szolgáltatja, hogy a bányaiipari tehergépjármű felépítmények, szállítószalagok közti átömlések és a törőgépek, illetve osztályozó berendezések alatti kiömlések belülről történő javítása során egyrészt a kívülről gyakran nehezen letisztítható, vagy elérhető festékréteg, másrészt a villamos ívtől időnként átlukadó külső szerkezeti lemezek miatt a külső oldalon elhelyezkedő, védelem nélküli, vagy alulméretezett passzív védelemmel ellátott éghető anyagok (gumihevederek, poliuretán alkatrészek) begyulladásának veszélyét minimalizáljam. A tervezés elvi, illetve részleges gyakorlati megvalósítását tűztük ki célul.

A készülék megtervezése során az MSZ CEN/TS 54-14:2019 sz. (Tűzjelző berendezések – 14. rész, irányelvek a tervezéshez, kivitelezéshez, létesítéshez, üzembehelyezéshez és használatához) és a MSZ CEN/TS 54-10:2019 sz. (Tűzjelző berendezések – 10. rész, lángérzékelők - pontszerű érzékelők) angol nyelvű szabványokat vettük alapul, melyek közül az első ugyan az épületekben, illetve azok környékén telepített tűzjelző berendezésekre vonatkozik, a másodikban pedig már az elején kijelenti, hogy csak a szabványban szereplő érzékelő megoldásokhoz használható, viszont egyúttal megemlíti, hogy útmutatásként használható hasonló érzékelőkhöz is.

Az utóbbi szabvány ajánlása szerint azt az érzékelő típust kell választani, amely az adott telepítési körülmények mellett, a fellelő tűzjellemzők közül azt érzékeli, amely az első biztos jelet adja a felhasználási körülmények függvényében. Ennek megfelelően a legalapvetőbb dolog, amit meg kell határozni, hogy a tűznek mely kísérőjelenségét kívánjuk érzékelni. Ezek lehetnek:

- Fejlődő füst: mivel az ívhegesztési műveletek – különösen a bevont elektródával történő – során ez normál körülmények közt is előfordul és a terepi munkavégzések alkalmával könnyen terjed, így az általam vizsgált szituációkban nem használható.
- Hőmérsékletváltozás: a hegesztő eljárások során ez is egy olyan alapvető kísérő jelenség, ami mindenképpen jelen van, így ennek a detektálása sem lenne célravezető.
- Gázkomponensek: terepi munkavégzés során a változó körülmények (térfogat, hegesztési eljárások, éghető anyagok, légmozgás stb.) ezek a jellemzők kevésbé vehetők figyelembe, illetve detektálásuk bonyolultabb és felhasználási körülményekre nézve kényes érzékelőket követelne meg.
- Elektromágneses sugárzás - lángérzékelés: ennek az érzékelése a legcélravezetőbb egy olyan esetben, ahol a külső érzékelési oldalon ez a jelenség akkor jelenik meg, amikor vagy már átlýukadt a lemez, vagy a külső festékréteg, annak maradványai, vagy egyéb éghető anyagok lángra gyúltak.

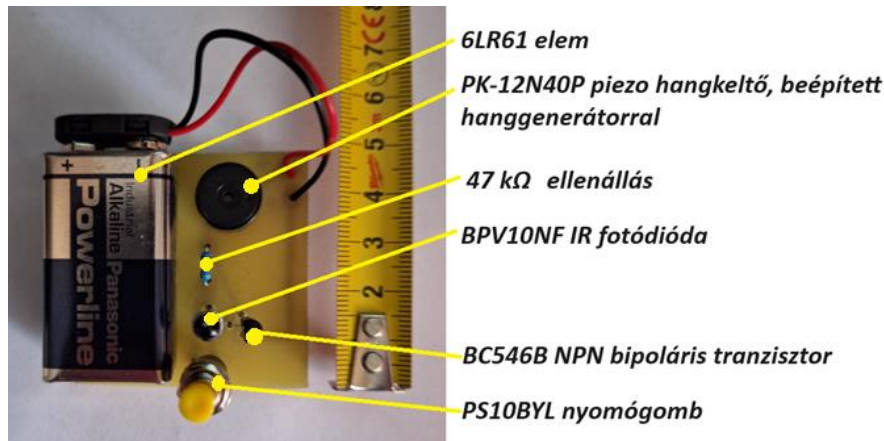
Az általunk kigondolt áramkör egy egyszerű, NPN rétegfelépítésű bipoláris tranzisztorral megvalósított kapcsoláson alapul, az áramköri rajzát a nyílt forráskódú, ingyenesen használható LibreCAD 2D-s tervezőszoftverrel készítettük el. Felépítését tekintve egy kollektor visszacsatolásos, bázisárammal vezérelt bipoláris tranzisztorból áll, ahol a kollektor ellenállást egy jelgenerátorral egybeépített piezokristályos hangkeltő adja, míg az Ic kollektoráramot a bázisellenállás értékével és a fény hatására működésbe lépő IR foto LED-el lehet beállítani. Az MSZ CEN/TS 54-10:2019 sz. szabvány meghatározása szerint az infra tartományban működő lángérzékelőknek azok tekinthetők, melyek érzékelési tartománya 850 nm fölé esik.

Ennek megfelelően érzékelőnek az idehaza beszerezhető, infra tartományban működő BPV10NF IR típ. fotódiódát választottuk. Ez egy fekete, gyárilag napfényblokkolóval ellátott érzékelő, ami $\lambda=780-1050\text{nm}$ tartományban működik, üzemi hőmérséklete -40°C -tól $+100^{\circ}\text{C}$ -ig terjed, így a terepi munkavégzések során előforduló szélsőséges körülmények közt is használható.

Az érzékelés hatására működésbe lépő hangkeltő eszköz a PK 12N40P típ. jelgenerátorral egybeépített piezoelektromos elven működő zümmer. Azért esett erre a választásunk, mert kisméretű, mindössze 14mm átmérőjű és adatlapja szerint [5] 4,1kHz frekvencián szólal meg, ami a beszédhangok [6] 2-4 kHz-s felső határa fölé esik, viszont még elég közel esik ahhoz a frekvenciatartományhoz, amit a hegesztők által is használt egyéni hallásvédők kevésbé tompítanak.

Az elkészült áramkör (6. ábra) tesztelése során az alábbi, tapasztalati úton szerzett megállapításokra jutottunk:

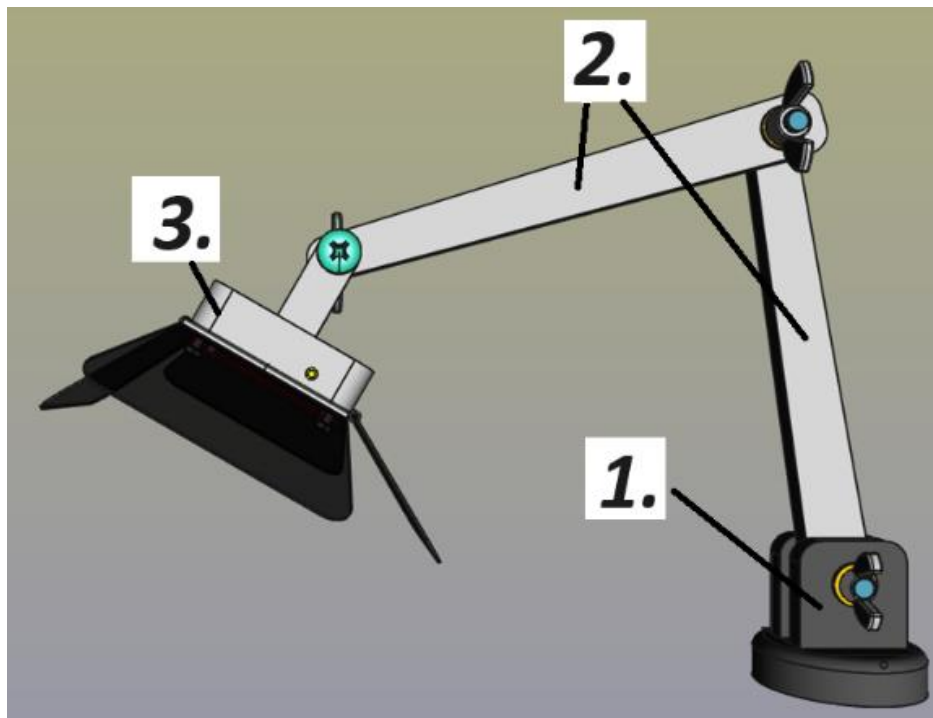
- Az egyik legfontosabb, hogy a detektor nagyon érzékeny, a Voltcraft gyártmányú, BL-10L típ. fénymérő szerint $\sim 19,5$ Lux napfénnel történő megvilágítás az a határ, ahol már nagyon halk hangot ad ki a piezo kristály, 381 LUX megvilágítási értéknél már 69,6 dBA hangnyomást lehetett mérni közvetlenül mellette. A MSZ EN 54-3:2014+A1 jelű szabvány (Tűzjelző berendezések – 3. rész, Riasztó egységek, hangjelzők) egyik előírása, hogy a tűzjelző berendezések hangjelzőinek legalább 65dBA hangnyomást kell tudni produkálniuk, így ennek a kritériumnak ez a teljesítmény megfelel, erősebb megvilágítás hatására.
- Minimális, a detektor dióda 20° -os betekintési szöge miatt a mérés szempontjából irreleváns megvilágítás mellett, egy igen kisméretű, pontszerű fényforrásnak tekinthető propánbután gázzal működő öngyújtó lángjától $\sim 50\text{mm}$ -es távolságra már $\sim 84\text{dB(A)}$ hangnyomás volt mérhető.



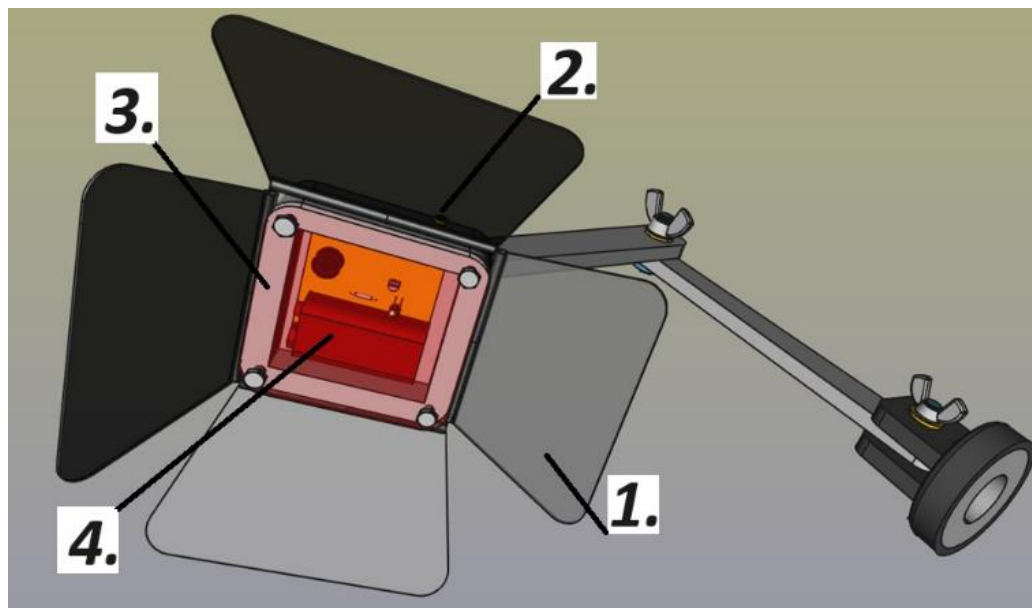
6. ábra A megtervezett érzékelő főbb részei

- A másik jelentős és említésre méltó tapasztalt jelenség, hogy az áramkör nagy érzékenysége nem csak előnyként, hanem egyben hátrányként is kezelhető, mivel nem csak a detektálni kívánt égési lángok, hanem a napfény spektruma is bőven tartalmaz infra sugarakat, mégpedig a teljes spektrum 53%-a ebben a tartományban helyezkedik el [7]. Az áramkör ebből a szempontból tovább fejleszthető lenne, például a tranzisztorral nem közvetlenül a hangkeltő eszközt kellene vezélni, hanem egy kapcsolóként funkcionáló relét, amelyet hosszas kísérletezések árán be lehetne állítani arra a meghúzási értékre, amelynél egy terepi munkavégzés során vagy ahhoz hasonló szituációban a környezeti zavaró hatások miatt még nem jelez be, viszont a már veszélyt jelentő lángok megjelenésekor már hatékonyan jelez.

Egy áramkör megtervezése, tökéletesítése és végleges legyártása azonban még nem tesz eleget az alkalmazhatóság felételeinek, ezért elkészítettük a készülékház 3D-s modelljét is (7. és 8. ábra).



7. ábra 1. mágneses talp, 2. állítható alumínium karok, 3.: állítható detektorfej



8. ábra 1. állítható árnyékolólapok, 2. tesztgomb, 3.: polikarbonát védő, 4.: elektronika

5. Összefoglalás

Munkánk során két hazai – saját ismereteken alapuló – és két, történelmileg meglehetősen eltérő időben zajlott, hegesztési-lángvágási műveletekhez köthető tüzesetet vizsgáltunk. Minden tüzesetnél megállapítható volt, hogy az emberi tényezők jelentős szerepet játszottak a kialakulásukban, illetve, hogy viszonylag könnyen megelőzhetőek lettek volna.

Utolsó témakörként - a tüzeset vizsgálatokat alapul véve – a hegesztő szakemberek és létesítmény üzemeltetők kezében lévő és elérhető védelmi megoldásokat elemeztük, gyakorlati úton vizsgáltuk a kereskedelmi forgalomban elérhető passzív védelmi megoldásokat. Részlegesen gyakorlati, illetve elvi és tervezési szinten történő megvalósítással vizsgáltuk egy bányai körülmények közti, adott célfeladatokra használható, mobilis tűzjelző berendezés megvalósításának lehetőségét.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.thecrucible.org/guides/welding-2/history/> (Internet_1; 2023.02.07.)
- [2] <https://ilmoproducts.com/industries-served/welding-cutting/gases-their-applications/acetylene/> (Internet_2; 2023.02.07.),
- [3] Han Y, Chen J, Ma H, Zhao X, Wu C, Gao J. Numerical Simulation of Arc and Droplet Behaviors in TIG-MIG Hybrid Welding. Materials. 2020; 13(20):4520. doi 10.3390/ma13204520
- [4] <https://insideclimatenews.org/news/06062021/tank-explosion-asphalt-heavy-fuel-texas/>; 2024. 03. 25.)
- [5] https://www.hestore.hu/prod_getfile.php?id=13616 (Internet_17; 2024. 03. 14.),
- [6] Domokos E., Horváth B., Horváth R., Koren E., Koscsó G., Kovács A., Muntág A.: Zaj- és rezgésvédelem. Környezetmérnöki Tudástár 13. kötet, Pannon Egyetem, ISBN: 978-615-5044-38-0, (2011)
- [7] Gueymard, C. A., Myers, D. R., & Emery, K.: Proposed reference irradiance spectra for solar energy systems testing. Solar Energy, 73(4), 443–467. (2002)

A hő- és füstelvezetés kivitelezésének gyakorlati problémái

¹Zákányi Balázs, ²Tamás Ádám, ³Zákányiné Mészáros Renáta
¹²³Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
 balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

A fedett átriumok üvegszerkezetébe beépített hő- és füstelvezető szerkezetek célja a szükséges hatékony nyílásfelület biztosítása. Azonban gyakran előfordul, hogy a kivitelezés során nem fordítanak kellő figyelmet ezeknek a rendszereknek a pontosságára, ami akár személyi sérüléshez is vezethet tüzeset esetén. A tűzvédelmi kivitelezés során felmerülő hibalehetőségeket vizsgáltuk meg a kutatásunkban, melyek közé tartozik például a rosszul megválasztott nyílászárók vagy a nyitások megválasztása. A munkánk során egy közösségi rendeltetésű épület felújítását végezték és azokat a nyílászárókat, amelyek füstelvezetést is biztosítanak, túlságosan mélyre helyezték a nyílásban, így nem elegendő hatásos nyílásfelület alakul ki a korábban már megtervezett nyitómotorral. A vizsgálatainkban az előbb említett kivitelezési hibára tesztünk megoldási javaslatokat, melyeket számítással bizonyítunk és 3D modellezéssel szemléltetünk.

Kulcsszavak: tűzvédelem, tervezés, hő- és füstelvezetés, kivitelezési hiba

1. Bevezetés – a hő- és füstelvezető rendszerek kialakításának szempontjai

A zárt terekben zajló tevékenység és az épített környezet fejlődésével egyre fontosabbá vált a tűzbiztonság garantálása. A kezdetleges módszerektől, mint például az áramlást segítő kürtöktől a középkorban, napjainkban fejlett vezérlő rendszerekkel ellátott hő- és füstelvezető rendszerek (továbbiakban: HFR) segítik az élet- és vagyonvédelmet a tűzvédelemben. Azonban gyakran szükség van az említett alapvető természetes fizikai törvényszerűségeken nyugvó megoldások hatásfokának növelésére [1]. Ezt az aktív beépített tűzvédelmi berendezések gépi úton történő hő- és füstelvezetés szabályozott intenzitás- növelésével jelentős mértékben lehet fokozni. Ez a fejlett technológiai megoldás lehetővé teszi, hogy hatékonyabban és precízebben reagáljunk a tüzesetekre, maximalizálva ezzel az élet- és vagyonvédelmet.

Az eltérő vagy akár kombinált módszerek alkalmazási kritériumait a sajátos épületfizikai környezet határozza meg. Az ilyen épületekben az eltérő körülmények jelentősen befolyásolják az alkalmazott módszerek hatékonyságát, ezért alapos tervezést igényelnek.

Az épületfizikai jellemzők mellett további tűzbiztonsági szempontokat is figyelembe kell venni a tervezés során. Ezek közé tartoznak többek között:

- a rendeltetés,
- a várható tűzfejlődés anyagi és termodinamikai jellegzetességeit,
- a berendezés műszaki-technikai jellemzőit,
- az egyéb aktív és passzív tűzvédelem elemeivel való kölcsönhatásokat,
- a létesítményüzemeltetés funkcióit,
- a költség-és energiahatékonyságot.

Ennek a rendszerszemléletnek köszönhetően alakul ki a megfelelő hő- és füstelvezetés beépítési körülményekhez igazodó adekvát módszere, melynek működtetése további műszaki kihívásokat tartogat a szakemberek számára.

Az egy adott létesítmény tűzvédelmének kialakítása szempontjából kiemelkedő fontosságú megérteni, hogy a tűzterjedés és a tűzveszély belső tereken sokkal nagyobb veszélyt jelent, mint a környező szabad térben. Ezért különösen fontos, hogy már a tervezési fázisban a tervező teljes körű információkkal rendelkezzen a tűzbiztonságot befolyásoló tényezőkről, mivel ennek hatékonysága nagyban függ ezektől. Az épület hő- és füstelvezetési rendszerének megfelelőségének értékelése általában az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) X. fejezetében

foglaltak [2] és a vonatkozó „Hő és füst elleni védelem” címmel közreadott 3.4:2022.06.13 azonosító számmal ellátott Tűzvédelmi Műszaki Irányelv (továbbiakban: TvMI) alapján [3], amelyek rögzítik a releváns követelményeket és előírásokat.

A hő- és füstelvezetést automatikusan vezérlő rendszernek tűzesetben biztonságosan kell működnie. Ezért alapkövetelmény például, hogy az ilyen rendszerek vezérlését biztosító kábelezés E30-as tűzállóságú legyen, ami azt jelenti, hogy legalább 30 percig ellenáll a tűznek és nem terjed tovább, így megőrizve a rendszer működőképességét. Ez az intézkedés kulcsfontosságú a tűzvédelem szempontjából, és biztosítja, hogy a hő- és füstelvezetési rendszer hatékonyan és megbízhatóan működjön vészhelyzetekben.

2. Gépesített HFR rendszerek gravitációs szellőzéssel

2.1. Vezérlés

A gravitációs hő- és füstelvezető rendszerek általában egy vagy több ablakon vagy kupolán keresztül valósulnak meg, amelyek a védett tér legmagasabb pontjain helyezkednek el. A friss levegő utánpótlása általában az épület alsó részén, egy ajtó vagy kapu kinyitásával történik.

Az 54/2014 (XII.5) BM rendelet által kiadott Országos Tűzvédelmi Szabályzat fogalmazza meg a hő- és füstelvezető rendszerek létesítési követelményeit. A minimálisan kialakítandó hő- és füstelvezető felület méretét, valamint a friss levegő utánpótlás mértékeit az építmény tűzvédelmi műszaki leírása határozza meg. A hő- és füstelvezető rendszer méretezése a vonatkozó "Hő és füst elleni védelem" Tűzvédelmi Műszaki Irányelv alapján történik.

A gravitációs hő- és füstelvezető rendszerek fejlődése az elmúlt évtizedben folyamatosan zajlott, így a gyártók széles választékot kínálnak az eltérő rendszerméretek kiszolgálására. Ez biztosítja, hogy az épületek megfelelően legyenek ellátva a tűzvédelem szempontjából kritikus hő- és füstelvezetési lehetőségekkel.

A gravitációs elven működő rendszerek központi egysége a vezérlő központ. Ehhez a központhoz a csillag topológiában vannak csatlakoztatva a bemeneti és kimeneti eszközök. A vezérlő központ saját szünetmentes tápegységgel rendelkezik, amely biztosítja a végrehajtó elemek tápellátását akár áramszünet esetén is. Emellett a vezérlő központ felügyeli saját tápfeszültségét és vezérlőfeszültség szintjeit, és hiba esetén képes azt jelenteni vagy jelezni. Ezáltal biztosítva van a rendszer megbízható működése és az esetleges hibák gyors azonosítása.

A vezérlő központhoz kapcsolódó vezérlő elemek többek közt lehetnek [4]:

- Lánchos motor: általában erős és megbízható megoldást jelentenek nagyobb, nehéz nyílászárók mozgatására. Ezek a motorok egy láncot használnak a mozgatásra, amely kihúzza vagy behúzza az ablakot vagy ajtót. Hő- és füstelvezetés szempontjából a lánchos motorok hatékonyak lehetnek a nagyobb, nehéz nyílászárók gyors és hatékony nyitásában, ami segíthet a tűz és füst elvezetésében.
- Csavarorsós motor: általában csendes működésűek és nagyobb nyomatékot képesek biztosítani. Ezek a motorok egy csavarorsót használnak a nyílászárók mozgatásához. Hő- és füstelvezetés szempontjából a csavarorsós motorok hatékonyak lehetnek, mivel pontos és kontrollált mozgatást biztosítanak, ami fontos lehet a nyílászárók gyors és pontos nyitásában tűz vagy füst esetén.
- Lineáris motor: egyenes vonalú mozgást biztosítanak a nyílászárók számára. Ezek a motorok általában gyors és precíz mozgást tesznek lehetővé, ami fontos lehet a tűz és füstelvezetés során. A lineáris motorok gyors reakcióképessége és pontos mozgatása lehetővé teszi, hogy gyorsan és hatékonyan nyíljanak és zárjanak az ablakok és ajtók a tűzesetek vagy egyéb vészhelyzetek során.

- Ollós motor: egy ollószerű szerkezetet használnak a nyílászárók mozgatásához. Ezek a motorok általában nagyobb terhelést tudnak kezelni, és stabil mozgatást biztosítanak. Hő- és füstelvezetés szempontjából az ollós motorok hatékonyak lehetnek a nagyobb, nehezebb nyílászárók mozgatásában, ami fontos lehet a tűz és füstelvezetés során.
- Emelő karos motor: egy emelőkaros szerkezetet használnak a nyílászárók mozgatásához. Ezek a motorok általában gyors és hatékony mozgást biztosítanak, és különösen jók lehetnek nagyobb nyílászárók mozgatásában. Hő- és füstelvezetés szempontjából az emelőkaros motorok hatékonyak lehetnek a gyors és pontos nyitásban és zárásban tüzesetek vagy más vészhelyzetek során.

A vezérlő központ felelős a kapcsolódó motorok villamos betápláló vezetékének felügyeletéért, amelyhez egy vonalvég lezáró ellenállás csatlakozik. A központok aktiválása kézi vagy külső jelzés hatására történhet. A kézi aktiválást kézi jeladók segítségével végezzük, melyek kábelezése felügyeli a szakadást és a zárlatot is. A jeladók segítségével az operátorok azonnali visszajelzést kapnak a rendszer állapotáról. Az automatikus aktiválás általában a tűzjelző rendszeren keresztül történik, ellenőrizve az ellenállás-kombinációkat. Ez biztosítja, hogy a hiba és az aktivált állapot is külön ellenőrzés alatt álljon. A rendszer aktiválásakor a központ kiadja a vezérlő feszültséget a motorokra. Ezt követően a központ periodikusan megfordítja a vezérlőfeszültséget egy rövid ideig, majd visszaállítja az aktív állapotra. Ez a mechanizmus megakadályozza a motorok esetleges mechanikai tapadását. Emellett a HFR rendszer nyitott állapotáról visszajelzést kaphatunk szemrevételezéssel vagy külső felügyeleti rendszer segítségével.

A vezérlő központok gyakran alkalmasak napi szellőztetés vezérlésére is, amelyhez eső- és szélérzékelő is csatlakozhat. Ezek a funkciók automatikusan felülíródnak tüzeset esetén.

A gyártó által meghatározott minimális nyitási ciklus számnak meg kell felelnie a vezérlőközpontnak, és figyelembe kell venni a rendszer várható élettartamát.

A gravitációs HFR rendszerek fontos szerepet játszanak a friss levegő utánpótlás biztosításában, melyet általában egy vagy több nyílászáró nyitásával érünk el. A szabad felületek kialakítása során figyelembe kell venni az ipari és személyi közlekedéshez szükséges ajtókat és kapukat is. Fontos megjegyezni, hogy míg a HFR rendszerek elemei és nyílászárói tanúsítottak, a friss levegő utánpótlást biztosító nyílászárókra nem ugyanazok a tanúsítási szabályok vonatkoznak.

2.2. Külső eszközök kapcsolódása

Amikor egy HFR rendszert illesztünk más eszközökhöz, fontos ismerni mind a központ, mind az illesztett eszközök korlátait. Az olyan nyílászárókat, amelyek eredetileg nem HFR igényekre lettek tervezve, csak kiegészítő biztosításokkal lehet megfelelő hibátűréssel rendelkező friss levegő után pótló elemként alkalmazni. Például, egy HFR központ nem képes felügyelt vezérlést biztosítani függönykapu esetén, csak potenciálmentes kontaktust. A vezérlés hibatűrését normálállapotban zárt kontaktus felhasználásával lehet növelni, mivel egy vezetékszakadás esetén is megtörténik az aktiválás. A friss levegő utánpótlását biztosító függönykapuk elektromos betáplálását vagy kiemelt fogyasztói leágazásról kell leágaztatni, vagy szünetmentes áramforrást kell biztosítani. Bár a kapuk állapotinformációit kontaktuson keresztül lehet elérni a vezérlő központból, kevés olyan HFR központ létezik, amely képes a külső rendszer állapotát fogadni és feldolgozni.

Amikor egy bejárati ajtót használunk friss levegő utánpótlás céljából a HFR rendszerben, a HFR központ által felügyelt vonalon kapcsolódó nyitó otorok segítségével lehet biztosítani az ajtó aktivált állapotban történő nyitását. Azonban előfordulhatnak problémák, például egy alapvetően mechanikai védelmet biztosító ajtó esetén, amelyet külön biztonsági eszközzel mechanikusan vagy elektronikusan is reteszelnék. Gyakran előfordul, hogy a bejárati ajtókon található elektromos zárfogadók nem képesek nagy biztonsággal biztosítani a nyitás szabaddá tételét. Az elektromos zárfogadók lehetnek alaphelyzetben zártak, ami a tápfeszültség kiadására nyit, vagy

alaphelyzetben nyitottak, ami a tápfeszültség folyamatos jelenlétével biztosítja a zárt állapotot. A fail safe zárok elve alapvetően megfelel a követelményeknek, azonban az élettartamuk folyamatos tápfeszültség miatt alacsonyabb lehet, és hajlamosak lehetnek mechanikai megszorulásra, ha a zárnyelv feszíti a zárfogadót.

Tűzbiztonsági szempontból a síktapadó mágnesek alkalmazása jobb megoldás lehet, mivel még vezetékhiba vagy az eszköz meghibásodása esetén sem befolyásolja negatívan az ajtónyitás sikerességét. Az elektromágnesek ugyanis a tápfeszültség hiányában elveszítik mágnesességüket, így az ajtó nyitása nem lesz akadályozva. Ugyanakkor a motoros zárok is jó biztonsági tulajdonságokkal rendelkeznek, bár költségesebbek. Ezek a zárok a nyitó tápfeszültség hatására behúzzák a zárnyelvet, míg a záró irányú tápfeszültség hatására visszaengedik azt. A motoros zárok képesek állapotinformációt közölni kontaktuson keresztül, azonban ez is felveti a HFR központ jelzésfogadásának kérdését. Fontos megjegyezni, hogy egy ajtózár állapotjelzése csak a zárállapotát tudja közölni a HFR központnak, nem pedig az ajtó nyitott állapotát.

2.3. Gravitációs hő- és füstelvezető rendszerek hibái

A gravitációs hő- és füstelvezető struktúra a felmelegedő levegő felfelé irányuló mozgását használja ki, így nem igényel turbinákat vagy más eszközöket a légnyomás növelésére. Általában légtereket, kürtőszerű kialakítású lépcsőházakat és csarnokokat védelmezik vele. Fő feladata a menekülési/menekítési útvonalakon megfelelő méretű füstmentes légréteg kialakítása, hogy az emberek biztonságosan tudjanak elhagyni egy tűz sújtotta területet. A gravitációs hő- és füstelvezető rendszerek hatékonyan működnek az egyszerű, de hatékony elven alapuló koncepciójuknak köszönhetően, ami elősegíti a gyors és hatékony tűzvédelmet.

A természetes hő- és füstelvezetés kiépítése során számos hiba és probléma merülhet fel, amelyek a szabályozások ismerete szerint nem megfelelőséghez vezethetnek. Néhány példa gyakoribb hibalehetőségekre:

- Rosszul megválasztott nyílászárók vagy nyitások: Ha az épületben nem megfelelően vannak elhelyezve vagy méretezve a nyílások, akkor nem biztosítják a megfelelő légáramlást és füstelvezetést tűzeset esetén. Ez a hiba akadályozhatja a friss levegő beáramlását és a füst eltávolítását, ami súlyosan veszélyeztetheti az épületben tartózkodók biztonságát [5].
- Szabályozó berendezések hiánya vagy hibás működése: Ha a természetes hő- és füstelvezető rendszert nem megfelelően szabályozzák vagy nem működnek megfelelően a szabályozó berendezések, akkor nem lehet hatékonyan irányítani a levegő áramlását és a füstelvezetést a tűzeset során. Ezáltal nőhet a füstteljesítmény és a kimenő légsebesség, ami komoly veszélyt jelenthet az evakuálókra és a tűzoltókra nézve.
- Elégtelen légterek vagy elzáródások: Ha az épületben nem megfelelően vannak kialakítva vagy karbantartva a légterek vagy azokat elzáró akadályok, akkor azok gátolhatják a megfelelő légáramlást és füstelvezetést. Ez a hiba megakadályozhatja a füst eltávolítását az épületből, ami veszélyes körülményekhez vezethet a tűzoltók és a mentésben résztvevők számára.
- Rosszul működő vagy meghibásodott természetes hő- és füstelvezető berendezések: Ha a természetes hő- és füstelvezető berendezések nem megfelelően vannak telepítve vagy karbantartva, akkor nem működnek hatékonyan tűzeset esetén. Ez a hiba megakadályozhatja a füst és a hő eltávolítását az épületből, ami növelheti a kár és a sérülések kockázatát.
- Nem megfelelő tervezés vagy kivitelezés: Ha a természetes hő- és füstelvezetőrendszert nem megfelelően tervezik vagy építik meg, akkor nem lesz képes megfelelően kezelni a

tűzeset kockázatait. Ez a hiba megnehezítheti az épületben tartózkodók biztonságos evakuálását és a tűzoltók munkáját.

- Elégtelen szellőző nyílások: Ha az épületben nem elegendő vagy nem megfelelően elhelyezett szellőzőnyílások vannak, akkor ez akadályozhatja a megfelelő levegőáramlást és füstelvezetést. Az elégtelen szellőzőnyílások a füst felhalmozódásához és a túlzott hőmérséklet emelkedéséhez vezethetnek, ami veszélyes körülményeket teremthet az épületben tartózkodók számára.
- Nem megfelelő karbantartás: Ha a természetes hő- és füstelvezető rendszert nem tartják karban és nem ellenőrzik rendszeresen, akkor az berendezések meghibásodásához és a rendszer hatékonyságának csökkenéséhez vezethet. A nem megfelelő karbantartás során felhalmozódhatnak szennyeződések és akadályok, amelyek gátolják a megfelelő légáramlást és füstelvezetést.
- Tűzvédelmi előírások figyelmen kívül hagyása: Ha az épület tervezése során nem veszik figyelembe a helyi tűzvédelmi előírásokat vagy nem megfelelően alkalmazzák azokat, akkor a természetes hő- és füstelvezető rendszer nem lesz képes hatékonyan működni tűzeset esetén. Ez különösen fontos a szükséges szellőzőnyílások és a füstelvezető berendezések méretének és elhelyezésének meghatározásakor.
- Szabályozási hibák: Ha a természetes hő- és füstelvezető rendszer szabályozása nem megfelelően van beállítva vagy nem működik megfelelően, akkor ez befolyásolhatja a rendszer hatékonyságát és teljesítményét tűzeset esetén. A szabályozási hibákhoz tartozhatnak például a rosszul beállított szellőzőnyílások, a hibásan működő szabályozó berendezések vagy a nem megfelelően működő szenzorok [6].
- Épületszerkezetek változása: Ha az épület szerkezetét vagy kialakítását később módosítják vagy átépítik, akkor ez befolyásolhatja a természetes hő- és füstelvezető rendszer hatékonyságát és működését. A változásokat figyelembe kell venni a rendszer tervezése és karbantartása során annak érdekében, hogy biztosítsák a megfelelő működést és a tűzvédelmi előírásoknak való megfelelést.

Az épület természetes hő- és füstelvezető rendszerének további potenciális hibái között szerepelhet az alulméretezett vagy túlméretezett szellőzőnyílások alkalmazása. Az alulméretezett nyílások nem biztosítanak elegendő légáramlást a füstelvezetéshez, míg a túlméretezett nyílások felesleges légáramlást eredményezhetnek, ami csökkentheti a rendszer hatékonyságát és energiatakarékosságát.

Emellett a hibák közé sorolható a szellőztetési és füstelvezetési rendszer összekapcsolásának hiánya vagy hibás megvalósítása. Ha ezek a rendszerek nem megfelelően vannak összekapcsolva vagy szabályozva, az lehetőséget teremthet a nem megfelelő légáramlásra és füstelvezetésre tűzeset esetén.

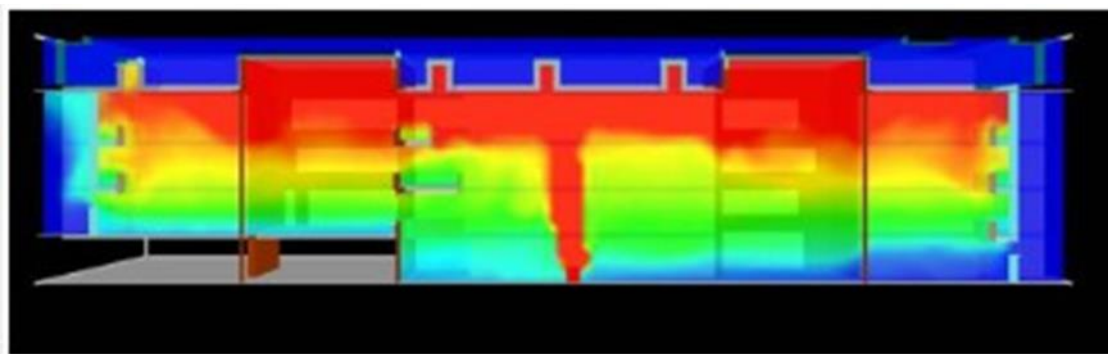
Nem szabad figyelmen kívül hagyni az épületfelületeken elhelyezett hűtőtesteket vagy akadályokat sem, melyek akadályozhatják a füst és hő természetes kivezetését. Ezek a hűtőtestek megakadályozhatják a szabad légáramlást és növelhetik a füstelvezetési rendszer terhelését, ami csökkentheti a hatékonyságot és megnövelheti a tűzveszélyt. Végül, fontos megemlíteni a berendezések és vezérlőrendszerek helytelen telepítését vagy beállítását. Ha ezek a berendezések nem megfelelően vannak telepítve vagy beállítva, az befolyásolhatja a rendszer teljesítményét és megbízhatóságát, különösen a kritikus pillanatokban, amikor a füstelvezetés és a légáramlás létfontosságú szerepet játszik az épület biztonságában.

3. Hibalehetőségek a tervezés és kivitelezés során a gyakorlatban

A tervezett HFR rendszer esetén alátámasztást nyerhetünk szoftveres szimuláció alkalmazásával arról, hogy a hő- és füstelvezetés megfelelő [7]. Azonban fontos, hogy a szoftver kezelője kellő szakértelemmel rendelkezzen annak használatában, mert egyébként a szimuláció és az értékelés hibás lehet.

Előfordulhat, hogy a számítások kevesebb elvezetőt ajánlanak, mint amennyit a terv javasol. Ezáltal a szimuláció által felkínált eredmény alapján a rendszer megvalósítható lenne kevesebb költségből is, ami persze vonzó lehet a beruházó számára. Ám fennáll annak a kockázata, hogy a ilyen módon tervezett rendszer nem nyújt megfelelő szintű védelmet.

Az 1. ábra szemlélteti, hogyan változnak a különböző légrétegek hőmérsékletei a magasság függvényében, ami létrehozza a légmozgást. A legmelegebb légréteg legfelül helyezkedik el (piros színnel jelölve), és ez a réteg az, amelyet a hő- és füstelvezető rendszerek ki is használnak. Az 1. ábra szemléletesen bemutatja, hogyan működik a természetes hő- és füstelvezetés elve, amikor a meleg levegő felfelé áramlik, és ezzel együtt a füst is felfelé halad az épületből. A rendszer erre a természetes légmozgásra támaszkodva biztosítja a tűz sújtotta terület gyors és hatékony elhagyását, minimalizálva ezzel a sérülések és veszteségek kockázatát.



1. ábra A szimuláció eredménye

A tervezés során gyakori hibának tekinthető, hogy a tervező összekeveri a hatásos és geometriai felület fogalmát. Például, ha egy 1200 m²-nél nagyobb alapterületű és 4 méternél magasabb belmagasságú helyiséget terveznek, a füstszakasz alapterületének mérete legfeljebb 2000 m²-re növelhető. Ez azt jelenti, hogy a hő- és füstelvezető szerkezetek füstszakaszra előírt hatásos nyílásfelületét minden megkezdett 100 m²-ként 10%-os arányban kell növelni, vagy pedig a számítással meghatározott mértékben növelhető, ha a számítás eredménye igazolja az előírt füstszegény levegőréteg biztosítását. Előfordulhat, hogy a tervező az egész alapterületre számolja a hatásos nyílásfelületet, figyelmen kívül hagyva ezt a szabályt. Ez a hiba komoly következményekkel járhat, mivel nem biztosítja megfelelően a füstelvezetést és a tűzszegény levegőréteget az adott helyiségben.

A jogszabályban meghatározott maximális működési idő, amely alatt a gravitációs elvű rendszernek működőképesnek kell maradnia, harminc perc. Emellett az elvezető nyílásnak két órán keresztül történő üzemelés alatt nem szabad keresztmetszet csökkenést szenvednie.

Gyakori hiba, hogy a pneumatikus hő- és füstelvezető ablakokat a tetőn helyezik el, belső megközelítési lehetőség hiányában. Ez azt jelenti, hogy miután a jelzést vagy a működést követően az ablak visszaállításra kerül alaphelyzetbe, azt csak kívülről, a tetőről lehet elvégezni. Ez jelentősen korlátozza a megoldás használhatóságát és hozzáférhetőségét.

Nem ritka probléma, hogy a kivitelező csak a saját profitját tartja szem előtt, és kevésbé figyel a megrendelő pénztárcájára. Ez gyakran vezethet olyan helyzetekhez, amikor a kivitelezés során

nem optimális megoldásokat alkalmaznak, vagy a költségvetési keretet túllépik a saját hasznuk érdekében.

Egy másik gyakori probléma az, amikor a felhasznált eszközök között olyan elemek vagy szerkezetek kerülnek beépítésre, amelyek nem garantáltan bevizsgáltak vagy minősítettek. Ez komoly biztonsági kockázatokkal járhat, mivel az ilyen eszközök megbízhatatlansága vagy nem megfelelő működése esetén nőhet a tűzveszély és az épületben tartózkodók biztonsága is veszélybe kerülhet. Az aktív tűzvédelmi rendszerek tervezése és telepítése során különös figyelmet kell fordítani a kábelek kiválasztására és minőségi beépítésükre. Egy hibásan megépített kommunikációs csatorna könnyen működésképtelenné teheti a rendszert, ami súlyos biztonsági kockázatot jelenthet. A jogszabályok által előírt harminc perces tűzállókábel alkalmazása nélkülözhetetlen a biztonságos működés érdekében.

A hő- és füstelvezetés fontos tényezői közé tartoznak a passzív tűzvédelem elemei, mint például a füst terjedését akadályozó épületszerkezeti elemek, például a füstköteny. Ezeknek az elemeknek a megfelelő tervezése és kivitelezése elengedhetetlen az épület tűzvédelmi szempontból történő megfelelőségéhez és az ott tartózkodók biztonságának garantálásához.

Előfordul, hogy a pneumatikus rendszerek hiányosak vagy elemeik rosszul illeszkednek egymáshoz, hézagosak. Ennek észlelése kompresszoros nyomáspróbán keresztül történik, amelynek mért értéke minden esetben el kell érje a működéshez szükséges szintet. Ezt a jelenséget légtömörségnek nevezzük. Példa a gondatlanságra és felelőtlenségre az, amikor a szerelők tudják, hogy a pneumatikus rendszer hiányos vagy nyitott, és mégis, hogy látszólag javítsák a helyzetet, összenyomják a pneumatikus vezeték fogóval, hogy légtömörséget alakítsanak ki. Ezáltal a rendszer, bár hibás, mégis megfelelő értéket mutat a kompresszornál.

Egy másik gyakori hiba, ami már az eszközgyártás során bekövetkezik, hogy az egyszárnyú hő- és füstelvezető nyitószerveket maximálisan csak két méter szélességű elvezetőkhoz tervezik és gyártják, miközben a donga gyártási mérete három méter. Ezt a problémát a "kreatív" szakemberek gyakran megoldják a nyitószerveket mindkét végére hegesztett fél-fél méter hosszú toldással. Ez azonban súlyos hiba, mivel a szerkezet elveszíti eredeti tulajdonságait, és nem tudja biztonságosan betartani az előírt követelményeket.

4. Probléma ismertetése

Egy közösségi rendeltetésű épületen felújítást végeznek, amely során hő- és füstelvezető szerkezetek beépítésre kerülnek az OTSZ 88. paragrafusa alapján egy fedett átriumban. A tűzvédelmi tervező, a tervezés során meghatározta az átrium előírt hatásos nyílásfelületét, majd ezután a hő- és füstelvezető nyílászáró gyártója meghatározta az ablakot, a nyitási szöveget és nyitó motort vagy szerkezetet. A kivitelező az ablakot túlzottan be- süllyesztette az ablaknyílásba, így a kinyíló felület nem igazoltan, de láthatóan kevesebb hatásos felületet eredményez (2. ábra).



2. ábra. Elvezető ablakok és láncos motorok a szárnyon

A feladatunk az volt, hogy meghatározzuk a jelenlegi állapotban a nyílásfelületet, valamint méretezzük és javasoljunk egy másik megoldást vagy akár többet is annak érdekében, hogy nagyobb átalakítás nélkül megoldható lehessen az ablakok nagyobb szögben való nyitása.

A lehetőségeket nehezíti az a tény, hogy nem minden nyílászáró szerelhető alapvetően minden motorral. Csak azt a motort lehet alkalmazni, amelynek a minősítését elfogadják vagy azzal a motorral van minősítve. Jelen esetben nekünk két gyártó termékei közül kellett választanunk, ami a GEZE és a Schüco.

4.1. Hatásos nyílásfelület számítása

Az épületek hő- és füstelvezetési rendszerének megtervezése során fontos szempont a hatásos nyílásfelület meghatározása. A hatásos nyílásfelület az az összfelület, amelyen keresztül a hő és a füst el tud távozni az épületből egy adott idő alatt.

Ennek meghatározása a következő lépésekből áll:

- Nyílászárók méretének és típusának meghatározása: Első lépésként meg kell határozni az épületen lévő összes nyílászáró (ablakok, ajtók stb.) méretét és típusát. Fontos figyelembe venni minden olyan nyílászárót, amelyen keresztül a hő és füst el tud távozni, ideértve azokat is, amelyek tűzjelző rendszerrel ellátottak és speciálisan erre a célra tervezettek.
- Nyílászárók összfelületének kiszámítása: A következő lépésben kiszámítjuk az összes nyílászáró összfelületét. Ehhez egyszerűen összeadjuk az egyes nyílászárók felületeit. Fontos figyelembe venni a különböző típusú nyílászárókat és azok méreteit.
- Hatásos nyílásfelület meghatározása: A hatásos nyílásfelület meghatározása során figyelembe kell venni a nyílászárók működését, például, hogy mennyire nyithatóak vagy zárhatóak. Ennek a számításnak az alapja lehet a ténylegesen rendelkezésre álló nyílásfelület egy százalékos része, mivel például az ajtók és ablakok nem mindig teljesen nyitva vagy zárva vannak.
- Szabványosított módszerek alkalmazása: A hatásos nyílásfelület számításához általában szabványosított módszereket alkalmaznak, amelyeket a tűzvédelmi szabványok (például az MSZ EN 12101) határoznak meg. Ezek a szabványok részletesen meghatározzák a hatásos nyílásfelület számításának eljárását és paramétereit.

- Mérés és ellenőrzés: Végül fontos ellenőrizni és mérni a valóságos nyílásfelületet az épületben, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy az elvégzett számítások és tervezések megfelelnek-e a valóságos körülményeknek.

A hatásos nyílásfelület meghatározása kulcsfontosságú szerepet játszik az épület hő- és füstelvezetési rendszerének hatékony tervezésében és működésében, és hozzájárul az épületben tartózkodó emberek biztonságához tüzesetek esetén.

Az OTSZ-ben meghatározott követelmények alapján, tudjuk azt, hogy a hatásos nyílásfelületnek az alapterület 3%-ára van szükség elvezetés esetén. Jelen átrium alapterülete $A_a = 97,59 \text{ m}^2$.

$$A_v = A_a \cdot 0,03 = 97,59 \text{ m}^2 \cdot 0,03 = 2,927 \text{ m}^2 \quad (1)$$

Nyitómotorok / Adatok	Schüco K75 típusú Láncosmotor (meglévő)	Schüco K75 típusú Láncosmotor (javasolt)	GEZE E 250 NT Csavarorsós motor (javasolt)
Lökethossz:	350 mm	500 mm	500 mm
Nyílás szélessége:	120 mm	386 mm	386 mm
4 ablak nyitása esetén a nyílásfelület:	0,6591 m ²	2,1201 m ²	2,1201 m ²
6 ablak nyitása esetén a nyílásfelület:	0,9886 m ²	3,1821 m ²	3,1821 m ²

1. táblázat A számítási eredmények összefoglaló eredményei

A vizsgálatok során kapott eredményeket az 1. táblázat mutatja be, amelyből látszik, hogy a megfelelő nyílásfelület csak 6 db ablak esetében teljesül a két javasolt típusnál.

5. Megoldási javaslat

Most jelenleg a Schüco által gyártott K75 típusú láncos motor van a nyílószárnyra fel- erősítve, amelynek a lökete 350 mm. Az ablak nem megfelelő beépítés miatt, nem képes elegendő nyílásfelületet biztosítani. Annak érdekében, hogy megfelelő hatásos nyílásfelületet érjünk el két javaslatot tudjuk adni:

- Nagyobb lökettel rendelkező láncos motor kiválasztása;
- Másik nyitó motor kiválasztása és annak működési mechanizmusának megtervezése.

A 350 mm-es lökettel rendelkező motorokat követi a 400 mm-es lökettű kategória. A számításokat figyelembe véve ez a lökethossz jelenhelyzetben nem megfelelő, így egy következő méretet tekintve 500 mm az, amit vizsgálni kell. Sikert is találnom mind a két javaslatra nyitómotort, melyeket a következőkben mutatnék be.

5.1. Első javaslat bemutatása

A jelenlegi K75 350 mm-es láncos motor, helyett egy nagyobb motorra van szükségünk. Viszont ugyanennek a K75-ös típusnak van 500 mm-es lökettel rendelkező kivitele is (3. ábra), amely már megfelelőnek bizonyul. Ugyanis a számítás során meghatározásra került, hogy a szárnyat 55°-ban kell minimum kinyitni ahhoz, hogy elérje azt a nyitási szélességet, amely megfelelő. Az 55°-hoz 486 mm löket tartozik, így tehát az 500 mm-es lökettel rendelkező láncos motor megfelelő választás.



3. ábra. Schüco K75 láncos motor

5.2. Második javaslat bemutatása

Az első megoldáshoz hasonlóan itt is egy 500 mm-es lökettel rendelkező 24 V feszültségen üzemelő motort választottam, mégpedig a GEZE által gyártott E 250 NT típusú csavarorsós motort. Beruházás szempontjából a költségeket tekintve ez a motor alacsonyabb árral rendelkezik, mint a láncos motor. Az egyetlen nehézség az alkalmazásában van. Fizikailag nem egyszerű megoldani úgy, hogy az praktikus és esztétikus legyen. Ennek megoldására egy egyedi elgondolású tartó állványt terveztünk annak érdekében, hogy működtethető legyen.



4. ábra. GEZE E 250 NT Csavarorsós motor

5.3. 3D modellezéssel nyitási mód vizsgálata

Az épületek tűzvédelmi rendszereinek hatékonysága és megbízhatósága kiemelten fontos a biztonságos környezet kialakításában. A hő- és füstelvezető rendszerek tervezése és optimalizálása során a megfelelő nyitási módok kiválasztása kritikus jelentőségű. A 3D modellezés lehetőséget nyújt arra, hogy részletesen vizsgáljuk és értékeljük a különböző nyitási mechanizmusokat, megkönnyítve ezzel a tervezési folyamatot és javítva a végeredmény minőségét. Ez a kutatás arra összpontosít, hogy átfogóan megértsük és optimalizáljuk a különböző nyitási módok hatékonyságát és teljesítményét a tűzveszélyes helyzetekben, hozzájárulva ezzel a biztonságosabb épített környezet kialakításához. A modellezés Creo modellezési környezetben valósult meg.

Láncos motor alkalmazása

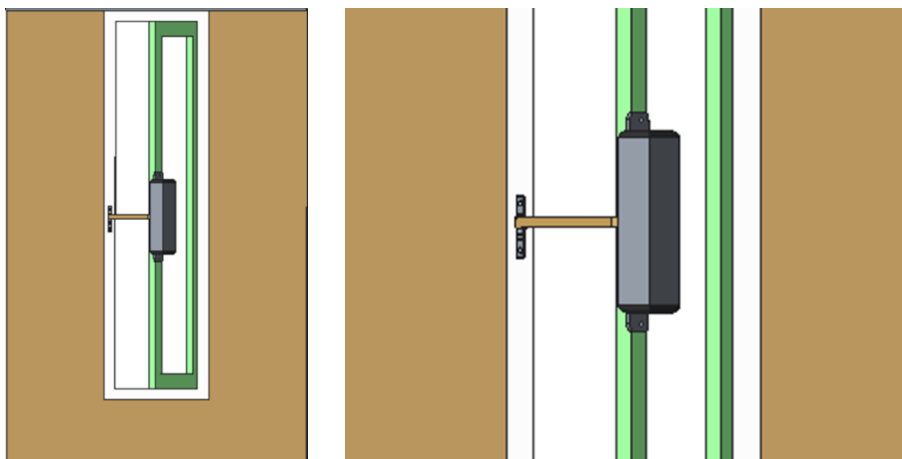
Egy láncos nyitó motorral működtethető elvezető nyílászárót készítettünk el 3D modellezéssel. Először kialakítottuk az oldalfalat, amelybe egy nyílást készítettünk. Következett a nyílászáró kerete és maga az ablak, melyeket egy összeszerelési modellben építettünk egybe, különböző kényszerzési parancsok segítségével.

A modellezés során a méretezési arányt 1:1-ben valósítottuk meg, hogy megfelelően szemléltethetővé tegyék a megoldást. A nyílászáró pontos méretét a jelenlegi elvezető pontos lemérésével tudtuk elkészíteni.

Majd külön elkészítettük a láncos motort, a motor tartókonzolt, amellyel a nyílászáróhoz erősíthetjük a motort. Ezeket is előzetesen egybeépítettük és utána a nagy összeállításunkba,

amelyben már a falrész és a nyílászáró már benne volt, hozzá adtuk és elhelyeztük a szárny középvonalában. Viszont még nem voltunk kész, mert nem volt mivel csatlakoznia a motornak a tokhoz, így egy szárnybakot készítettünk.

Végül minden alkatrész egy összeállítási modellben került összeszerelésre.



5. ábra Schüco K75 láncos motor 500 mm lökethosszal kapott modellezési eredményei

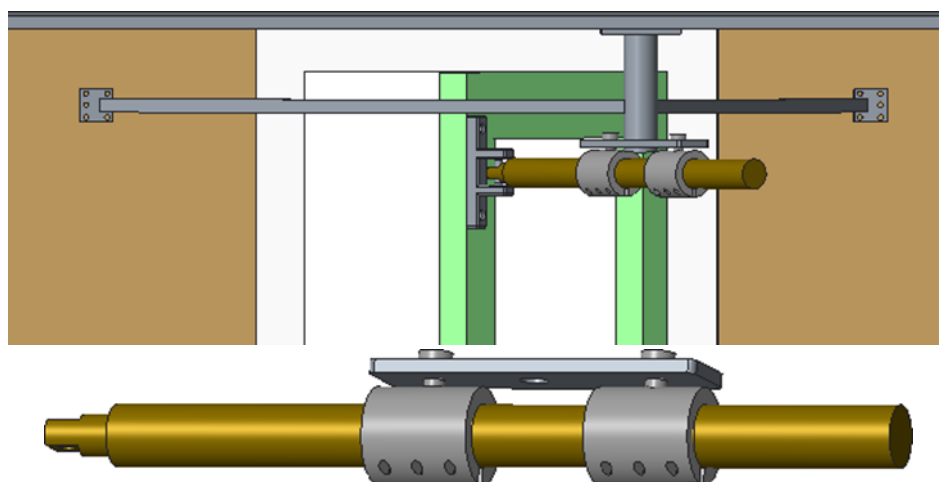
Csavarorsós motor alkalmazása

A csavarorsós motoros lehetőség alkalmazását, úgy helyeztük el, hogy közel legyen a nyílászáró felső részéhez és a tartóállványa a plafonhoz kapcsolódjon. A koncepciónk az, hogy a motor egy külön állványra van felerősítve. A motor tengelye a nyílászáró bakjához kapcsolódik. A motor nem végez függőleges és vízszintes irányú elmozdulást szárny mozgása közben, csak a rögzítési pontjának tengelye mentén fordul el, egy az állványba épített csapágy segítségével.

Az említett csapágyra azért van szükség, mert nyitás közben, amikor az orsós motor mozgatja a szárnyat a fix pozícióban rögzített motor és a szárny nem zárna be mindig 90 fokos szöget, így a csapágy segítségével le tudja követni a nyitást. Ezáltal kevesebb az esélye annak, hogy a motor meghibásodik és cserére szorul.

A modellezés során a korábban már a láncos motorhoz készített modellt dolgoztuk át. A falrész és a nyílászáró kivételével mindent eltávolítottunk az összeszerelésből. Először elkészítettük az állványt, amelyben helyet foglal egy csapágy is. Majd a nyitó motort és annak a tartó konzolját méreteztük be és építettük össze.

Amint elkészültünk az összes alkatrész lemodellezésével össze is építettük azokat, az alábbi képeken szemléltetnénk a végeredményt és bemutatnánk a főbb alkatrészeket.





6. ábra A csavarorsós változat modellezési eredményei

6. Összefoglalás

A munkánk három fő részből tevődik össze. Első részben ismertettük a hő- és füstelvezetés törvényi szabályozását, amelyeket az Országos Tűzvédelmi Szabályzat (OTSZ) X.fejezetében foglaltak és a vonatkozó Hő- és füst elleni védelem címmel rendelkező 3.4:2022.06.13 azonosító számmal ellátott Tűzvédelmi Műszaki Irányelvben (TVMI) határoztak meg.

A második fő részben a témához kapcsolódóan végeztünk irodalomkutatást, amely magába foglalta a hő- és füstelvezető rendszerek kialakításának szempontjait. A gravitációs hő- és füstelvezető rendszerek általában egy vagy több ablakon vagy kupolán keresztül valósulnak meg, amelyek a védett tér legmagasabb pontjain helyezkednek el. A friss levegő utánpótlása általában az épület alsó részén, egy ajtó vagy kapu kinyitásával történik.

A vezérlő központhoz kapcsolódó elemek, első sorban a nyílászárókat mozgató motorok kerültek még bemutatásra. A továbbiakban a lehetséges füstelvezetési megoldásokat ismertettük, mint a természetes, mechanikus, pneumatikus, elektromos és kombinált füstelvezetést.

A kutatásunkban egy elektromos nyitósú füstelvezetés kiépítésének a nem megfelelőségét vizsgáltuk és adtunk majd a későbbiekben javaslatokat arra, hogy milyen elektromos nyitómotorok azok, amelyek alkalmazásával megfelelő nyílásfelületet tudunk biztosítani. A tervezés és a kivitelezés során felmerülő hibalehetőségeket is megvizsgáltuk, melyek közé tartozik például a rosszul megválasztott nyílászárók vagy a nyitások megválasztása. A munkánk során is, egy közösségi rendeltetésű épület felújítását végezték és azokat a nyílászárókat, amelyek füstelvezetést is biztosítanak túlságosan mélyre helyezték a nyílásban, így nem elegendő hatásos nyílásfelület alakul ki a korábban már megtervezett nyitómotorral.

Végezetül foglalkoztunk az előbb említett kivitelezési hibának a megoldási lehetőségeivel. A vázolt megoldásokat számításokkal támasztottunk alá és 3D modellezéssel szemléltettünk. Két megoldási javaslatot dolgoztunk ki a hiba elhárítására. Az első, hogy az eredetileg tervezett láncos nyitómotort egy nagyobb lökettel rendelkező láncos motorra cseréljük ki. A második javaslatunk pedig egy másik nyitómotor alkalmazása hasonlóképpen növelt lökettel, amelynek működéséhez egy külön állványszerkezetet terveztünk meg a helykorlátok kiküszöbölésére.

Irodalomjegyzék

- [1] Meacham, B.J. Fire performance and regulatory considerations with modern methods of construction, Buildings and Cities, 2022 3(1), p. 464–487. Available at: <https://doi.org/10.5334/bc.201>.
- [2] 54/2014. (XII. 5.) BM rendelet az Országos Tűzvédelmi Szabályzatról
- [3] BM OKF: Hő és füst elleni védelem – TvMI 3.4:2022.06.13, 2022
- [4] CIBSE. Guide E: Fire Safety Engineering. Chartered Institution of Building Services Engineers, 2019, ISBN 9781912034291
- [5] Klotz, J.H., & Milke, J.A.. Principles of Smoke Management. ASHRAE, 2002, ISBN 1-883413-99-0
- [6] NFPA 92: Standard for Smoke Control Systems. National Fire Protection Association. 2021
- [7] BS 7346-4:2003. Components for smoke and heat control systems.

Az ergonómiai fejlesztés lehetőségei és kihívásai egy elektronikai gyártó vállalatnál¹Zákányi Balázs, ²Balázs Bálint, ³Szabó Mihály, ⁴Zákányiné Mészáros Renáta^{1,2,3,4} Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar

balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

A vizsgált elektronikai gyártó cégnél végzett vizsgálatok során számos ergonómiai kihívással találkoztunk, amelyek megoldása jelentős hatással volt a termelékenységre és a munkavállalók jólétére. A gyári évi kockázatcsökkentő tervének felülvizsgálatakor is feltűnt a számunkra, hogy az ergonómiára visszavezethető tényezők folyamatosan benne vannak a TOP 6 fennmaradó kockázat között. A kutatásunk célja, hogy összegyűjtsük és rendszerezzük a már bevezetett ergonómiai fejlesztéseket, valamint azonosítsuk a jövőbeli fejlesztési lehetőségeket. Az ergonómiai csomagban foglalt javaslatok célja, hogy segítsék a hasonló vállalatokat a gyártási folyamatok ergonómiai szempontú megtervezésében és kivitelezésében, ezáltal növelve a hatékonyságot és a munkavállalók elégedettségét. Ez a megközelítés nemcsak a termelékenységet növeli, hanem hozzájárul a munkavállalók egészségének és jólétének megőrzéséhez is, ami hosszú távon fenntartható és sikeres működést eredményez.

Kulcsszavak: munkavédelem, EHS, ergonómia, elektronika ipar

1. Bevezetés

A modern ipari környezetben egyre nagyobb hangsúlyt kap az ergonómia szerepe. A vizsgált elektronikai gyártó cégnél szerzett tapasztalatok alapján elmondható, hogy a termelési hatékonyság szoros összefüggésben áll a dolgozók fizikai megterhelésével és komfortérzetével. A vállalat 2024-es és 2025-ös kockázatcsökkentési terveiben az ergonómiával kapcsolatos kockázatok – például megerőltetés, kényszersértés – folyamatosan a TOP 6 között szerepelnek.

TOP 6 Fennmaradó kockázat	Átlagos fennmaradó kockázat	Összesített fennmaradó kockázat
Tűzveszély, éghető por veszélye	171	2521
ERGONÓMIA (megerőltetés)	98	11411
Anyagok, szerszámok, termékek leesése	96	7608
ERGONÓMIA (kényszersértés)	95	15763
Kéz becsípődése, elkapása, mozgó alkatrészek (gépek, termék)	94	13401
Éles tárgyak, vágott felület (vágószerszámok)	85	1776

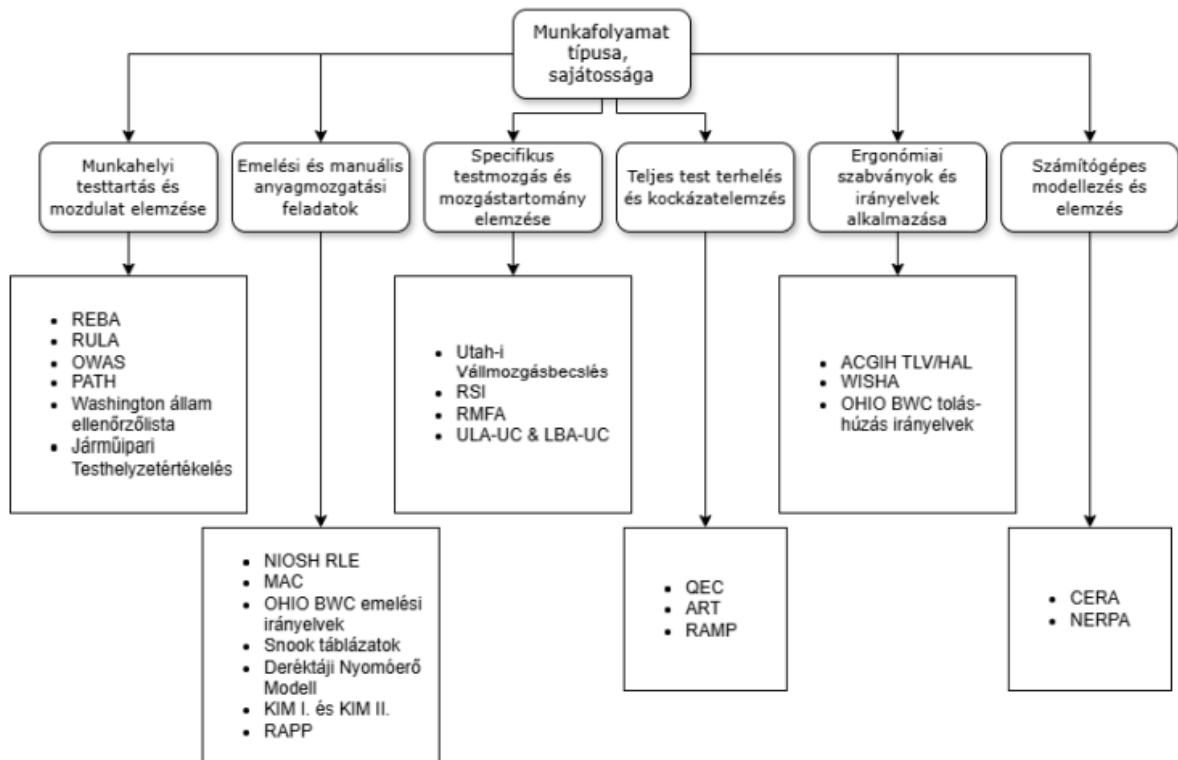
1. ábra: Kockázatcsökkentési terv

2. Az ergonómiai kihívások rendszerezése

A feltárt problémák közé tartoznak: a kézi anyagmozgatás okozta túlterhelések, ismétlődő, monoton mozdulatok, nem megfelelő testtartások és nem ergonomikus munkakörnyezetek. Ezek hosszú távon mozgásszervi megbetegedésekhez (MSD) vezethetnek, amelyek csökkentik a dolgozók munkaképességét és növelik a hiányzások számát. A fizikai igénybevétel mellett a mentális terhelés is növekedhet, ha a munkakörnyezet nem támogatja a kényelmes és hatékony munkavégzést.

3. Alkalmazott ergonómiai elemző módszerek

Kutatásunkban összegyűjtöttük az ergonómia területén használható elemzési módszereket [1], amelynek eredményeit a 2. ábrán mutatunk be.



2. ábra: Elemző módszerek csoportosítása a munka-folyamat típusa és sajátosságuk szerint

A vizsgált vállalatnál több, nemzetközileg is elismert módszert alkalmaznak, amelyek a következők:

- A REBA (Rapid Entire Body Assessment) és a RULA (Rapid Upper Limb Assessment) módszerek segítségével a munkavállalók teljes testtartásának, illetve felső végtagjainak terhelését vizsgálták [2].
- A MAC (Manual Handling Assessment Charts) és a RAPP (Risk Assessment of Pushing and Pulling) módszerek az anyagmozgatásra irányuló kockázatok elemzésében nyújtottak támogatást [3].

Az alkalmazott elemző módszerek lehetővé tették a legkritikusabb munkafolyamatok ergonómiai szempontból történő rangsorolását.

7. Ergonómiai problémák feltárása és javasolt megoldások

Nehéz eszköz mozgatása

A folyamat: A Fuji modulok (3. ábra) mozgatása a gyártócsarnok különböző pontjai között jelentős fizikai terhelést jelent a gépkarbantartók számára. A modulok és a szállító kocsi együttes tömege 700 - 1000 kg között változik, típustól függően, melyből a szállító kocsi önmagában 300 kg. A műhely és a gyártósortok közötti távolság oda-vissza átlagosan 100 méter, amit a dolgozóknak rendszeresen meg kell tenniük.



3. ábra: FUJI modulszállító kocsi

Probléma: A probléma abból adódik, hogy a nagy tömegek mozgatása rendkívül megterhelő fizikailag a dolgozók számára, amit az ergonómiai elemzések is alátámasztanak. Két fő végzi a mozgatást, ami tovább növeli a megterhelést a koordináció összehangolása miatt és így a sérülés kockázatát. Az ergonómiai elemzések kimutatták, hogy a jelenlegi módszerek nem megfelelőek a dolgozók egészségének megőrzése szempontjából (4. ábra). További problémát jelent, hogy a szállító kocsi hátsó kerekei nem alkalmasak egyenes vonalú toláshoz/húzáshoz, mivel nem rögzíthető le az irányuk, így oldalra csúsznak, ami tovább nehezíti a mozgatást. Vontatás közben a hátsó kerekeket egyenesben kell rögzíteni, hogy elkerüljék az oldalirányú elmozdulást, ami további balesetveszélyt jelenthet.

Húzás, tolás (RAPP) tool			
Tényezők	Kis eszköz	Közepes eszköz	Nagy eszköz
	Pontszám	Pontszám	Pontszám
A-1 Teher súlya		8	
A-2 Testhelyzet		3	
A-3 Fogás		0	
A-4 Munkamódszer		0	
A-5 Megtett távolság		3	
A-6 Eszköz állapota		2	
A-7 Padló		0	
A-8 Fellelhető akadályok		0	
A-9 Egyéb tényezők		1	
Összpontszám	0	17	0

Húzás, tolás (RAPP) tool			
Tényezők	Kis eszköz	Közepes eszköz	Nagy eszköz
	Pontszám	Pontszám	Pontszám
A-1 Teher súlya		0	
A-2 Testhelyzet		3	
A-3 Fogás		0	
A-4 Munkamódszer		0	
A-5 Megtett távolság		3	
A-6 Eszköz állapota		2	
A-7 Padló		0	
A-8 Fellelhető akadályok		0	
A-9 Egyéb tényezők		1	
Összpontszám	0	9	0

4. ábra: RAPP elemzés eredménye a fejlesztés előtt és után

Javasolt ergonómiai fejlesztés: Keret felszerelése a modul szállító kocsira és elektromos vontatósegéd használata a kocsi mozgatásához. Továbbá rögzíthető iránnyal rendelkező kerekek felszerelése a modulszállító kocsikra.

Ergonómiai szempontból a következő előnyök várható:

- Csökkentett fizikai erőfeszítés: Az elektromos vontatósegéd jelentősen csökkenti a karbantartók által kifejtett fizikai erőfeszítést, mivel a gép végzi a nehéz terhek

mozgatását. Ez különösen fontos az 1000 kg-os terhek esetében, amelyek kézi mozgatása rendkívül megterhelő lehet.

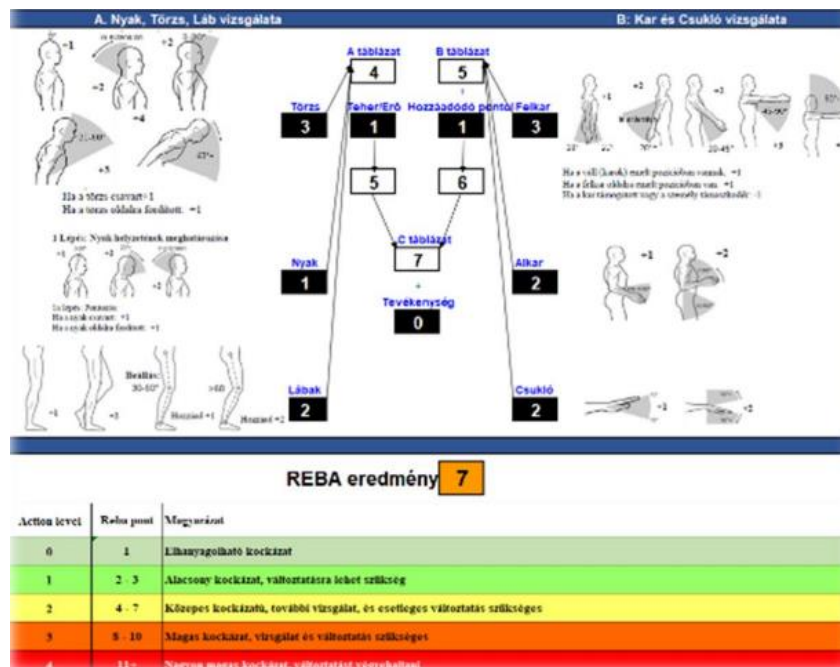
- Az elektromos vontatósegéd használata csökkenti a mozgásszervi megbetegedéseket (MSD-k) kockázatát, mint például a hátfájás és az izomfeszülés, mivel a karbantartók nem kell nehéz terheket tolniuk vagy húzniuk.

Termék mozgatás ergonómiai kihívásai

A folyamat: A dolgozó kiveszi az alkatrészt dobozból, a csomagolásból majd a kocsira helyezi. Miután össze lett szerelve a termék áttesz a teszt kocsira.

Probléma: Az alkatrész dobozból és csomagolásból való kivételekor a dolgozó túlzott igénybevételnek teszi ki az al- és felkarját. Az alkatrész tömege 9 kg.

Terhelés ergonómiai felmérését az 5. ábrán mutatjuk be [4].

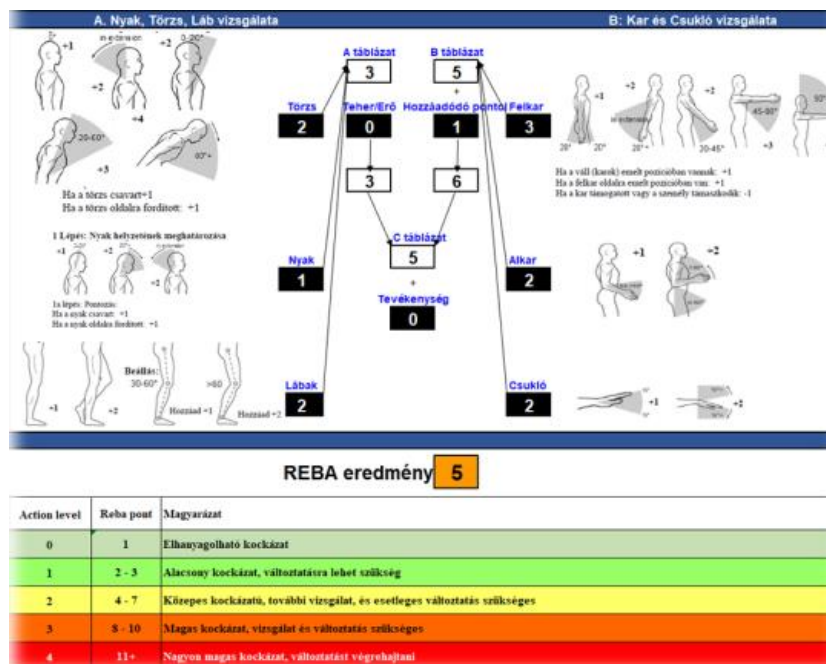


5. ábra: REBA módszerrel kapott eredmény a fejlesztés előtt

Javasolt ergonómiai fejlesztés: Hapo front exoskeleton alkalmazása, amely képes a karok igénybevételét csökkenteni a könyököket megtámasztva. Csökkenti az MSD kialakulásának esélyét. Előnyei:

- nagyon könnyű: 1,3 kg,
- nem igényel külső energiaforrást,
- felvétel ideje: <50s,
- levétel ideje: <20s,
- lélegző anyag.

Várható eredmény a fejlesztés után (6. ábra): A terhet könnyebb felvenni, mozgatni mivel a megválasztható előfeszítés jóvoltából a 2x2 vagy 2x3 kg-ot az exoskeleton szerkezete vesz fel, így csökkentve a könyök (vele együtt a felkar) terhelését.



6. ábra: REBA módszerrel kapott eredmény a fejlesztés után

A javasolt ergonómiai megoldás további helyeken is bevezethető egy másik típusú exoskeletonnal (APEX 2 Herowear exoskeleton alkalmazása), úgymint:

- Késztermék szedése;
- A PCB rakodás folyamata;
- MRO raktár vegyianyag áruk mozgatása.

4. PCB tároló magazin mozgatása

A PCB tároló magazin egy olyan eszköz, amelyet nyomtatott áramkört lapok (PCBk) tárolására és szállítására használnak. Ezek a magazinok általában elektrosztatikus kisülés (ESD) elleni védelemmel vannak ellátva, hogy megóvják a PCB-ket a sérülésektől. A magazinok különböző méretekben és kapacitásokban érhetők el, és gyakran tartalmaznak gyorsan állítható rögzítő mechanizmusokat a könnyű használat érdekében.

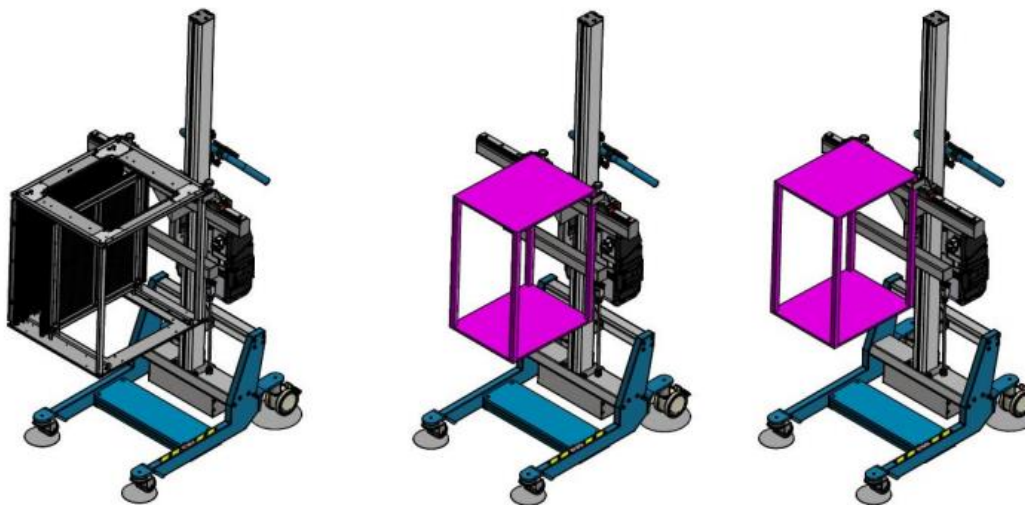
Másik legjelentősebb mozgásszervi hatás a PCB-vel töltött magazinok ki- és betöltése a gépekbe, illetve a magazintároló kocsikba. Ezek emelése során a dolgozóknak koncentrálni kell arra is, hogy ne csúszhassanak ki a PCB-k a magazinból, így kevésbé lehet figyelni az emelés helyességére [5]. A magazinok össztömege gyakran meghaladja az egy személy által emelhető maximumot, ami további problémát eredményez. Az előbb említett esetben szükséges előírni, hogy legalább 2 fő emelje a magazint. Ennek kivitelezésére általában nem áll rendelkezésre a helyszínen egy második személy, ezáltal a lassítva a mozgatás folyamatát.

Ennek kiküszöbölésére egy mozgatószerkezet létrehozása, a cél, amellyel különösebb izomerő használata nélkül lehetséges a magazinokat a tárolókocsikra, gépekre rakodni és pozícionálni.

Tervezés eredménye

Az elektromos magazinemelő segéd egy innovatív eszköz (7. ábra), amely megkönnyíti a nehéz magazinok mozgatását és pozícionálását a gyártási folyamatok során. Az eszköz ergonomikus kialakítása csökkenti a fizikai megterhelést, és növeli a munkavégzés hatékonyságát. Az elektromos emelőrendszer gyors és pontos mozgatást tesz lehetővé, míg a beépített akkumulátor biztosítja a szükséges mobilitást a gyártócsarnokban. Az eszköz használata nem igényel külön

jogosítványt, így könnyen integrálható a meglévő munkafolyamatokba, és hozzájárul a munkavállalók egészségének megőrzéséhez.



7. ábra A megtervezett magazin emelő berendezés sematikus ábrája

5. Fejlesztési lehetőségek és javaslatok

A jövőbeli fejlesztésekhez az alábbiakat javasoljuk:

- Teljes Ergonómiai Menedzsment (TEM) bevezetése, amely integrált módon kezeli az ergonómiai problémákat [6],
Felhasználóközpontú tervezés (UCD) alkalmazása már a munkafolyamatok kialakításakor, valamint képzések és visszacsatolás – a dolgozók bevonása a fejlesztési folyamatokba.
A legjobb eredmények elérése érdekében fontos az ergonómiai kultúra mélyítése a vállalatban belül.

6. Összefoglalás

Az ergonómiai fejlesztések nemcsak az egyéni egészségmegőrzést szolgálják, hanem jelentős gazdasági hatással is bírnak. A betegszabadságok számának csökkenése, a dolgozói fluktuáció mérséklése és a munkavégzés hatékonyságának javulása mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a vállalat versenyképesebb legyen. Egyes tanulmányok szerint minden egyes ergonómiára költött dollár 2–6 dollárnyi megtakarítást hozhat hosszú távon a cégeknek. A beruházások tehát nemcsak társadalmi, hanem pénzügyi szempontból is megtérülnek.

Az ergonómiai fejlesztések csak akkor lehetnek tartósak és hatékonyak, ha a vállalati kultúra is támogatja őket. Ez magában foglalja a vezetőség elköteleződését, a dolgozók bevonását és a folyamatos visszacsatolást. A vállalatoknak érdemes belső ergonómiai felelősöket kinevezni, akik rendszeres elemzésekkel és javaslatokkal támogatják a fejlesztési folyamatokat. A tréningek, oktatások és tudásmegosztó fórumok szintén hozzájárulnak a tudatos ergonómiai gondolkodás elterjedéséhez.

Az ergonómia több mint egyszerű munkakörnyezet-fejlesztés: átfogó vállalati stratégiai eszköz. Megfelelően alkalmazva képes javítani a munkahelyi légkört, növeli a dolgozói elköteleződést, csökkenti a sérülések számát és emeli a termelés színvonalát. A vizsgált cég példája jól mutatja, hogyan lehet tudatos, adatvezérelt és innovatív fejlesztési programokat megvalósítani, amelyek egyszerre szolgálják a munkavállalók és a szervezet érdekeit.

Irodalomjegyzék

- [1] Dul, J., & Weerdmeester, B. (2008). *Ergonomics for Beginners: A Quick Reference Guide*, Third Edition (3rd ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420077520>
- [2] McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), 91–99.
- [3] Health and Safety Executive (HSE). (2004). *Manual Handling Assessment Charts (MAC)*
- [4] Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). *Applied Ergonomics*, 31(2), 201–205.
- [5] Waters, T. R., Putz-Anderson, V., Garg, A., & Fine, L. J. (1993). Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks. *Ergonomics*, 36(7), 749–776.
- [6] Schneider, E., Irastorza, X., & Cockburn, W. (2010). *Improving occupational safety and health in SMEs: Examples of effective assistance*. European Agency for Safety and Health at Work.

Főbb foglalkozási megbetegedések megelőzésének és a munkaképesség fenntartásának javaslatai az egészségügyi munkavédelemben

¹Zákányi Balázs, ²Dédesiné Géczi Andrea, ³Szabó Mihály, ⁴Zákányiné Mészáros Renáta
^{1,2,3,4} Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

Az egészségügyi ágazatban dolgozók munkája fokozottan kockázatos területnek számít és számos kockázattal kell szembenézniük, mint például a biológiai, kémiai, a túlterhelésből adódó pszichés kockázatok, ionizáló sugárzások, a fizikai terhelésből és az éjszakai munkából adódó terhelések egyaránt sújtják a dolgozókat [1]. Ezek a kockázatok nagymértékben hozzájárulhatnak különböző foglalkozási megbetegedések kialakulásához. A kutatás célja, hogy áttekintse az egészségügyi dolgozókra jellemző leggyakoribb foglalkozási megbetegedéseket, azok kockázati tényezőit, kérdőíves módszerrel felmérje a dolgozók egészségi állapotát, a mindennapi munkavégzés során felmerülő problémákra rámutasson, valamint az ezek megelőzésére alkalmazható stratégiákat megvilágítsa.

Kulcsszavak: munkavédelem, EHS, egészségügy, foglalkozási megbetegedés

1. Bevezetés

Az egészségügyi dolgozók munkakörnyezete komplex és dinamikus, mivel számos különböző munkaterületen és szakmában dolgoznak, melyek mind egyedi kihívásokat és kockázatokat hordoznak [2]. Az egészségügyi környezet magában foglalja a kórházakat, klinikákat, rendelőintézeteket, otthoni ápolást és sürgősségi ellátást, valamint a laboratóriumi és diagnosztikai központokat [3].

2. Adatgyűjtés

Munkánk során kérdőíves módszerrel tártuk fel az egészségügyben dolgozó válaszadók munkaképességét, egészségi állapotát és a foglalkozási megbetegedésekkel kapcsolatos tapasztalataikat.

Kutatásainkat két kérdőívre alapoztuk. Első kérdőívemet az egészségügyi dolgozóknak szántuk, általánosságban minden dolgozó részére. Egy másik kérdőívet pedig kifejezetten a műtőben dolgozók részére állítottunk össze.

2.1. Adatgyűjtés formája

Online kérdőíves módszert választottunk kérdéseink feltevésére, mert ez a módszer a leginkább elterjedt, és lehetővé teszi a válaszadók gyors elérését. Az interneten keresztül a Googl Forms felületén állítottuk össze kérdéseinket a témában. Az elkészült kérdőívet a közösségi média különböző szakmacsoportjaiban tettük közzé.

Az adatgyűjtést 2024. július 10.-től 2024. augusztus 20.-ig végeztük, mely során 34db kérdőívet kaptunk vissza a szakdolgozóktól és 92 db kérdőívet a műtőben dolgozók köréből. A kitöltők tekintetében a kérdőív reprezentatívnak mondható, mivel mind nemek mind korcsoport eloszlás alapján széles spektrumot ölel fel. A kérdőívek mind értékelhetőek voltak.

2.2. Kérdéstípusok

A kérdőív kialakításakor többféle kérdéstípust választottunk, attól függően, hogy milyen típusú információra volt szükség.

- Zárt kérdések: Előre meghatározott válaszlehetőségeket adtunk meg, amelyeket a válaszadónak ki kell választania (pl. igen/nem, skálás kérdések).
- Nyitott kérdések: A válaszadó szabadon kifejtette véleményét vagy tapasztalatait, amely lehetőséget adott a mélyebb tartalmi kifejezésre.
- Félig zárt kérdések: zárt és nyitott kérdéseket kombináltuk, az előre megadott válaszok mellett a válaszadó egyéb lehetőségeket is hozzáadhatott, akár saját véleményét is kifejtethetett.

A válaszadók személyes adatainak védelme, anonimitása elsődleges szempont volt, ezért ilyen adatokat nem is kérdeztünk tőlük.

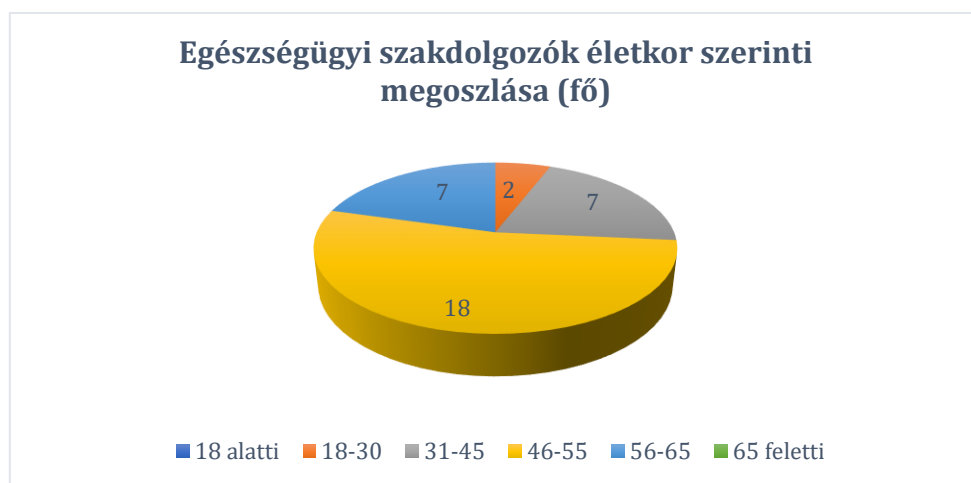
2.3. A kérdőíveket kitöltők jellemzése

A szakdolgozók körében kiosztott kérdőíveket kitöltők száma 34 volt. A nemek arányát tekintve a válaszadók 8,8%-a (3 fő) férfi és 91,2%-a (31 fő) nő volt.

Életkori megoszlásaikat tekintve (1. ábra), a kitöltők legnagyobb hányada 52,9% (18 fő) 46-55 év közötti, 20,6%-a (7 fő) életkora 31-45 év közöttire tehető, valamint szintén 20,6%-a (7 fő) 56-65 év közötti. A válaszadók legkisebb hányada 5,9% (2 fő) tartozik a 18-30 éves korosztályba.

A visszakapott kérdőívek értékelése közben megállapítottuk, hogy nagy részben szakdolgozóktól kaptunk választ, 91,2%-ban (31 fő), 5,9%-ban (2 fő) adminisztrációs munkakörben dolgozóktól, 2,9% (1 fő) pedig biológustól.

A válaszadók iskolai végzettségét tekintve 54,5%-ban szakközépiskolai, 39,4%-ban főiskolai, és 6,1%-ban egyetemi végzettséggel rendelkeztek.

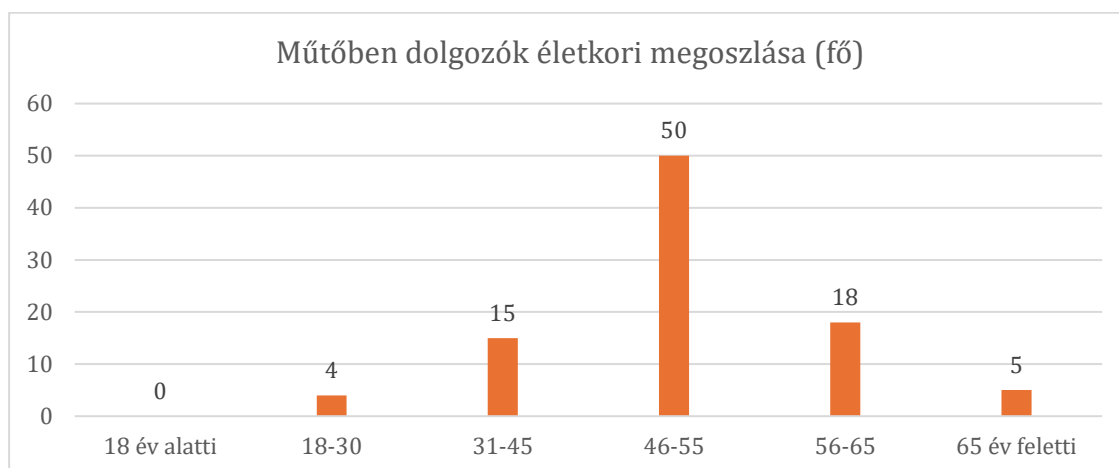


1. ábra Egészségügyi szakdolgozók életkor szerinti megoszlása (forrás: szerző)

A válaszadó munkavállalók 52%-a (18 fő) nappali, 35,3% (12 fő) váltott, 2,9% (1 fő) éjszakai műszakban, 8,8% (3 fő) nappali ügyeleti rendszerben dolgozik.

2.4. Műtőben előforduló egészségkárosító kockázatok kiértékelése

A műtőben dolgozók körében kiosztott kérdőív feldolgozása során 92 kérdőívet kaptunk vissza. A válaszadók 93%-a nő és 7%-a férfi volt. Szakképesítésüket tekintve 96,7%-ban műtős szakasszisztentstől, 2,2%-ban műtőssegédtől, 1,1%-ban pedig aneszteziológiai szakasszisztentstől kaptunk választ. Életkori megoszlás tekintetében a válaszadók 56,2%-a (50 fő) 46-55 év közé tehető, 15,7% (15 fő) 31-45 év, 19,1% (18 fő) 56-65 év közötti, 4,5% (5 fő) 65 év feletti életkorba tartozik. A fiatal 30 év alatti korosztályhoz csupán a megkérdezettek 4,5%-a (4 fő) tehető. (2. ábra)



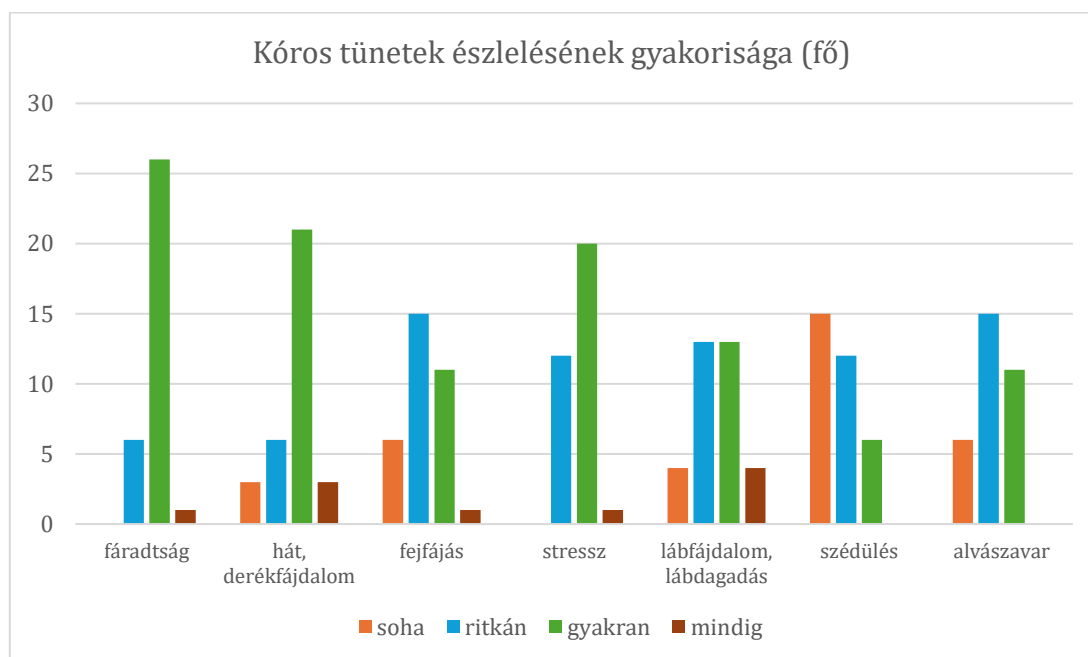
2. ábra Műtőben dolgozók életkori megoszlása

Kérdőívekkel felmértük, hogy a válaszadó dolgozók mennyi ideje dolgoznak a műtőben. Legnagyobb százalékban 37,8% 31 évnél több ideje, ugyancsak nagy százalékban 33,3%-a dolgozóknak 21-30 éve dolgozik a műtőasztal mellett. A kisebb csoportba tartoztak a 11-20 éve dolgozók 8,9%, a 6-10 év közötti időszakra a dolgozók 7,8%-a tehető, 12,2% pedig 1-5 éve dolgozik a műtőben.

3. Eredmények, következtetések és megoldási javaslatok

Az életkor felmérését tekintve megállapítható, hogy a műtőben dolgozók összesen 79,8%-ban idősebbek 45 évnél. Ebből azt a következtetést tudjuk levonni, hogy kevés ezen a területen az utánpótlás, előregedik a szakma. Ennek okában a nagyfokú fizikai és lelki megterhelést látjuk, valamint az új műtéstechnikai fejlődés nagyfokú szakmai tudást, továbbképzést, felkészültséget igényel. A fiatalabb generáció mára a könnyebb, nem megterhelő munkavégzést keresi.

3.1. Első kutatási kérdés volt, hogy melyek a leggyakoribb foglalkozási megbetegedések az egészségügyi dolgozók körében és milyen gyakorisággal fordulnak elő?



3. ábra Kóros tünetek észlelésének gyakorisága egészségügyi dolgozók esetében

A feltett kérdésekből megállapítottuk, hogy az egészségügyben dolgozó munkavállalók legnagyobb munkából adódó egészségkárosodása mozgásszervi eredetűnek bizonyult. Ennek oka lehet a már vizsgált szakmában dolgozók életkora, túlnyomó többséggel a szakdolgozók több mint 30 éve dolgoznak ezeken a munkaterületeken. A szakma „előregedése”, az évek hosszú sora alatt végzett fizikai megterhelő munka elsősorban a mozgásszervrendszerét támadja meg. A mozgásszervi megbetegedések mellett jelentős mértékben jellennek meg szív és érrendszeri megbetegedések. A gyakori fáradtság, kialvatlanság, a többműszakos munkarendnek és a hosszú, 12 órás műszakoknak tudható be. Az egészségügyi dolgozók gyakran hosszú időn keresztül állnak vagy végeznek fizikai munkát, ami megterheli az izomrendszert és az ízületeket.

Megoldási javaslatok:

Véleményünk szerint az egészségügyi dolgozók foglalkozási megbetegedéseinek hatékonyabb szűrését érdemes megfontolni.

- Kiterjesztett egészségügyi ellenőrzések: Évente legalább egyszer a már meglévő kötelező szűrővizsgálatok (tüdőszűrés, labor vizsgálat) mellett, ki kellene terjeszteni egyéb vizsgálatokkal is az alkalmassági vizsgálatokat. Fontos lenne a mentális és pszichoszociális egészségre is odafigyelni.
- Kockázati tényezők felmérése: Külön figyelmet kell fordítani a munkakörnyezetből adódó kockázati tényezők azonosítására, például a fizikai terhelés, a stressz és az ergonómiai problémák szűrésére is.
- Mentális egészség támogatása: A pszichés állapot rendszeres értékelése, például anonim kérdőívek vagy interjúk révén, hogy azonosítani lehessen a stresszt, a szorongást vagy a kiégés jeleit.
- Ergonómiai értékelés: A munkakörnyezet ergonómiai szempontú felmérése és a dolgozók tréningje a helyes testtartásra és mozgásra, hogy csökkentsék a mozgásszervi problémák kialakulásának kockázatát.
- Oktatás és tudatosság növelése: Rendszeres képzések és workshopok szervezése, amelyek a foglalkozási megbetegedések megelőzésére, a stresszkezelésre és az egészséges életmódra fókuszálnak.
- Támogató rendszerek kialakítása: A munkahelyi támogatás erősítése, például mentálhigiénés tanácsadók elérhetősége vagy támogató csoportok létrehozása a dolgozók számára.
- Adatgyűjtés és elemzés: A foglalkozási megbetegedések nyomon követésére szolgáló adatbázis létrehozása, amely segíthet azonosítani a problémákat és a trendeket a munkahelyi egészség javítása érdekében.
- Feedback rendszer: Rendszeres visszajelzések gyűjtése a dolgozóktól a munkahelyi környezetről, stresszszintről és általános jólétről, hogy folyamatosan javítani lehessen a munkakörülményeket.

Ezek a javaslatok segíthetnek az egészségügyi dolgozók foglalkozási megbetegedéseinek korai felismerésében és megelőzésében, ezáltal javítva a munkakörnyezetüket és általános jólétüket.

3.2. Második kutatási kérdés volt, hogy hogyan befolyásolja az egészségügyi dolgozók mozgásszervi egészségét a munkakörből adódó fizikai terhelés?

A kérdőív feldolgozásából kiderült, hogy az egészségügyi dolgozók mozgásszervi egészségét jelentősen befolyásolja a munkakörből adódó fizikai terhelés.

Az egészségügyi dolgozók mozgásszervi megbetegedései több tényezőre vezethetők vissza. Az egészségügyi dolgozók gyakran hosszú időn keresztül állnak vagy végeznek fizikai munkát, ami megterheli az izom- és ízületi rendszert. Betegek emelése, mozgatása vagy pozicionálása során a helytelen testtartás és a nagy terhelés hozzájárulhat a sérülésekhez. Az ismétlődő mozgások, mint például az infúziók vagy injekciók beadása, szintén vezethetnek izomfeszültséghez és fájdalomhoz. A hosszú kórházi folyosók napi többszöri megjárása a térd, csípő ízületek megterhelését vonja maga után. A magas stresszszint, ami gyakori az egészségügyi szektorban, hozzájárulhat a feszültséghez és a mozgásszervi problémákhoz. Az ergonómiai szempontok figyelmen kívül hagyása, például a rosszul megtervezett munkahelyek és eszközök használata, fokozhatja a sérülések kockázatát. A dolgozók fizikai kondíciója is befolyásolja a megbetegedések kockázatát; a megfelelő izomerő és rugalmasság hiánya hajlamosíthat a problémákra.

Megoldási javaslatok:

Az egészségügyi dolgozók mozgásszervi megbetegedéseinek kiküszöbölésére és kondíciójuk javítására a következő módszerek bevezetését javasolnánk:

- **Ergonomikus munkakörnyezet kialakítása:** A munkaterületek átalakítása, hogy az ergonomikus elveken alapuljon. Ez magában foglalja az állítható magasságú ágyakat, székeket és a megfelelő eszközök használatát a betegek mozgatásakor.
- **Rendszeres testmozgás:** A dolgozóknak javasolt rendszeres testmozgás, mint például nyújtás, erősítő gyakorlatok vagy aerobik, amelyek segítenek megelőzni a mozgásszervi problémákat. A munkáltatónak lehetőséget kellene biztosítani gyógytornára, erre a kérdőívek kiértékelésekor kiderült, hogy igény az lenne rá a dolgozók részéről.
- **Oktatás és tréningek szervezése:** Képzések tartása a helyes emelési technikákról, testtartásról és a mozgásszervi problémák megelőzéséről. Ezenkívül fontos a stresszkezelésről és a relaxációs technikákról való oktatás is.
- **Pihenési és szüneti időszakok:** A munkaidőben kötelező szünetek bevezetése, amelyek lehetővé teszik a dolgozók számára a felfrissülést és az izmok pihentetését.
- **Támogató munkahelyi kultúra:** A munkahelyi környezet támogatása és az egészséges életmód népszerűsítése, beleértve a munkahelyi sportprogramok és egészségnapok szervezését.
- **Fizioterápia és rehabilitáció:** Akik már tapasztaltak mozgásszervi problémákat, részesülhetnek fizioterápiás kezelésben, hogy javítsák állapotukat és rehabilitációs gyakorlatokat végezzenek.
- **Stresszkezelési technikák:** A dolgozóknak megtanítani különböző stresszkezelési technikákat, például légzőgyakorlatokat, meditációt vagy mindfulness-t, hogy csökkentsék a stressz szintjüket.
- **Célzott rendszeres orvosi szűrések:** A mozgásszervi problémák korai felismerésére szolgáló szűrővizsgálatok rendszeres végzése, amelyek lehetővé teszik a prevenciós intézkedések korai bevezetését.
- **Új védőfelszerelések bevezetése:** Javasolnánk a lábfájdalom és lábdagadás megelőzésére és a keringés javítására egyéni védőfelszerelésként bevezetni a kompressziós harisnyákat. Másik javaslatom a megfelelő, kényelmes munkacipő biztosítása. Ezt kérdőívre válaszadók egyéni hozzászólásánál megemlítették, hogy jó lenne, ha a munkáltató biztosítaná részükre.

Ezen intézkedések bevezetése véleményünk szerint segítenének csökkenteni a mozgásszervi megbetegedések előfordulását és javítanák az egészségügyi dolgozók kondícióját, ezáltal növelve a munkavégzés hatékonyságát és a dolgozók elégedettségét.

3.3. Harmadik kutatási kérdés volt, hogy milyen mértékben járul hozzá a munkahelyi stressz és az érzelmi megterhelés a mentális betegségek kialakulásához egészségügyi dolgozók körében?

A munkahelyi stressz és az érzelmi megterhelés jelentős mértékben hozzájárul a mentális betegségek kialakulásához az egészségügyi dolgozók körében. Kérdőívek feldolgozásából az alábbi következtetéseket vontuk le.

Az ápolók pszichoszomatikus megbetegedései és mentális egészségük mögött több tényező állhat. A magas munkaterhelés és a túlórák stresszt és feszültséget okozhatnak, amelyek fizikai tünetekben is megnyilvánulhatnak. A betegek szenvedése, halála és a gyászos helyzetek mind érzelmi megterhelést jelentenek, ami pszichoszomatikus problémákhoz vezethet. Ha a dolgozók nem rendelkeznek megfelelő stresszkezelési technikákkal, a felhalmozódott feszültség fizikai panaszokhoz vezethet. Az alacsony morál, a támogatás hiánya és a konfliktusok a munkahelyen hozzájárulhatnak a pszichés és fizikai problémákhoz. Az dolgozók gyakran nagy felelősséget éreznek a betegek egészségi állapota iránt, ami szorongáshoz és stresszhez vezethet. A megfelelő pihenés hiánya miatt a test és az elme nem tud regenerálódni, ami fokozza a feszültséget és a betegségekre való hajlamot. Ha a dolgozók nem kapnak elegendő képzést a mentális egészség megőrzéséről, könnyen pszichoszomatikus tünetekkel szembesülhetnek.

Megoldási javaslatok:

Az egészségügyi dolgozók mentális egészségének javítása, valamint a megbetegedések megelőzése érdekében a következő intézkedések megfontolását, bevezetését javasolnánk:

- **Támogató munkahelyi légkör:** Fontos, hogy a munkahely támogató légkört biztosítson, ahol az dolgozók kifejezhetik érzéseiket, és kérhetnek segítséget.
- **Mentális egészségügyi programok:** Elérhető mentálhigiénés szolgáltatások biztosítása, például pszichológiai tanácsadást, ahol az dolgozók anonim módon kereshetnek segítséget.
- **Stresszkezelési tréningek:** Rendszeres képzések és workshopok tartása, amelyek a stresszkezelési technikákra, például légzőgyakorlatokra, mindfulness-re és meditációra fókuszálnak.
- **Társas támogatás:** Képződjenek támogató csoportok, ahol az ápolók megoszthatják tapasztalataikat, és egymást segíthetik a kihívások kezelésében.
- **Oktatás és tudatosság növelése:** Tudatosítani kell a mentális egészség fontosságát, és információkat kell nyújtani a különböző mentális egészségi problémákról.
- **Jóléti programok:** A munkahelyi jóléti programok, amelyek fizikai aktivitásra, egészséges táplálkozásra és egyéb wellness-tevékenységekre összpontosítanak, szintén hozzájárulhatnak a mentális egészség javításához.
- **Rugalmasság a munkabeosztásban:** A munkaidő és a műszakok rugalmasabb kezelése csökkentheti a stresszt és a kiégés kockázatát.
- **Elismerés és jutalmazás:** Az ápolók erőfeszítéseinek elismerése és jutalmazása fontos lehet a motivációjuk és mentális jóllétük szempontjából.

- Folyamatos fejlődési lehetőségek: A szakmai fejlődés és a továbbképzési lehetőségek biztosítása segíthet az ápolóknak a magabiztosságuk növelésében és a stressz csökkentésében.

Ezek az intézkedések hozzájárulhatnak az ápolók mentális egészségének javításához, elősegítve a jobb munkakörülményeket és a magasabb szintű betegellátást.

3.4. Negyedik kutatási kérdés volt, hogy mennyire hatékony a személyi védőeszközök használata a fertőzések és egyéb foglalkozási megbetegedések megelőzésében az egészségügyi dolgozók körében?

A védőfelszerelés hiányában az ápolók különböző megbetegedéseknek és egészségügyi problémáknak lehetnek kitéve, többek között fertőző betegségek. A kérdőívek feldolgozásánál kiderült, hogy a dolgozók közel fele nem minden esetben használ védőfelszerelést. Ennek többnyire a nem elegendő felszerelés az oka. Az egészségügyi dolgozók munkájuk során ki vannak téve a vírusoknak és baktériumoknak, mint például influenza, hepatitis B és C, HIV, tuberkulózis, és egyéb kórokozók, amelyek könnyen terjednek a kórházi környezetben. A gyakori kézmosás és kézfertőtlenítés irritációt, száraz bőrt, ekcémát vagy egyéb bőrproblémákat okozhat. Védőmaszkok hiányában az ápolók nagyobb kockázatnak vannak kitéve légúti fertőzéseknek és egyéb légzőszervi problémáknak. Különböző anyagokkal való érintkezés, mint például vegyszerek és gyógyszerek, allergiás reakciókat okozhat, ha nincs megfelelő védőfelszerelés. A védőfelszerelés használata elengedhetetlen a biztonságos munkavégzéshez és az egészség megőrzéséhez az ápolói pályán.

Megoldási javaslatok:

Az egészségügyi dolgozók védőfelszereléseinek használatának fontosságát fontos lenne tudatosítani a dolgozók körében. Ennek javítása érdekében több megoldási lehetőség javasolható:

- Oktatások és tréningek szervezése: Rendszeres képzések szervezése a védőfelszerelések helyes használatáról, előnyeiről és fontosságáról. Interaktív workshopok a védőfelszereléseket beszállító cégek bevonásával. Ezek segíthetnek a dolgozók tudatosságának növelésében.
- Információs kampányok: Plakátok, brosúrák és digitális anyagok készítése, amelyek a védőfelszerelések használatának előnyeit hangsúlyozzák. Ezen anyagokat jól látható helyeken kell elhelyezni a munkahelyen.
- Visszajelzési rendszerek: A dolgozók véleményének és tapasztalatainak összegyűjtése a védőfelszerelések használatáról, hogy az esetleges problémákat észlelhessék, és javíthassák a folyamatokat.
- Kulturális változás előmozdítása: A munkahelyi kultúra átalakítása úgy, hogy a védőfelszerelések használata normává váljon. Ez magában foglalja a vezetők elköteleződését is.
- Motivációs programok: Jutalmazási rendszerek kidolgozása a védőfelszerelések helyes használatára, például „legjobb gyakorlat” díjak vagy elismerések formájában.
- Szerepjátékok és szimulációk: Gyakorlatok és szimulációk, amelyek során a dolgozók valós helyzetekben használhatják a védőfelszereléseket, így tapasztalatot szerezhetnek.
- Egészségügyi napok és rendezvények: Az egészség és biztonság témáját feldolgozó események szervezése, ahol a védőfelszerelések használatára is fókuszálnak.
- Kollégák közötti támogatás: Bátorítani a dolgozókat, hogy egymást ösztönözzék a védőfelszerelések viselésére és a biztonságos munkavégzésre.

Ezek a módszerek segíthetnek a védőfelszerelések használatának népszerűsítésében, így javítva az egészségügyi dolgozók biztonságát és egészségét.

- 3.5. Ötödik kutatási kérdés volt, hogy milyen szintű a kockázatokkal kapcsolatos tudatosság az egészségügyi dolgozók körében, és hogyan befolyásolja ez a foglalkozási megbetegedések előfordulását?

Az egészségügyi dolgozók kockázat tudatosságának felmérésekor a következő következtetéseket vontuk le. A válaszadó munkavállalók az esetek nagy részében fel tudják mérni a rájuk néző veszélyeket, bár vannak dolgozók, akik ezektől mit sem félve nem tartják be a szabályokat. Fontosnak tartják a védőfelszerelések használatát. Vannak dolgozók, akik már régóta dolgozik a területen, ezért ők hajlamosak lehetnek a megszokott munkamódszerekhez ragaszkodni, még akkor is, ha azok nem biztonságosak. A védőfelszerelések helyes használatáról szóló képzés hiánya, vagy annak elégtelensége szintén hozzájárulhat a kockázattudatosság csökkenéséhez.

Megoldási javaslatok:

Az egészségügyi dolgozók kockázattudatosságának fejlesztése kulcsfontosságú a foglalkozási megbetegedések számának csökkentésében. Íme néhány lehetőség, amelyeket érdemes bevezetni:

- Képzési programok: Rendszeres, interaktív képzések tartása, amelyek a kockázattudatosságra, a veszélyek azonosítására és a megelőző intézkedésekre fókuszálnak.
- Esettanulmányok bemutatása: Valós esetek bemutatása, amelyek során kiderül, hogy milyen kockázatokkal szembesültek a dolgozók, és hogyan lehetett volna elkerülni a problémákat.
- Tájékoztatás: Információs anyagok, plakátok és digitális tartalmak biztosítása, amelyek folyamatosan emlékeztetik a dolgozókat a lehetséges kockázatokra és a megelőzés módjaira.
- Támogató kultúra kialakítása: A munkahelyi légkör támogatása, ahol a dolgozók bátran kifejezhetik aggodalmaikat és tapasztalataikat a kockázatokkal kapcsolatban.
- Mentorprogramok: Tapasztaltabb munkatársak bevonása, akik segíthetnek az új dolgozóknak a kockázatokkal kapcsolatos tudatosság fejlesztésében.
- Visszajelzési rendszerek: Olyan platformok létrehozása, ahol a dolgozók visszajelzéseket adhatnak a kockázatokkal és a munkahelyi környezettel kapcsolatban, lehetővé téve a problémák gyorsabb azonosítását és kezelését.
- Kockázatértékelési gyakorlatok: Rendszeres kockázatértékelések végzése, amelyek segítenek azonosítani a potenciális veszélyeket és kidolgozni a megfelelő megelőző intézkedéseket.
- Egészségügyi és biztonsági napok: Olyan események, szakmai napok szervezése, ahol a dolgozók részt vehetnek workshopokon és előadásokon a kockázattudatosság javítása érdekében.

Ezek az intézkedések hozzájárulhatnak az egészségügyi dolgozók kockázattudatosságának növeléséhez, ami segít a foglalkozási megbetegedések számának csökkentésében és a biztonságosabb munkakörnyezet kialakításában.

4. Összefoglalás

Munkánk az egészségügyi ágazatban előforduló foglalkozási megbetegedések okozta munkaképesség csökkenés és azok megelőzési lehetőségei a munkavédelemben címet kapta.

Kérdőíves módszerrel tártuk fel az ágazatban dolgozó szakemberek körében leggyakrabban előforduló foglalkozási megbetegedéseket, ezen megbetegedések kiváltó okait igyekeztünk azonosítani és a megelőzésnek, valamint a megoldásának lehetőségeit megválaszolni.

A kérdőívek elemzésekor bizonyosodott be, hogy a leggyakrabban előforduló foglalkozási megbetegedés az egészségügyi ágazatban dolgozók körében a mozgásszervi megbetegedések voltak. A kutatásban részt vevő munkavállalók 50%-nak van mozgásszervi eredetű megbetegedése. A dolgozók mozgásszervi egészségét jelentősen befolyásolja a munkakörből adódó fizikai terhelés, valamint a dolgozók életkori megoszlását tekintve az „előregedő” szakemberek magas aránya is. A dolgozók gyakran fáradtak, túlterheltek, megélhetési problémáik miatt gyakran másodállásra, túlmunka vállalására kényszerülnek.

Az egészségügyi dolgozók foglalkozási megbetegedései jelentős hatással vannak munkaképességükre, ami több szempontból is aggasztó jelenség. A mozgásszervi megbetegedések következménye lehet a munkaképesség csökkenése.

A hát, -derék és láb fájdalmak, közvetlenül befolyásolják a dolgozók teljesítményét. A fájdalom és a fáradtság csökkenti a munkavégzés hatékonyságát, és a dolgozók gyakran képtelenek ellátni feladataikat a megszokott szinten.

A túlterheltség, a sok esetben túlvállalt munkaórák és stressz szintén hozzájárul a foglalkozási megbetegedések kialakulásához. Az egészségügyi dolgozók gyakran tapasztalnak magas szintű stresszt és mentális megterhelést. A folyamatos stressz hozzájárul a pszichés problémák, például a szorongás és depresszió kialakulásához, ami tovább rontja a munkaképességet.

A foglalkozási megbetegedések következtében kialakult munkaképesség csökkenése nemcsak egyéni szinten, hanem a munkahelyi légkörre is hatással van. A csökkent teljesítmény miatti feszültség és a munkatársak közötti kapcsolat romlása tovább fokozhatja a stresszt.

A munkahelyi védőfelszerelések terén sajnos hiányosságot tártunk fel, az eszközök nem minden esetben biztosítottak megfelelő mennyiségben és minőségben egyaránt. A védőfelszerelések biztosítása munkáltatói, szakszerű viselése pedig munkavállalói kötelezettség, nem lehet elmulasztani! Ezen eszközök hiánya, használatuk elmulasztása nem megengedhető az ágazatban. Ennek tudatosítását, oktatását, jelentőségét fokozottan ajánlanám a munkáltatók és munkavállalók számára egyaránt.

A munkavállalók kockázattudatosság vizsgálatánál bizonyosodott be, hogy a kockázatokkal tisztában lévő tudatosabb dolgozók hajlamosabbak a megelőző intézkedések betartására, például a védőfelszerelések használatára és a helyes munkavégzési technikák alkalmazására. Azon dolgozók körében, akik nem félve a kockázatoktól, dacolnak a védőfelszerelések használatával, magasabb arányban fordulnak elő fertőző megbetegedések.

Az egészségügyi dolgozók kockázattudatossága kulcsszerepet játszik a foglalkozási megbetegedések megelőzésében. A tudatosság növelésével, a megfelelő képzésekkel és a támogató munkahelyi kultúra kialakításával csökkenthető a megbetegedések előfordulása, ezáltal javítva a dolgozók egészségét és a betegellátás minőségét.

Az egészségügyi intézményeknek fontos lépéseket kell tenniük a megbetegedések megelőzése érdekében. Ez magában foglalja a rendszeres egészségügyi ellenőrzéseket, a munkakörnyezet ergonomikus kialakítását, stresszkezelési programokat, valamint a mentális egészség támogatását.

Munkánk második részében szerettünk volna betekintést nyújtani az egészségügyi ágazat egyik kiemelt területére, a műtőbe. Ezen területnek az egészségkárosító munkafolyamatait, kockázatait öt alapkockázat mentén, tapasztalatok alapján, valamint a kiosztott kérdőívek kiértékelésével vizsgáltuk meg.

Bemutattuk a műtőben fellelhető fizikai kockázatokat, mint például a hosszú állásból adódó problémákat, a mozgásbéli megterhelést, a röntgensugárzásnak kitett dolgozók munkavédelmi eszközeit, valamint azok használatára vonatkozó szabályok betartását, esetenként annak elmulasztását, és kitértünk a tűszúrásos balesetekre is. A biológiai kockázatok közül a fertőzés kockázatát és a vérrel és biológiai anyagokkal való érintkezés veszélyeit mutattuk be. A kémiai kockázatok közül az anesztetikumok belégzése, valamint a destruktív anyagok használata, a fertőtlenítőanyagokkal való érintkezés jelent veszélyt a műtő személyzetre nézve. A pszichoszociális kockázatokat vizsgálva a stressz és a kiégés az intenzív munkahelyi környezet miatt nem elhanyagolandó kockázat. A munkahelyi környezetben fellelhető gépek zajai szintén károsak lehetnek a szervezetre hosszú távon.

Irodalomjegyzék

- [1] Dudás Katalin: Munkavédelmi ismeretek az egészségügyi ágazatban dolgozók részére. Független Egészségügyi Szakszervezet, 2019.
- [2] Nemzetgazdasági minisztérium: Egészségügyi és szociális ágazat munkavédelme - Munkáltatóknak, és munkavállalóknak szóló munkavédelmi ismereteket tartalmazó útmutató, 2022.
- [3] European Agency for Safety and Health at Work: OSH in figures in the health and social care sector. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2024.

Föld alatti vegyi anyagokat szállító gravitációs csatornavezetékek tisztításának munkavédelmi kérdései

¹Zákányiné Mészáros Renáta, ²Bíró Szilárd, ³Zákányi Balázs
^{1,2,3}Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar

Munkánkban bemutatjuk a földalatti vegyi anyagokat szállító gravitációs csatornavezetékek tisztításának munkavédelmi kérdéseit. A tevékenység megítéléséhez elengedhetetlen a munkaterület általános megismerése, csatornahálózat működésének alapvető paramétereinek és azok jellegzetes hiba lehetőségeinek ismerete. A vizsgált ipari területen megtalálható veszélyforrások feltérképezése és kategorizálása nélkül a munkavégzés munkavédelmi szempontból nehezen biztosítható. A megállapított veszélyforrások kockázatainak csökkentése érdekében megpróbálunk elfogadható megoldásokat nyújtani, hogy a munkaterületen még inkább érvényesüljön az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeinek teljessége. Az általunk tett észrevételek az elmúlt 20-25 évben tapasztalt eseményeken alapulnak. Megállapításaink részben szubjektívek részben objektívek, az általunk követett irány csak egy a sok lehetséges út közül.

Kulcsszavak: munkavédelem, EHS, vegyi anyag, gravitációs csatornahálózat

1. Bevezetés

Csatornázás a csapadék- és szennyvizet elvezető létesítmények összesége, a csatornákkal, tisztító- és egyéb aknákkal, átemelőkkal és a szennyvíztisztító berendezésekkel együtt [1].

A csatornázás mindazon túl, hogy nagyon fontos közegészségügyi feladatokat lát el, a környezetvédelem terén is jelentős hatással van, a felszín alatti és feletti vizeink minőségének megóvása terén. Történelmünk során az ókori Római Birodalom már ismerte és használta a szennyvizet elvezetését, de a középkorban ezen technikai vívmány a feledés homályába veszett és csak jóval később a nagy járványok okainak felismerése után váltak újra a mindennapok részévé. A XIX. század végén felfedezett tífuszbacillus és kolera kórokozóiak terjedését csak a teljes higiéniai fejlesztéssel (csatornahálózat kiépítésével, tiszta ivóvíz biztosításával stb.) tudták visszaszorítani, de ez több nehézségbe ütközött. A rohamosan növekvő lélekszámú városokban, ahol az ipari forradalom idején a gyári dolgozók életkörülményei egyébként is nagyon rosszak voltak, az ipar által termelt szennyvizet csak tovább rontották az esélyt a tiszta ivóvízhez való hozzájutásban. A gyártulajdonosok, hogy csökkentsék a rájuk nehezedő nyomást (a maximális profit megtartása mellett), mely a keletkezett szennyvizet elhelyezéséből fakadt, sok esetben a természetes élővizekbe vezették folyékony hulladékaikat. Ez ugyan a keletkezés helyéről nézve megoldotta a problémát, de a természeti környezet nagyfokú károsításához vezetett.

A csatorna hálózatok technikai kialakítása lehet egyesített és szétválasztott rendszerű. Ipari szennyvizet esetén a vegyi anyagok nem kívánatos reakcióinak elkerülése érdekében csak szétválasztott rendszerekről beszélhetünk. A különféle vegyi anyagok egyesítése veszélyes gázok, folyékony mérgező vegyületek vagy szilárd anyagok kiválásával (pl.: só kirakódás) járhatnak. A bizonytalan vegyi reakciók miatt a csatorna vezetékek anyagainak kiválasztása is komoly nehézséget okoz. Az ipari szennyvizekben előfordulhatnak olyan szennyező anyagok is melyek részecskéi jóval nehezebbek, mint a víz molekulái (pl.: nehézfémek) ezek leülepedhetnek, illetve az ártalmatlanítás során külön figyelmet igényelnek.

A csatorna vezetékek anyagait minden esetben úgy kell kiválasztani a tervezés és kivitelezés során, hogy azok feleljenek meg a szállított közeg tulajdonságainak, vegyipar esetén különös tekintettel a kémiai összetételre.

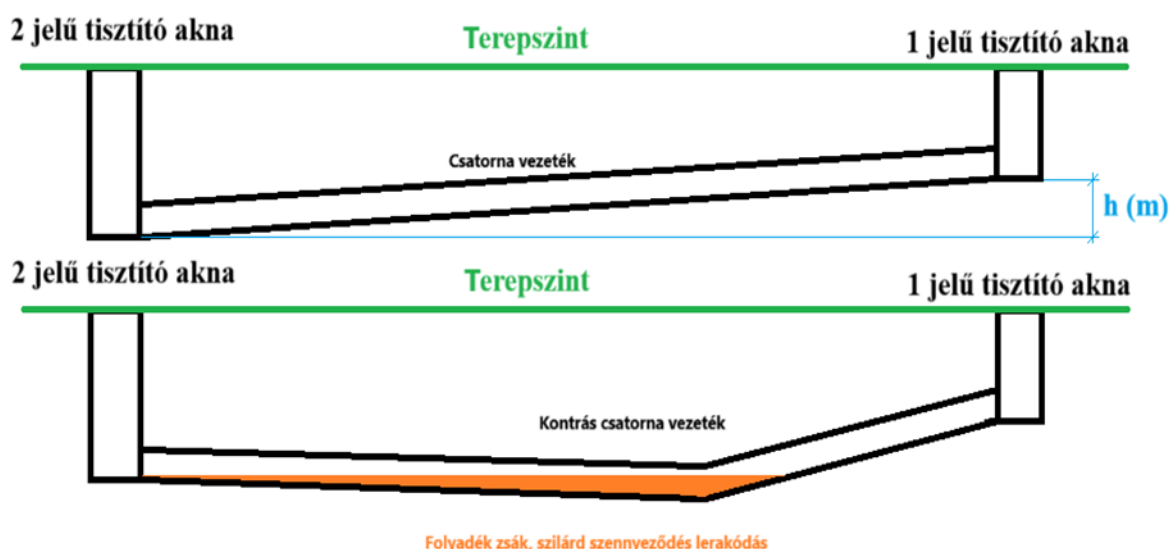
Gravitációs csatorna vezetékek kialakítása alapvetően a szállított közeg tulajdonságaitól és megvalósulásának helyszíni adottságaitól függ.

Nagyon széles spektrumon mozognak a csővezetékek és aknarendszerek alapanyagainak választéka, a sokrétű folyadék szállítás és költséghatékony megvalósítás érdekében.

Csatorna vezetékek alapanyagai lehetnek műanyagok (PVC – poli(vinil-klorid), PE – polietilén, PP – polipropilén), fémek (szénacél, öntöttvas, ötvözött (nemes) acélok), kőagyag, beton, azbesztcement (elavult technológia, de még régi rendszerekben előfordul).

Gravitációs hálózatok természetéből adódik, hogy azokban a légköri nyomáshoz viszonyított túlnyomás nincs, csak a hidrosztatikai nyomás jelentkezik. Az anyagáramlás biztosítása érdekében $0,5 - 1 \text{ m/s}$ folyadék sebességre van szükség az egyes szakaszokban. Túlságosan nagy sebesség esetén ($v > 1 \text{ m/s}$) a folyadékok nem képesek a szilárd részecskéket elszállítani "elhagyják azokat", de túl alacsony érték esetén ($v < 0,5 \text{ m/s}$) szintén ülepedésre, kirakódásokra kell számítani. A gravitáció hálózatokban a szennyvíz áramlását a helyzeti energia különbség szavatolja, ezért ezekben a rendszerekben a magasabb pontról alacsonyabb pont felé történik az áramlás. A közeg áramlási sebessége függ a kiinduló és végpont közötti magasságkülönbségtől (jele h) illetve a vezeték ellenállásától.

Komoly problémákat okoznak a hibásan fektetett vagy használat során megsüllyedt „kontrás” szakaszok (1. ábra), mert itt a folyadékszák alakulhat ki, illetve a szilárd szennyeződések le tudnak rakódni.



1. ábra Gravitációs csatorna szakasz hosszszelvénye és tipikus hibája (kontrás)

2. Csatornarendszerek tisztítása

A csatornarendszerek üzemfenntartása lehet tervezett megelőző karbantartás (TMK), illetve a problémák bekövetkezése utáni tevékenység. Költségek és erőforrások biztosítása szükséges a folyamatos problémamentes működéshez [2].

Legáltalánosabb probléma a csatorna vezetékek úrszelvényében való keresztmetszet csökkenés (dugulás). A keresztmetszet csökkenést általában a hálózat vízbevezetőin keresztül bejutó rendszeridegen tárgyak szokták jelenteni, de akár a vezetékszakaszok egy darabjának

elmozdulása is okozhatja a dugulást. A keresztmetszet csökkenés lehet részleges (2. ábra) vagy teljes.

Egy jól karbantartott, rendszeresen tisztított hálózat esetén gyakorlatilag a lekisebb keresztmetszet csökkenés is felszámolásra kerül minden külső érzékelhető jel nélkül.



2. ábra d 200-as KGPVC csatorna részleges keresztmetszeti csökkenése

A zárt csatornavezeték tisztítása (elenyésző kivételtől eltekintve) összetett gépek vagy egyszerű gépek segítségével történik. Az egyszerű gépek (kézi vagy elektromos szerszámok) kézzel mozgatható kivitelű eszközök (3. ábra). Kis átmérőjű vezetékek tisztítására szolgálnak, általában épületeken belül használják őket.

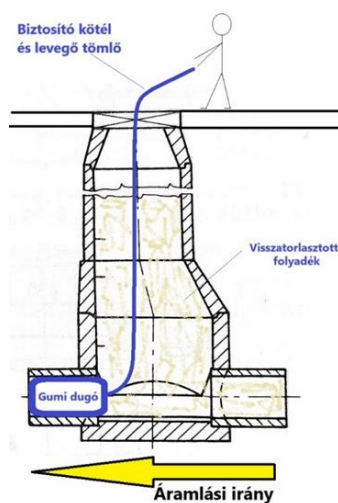


3. ábra R650 csőtisztító gép vezetőcsővel [forrás: internet1]; 3S kézi csőtisztító spirállal [3]

A 100 mm-t elérő vagy azt meghaladó átmérőjű csatornák esetén a gépi tisztítási megoldásokat használják. Nagyteljesítményű csatorna tisztító gépek (VOMA) önjáró tehergépjárműre szerelt kivitelűek, a teherautó motorja biztosítja a szivattyú működéséhez szükséges energiát. A gép legfontosabb részei a tehergépkocsi alváza futóművel és meghajtással, vezetőfülke, víztartály, nyomásfokozó szivattyú, tömlők, mosófej és a működtető vezérlés. A VOMA tartályát feltöltik tiszta ivóvíz minőségű vízzel. A gyártmánytól függően a víz nyomását a szivattyú segítségével 100 – 1000 bar nyomásra növelik. A mosáshoz használt nyomásfokozat megválasztása kritikus szempont, mert a túl nagy nyomás károkat okozhat a csatornarendszerek anyagában és jelentősen növeli a tevékenység munkavédelmi kockázatát. Az alacsony teljesítménnyel végzett tisztítás viszont nem éri el a kívánt eredményt. A nagynyomású vizet külön erre a célra gyártott tömlőn keresztül a mosófejhez vezetik, mely a csatorna vezetékben különböző mozgásokat végez. A mosófej

kialakítása meghatározza működési mechanizmusát (előre mosófej, hátra mosófej, bontófej stb.). A tisztítás hatékonyságának érdekében a mosófejet és tömlőjét a haladási iránnyal ellentétesen is szükséges mozgatni, ugyanis így lehet a meglazított anyagokat a tisztító akna irányába terelni. A tömlő és a mosófej mozgatása történhet emberi erővel és gépi munkával is.

A csatornavezetékek tisztítása során meg kell akadályozni a rendeltetés szerű folyadék áramlást, mert az veszélyezteti a munkát végző személyeket és rontja a tisztítás hatékonyságát. A munkaterület lehatárolását a működő rendszerről ez esetben a csővezeték átjárhatóságának megakadályozásával lehet biztosítani. Az áramlási keresztmetszet lezárását felfújható gumidugók segítségével lehetséges megoldani (4. ábra). A gumidugók keresztmetszeti tartományokban használhatók (pl.: 90 mm – 110 mm). Pontos illeszkedésüket rugalmas alakváltozásuknak köszönhetik, sűrített levegővel való belső nyomásnövekedést használják ki.



4. ábra Gumidugó használata

A lezárt keresztmetszet mögötti folyadékokat szivattyúzással vagy szippantással emelik át más csatorna szakaszba. Visszatorlasztott folyadékok utánpótlásának hiányában az átemelés mellőzhető, de a leválasztás nem hagyható el.

Csatorna vezetékek tisztítását támogató és az állapotfelmérések alapvető eszköze a csatornavizsgáló kamera. Kamera segítségével optikailag vizsgálhatjuk meg a vezeték állapotát. A kamera rendszerek kézi működtetésű és gépi „önjáró” verzióban is elérhetőek. Az „önjáró” kamerák kistehergépkocsiba szerelt rendszerek azonnali képet mutatnak és rögzítenek, miközben a kamera a csatornavezetékben mozog. A gépjárművel optikai és elektromos kábelén keresztül van összeköttetésben.

A csatornatisztító gép által fellazított anyagok és a mosás során a rendszerbe jutott víz eltávolítása szükséges lehet egy nagyobb kiterjedésű (több méteres szakasz) dugulás elhárítása során. A felgyülemlett vizet és üledéket a tisztító aknából kiemelni szippantó autó segítségével a legegyszerűbb megoldani. A szippantó autó a VOMA-hoz hasonlóan egy tehergépjárműre szerelt gép. Itt is található egy tartály (4-8 m³ térfogatú), melybe gyűjtik a felszívott anyagokat. A folyadéktároló megtöltése érdekében a gépjármű hajtáslánca összeköttetésben van egy vákuumszivattyúval, mely a tartály belsejébe lecsökkenti a nyomást oly mértékig, hogy a légköri nyomás egyszerűen benyomja a szívótömlőbe a felszívni kívánt anyagot. A felszívott közeg összetételétől függ, hogy a tartályból hova lehet áthelyezni a felgyülemlett anyagot.

3. Csatorna tisztítási munkát végzőkre gyakorolt hatások

A csatornavezetékek tisztítása során a szennyvizek biológia összetételéből adódóan a tevékenységet végző munkavállalók jelentős expozíciónak vannak kitéve az ott élősködő vírusok, baktériumok, gombák és paraziták miatt. A kommunális szennyvizekben jelentős mértékben megjelenhetnek, azon korokozók, melyek komoly egészségügyi megbetegedésekhez, szélsőséges esetekben járvány veszélyhez vezethetnek. A szennyvizekben legjellemzőbb korokozók a Enterobacteriaceae-család (szalmonella), Ascaris lumbricoides (orsóféreg), Ancylostoma duodenale (horogféreg), Necator americanus (hengeresféreg).



5. ábra Orsóféreg (a) [4], Horogféreg (b) [5], Szalmonella (c) [6]

A megbetegedések közül a légutakban kialakuló bronchitis, azaz a tüdő hörgőinek belső felszínének gyulladása gyakori probléma, de előfordul a gyomor, a vese, az agy és a nyirokrendszer daganatos elváltozása is.

Fizikai munka révén (pl.: tömlők mozgatása) az ízületekkel és izomokkal kapcsolatos elváltozások kialakulásának esélye sem elhanyagolható.

A különböző megbetegedések elleni védekezés egyik eszköze a védőoltás, amely egy része kötelező (pl.: Hastífusz, Hepatitis A) a fertőző betegségek és a járványok megelőzése érdekében szükséges járványügyi intézkedésekről szóló 18/1998. (VI. 3.) NM rendelet értelmében. A védőoltások biztosítása a munkavállalók részére a munkáltató egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés követelményeinek megvalósításának része.

Az egyéni védőeszközök használatával és higiénias szabályok betartásával jelentősen tudják csökkenteni a megbetegedések valószínűségét. [7]

4. A tisztítási tevékenység folyamatának felépítése

Az általunk vizsgált tevékenység munkafolyamatai szélesebb és tágabb megközelítésből értelmezhető. Munkánk során szorítkoztunk a lényegi munkafolyamatok értékelésére, ezért az általános munkafolyamatokat jelen kockázatelemzésben nem elemezzük. Mindazonáltal szükségesnek látjuk megjegyezni, hogy a nem elemzett munkafolyamatok elválaszthatatlan részét képezik a munkavégzésnek és az azok során felmerülő kockázatokat sem szabad figyelmen kívül hagyni. Az általunk alkalmazott folyamat felépítés csak technikai jellegű.

Munkafolyamatok

- 1) Megrendelés befogadása, munka megtervezése (nem része az elemzésnek)
- 2) Gépjárművek indulása telephelyről (nem része az elemzésnek)
- 3) Megrendelő munkavégzési engedélyének kiadása, műszaki egyeztetés (nem része az elemzésnek)
- 4) Megérkezés a helyszínre, munkaterület kijelölése, gépjárművek elhelyezkedése
- 5) Tisztítással érintett aknák fedlapjainak felnyitása

- 6) Dugózás, folyadék utánpótlás megszüntetése
- 7) **Voma tömlő letekerése, aknába való befűzése, térszint alatti zárt vezetékbe juttatása**
- 8) **Tisztítófej és tömlő nyomás alá helyezése, szivattyú bekapcsolása**
- 9) **Mosófej előre hátra mozgatása, mosás**
- 10) **Nyomás megszüntetése tisztítófejben és tömlőben**
- 11) **Voma tömlő kiemelése, feltekerése**
- 12) **Voma víztartályának feltöltése**
- 13) **Szippantó tömlő behelyezése az aknába**
- 14) **Kimosott anyag kiszívása szippantóval**
- 15) **Szippantó tömlő kiemelése az aknából**
- 16) **Szippantó autó tartályának ürítése**
- 17) Dugó kiemelése aknából
- 18) Tisztítással érintett aknák fedlapjainak lezárása
- 19) Munkaterület megszüntetése, levonulás
- 20) Megrendelő munkavégzési engedélyének visszaírása, műszaki egyeztetés (nem része az elemzésnek)
- 21) Gépjárművek üzemanyaggal való feltöltése (nem része az elemzésnek)
- 22) Gépjárművek visszaérkezése telephelyre (nem része az elemzésnek)
- 23) Adminisztráció, költségelszámolás (nem része az elemzésnek)

Többször ismételt
folyamatsor

5. A kockázatok értékelése és rangsorolása

A kockázatértékeléshez és annak vizuális megjelenítéséhez táblázatos formát és mátrix alapú értékelési rendszert választottunk. A mátrix (6. ábra) függőleges tengelyén a bekövetkezés valószínűsége (F), a vízszintes tengelyén a károsodás súlyossága (C) található, metszéspont segítségével a kockázat szintje (R) leolvasható.

$$F \times C = R$$

Kockázat szintje lehet alacsony, ez esetben döntés szükséges, hogy a kockázatot elfogadható kockázatként azonosítottunk tekintjük és további intézkedést nem igényel, vagy intézkedést vezetünk be a teljes kockázat megszüntetésének érdekében.

Abban az esetben, ha elfogadható kockázatnak tekintünk egy elemet, akkor is szükséges a munkavégzés biztonságtechnikai oktatási anyagában megemlíteni, lehetőségének tényére a munkavállalók figyelmét felhívni.

Magas és Közepes kockázat beazonosítása esetén nincs lehetőség mérlegelésre, mindenképp szükséges intézkedést bevezetni.

C Súlyosság	C1 Személyi sérülés nincs	C2 Kisebb személyi sérülés: munkaképtelenséggel nem járó	C3 Jelentősebb személyi sérülés: munkaképtelenséggel járó	C4 Súlyos személyi sérülés: súlyos munkabaleset
F Bekövetkezési valószínűség				
F1 Valószínűtlen (elképzeltetlen)	1	1	1	2
F2 Lehetséges (nem elképzelhetetlen)	1	2	3	4
F3 Valószínű (előbb-utóbb talán)	1	3	4	5
F4 Elkerülhetetlen (biztos, csak idő kérdése)	1	4	5	6
R Kockázatmegállapítás	Kockázati szint	Elvárt teendő		
RA 1-2	Alacsony kockázat	Elfogadható kockázat: Intézkedés nem szükséges Intézkedés tehető		
RK 3-4	Közepes kockázat	Határidős kockázatsökkentés szükséges: Intézkedés: -határidő -felelős		
RM 5-6	Magas kockázat	Azonnali kockázatsökkentés szükséges: Használat megtiltása Veszélyforrás megszüntetése		
RF Fennmaradó kockázat		Feltüntetendő: -használati utasításban -munkaeszközön		

6. ábra Értékelő mátrix [8]

Az intézkedésnek három iránya lehet:

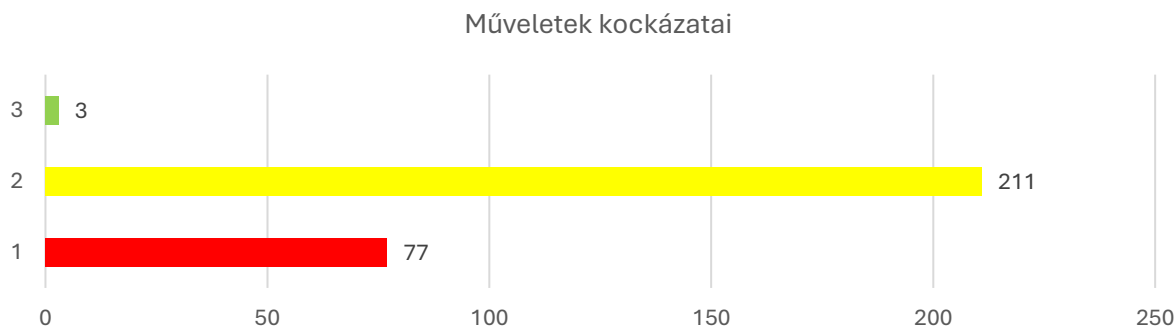
- 1) A veszélyforrás teljes kiiktatása, veszélyes technológia vagy anyag kiváltása veszélytelenre.
- 2) Veszélyforrás hatásának csökkentése, veszélyes technológia vagy anyag kiváltása kevésbé veszélyesre, illetve munkavállalót védő intézkedések bevezetése (kollektív vagy egyéni védelem).
- 3) Bekövetkezés valószínűségének csökkentése esetén azt kívánjuk elérni, hogy a kockázatot jelentő veszélyforrással a munkavállaló a lehető legkevesebb alkalommal és lehető legrövidebb ideig érintkezzen. Ezt elsősorban technológia váltással, munkaszervezési (pl.: csökkentett munkaidő, váltásban végzett tevékenység) megoldásokkal vagy olyan védelmi intézkedéssel lehet elérni, ahol az érintett személyt izoláljuk a veszélyforrástól.

Abban az esetben, ha további intézkedés már nem lehetséges, mert az a veszélyforrás hatásával kapcsolatos intézkedés már ellehetetlenítené a munkamenetet és az elérhető legjobb munkavédelmi megoldásokat bevezettük, Fennmaradó kockázatként kell azt azonosítani és hangsúlyos, kiemelt helyet kell, hogy elfoglaljon a szabályozásokban, ellenőrzések során és az oktatási tematikában! Fennmaradó kockázat klasszikus példája a szeletelő kések és azok élei. Az él ugyan mechanikai veszélyt jelent, de annak kiiktatása funkcióvesztést idézne elő, ezért hatásának csökkentésére csak olyan intézkedés hozható (pl.: egyéni védőeszköz – vágásálló kesztyű) mely használatát nem lehetetleníti el.

Kockázatértékelés kiértékelése és ajánlott intézkedések (kollektív és egyéni védelem)

A kockázatértékelésre 2024. szeptember másodika és október huszonkettedike között került sor. A vizsgálat során kettőszázhetvenöt veszélyforrást sikerült azonosítani a tizenhat művelet során. A műveletek hasonlósága miatt egyes veszélyforrások és azok kockázatai többször is megjelennek, de mivel a munkafolyamatok során az érintett személyek nem azonosak, úgy láttuk jónak, hogy mindegyiket szerepeltessük a kiértékelésben.

Az azonosított veszélyforrások közül 3 db alacsony, 211 db közepes, 77 db magas kockázati értékelést kapott (7. ábra).



7. ábra Műveletek kockázatai diagram

A 77 db magas kockázati értékelés 9 db veszélyforrásból származik. A vizsgált 16 művelet során megvalósuló esemény ismétlődésnek köszönhető.

A 77 db magas kockázatú munkafolyamatból 16 db Mechanikai veszélyek csoportjába tartozik 3 db veszélyforrás köré csoportosulva. 59 db olyan munkafolyamat került meghatározásra (8. ábra), melyek esetében a magas kockázatot Anyagok-/készítményveszélye okozza. Villamos veszély által okozott halálos áramütés miatti kockázat 2 db esetben volt megállapítható.



8. ábra Közepes kockázatot okozó veszélyek diagram

A 211 db közepes kockázati értékelés az előzőkhez hasonlóan 40 db veszélyforráshoz csoportosítható. Mechanikai veszély 104 munkafolyamat esetén került feltérképezésre. 24 alkalommal Ergonómiai veszély és 64 esetben a Gép használati környezetével kapcsolatos veszély lett beazonosítva. Villamos 7 db, Rezgés- 2 db és Anyag-/készítményveszély 6 db került megállapításra. Gépek használatából adódó Zaj-veszély 4 ízben lett azonosítva (9. ábra).

KÖZEPES KOCKÁZATOT OKOZÓ VESZÉLYEK



9. ábra Közepes kockázatot okozó veszélyek diagram

Az értékelésből jól látható, hogy a Mechanikai veszélyek mind a magas mind a közepes kockázatok esetén jelentős számban vannak jelen, de a veszélyes anyagok munkaterületen való jelenléte a magas kockázatoknál jóval dominánsabbak. A vegyi anyagokból fakadó veszélyforrások kivétel nélkül mindig súlyos személyi sérülésekhez vezethetnek, ezért azok bekövetkezési valószínűségét a lehető legkisebb szintre kell csökkenteni. A csatornatisztítás technológiájából adódóan kevés esettől eltekintve a kollektív védelem csak körülményesen vagy egyáltalán nem valósítható meg. Különösen igaz ez a veszélyes anyagokkal történő érintkezésre, sokkal hatékonyabb és eredményesebb az egyén védelme, még annak árán is, hogy ezzel a munkavállalónak plusz terhelést okozunk.

Értékelésből egyértelműen kiolvasható, hogy a magas kockázatok esetén, azok veszélyforrása nem kiküszöbölhető, ezért megfelelő intézkedésekkel is csak közepes kockázatra csökkenthetők. Az így Fennmaradó Kockázatok minden esetben a szabályozási, ellenőrzési és oktatási rendszer kiemelt pontjaként kell, hogy kezelje a munkáltató annak érdekében, hogy az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeit biztosítani tudja munkavállalói számára.

6. Magas kockázatok és kockázatcsökkentési javaslatok, fennmaradó kockázatok

6.1. Mechanikai veszélyek – magas kockázat

Gépjárművek már önmagukban is veszélyes üzemnek minősülnek, a 2013. évi V. törvény Polgári Törvénykönyv 6:535§ alapján, de ha ezt különleges felépítménnyel rendelkező tehergépjárművekre levetítjük, könnyen belátható, hogy a szippantó autó és a voma minden fajta mozgása jelentős veszélyforrás. A gépjárművezetőknek hátramenetben végzendő helyzetváltogatás során (alap esetben) két oldalsó kombinált visszapillantó tükör áll rendelkezésükre a manőverezéshez. A teherautók tartálya jelentős holtteret képez, ezért annak veszélye, hogy ott személy tartózkodik nem zárható ki teljes bizonyossággal és a nagyszámok törvénye alapján előbb-utóbb valószínűleg fog ott tartózkodni valaki. Sofőrnek amennyiben egyedül kell, hogy a járművet pozícióba állítsa a kockázat mértékét csak fokozott óvatossággal, tudja csökkenteni. A lassú menet csökkenti a behatás mértékét, hiszen a gépjármű súlyát állandónak tekintve a sebesség, illetve annak változása az egyetlen fizikai mennyiség, mely befolyásolja a lendületét és így azt az erőt, melyet egy személyre vagy tárgyra tud kifejteni. Balesetek esetén mikor egy tehergépjármű elgázol egy személyt, az érintett nagyon komoly sérüléseket szenvedhet, akár élettel összeegyeztethetetlen sérüléseket is. A kockázat értékelési mátrix alapján a bekövetkezés valószínűsége ebben az esetben VALÓSZÍNŰ (előbb-utóbb talán) – F3 és a súlyossága SÚLYOS SZEMÉLYI SÉRÜLÉS – C4. Ezek alapján a kockázat mértéke MAGAS – RM5.

Javaslat: A gépkocsivezető megfelelő és körültekintő munkavégzésén túl szükséges, hogy munkáját munkaszervezési megoldásokkal és/vagy technikai eszközökkel kiegészítsük, így a holtter akár teljes mértékben meg is szűnhet.

Munkaszervezési megoldás: Járművezető mellé beosztásra kerül egy munkavállaló, aki a problémás mozgások (pl. tolatás) során kézjelzésekkel és hangjelzésekkel információt tud adni a sofőrnek a holtterben látható akadályokról, illetve személyekről.

Technikai eszköz alkalmazása: Korunk technológiai fejlettsége lehetőséget nyújt olyan megoldások alkalmazására, ahol a vezető azonnal vizuális és/vagy akusztikus információkat kap az általa nem, vagy csak nehezen látható területekről (pl.: tolató kamera és kijelző, holtter figyelő rendszer, radar).

A két lehetőség párhuzamos alkalmazása jelentősen növeli a kockázatcsökkentés hatékonyságát, de növeli a munkáltató költségét.

A bekövetkezés valószínűségét a fenti megoldásokkal F2 szintre (LEHETSÉGES – nem elképzelhetetlen) tudjuk csökkenteni. A súlyosság mértéke (C4) nem változik, mert nincsenek rá hatással az intézkedések. A felsoroltak alapján az új kockázati szintet az elfogadható tartományba nem lehet levinni, a leolvasott mérték RK2 – közepes kockázat. Az RK2 Fennmaradó kockázatként folyamatos figyelmet kíván, az ellenőrzések során dokumentációkban, szabályzatokban, oktatási anyagokban kiemelt státuszt kell, hogy kapjon.

Gépjárművel történő manőverezés során a holttéren kívül egy másik lehetséges veszélyforrás a mozgó elem közelítése fix részhez, azaz rögzített tereptárgyhoz közelítő jármű. Az előzőekben tárgyalt okfejtés ide is átültethető.

Annak ellenére, hogy a munkaterületek lezárásra kerülnek minden munkavégzés során, számolni kell illetéktelen személyek megjelenésére vagy be lépésre feljogosított személy figyelmen kívül hagyásával.

Járművek által elfoglalt pozíciók a helyi adottságok alapján jelentősen eltérhetnek egymástól. Különböző terepviszonyok miatt a rögzítő fék használata minden esetben kötelező a gépjármű vezető számára, de emberi vagy műszaki hiba miatt nem zárható ki annak valószínűsége, hogy előbb-utóbb (F3) a gépkocsi elmozduljon felvett pozíciójából (elguruljon). A szerkezetek kontroltnélküli mozgása súlyos személyi sérülések (C4) forrásai lehetnek. Értékelő mártix használatával megállapítható, hogy a kockázat mértéke magas (RM5).

Javaslat: A gépjármű rögzítő fékjének használatán túl, minden esetben szükség van az elgurulás elleni védelemre, melyet kitámasztó ék segítségével könnyen megoldhat a sofőr.

Mivel a kitámasztó ékek kihelyezése emberi döntésen és cselekvésen múlik a bekövetkezés valószínűségét valószínűtlenre lecsökkenteni nem tudja, de F2 – lehetséges szintre igen. Így a magas (RM5) kockázat közepes (RK4) mértékre enyhíthető, RF – fennmaradó kockázatként kiemelten kell vele foglalkozni az ellenőrzések során dokumentációkban, szabályzatokban, oktatási anyagokban.

6.2. Villamos veszélyek – magaskockázat

Gépjárművek pozíciójának felvétele során aktív veszélyforrásokat jelentenek az olyan légkábelek, melyek magassági szintjei a jármű legmagasabb pontja alatt vannak (belógnak). A belógásnak számtalan oka lehet, például feszítő drót elszakadása. A munkaterületek jelentős beépítettsége miatt az elektromos vezetékek belógásának bekövetkezési valószínűsége F3 – Valószínű (előbb-utóbb talán). Az áramütésből származó személyi sérülés mértéke súlyos – C4. Kockázat szintje RM5 – magas kockázat.

Javaslat: Technológiai megoldások híján csak a munkaszervezési megoldással lehet a bekövetkezés valószínűségét csökkenteni, ezért a gépjármű vezetőjének vezetőfülkéből történő korlátozott kilátásán túl szükség van legalább egy fő (helyi adottságok több személy szükségességét is indokolhatják) munkavállalóra, aki külső nézőpontból figyeli a belógó vezetékeket és kéz és hangjelzésekkel segíti a gépkocsivezető helyzetváltoztatását.

Figyelő személyzet biztosítása révén a kockázat bekövetkezésének valószínűsége F2 – Lehetséges (nem elképzelhetetlen) mértékre változik és ennek köszönhetően a kockázat mértéke RK4 – közepes mértékűre módosul. Fennmaradó kockázatként az oktatások és ellenőrzések során szabályzatokban valamint más dokumentumokban elsődleges szerepet kell, hogy kapjon.

6.3. Anyag, készítmény veszélyei – magas kockázat

A szerves és szervetlen gravitációs hálózatok karbantartása során a rendeltetés szerű használat részeként vannak jelen a veszélyes anyagok. Üzemszerű állapotban a zárt rendszerben közlekedő veszélyes anyagok a csatornahálózat környezetétől teljes mértékben el vannak zárva, így azokra nem jelentenek veszélyt. Abban az esetben, ha a zárt rendszerbe beavatkozunk, például felnyitunk egy tisztító aknát, akkor máris lehetőséget teremtünk a veszélyes anyagok kijutására. A tervezet karbantartások során (nincs dugulás) megoldható a vizsgálandó/karbantartandó csatorna szakasz vízzel történő átöblítése. A vízzel történő átöblítés során a csatorna szakaszban lévő vegyi anyagok hígítása és elvezetése a cél. A csatorna vezetékben közlekedő vegyi anyagok okozta veszélyforrások megszüntetése, illetve csökkentése a megrendelő feladata. A munkaterület átadása során a megrendelőnek és kivitelezőnek közösen kell arról meggyőződni, hogy a veszélyes anyagok közömbösítése megtörtént. Általános tapasztalat, hogy 100%-os bizonyossággal nem lehet meggyőződni a vegyi anyagok maradéktalan eltávolításáról, ezért úgy kell tekinteni minden munkafolyamatot, mint ha az átöblítés meg sem történt volna. Azoknál a csatornáknál, ahol a tisztítást nem üzemszerű állapotban kell elvégezni (dugult állapot) egyértelműen veszélyforrásnak kell tekinteni a jelen lévő vegyi anyagokat.

Vegi anyagok okozta expozíció első megjelenése az aknafedlapok felnyitása során alakul ki. A fedlap felvételekor a tevékenységet végző munkavállaló az aknafedlap belső felületéről közvetlenül érintkezhet a veszélyes anyagokkal, melyek bőr felületre jutva felszívódhatnak és anyagminőségek szerint különböző megbetegedéseket okozhatnak. Az akna kinyitása következtében köd formában és gázhalmazállapotban egyaránt a munkaterület légterébe juthatnak az ott jelenlévő vegyi anyagok. Az olyan csatorna szakaszokban, ahol valamilyen akadály állja útját a laminális áramlásnak turbulenciák, örvények és hullámok alakulhatnak ki. A turbulens áramlás társulhat megemelkedett folyadék szinttel, ez esetben a nyitott tisztító aknaszemen keresztül a folyadék kifröccsenhet.

A tisztító aknák felnyitása előtt viszonylag kevés információ áll rendelkezésre a folyadékok áramlásáról és szintmagaságáról, ezért észszerű a veszélyes anyagok tekintetében légnemű és folyékony halmazállapotú anyagra egyformán számítani.

A felnyitott aknákból elkerülhetetlen (F4) a veszélyes anyagok valamilyen formában történő kijutása, vegyi anyagok emberi egészségre gyakorolt hatása az irritációtól egészen a mérgezésig (rákos daganat, szervleállás) terjedhet, súlyos személyi sérüléseket (C4) képesek okozni, ezért kockázati szintjük a lehető legmagasabb RM6.

A helyi adottságok és alkalmazott technológia során a veszélyes anyagok izolációja nem megoldható és a kollektív védelem sem (pl.: gázok, gőzök, köd elszívás) oldható meg, csak rendkívül költséges technológiai átállás (robot technológia) lenne alkalmazható az egyéni védőeszközök használatán kívül. A robot technológia alkalmazása jelenleg még pénzügyi szempontok miatt, nem elfogadható alternatíva a gazdálkodó szervezetek számára.

7. Közepes kockázatok és kockázatcsökkentési javaslatok

- Mechanikai veszélyek – közepes kockázat;
- Zajveszélyek – közepes kockázat;
- Rezgésveszélyek – közepes kockázat;
- Anyag, készítmény veszélyei – közepes kockázat;
- Ergonómiai veszélyek – közepes kockázat.

Kockázatértékelés során feltárt közepes kockázatok mindegyike alacsony (elfogadható) szintű kockázatra mérsékelhető a teljes kockázati mátrixban látható javaslatok alapján. Nincs olyan

veszélyforrás melynek bekövetkezési valószínűségét vagy általa okozott kár súlyosságát tekintve ne lehetne elfogadható szintre csökkenteni, ezért fennmaradó kockázattal ezeken a területeken nem kell számolni.

Több esetben az oktatás/képzés nyújt megoldást. A jelenlegi havi, negyedéves, féléves, éves oktatási tematikába javasolt értékelésben szereplő megállapításokat beépíteni és azokat rendszeresen oktatni.

8. Összefoglalás

Az általunk vizsgált munkafolyamatok a földalatti vegyi anyagokat szállító gravitációs csatornavezetékek tisztításának munkavédelmi kérdéseire terjedtek ki. A tevékenység megítéléséhez elengedhetetlennek gondoljuk a munkaterület általános megismerését, csatornahálózat működésének alapvető paramétereit és azok jellegzetes hiba lehetőségeit.

Általános csatornatisztítási munkák során is találkozunk a munkavállalók számos veszélyforrással (pl.: biológiai eredetű), de mégis a vegyi anyagok jelenléte által okozott kockázatok kiemelkednek a hagyományos tevékenységek során felmerülő kockázatok közül. A veszélyes anyagok elleni hatékony védekezéshez mindenképpen meg kell ismerni az érintett vegyszerek tulajdonságait, illetve tisztában kell lenni az élőszervezetekre gyakorolt hatásaikkal.

A feltérképezett veszélyforrások kockázatainak csökkentésére javaslatokat tettünk annak érdekében, hogy a munkaterületen még inkább érvényesüljön az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzés feltételeinek teljessége. Az általunk tett észrevételek részben az elmúlt 20-25 évben tapasztalt eseményeken alapszik, részben pedig elsajátított tudásanyagokon. Megállapításaink részben szubjektívek részben objektívek, az általunk követett irány csak egy a sok lehetséges út közül.

Irodalomjegyzék

- [1] Cséki István, Völgyes István: Épületek vízellátása, csatornázása és gázellátása II. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1995, ISBN 963 10 7961 9
- [2] Blázsó Tibor, Péterfi Lajos: Vegyipari berendezések tisztításának és karbantartásának vizsgakönyve, Népszava Lap- és Könyvkiadó, Budapest, 1982, ISBN 963 321 836 5
- [3] <https://rothenberger.com/hu-hu/csoztisztito-gep/r650-csoztisztito-gep-vezetocsovel-72688> 2024.10.13
- [4] https://hu.wikipedia.org/wiki/Ors%C3%B3f%C3%A9rges_fert%C5%91z%C3%A9s
- [5] https://en.wikipedia.org/wiki/Ancylostoma_duodenale#
- [6] <https://premiuemegeeszsegepenzta.hu/premiuemegeeszsege/a-szalmonella-fertozeseket-bakterium-okozza>
- [7] Szilvási-Kassai Eszter: Csatornatisztítás – Így véd meg az egészséged!, Víz, gáz, Fűtéstechika és Hűtő, Klíma, Légtechika szaklap 2020/április szám
- [8] Bujnóczki Tibor: Gépkockázatok vizsgálata, előadás anyaga, Miskolci Egyetem, 2024

Összetett feladatokat ellátó intézmény Munkavédelmi Szabályzatának vizsgálata és javaslattétel új, átfogó munkavédelmi rendszerre

¹Baracza Máttyás Krisztián, ²Zákányi Balázs, ³Zákányiné Mészáros Renáta

¹²³Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar
balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

A vizsgált intézményben az elmúlt időszakban jelentős változások mentek végbe, melynek következtében különösen nagy szükség van a munkavédelmi szabályok és iránymutatások alapos felülvizsgálatára és megújítására. A munkavédelmi szabályzat átalakításakor a legfőbb cél, hogy képes legyen folyamatosan alkalmazkodni a hierarchiai rendszer változásaihoz, illetve az újonnan felmerülő veszélyforrásokhoz. A különböző szervezeti egységek munkavédelmi szükségleteinek részletes elemzésével és az ezekhez kapcsolódó szabályzat és specifikusan beépülő modulok kidolgozásával létrehozható egy hatékonyabb, biztonságosabb és jogilag is megalapozottabb munkavédelmi rendszer kialakítása. Az általunk javasolt változások és fejlesztések nemcsak a jelenlegi munkavédelmi szabályzat korszerűsítését célozzák, hanem lehetőséget nyújtanak a jövőbeli kihívásokra történő felkészülésre is.

Kulcsszavak: munkavédelem, EHS, összetett intézmény, munkavédelmi rendszer

1. Bevezetés

Egy jelentős méretű szervezet esetében a szervezeti egységek közötti átrendeződés több szempontból is kihat annak működésére. Elsősorban a korábbi vezetési modellek és felelősségi körök felülvizsgálatára van szükség, hiszen az új rendszerben más alapelvek, célok és munkafolyamatok érvényesülnek. Ez kihat a munkavédelem szabályozására és a munkavédelmi felelősségek átcsoportosítására is, hiszen a biztonságos és egészséges munkakörnyezet megteremtése minden szervezeti egység számára kulcsfontosságú, és a hatékony működés alapja. A gyors változások közepette különösen nagy szükség van a munkavédelmi szabályok és iránymutatások alapos felülvizsgálatára és megújítására. Az átalakuló szervezeti szisztémában új feladatkörök és felelősségi határok jelennek meg, amelyek a munkavédelmi szabályok alkalmazhatóságát és hatékonyságát is érintik. Például a fizikai munkakörökben dolgozók munkavédelmi követelményei különböznek az irodai vagy adminisztratív szervezeti egységekéitől, hiszen itt a vegyi anyagok használatának, tárolásának és biztonságos kezelésének és a munkaeszközök tulajdonságainak és használati körülményeinek hangsúlyos szerepe van. Ezen kívül például a laboratóriumi és kísérleti berendezések használata is szigorúbb szabályozást igényelhet.

A vizsgált szervezetnél bevezetett szervezeti változások munkavédelmi kihívásainak elemzéséhez egy részletes vizsgálati szempontrendszer kidolgozása volt szükséges, amely figyelembe veszi az egyes szervezeti egységek sajátosságait és kockázati tényezőit. A minél teljesebb mértékű munkavédelmi megfelelés érdekében 2021. évben felállításra került egy olyan 4 fős munkacsoport, mely a 2018-as évben kiadott munkavédelmi szabályzat megfelelését vizsgálta, az aktuális szervezeti egységekre vonatkozóan. A kezdeti több száz vizsgálati szempont finomítása után, 31 db aspektus szerint elemeztük a szervezeti egységek megfelelését. Az elemzés során több területen tártunk fel hiányosságokat, melyek közül kiemelten fontos a veszélyes anyagok és vegyszerek helyes tárolása és nyilvántartása, különösen a kutatási laboratóriumokban, ahol a vegyszerek helytelen kezelése súlyos egészségügyi és biztonsági kockázatokat jelenthet. A már megkezdett, a jelenlegi munkavédelmi gyakorlat átfogó vizsgálatával és a jogszabályi előírásoknak

való megfelelés biztosításával a szervezet vezetése hozzájárulhat ahhoz, hogy egy új rugalmasabb, átláthatóbb és biztonságosabb munkavédelmi szabályzatot alakítson ki.

A munkavédelmi szabályzat modul rendszerű korszerűsítése során figyelembe kell venni, hogy a szervezet egységeiben sok esetben speciális követelmények és szabályok szükségesek a megfelelő biztonság garantálásához.

A jelenlegi új, és még átalakítás alatt álló szervezeti struktúra bevezetésével párhuzamosan a felelősségi körök és munkakörök újra értelmezése is elengedhetetlenné vált. A munkavédelmi felelősségi rendszer átdolgozása során különös figyelmet kell fordítani a gyakorlati, jogi és biztonsági elvárásokra. A cél egy olyan munkavédelmi rendszer kialakítása, amely pontosan meghatározza a különböző egységek és szereplők felelősségi köreit, illetve biztosítja, hogy a munkavédelmi feladatok és kötelezettségek világosan definiáltak legyenek.

A munkavédelmi szabályzat átalakításakor tehát annak szükséges lenni a legfőbb célnak, amely folyamatosan képes alkalmazkodni a hierarchiai rendszer változásaihoz, illetve az újonnan felmerülő veszélyforrásokhoz. Pontos szabályzást igényel az is, hogy ha szervezeti egység helye, feladata változik, vagy valamilyen szintű átalakítását követően, mikor és milyen szempontok szerint történjen meg a rá vonatkozó speciálisan munkavédelmi modul kialakítása. A különböző szervezeti egységek munkavédelmi szükségleteinek részletes elemzésével és az ezekhez kapcsolódó szabályzat és specifikusan beépülő modulok kidolgozásával lehetséges egy hatékonyabb, biztonságosabb és jogilag is megalapozottabb munkavédelmi rendszer kialakítása [1]. A javasolt változások és fejlesztések nemcsak a jelenlegi munkavédelmi szabályzat korszerűsítését célozzák, hanem lehetőséget nyújtanak a jövőbeli kihívásokra történő felkészülésre is.

1.1. A szervezet működését biztosító szabályzatok

A vizsgált szervezet működését belső szabályzatok és utasítások rendszere biztosítja.

A szabályzatok két nagy csoportra oszthatók:

- Alap dokumentumok (kiemelve közülük: Szervezeti és Működési Szabályzat I. kötet Szervezeti és Működési Rend, II. kötet Foglalkoztatási Követelményrendszer, IV. kötet Minőségbiztosítási Rendszer stb.
- Egyéb funkcionális/specifikus szabályzatok, kiemelten a témához kapcsolódóan a Munkavédelmi Szabályzatát, mellyel később részletesen foglalkozunk.

1.2. A jelenleg érvényes szabályzat személyi és tárgyi hatálya

A hatályos 110/2018-as számú elfogadott szabályzat rendelkezik a biztonságos és egészséget nem veszélyeztető munkavégzés személyi, tárgyi és szervezeti feltételeiről, valamint a munkabiztonsági és munkaegészségügyi követelmények teljesítéséről a szervezett munkavégzés során, továbbá gondoskodik az ezek megvalósításához szükséges szervezési és intézkedési előírások végrehajtásáról.

A munkavédelmi szabályzat személyi hatálya kiterjed az intézmény összes foglalkoztatott munkavállalójára és az egyéb jogviszonyban álló személyekre, továbbá munkát végző külső vállalkozókra, valamint a szervezet létesítményeit használó bérlőkre.

1.3. Biztonságnövelő intézkedések lehetőségei

Az alábbi felsorolás szerinti biztonságnövelő intézkedések lehetőségei hangzottak el azon egyeztetések alkalmával, amikor a munkavédelmi szabályzat megfelelőségére összehívott munkacsoport megvitatta, ipari és más jól működő példák alapján milyen ösztönzőkkel lehetne még kiegészíteni a munkavállalókban a munkavédelemmel kapcsolatos tudatosságot.

1.4. Rendszeres, átfogó munkavédelmi oktatás és tudatosságnövelés

Alap- és haladó szintű munkavédelmi képzések: Az új belépők számára szervezett bevezető oktatásnak tartalmaznia kell a legalapvetőbb biztonsági szabályokat, az adott munkakörhöz kapcsolódó specifikus veszélyeket, valamint az általános balesetmegelőzési ismereteket. A képzést a dolgozók munkaköréhez kell igazítani, és fontos, hogy a munkáltatói jogkör gyakorlók különbséget tegyenek kezdő és tapasztaltabb dolgozók igényei között.

Frissítő és periodikus képzések: A folyamatos képzések biztosítják, hogy a munkavállalók tisztában legyenek a munkavédelmi szabályok aktuális állásával, különösen akkor, ha új technológiák, eszközök, vagy anyagok kerülnek bevezetésre.

Motiváció és elkötelezettség erősítése: Fontos, hogy a dolgozók ne csak passzívan vegyenek részt a képzéseken, hanem érezzék a munkavédelem fontosságát [2]. Ennek érdekében ösztönző rendszerek, például balesetmentes hónapok után járó jutalmak is bevezethetők a fizikai állományú munkavállalók számára, amelyek segítenek a munkavédelmi tudatosság fenntartásában.

1.5. Kockázatértékelési folyamatok, folyamatos elemzés és kockázatkezelés

Kockázatértékelés szabályossága és mélysége: Az alapos és rendszeres kockázatértékelés segít azonosítani a munkahelyi veszélyforrásokat és azok potenciális következményeit. A célzott kockázatkezelési tervek lehetőséget adnak a specifikus baleseti források minimalizálására.

Preventív és prediktív elemzések alkalmazása: A modern kockázatértékelési technikák lehetővé teszik a korábbi balesetek alapján a veszélyes helyzetek előrejelzését. Ezt a megközelítést gyakran az adatvezérelt elemzés támasztja alá, amely lehetővé teszi az adatokon alapuló döntéshozatalt a munkahelyi biztonság javítása érdekében.

Jövőbeli kockázatok figyelemmel követése: A technológiai fejlődés új típusú veszélyeket is jelenthet, így a kockázatértékelési folyamatot időről időre felül kell vizsgálni, hogy az új eszközök, módszerek és anyagok használata kapcsán felmerülő veszélyeket is figyelembe vegyék [3, 4]. Ebbe aktívabban bekapcsolódhatnak (a jelenleg kissé passzív) a szervezeti egységek vezetői, projektek szakmai vezetői, megvalósítói is

1.6. Megfelelő személyi védőeszközök biztosítása, használatának ösztönzése és ellenőrzése

Testreszabott védőeszközök biztosítása: Az általános védőeszközökön túl fontos, hogy a dolgozók testreszabott védőfelszerelést kapjanak, amely megfelel az egyéni adottságaiknak és a munkakör specifikus követelményeinek (pl. méret, kényelmi szempontok).

Oktatás a védőeszközök helyes használatáról: A személyi védőeszközök használata során sok esetben a nem megfelelő használat okoz problémákat. A dolgozók rendszeres oktatása arról, hogyan viseljék és használják a védőeszközöket, elengedhetetlen a hatékonyság érdekében.

Védőeszközök állapotának rendszeres felügyelete: A védőfelszerelések rendszeres ellenőrzése és karbantartása kulcsfontosságú, mivel az elhasznált vagy sérült eszközök nem nyújtanak megfelelő védelmet [5]. Sajnos ez a kérdéskör pénzügyi természetű is, amely sokszor kihat az egyéni védőeszközök állapotára.

1.7. Biztonságos és optimalizált munkafolyamatok kialakítása

Munkakörnyezet ergonomikus kialakítása: Munkavédelmi szempontból is előnyös, ha a munkakörnyezet ergonomikusan van kialakítva, mivel a kényelmes és testreszabott munkakörülmények csökkenthetik a baleseti kockázatokat, például a mozgásszervi sérüléseket.

Automatizálás és robotizáció: A magas baleseti kockázattal járó munkafolyamatok esetében az automatizáció és a robotizáció jelentős szerepet játszhat a munkavédelem javításában. Ez

különösen fontos lehet veszélyes anyagok kezelésekor, vagy olyan munkák esetében, ahol magas a fizikai megterhelés. A hosszú folyosószakaszokon kísérleti jelleggel, (egyelőre személyi felügyelet mellett), önjáró, tanítható padlótakarító gépek tesztelésére kerül sor a téli időszakban.

Munkaidő és pihenőidő szabályozása: A munkafolyamatok optimalizálásának része, hogy figyelmet fordítanak a dolgozók megfelelő pihenőidőire. A fáradt vagy kimerült munkavállalók hibázási aránya magasabb, ami a baleseti kockázat növekedéséhez vezethet.

1.8. Szabályozás és rendszeres biztonsági ellenőrzések

Szigorú ellenőrzési protokollok bevezetése: A szigorú munkavédelmi szabályok rendszeres ellenőrzése, például váratlan ellenőrzések vagy biztonsági auditok során, megelőzheti a súlyos balesetek kialakulását.

Szabályszegések következetes kezelése: Ha a szabályok megsértésére kerül sor, a gyors és következetes intézkedés elengedhetetlen a munkavédelmi kultúra fenntartása érdekében. A dolgozóknak tudniuk kell, hogy a szabályok betartása nemcsak elvárás, hanem kötelező elem a munkahelyi biztonság fenntartásában.

Belső és külső ellenőrzések, auditok alkalmazása: A saját ellenőrzések mellett, időnként érdemes külső munkavédelmi szakembereket is bevonni, akik objektívebb szempontok alapján tudnak tanácsokat adni, és felhívják a figyelmet az esetleges hiányosságokra. Ezek főleg nagyberuházások idején szoktak működni, pl. komplett épületszárny felújítások, átalakítások.

1.9. Adatgyűjtés, baleseti statisztikák és elemzések

Baleseti adatbázis létrehozása: A korábbi balesetek és sérülések adatainak rögzítése és elemzése segít azonosítani azokat a körülményeket és helyzeteket, amelyek a leggyakrabban vezetnek balesetekhez. Ezáltal célzott megelőzési programokat lehet kidolgozni.

Trendelemzés: A trendelemzés lehetővé teszi, hogy azonosítani lehessen a visszatérő problémákat és a balesetek leggyakoribb forrásait, ami fontos eszköze a preventív munkavédelemnek.

Digitális nyomon követés és elemzés: A digitális rendszerek lehetőséget adnak arra, hogy valós idejű adatokat gyűjtsenek és elemezzenek, amelyek alapján a munkavédelemért felelős szakemberek gyorsan felismerhetik a potenciális kockázatokat és intézkedhetnek.

1.10. Mentálhigiénés támogatás és stresszkezelés

Stresszkezelési tréningek és programok célja és fontossága

A stresszkezelési tréningek és mentálhigiénés programok célja, hogy a munkavállalók könnyebben megbirkózzanak a mindennapi munkahelyi kihívásokkal, csökkentsék a munkahelyi feszültségeket és elősegítsék a mentális jólétet.

Stresszkezelési programok irodai dolgozók számára

Az irodai dolgozók munkahelyi stresszének forrásai sok esetben az alábbiakra vezethetők vissza:

- Monoton és sokszor ülőmunka: Az irodai munkák gyakran egyhangúak, kevés mozgást igényelnek, és hosszú órákon át végzik őket, ami stresszt, illetve fizikai és mentális kimerültséget eredményezhet.
- Rövid határidők és feladatkör-bővülés: Az irodai munkák esetében a feladatkörök gyakran gyorsan változnak, ami egyúttal folyamatos alkalmazkodást és az új készségek gyors elsajátítását követeli meg.
- Kommunikációs problémák: Az irodai környezetben előforduló kommunikációs nehézségek – például a kollégákkal vagy a vezetéssel való megértési problémák – gyakran eredményeznek konfliktust, ami szintén növeli a stresszt.

- Stresszkezelési és relaxációs technikák oktatása: Az irodai dolgozóknak ajánlott olyan relaxációs technikák oktatása, mint a légzőgyakorlatok, rövid meditációk, vagy izomlazító technikák, amelyek gyorsan, az íróasztal mellett is elvégezhetők, és segíthetnek a munka közbeni stressz oldásában.

Mozgásprogramok és ergonomikus munkaállomás kialakítása: A stresszkezelési programok részét képezheti a mozgásprogramok támogatása is, például napi rövid tornagyakorlatok vagy munkahelyi fitness lehetőségek bevezetése. Emellett az ergonomikus munkahely kialakítása csökkenti az ülőmunka negatív hatásait. Sajnos ezen a téren munkacsoportunk több esetben is tárt fel hiányosságokat az egyetem szervezeti egységeinél.

Kommunikációs tréningek: A hatékony kommunikáció és konfliktuskezelés fejlesztése érdekében a vezetőség támogathat kommunikációs és csapatépítő tréningeket, amelyek segítségével a dolgozók hatékonyabban kezelhetik a munkahelyi konfliktusokat

Stresszkezelési programok fizikai állományú dolgozók számára

A fizikai munkát végző dolgozók számára a stressz fő forrásai gyakran a következők:

- Nagy fizikai megterhelés és monotonitás: A fizikai dolgozók gyakran monoton és megerőltető munkát végeznek, ami kimerültséget és stresszt okoz, különösen akkor, ha hosszú műszakokban dolgoznak.
- Veszélyes munkakörnyezet: A baleseti kockázatok és a veszélyes munkakörülmények jelentős stresszfaktorként vannak jelen, mivel a dolgozóknak folyamatosan figyelniük kell a biztonsági szabályok betartására.

Szabályozások és ellenőrzések szigorúsága: A fizikai munkakörökben szigorú szabályozások és ellenőrzések vannak érvényben, amelyek betartása sokszor nyomást gyakorol a dolgozókra.

Programjavaslatok a fizikai dolgozók számára: Fizikai és mentális pihenés lehetőségének biztosítása: A hosszabb műszakok esetén különösen fontos a rendszeres pihenők beiktatása, amelyek lehetővé teszik, hogy a dolgozók fizikailag és mentálisan is regenerálódjanak. Pihenőszobák, relaxációs terek kialakítása vagy rövidebb szünetek bevezetése.

- Mentális állóképesség fejlesztése: A fizikai dolgozóknak szervezett mentális tréningek, például stresszkezelési és figyelemfejlesztési gyakorlatok segíthetnek a koncentráció és a biztonságtudatosság növelésében, különösen veszélyes munkafolyamatok esetén.

Biztonsági kultúra támogatása: A fizikai munkát végzők számára olyan képzések és támogató programok hasznosak, amelyek fejlesztik a biztonságtudatosságot és csökkentik a baleseti kockázatokat.

1.11. Kényszertesttartásokra visszavezethető egészségkárosodási kérdések és megelőzésük lehetőségei

Az irodai munkát végzők között – akik jellemzően hosszú órákat töltenek számítógép előtt – többféle munkavédelmi kihívás fordul elő, különösen a vázizomrendszeri sérülések és a szemészeti problémák miatt. A gyakran előforduló kockázatok, például a hátfájás, csuklófájdalom és szemszárazság a kényelmetlen testtartás, ismétlődő mozgások és a képernyő hosszú idejű nézése miatt alakulnak ki. Megelőzés érdekében a munkacsoport kollégái megvitatták annak lehetőségét, hogy javasoljuk a vezetés számára, hogy a munkavállalók részére legyen kiadva elektronikusan egy olyan összefoglaló, amely tanácsokat ad a napi munkavégzés helyes testtartásban végzéséhez, és edukálja a relaxációs, valamint egyéb egészségmegőrzési technikákat.

2. Gyakori problémák

- Vázizomrendszeri Sérülések (MSD):

Az ismétlődő mozdulatok, mint például az egérhasználat és gépelés, valamint a helytelen testtartás miatt gyakoriak a csukló- és vállproblémák, karpális alagút szindróma és hátfájás. Ezek a panaszok az állandóan görnyedt testhelyzetből és a túlzottan előre dőlt nyakból is eredhetnek [6].

- Szemészeti Problémák (Computer Vision Syndrome, CVS):

Az irodai dolgozók körében gyakori a szemfáradás és szárazság, mivel a monitorra való hosszú idejű fókuszálás kevés pislogással párosul. Ez a képernyő fénye, valamint a szem- és képernyőtávolság nem megfelelő beállítása miatt súlyosbodhat.

Megelőzési Módszerek

- Ergonómikus Munkaállomás-kialakítás:

Fontos a szék és az asztal magasságának beállítása, hogy az ülés közbeni testtartás természetes legyen: a lábak a padlón, a karok ejtett szögben legyenek [4]. A monitor szemmagasságba történő állítása szintén segíthet csökkenteni a nyakfeszültséget. A megfelelő ergonómiai eszközök – például csuklótámasz, állítható szék és monitorállvány – mind hozzájárulnak a kényelmesebb munkavégzéshez.

- Rendszeres szünetek:

Az ismétlődő mozgások csökkentése érdekében ajánlott időközönként rövid szüneteket tartani, és más feladatokra váltani, ha lehetséges. Az úgynevezett "20-20-20 szabály" betartása, amely szerint 20 percenként 20 másodpercre egy távoli tárgyra kell fókuszálni, segíthet csökkenteni a szemfáradtságot.

- Mozgás és Nyújtás:

A nyak- és vállfeszültség oldása érdekében rendszeres nyújtások és rövid séták ajánlottak. A mozgásszegény ülőmunka közben beiktatott nyújtó gyakorlatok és álló munkapad használata segíthet csökkenteni a hát és a vállak feszülését, miközben javítja az általános komfortérzetet.

- Szemvédelem

A képernyő tükröződésének csökkentése, például árnyékolással vagy szemüveggel, enyhítheti a szemirritációt. A megfelelő szín- és fényerőbeállítások, valamint a képernyőszűrők alkalmazása szintén segíthetnek csökkenteni a szemre nehezedő terhelést.

2.1. Vizsgálati szempontrendszer kialakítása

A jelenlegi munkavédelmi szabályzat megfelelőségének vizsgálatához munkacsoportunknak létre kellett hozni egy alkalmas vizsgálati szempontrendszert.

Munkánk kezdetén 2021-ben kezdtünk el összeállítani irányelveket a szempontok összegyűjtéséhez, hogy azok figyelembe vegyék a különböző szervezeti egységek eltérő feladatait és körülményeit, valamint a szervezet adottságainak és telephelyeinek sokféleségét. Egységes, jól alkalmazható szempontrendszer összeállítása volt a cél, mely figyelembe veszi, hogy az adminisztratív feladatokat végző egységeknél az ergonómiai és pszichoszociális kockázatok dominálnak, de e mellett tekintettel van azon körülményekre is, hogy a műszaki és üzemeltetési részeknél a fizikai, mechanikai és kémiai veszélyek a jelentősebbek.

A következő kategóriákba gyűjtöttük a kezdetben 259 db szempontot:

1. Munkaszervezés és munkavállalói felkészültség;
2. Dokumentáció és nyilvántartás;
3. Elsősegélynyújtás és vészhelyzeti eszközök;
4. Munkakörnyezet és infrastruktúra;
5. Anyagok és vegyszerek kezelése;

6. Egyéni védőeszközök;

7. Higiéniai és tisztasági szempontok.

2.2. Alkalmazott vizsgálati szempontrendszer a szervezeti egységek munkavédelmi megfelelőségére vonatkozóan

Az összegyűjtött több száz szempontot a fenti 7db kategóriák szerint rendeztük. Majd elkészítettük azt az értékelési táblázatot, amelyet a szervezeti egységekhez menve töltöttünk fel adatokkal, amelyet a 1. táblázat mutat.

A már letisztázott vizsgálatok elvégzésére konkrét ütemtervet készített a munkacsoport, a vizsgálati helyeken 22 hétig dolgozott a munkacsoport.

	Vizsgált Intézet:			Dátum:	
s.sz.	Vizsgált terület	Megfelelő	Nem megfelelő	Nem releváns	Megjegyzés
1	Munkaköri leírások				
2	Orvosi alkalmassági				
3	Munkavédelmi oktatás				
4	Tűzvédelmi oktatás				
5	Baleseti napló				
6	Munkavédelmi megbízott				
7	Gépkönyvek				
8	Érintésvédelmi jegyzőkönyv				
9	Vegyszerlista				
10	Biztonsági adatlap				
11	Elsősegélynyújtó				
12	Elsősegélynyújtó oktatása				
13	Elsősegélynyújtó hely				
14	Elsősegély felszerelés				
15	Biztonsági jelzések				
16	Szellőzés				
17	Padozat				
18	Megvilágítás				
19	Hőmérséklet				
20	Zaj				
21	Rezgés				
22	Közlekedési utak				
23	Épület állaga				
24	Nyílászárók				
25	Munkahely mérete				
26	Munkahely ergonómiája				
27	Anyagmozgatás				
28	Vegyszer tárolás/kezelés				
29	Egyéb anyag tárolás				

30	Egyéni védőeszköz				
		Helyi	Központi	Megjegyzés	
31	Takarítás				

1. táblázat Egyeztetett vizsgálati szempontrendszer

2.3. A meglévő és javasolt új szabályzat összehasonlítása jogi megfelelés szempontjából

A meglévő munkavédelmi szabályzatot 2018.06.01-én fogadta el 110/2018. határozati szám alatt a vezetés.

Egyezőségek:

- **Cél és Hatály:** Mindkét szabályzat célja a biztonságos munkavégzés feltételeinek megteremtése a szervezet területén, a munkavállalók egészségének védelme érdekében.
- **Munkavédelmi feladatok és hatáskörök:** A szervezet felépítése, beleértve a vezető feladatait, jelentős átfedést mutat. Mindkét dokumentum tartalmazza a munkavédelmi oktatások, kockázatértékelés és balesetek kezelésének szabályait.
- **Munkavállalói kötelezettségek:** A munkavállalók kötelességei a munkavédelmi szabályok betartására, elsősegélynyújtás biztosítására és a szükséges egyéni védőeszközök használatára mindkét szabályzatban egyeznek.

Különbségek:

- **Veszélyes munkakörök besorolása és osztályozása:** Az új szabályzat kiterjedtebb besorolást nyújtana a veszélyességi és egészségügyi osztályozásban, részletesebben szabályozná az egyes munkakörökhöz kötött egészségvédelmi előírásokat, beleértve a rákkeltő anyagokkal dolgozók és sugárvédelmi kötelezettségek kezelését is.
- **Foglalkozás-egészségügyi szolgálat:** Az új szabályzat részletesebb előírásokat tartalmazna a foglalkozás-egészségügyi szolgáltatásokra és a munkaegészségügyi vizsgálatokra vonatkozóan, több figyelmet fordítana a rendszeres és soron kívüli orvosi alkalmassági vizsgálatok gyakoriságára és kötelezettségeire, mely jobban illeszkedne szervezet célkitűzéseire.
- **Oktatás és továbbképzés:** Az új szabályzat szigorúbb rendelkezéseket vezetne be az oktatásra, az elsősegélynyújtás oktatására, illetve a munkavédelmi felelősök és megbízottak továbbképzésére vonatkozóan, ami a gyakorlati tudás megerősítését szolgálja.

Az átfogóbb egészségvédelmi szabályok és a rendszeres oktatási, továbbképzési programok bevezetésével a munkavédelmi rendszer hatékonyabban tudna működni, növelve a biztonságot és csökkentve a balesetek kockázatát, valamint megfelelné a jogszabályi előírásoknak. Ennek mielőbbi bevezetése lenne javasolt a szabályzatok egységesítése és átfogóbb munkavédelmi rendszer kialakítása érdekében.

A jelenleg érvényes szabályzat és az általunk tervezett új szemléletű munkavédelmi rendszer és szabályzat összehasonlítását a következő táblázat tartalmazza.

s.sz.	Vizsgált Témák	Jelenlegi Szabályzatban Szerepelő Dokumentumok Száma (db)	Tervezett Szabályzatban Megjelenő Dokumentumok Száma (db)
1.	Eljárások	3	5
2.	Dokumentumok	0	1
3.	Kockázat	2	6
4.	Ellenőrző	2	6
5.	Megelőző	1	3
6.	Személyi Feltétel	3	10
7.	Orvosi Alkalmasság	9	9

8.	Oktatás	3	8
9.	Munkahelyek	3	8
10.	Külső Munkavállalók	1	5
11.	Veszélyes Tevékenység	0	1
12.	Veszélyes Anyag	1	6
13.	Egyéni Védőeszköz	1	5
14.	Gépek, Munkaeszközök	8	17
15.	Vészhelyzeti Felkészültség	16	20

2. táblázat Szabályzatok összehasonlítása témák szerint

3. Összefoglalás

A vizsgálati szempontok kialakításakor először több száz, majd egy redukált darabszámú rendszer segítségével lettek elemezve a szervezeti egységek egy előre megadott időrendi táblázatot követve.

A munkánk egyik fontos következtetése, hogy az új szervezeti átalakulás és a kibővült portfólió olyan munkavédelmi rendszer kialakítását igényli, amely a különböző szervezeti egységek specifikus szükségleteit is kielégíti. A munka több javaslatot tesz arra vonatkozóan, hogyan lehetne a munkavédelmi rendszert moduláris módon továbbfejleszteni és rugalmasabbá tenni, figyelembe véve a különböző munkakörnyezetek eltérő kihívásait.

Az összefoglaló javaslatok között szerepel a munkavédelmi oktatások rendszerének átalakítása, a védőeszközök testreszabása és állapotuk rendszeres ellenőrzése, a munkakörnyezet ergonomiai szempontú kialakítása, valamint a dolgozók mentálhigiénés támogatása és stresszkezelése. Ezek a javaslatok hozzájárulhatnak egy olyan munkavédelmi rendszer kialakításához, amely képes alkalmazkodni a szervezet változásaihoz és az új kihívásokhoz.

Irodalomjegyzék

- [1] Földházi Márta: Munkavédelem a közsférában – Kockázatok és szabályozások. Munkavédelmi Szemle, 2019/2.
- [2] Szabó Zoltán: Oktatás szerepe a munkavédelmi kultúra fejlesztésében. Munkaügyi Szemle, 2020/4.
- [3] National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH): Ergonomic Guidelines for Office Work. 2017.
- [4] EU-OSHA: Risk assessment tools and guidelines. European Agency for Safety and Health at Work, 2015.
- [5] Kiss G., Lénárt B.: Védőeszközök használatának hatékonysága – Tapasztalatok a hazai gyakorlatból., Munkavédelem a gyakorlatban, 2018.
- [6] Európai Munkahelyi Biztonsági és Egészségvédelmi Ügynökség: Bevezetés a munkához kapcsolódó váz- és izomrendszeri problémákba. FACTS, ISSN 1725-7034, pp 70-71. 2007

Változáskezelés rendszer koncepciója a munkahelyi biztonság és egészség érdekében

¹Zákányiné Mészáros Renáta, ²Bodnár Szabolcs, ³Berényi László, ⁴Zákányi Balázs

^{1, 2, 4} Miskolci Egyetem, Műszaki Föld- és Környezettudományi Kar,

³ Miskolci Egyetem, Gazdaságtudományi Kar

balazs.zakanyi@uni-miskolc.hu

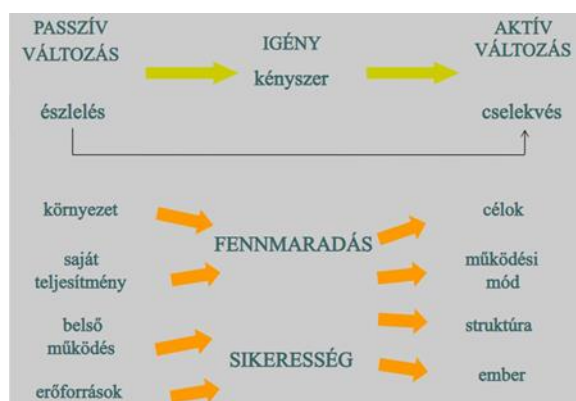
A munkavédelmi változásmenedzsment kihagyhatatlan tényezővé vált a modern gazdasági környezetben, ahol a technológiai fejlődés, a jogszabályi követelmények és a minőségbiztosítás szempontjai állandó kihívások elé állítják a vállalatokat. Vizsgálataink célja, hogy bemutassuk az általunk kidolgozott változásmenedzsment eljárást, amely kifejezetten a munkavédelmi irányítási rendszerek integrálására és optimalizálására épül. Ez a modell a kockázatok azonosítására és kezelésére helyezi a hangsúlyt, miközben elősegíti az érintettek közötti hatékony kommunikációt és együttműködést. Az eljárás kidolgozása során meghatároztuk a változáskezelési folyamat főbb szakaszait, a résztvevők felelősségi köreit, és egy átfogó modellt készítettünk a rendszer működéséhez. Az eljárás gyakorlati alkalmazását is bemutatjuk, ezzel igazolva annak működőképességét és hatékonyságát.

Kulcsszavak: munkavédelem, EHS, változásmenedzsment, átfogó modell

1. Bevezetés

A változás egy szüntelen folyamat, amely hatással van az egész minket körülvevő világra úgy, mint a természetre és természetesen a társadalomra egyaránt. Az emberi életben a változás elkerülhetetlen és tudatosan irányítható, ami a változtatás képességét jelenti. Itt meg is kell állnunk és tisztázni egy fogalmi kérdést, ami a változás és változtatás szavakból ered. Legtöbb esetben a szakirodalom is egymás rokon értelmű szavaiként dolgozik velük. Ha tovább gondoljuk, észrevehetjük, hogy az angolban nincs a kettő között különbség, mindkét esetben a „change” szót használják, csak a mondatkörnyezetből jöhetünk rá, hogy a kettő közül melyik fogalomra gondolt az írója. Annak ellenére, hogy általánosságban a változás szót használjuk, tegyünk egyértelmű különbséget a két mondatemelés között. A "változás" általában tudat nélküli folyamatokat jelent, míg a "változtatás" tudatos cselekvést, amely célzottan egy kedvezőbb állapot elérésére irányul. [1]

Hogy jobban megértsük ezt a kérdést, hozzunk létre egy csoportosítást, ami a „természeti környezetet” és „társadalmi környezetet” foglalja magában. A természeti környezetben többnyire olyan változások mennek végbe, amit nem az emberek irányítanak, hanem egyszerűen azért következnek be, mert a különböző elemek – például a víz, szél vagy a föld – kölcsönhatásba lépnek. Ezek a folyamatok maguktól zajlanak, mindenféle tudatos beavatkozás nélkül. Ellenben a társadalmi környezetben az ember a zavartalan együttélés reményében különböző szabályokat és normákat hoz létre. Amikor ezek az emberek szándékosan változtatnak valamin, akkor ez a változás tudatosan jön létre [1]. A társadalmi környezet folyamatosan befolyásolja a szervezetek működését, és a különböző szervezetek, amelyek alapvető célja a lét fenntartása, folyamatosan alkalmazkodnak a környezet változásaihoz. A tárgykör szemléltetéséhez az alábbi modell lesz segítségünkre (1. ábra).



1. ábra Checkland modell [4]

A változások rendszerint külső tényezők hatására történnek, de belső okok is szerepet játszhatnak, például a szervezeti kultúra vagy a vezetéség döntései is előidézhetik a változás indokoltságát.

A változások lehetnek meghatározó, mindenre kiterjedőek, vagy éppen kisebb, fokozatos lépésekben megvalósulók. Emellett különbséget tehetünk a megelőző jellegű változások és azok között, amelyek egy adott eseményre vagy helyzetre adott reakcióként jönnek létre.

Amikor változásra kerül sor, az ember eredendően passzívan áll hozzá és elutasítja azt, mert kötődik a berögződéseikhez, bizalmatlan vagy fél az újtól. Vezetői képesség, hogy megérttesse a változások nélkülözhetetlenségét, bevonja az érintetteket a folyamatba, ezzel enyhítve az ellenállást. [1]

2. Változáskezelés munkavédelmi modelljei

A munkavédelem területét érintő változások sem maradnak eszköz nélkül, hiszen ebben a szekcióban is rendelkezésünkre állnak és már korábban kidolgozásra kerültek. Ezek első sorban a fejlett uralkodó iparágakban az árucikkek és folyamatok megbízhatóságának, biztonságának és minőségének értékelésére szolgálnak. Az amerikai munkavédelmi testület (OSHA) is meghivatkozta eljárásnak 1910.119 (e) pontjában azt, ami a folyamatokra ható veszélyeket taglalja. A bekezdésen belül a 2. pont arra hívja fel a figyelmet, hogy a vizsgálat elvégzésére érdemes az alábbi metódusuk közül egyet, vagy akár többet is alkalmazni egyszerre. A 3-as pont azt részletezi, hogy az elemzésnek következetesen milyen részekre kell kitérnie. Itt kiemelésre kerül a humán faktor és számszerű értékelése a lehetséges egészségre és biztonságra kiható tényezőknek. Térjünk is rá arra, mik, azok a legfontosabb metódusok, amiket ez amerikai munkavédelmi eljárás ajánl:

- Failure Mode and Effects Analysis (FMEA),
- Hazard and Operability Study (HAZOP),
- What if (Mi lenne ha,...) modell.

Látható, hogy számtalan különböző stratégiát használhatunk a céget érintő különböző változások azonosítására. A megfelelő modell kiválasztásánál legfőképp a változás típusát, szisztémáját, komplexitását, sebességét kell figyelembe vennünk. Ezek az eszközök meglátásunk szerint nem elég specifikusak abban az esetben, ha a minket ért változás egy berendezés beszerzésével, létesítéssel, vagy egy vegyi anyag érkezésekor érhet minket. A munkánk során készített eljárásban szereplő változást analizáló modellt későbbi fejezetben mutatjuk be.

2.1. Változáskezelés eljárás felépítése

A megalkotott változáskezelés eljárást mutatjuk be, mely azzal a céllal készült, hogy a magyarországi vállalatoknál, egy olyan segédeszköz álljon rendelkezésre, amit bárki könnyűszerrel sikeresen alkalmazhat a változás kezdeti szakaszától egészen a lezárásáig. Többet

nyújt annál, mint egy egyszerű vezérfonál, pontosan meghatározza a résztvevők feladatait, szerepüket a változás irányításában, felelősségüket, lehetőségeiket, eszközeiket. Ezeket mind szétbontva egy olyan szisztéma szerint mutatjuk be, ami 3 részre osztja a változás fázisait.

Ez a folyamat minden elemében megfelel az irányadó nemzetközi és magyar jogszabályoknak, szabványoknak és irányítási rendszereknek. Hatásuk nem enyhébb, mint amit elvárunk azoktól a szabályozásoktól, amelyek a legmagasabb szintű biztonságot, minőséget és megfelelőséget garantálják a gyakorlatban. Így kívánjuk biztosítani azt, hogy külső és belső auditok, valamint látogatások, bemutatók esetleg vevői ellenőrzések alkalmával bizonyítsák a rendszer hitelességét, gyakorlati alkalmazhatóságát. További szerepe, hogy kivívja a külső és belső partnerek elégedettségét és bizalmát.

2.2. Az eljárás célja

Ennek az eljárásnak a célja, hogy egységes rendszert hozzon létre a változásokkal járó potenciális kockázatok felmérésére és kezelésére, amelyek hatással lehetnek a munkavállalók egészségére és biztonságára, illetve a környezetre [5]. Ez a procedura a szervezetek számára biztosítja a változáskezelési folyamat minimális követelményeit. Ahogy korábban említettünk a cél, hogy a kialakított szisztéma mind a kis és középvállalkozások mind a nagyvállalatok számára használható legyen. Ennek ellenére minden esetben az aktuális vállalat sajátosságaira, körülményeire szabva azt. A rendszer célja annak biztosítása, hogy a folyamatok, berendezések, anyagok, működési körülmények, létesítmények, stb. változtatásainak és módosításainak bevezetése ne jelentsen további kockázatot vagy hatást a biztonságra, egészségre és a környezetre.

2.3. Az eljárás hatálya

Általánosságban elmondhatjuk, hogy az eljárás érvényessége azon változásokra terjed ki, amelyek a vállalat telephelyein vagy annak bérleményeiben történnek. A munkaerő tekintetében felöleli a cég saját és kölcsönzött erőforrását. A rendszer folyamatai összhangban vannak az érvényben lévő nemzetközi és helyi jogszabályokkal. Ha ez jelenlegi állapotában nem valósul meg, akkor gondoskodni kell a kijavításáról. Ez a szabvány olyan változtatásokra összpontosít, ami negatív hatással lehet az alkalmazottak egészségére, biztonságára és környezetére. Az eljárás nem vonatkozik új létesítmények építésére.

2.4. Felelősségi körök

A változás sikeres véghezviteléhez több ember összehangolt munkája szükséges. Ehhez meg kell határozni a szerepköröket és azokhoz feladatokat rendelni. Ez ahhoz szükséges, hogy a folyamat időben teljesüljön és sikeresen záruljon. A hatáskörök mindenkit érintenek a vállalatnál egészen akár regionális tisztségektől a gyárigazgatón át menedzsereken keresztül a gépsoron dolgozó fizikai munkát végző operátorig. Felelősséget viszont a vezető pozícióban elhelyezkedő személyekre ruháztunk. Azért fontos kiemelni, meghatároznunk ezeket a pozíciókat és felelősségüket, mert ez fog minket a folyamat sikeres lezárásához vezetni és balesetmentes közeget teremteni. Csak akkor van esélyünk időben reagálni az eseményekre, ha minden érintett tudja pontosan, hogy mit kell csinálni és mikor kell azt végrehajtania, kik a csapattársai, akikkel közre kell működnie, együtt kell dolgozni, információt kell megosztania. Ellenkező esetben az időtényező figyelmen kívül hagyása súlyos személyi, anyagi károkat okozhat.

2.5. A változás behatárolása

A változásindítási kérelem kitöltésével az is kiderülhet, hogy a projekt, amit végre akarunk hajtani, nem jár semmiféle változással semmilyen körülmény tekintetében. Ez úgy lehetséges, hogy

csekély a változás hatása – vagy egyáltalán nincs – a munkavállalókra, a környezetre, a biztonságra. A változás indítási kérelmek a következők lehetnek:

- Természetbeni csere vagy változás;
- Sürgősségi változtatás;
- Ideiglenes változtatás.

Fontos, hogy a változásindítási kérelem minden esetben dokumentálva legyen, hogy nyomon követhető és visszakereshető legyen, ha később kérdések vagy ellenőrzések merülnének fel. Mindez hozzájárul a vállalaton belüli transzparencia fenntartásához, valamint az előírásoknak és a jogszabályi követelményeknek való megfelelés biztosításához. Egy másik fontos tényező, amelyet figyelembe kell venni, hogy bár az ilyen minimális hatású változtatások esetén nem szükséges minden lépést részletesen végrehajtani, az érintett területeken dolgozó kollégák informálása, tájékoztatása továbbra is elengedhetetlen. Ez biztosítja, hogy mindenki tisztában legyen a változás jellegével, különösen akkor, ha az új eljárás vagy technológia valamelyest eltér a megszokottól, még ha jelentős hatással nem is bír.

Tehát ott tartunk a procedúrában, hogy kitöltöttük a változás indítási kérelmet, ezzel megválaszoltuk, beazonosítottuk a változás alapkérdéseit. Most kezdhethetünk el foglalkozni a változtatás előkészítésével.

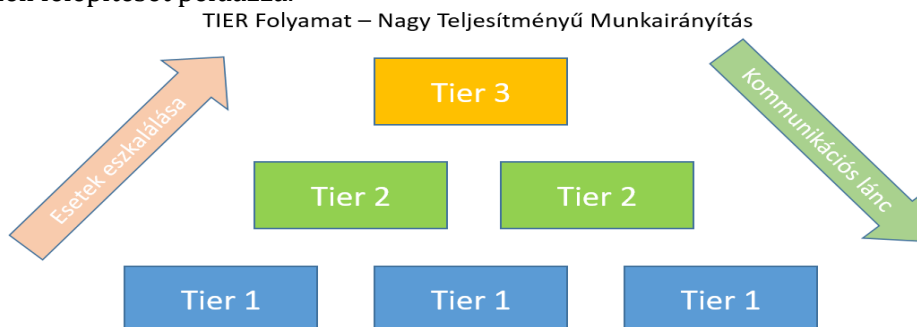
2.6. A modell szerkezete

A TIER (TIER = Tracking, Impact, Evaluation, Response; Tracking: a változtatások nyomon követése, Impact: hatásvizsgálat, Evaluation: értékelés és jóváhagyás, Response: megvalósítás és visszamérés) rendszer egy kifinomult összeállított, hierarchikus megközelítést képvisel a vezetés és a kommunikáció területén, amely a lean menedzsment keretein belül segíti a napi problémák gyors megoldását. Ennek a megoldásnak a célja, hogy a vállalat különböző szintjein hatékony és gyors információáramlást, valamint döntéshozatali folyamatokat valósítson meg. A TIER szintjei alatt különböző, rendszeresen zajló megbeszélések értendők, ahol a dolgozók azonosítják a felmerülő akadályokat, lehetőséget biztosítva ezzel a gyors intézkedések meghozatalára. [6]

A TIER folyamat a hagyományos termelési fehér táblák elképzelését továbbfejleszti, bevezetve három szintű megbeszélési rendszert (2. ábra). E megközelítés alapját az képezi, hogy a felmerülő problémákat a lehető legkorábban a legalacsonyabb szinten kell kezelni a gyors döntéshozatal érdekében. A többszintű meetingstruktúra segíti a döntéshozatalt, hiszen minden szint esetében a résztvevők rangsor alapú pozíciójához és szerepköréhez igazítja a megbeszéléseket, ezáltal biztosítva az információ hatékony áramlását a szervezeten belül. [7]

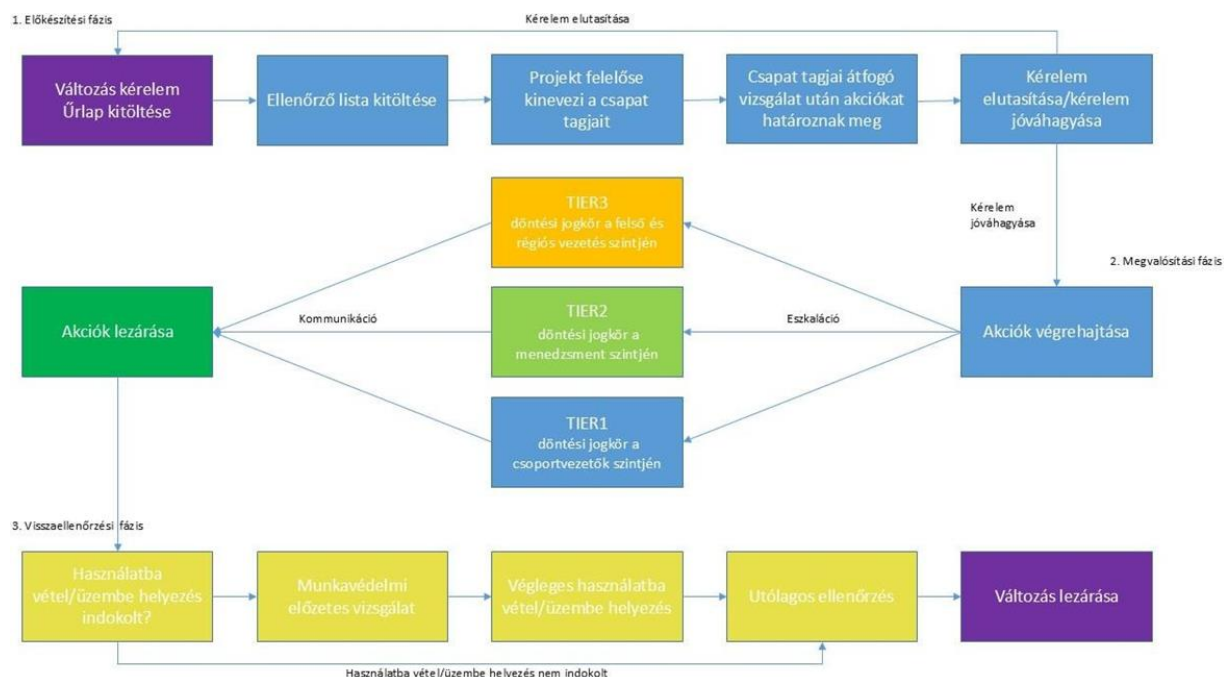
Azért ezt a megközelítést választottuk a módszer kidolgozására, mert úgy gondoljuk, hogy ebben az esetben garantálja a munkavégzés hatékonyságát és a források lehető legjobb kihasználását, az adatok és döntéshozatali folyamatok rendszerezett áramlását. A vállalat előrehaladását, fejlődését vetíti előre az a gyakorlat, ahol a folyamatos visszacsatolás és a megoldási eljárások rendszeresen felülvizsgálatra kerülnek. Itt lehetőség nyílik a közvetlenül a gyártásban résztvevők bevonása és az ő problémáik, felvetéseik megtárgyalása, ami hatással van a munkavállalók motivációjára, felelősségérzetére. Ez pedig a minőségi munkavégzés alapját képezi. A rendszeres találkozók és ezáltal a problémák, elakadások gyors megbeszélése esélyt ad arra, hogy a vállalat időben akciókat tudjon meghatározni a változásokra, rendellenességekre. Természetesen ennek az eszköznek is vannak hátulütői, amit szem előtt kell tartani, és kialakításuk több időt vehet igénybe. Az egyik ilyen tényező az maga a vállalati kultúra, ami esetleg nincs erre felkészülve, a dolgozók bevonása nincs a gyakorlatba beépülve, akkor annak hatékony alkalmazása türelmet igényel a vezetés részéről. Lényegesnek tekintjük, hogy az akadályok, hibák jelentése gyors és eredményes legyen,

azaz az információk a megfelelő személyhez jussanak el, ugyanis, ha az akadályokról szóló információk egy szinten megrekednek, az gyengíti a rendszer hatékonyságát [8, 9]. A következő ábra a modell felépítését példázza.



2. ábra TIER modell

Összességében a TIER rendszer egyik fő előnye, hogy a kritikus helyzetekben az információ akadálytalanul, átlátható módon jut el az érintettekhez (3. ábra). A problémák kezelésére a legmegfelelőbb szinten kerül sor, ami azt jelenti, hogy az egyszerűbb problémákat gyorsan meg lehet oldani az alsóbb szinteken (TIER1), míg a bonyolultabb vagy stratégiai döntést igénylő kérdések a magasabb szintekre (TIER2, TIER3) kerülnek eskalációra. Ez csökkenti az elhúzó döntési folyamatokból származó veszteséget, és lehetővé teszi a gyors beavatkozást, ami különösen fontos a versenypiaci környezetben. A megfelelő időben és helyen történő információáramlás lehetővé teszi a szervezet számára, hogy gyorsan reagáljon a változásokra vagy problémákra, ezzel jelentős időt és erőforrást takarítva meg. [10]



3. ábra Változáskezelési eljárás folyamatábrája

Ami még ennél is fontosabb számunkra, hogy ez a fajta pontos, precíz mindenre kiterjedő instrukciókkal ellátott szabályozás csökkenti a munkahelyi balesetek előfordulását. Gyors döntéshozatali mechanizmus révén a potenciális kockázatok és veszélyek azonosítása, valamint a szükséges beavatkozások sokkal gyorsabban történhetnek meg. Ez a szintű szabályozottság és átlátható folyamatkezelés hozzájárul a munkahelyi balesetek megelőzéséhez és a biztonsági protokollok betartásához. Mivel a döntéshozók az eskalált kérdésekről strukturált információt

kapnak, a hatékony megoldás érdekében szükséges összes érintettet bevonják a folyamatba, ami növeli az együttműködést és a felelősségvállalást.

A TIER-rendszer által biztosított hatékony kommunikáció és döntéshozatal gazdasági előnyt jelenthet a vállalat számára. Az időmegtakarítás közvetlenül befolyásolja a költséghatékonyságot, mivel kevesebb időt vesz igénybe a problémák megoldása és a döntések meghozatala. Emellett csökkenti az esetleges gyártási kieséseket, növeli a termelékenységet, és minimalizálja a hibákból eredő költségeket. Az információ gyors áramlása és a célzott eskaláció biztosítja, hogy a kritikus helyzetekben a szükséges lépések azonnal meghozhatóak legyenek, ami jelentősen növeli a szervezet reagálóképességét és versenyképességét.

3. Ellenőrzőlisták kidolgozása

Az általunk elkészített lista követelményei igazodnak a releváns jogszabályi előírásokhoz, és biztosítják a jogi megfelelést a gyakorlatban.

A kisebb cégek számára különösen fontos az átlátható és egyszerűen megvalósítható követelmények megléte, amelyek lehetővé teszik a szükséges előírások betartását anélkül, hogy túlzott adminisztratív terheket jelentenének. A lista segítségével a kisvállalkozások könnyebben kezelhetik a kockázatokat, biztosíthatják a munkavédelmi, minőségi vagy egyéb követelmények betartását, miközben gyorsan reagálhatnak a felmerülő problémákra. A multinacionális cégek partnerei és beszállítói számára a lista átlátható kereteket és egyértelmű elvárásokat ad. Ennek köszönhetően könnyebben betarthatóak a partnerek és beszállítók által nyújtott szolgáltatásokra, termékekre vonatkozó minőségi, biztonsági vagy egyéb megfelelőségi követelmények. Ez segíti a szervezetek közötti harmonizált működést, csökkenti a konfliktusokat, és hozzájárul az értéklánc egészének hatékonyságához és biztonságához.

Változásindítási Kérelem					
Kezdeményező:		Dátum:		Állandó	Ideiglenes
Helyszín:		Terület:		Sürgős	Kisebb
A javasolt változás leírása:					
Változás kérelem indításának oka:					
KÉREM CSATOLJ KIEGÉSZÍTŐ DOKUMENTÁCIÓT (RAJZ, SPECIFIKÁCIÓ, KOCKÁZATÉRTÉKELES)					
Felülvizsgálat és jóváhagyás					
Résztvevők:	Aláírás:		Dátum:	Komment:	
Projekt felelős:					
Operáció/Terület:					
Karbantartás:					
EHS:					
Egyéb: _____ Területi Igazgató _____					
Kockázatvizsgálat					
Van új folyamat? Változás a meglévőben?				IGEN	NEM
Ha igen, töltsd ki a rá vonatkozó ellenőrző listát.					
Van új gép, berendezés, munkaeszköz? Változás a meglévőben?				IGEN	NEM
Ha igen, töltsd ki a rá vonatkozó ellenőrző listát.					
Van új vegyianyag? Változás a meglévőben?				IGEN	NEM
Ha igen, töltsd ki a rá vonatkozó ellenőrző listát.					
Van új létesítés? Változás a meglévőben?				IGEN	NEM
Ha igen, töltsd ki a rá vonatkozó ellenőrző listát.					
A változás feleljen meg a belső vonatkozó szabályozásnak.					
A projektet jóváhagyta:				Dátum:	

4. ábra Javasolt dokumentum

Változásban érintett létesítmény esetén vizsgálándó főbb pontok

1. Szükséges a változtatáshoz építési engedély?
2. Használatbavétel engedély köteles a változtatás?
3. Kivitelezéshez tervek, rajzok, egyéb dokumentumok vannak?
4. Befolyásolja-e a változtatás valamely energiaellátást?
5. A változtatás miatt építési munkahellyé kell nyilvánítani a területet?
6. Ha építési munkahelyen végzett tevékenység munkavédelmi hatóság felé bejelentés köteles akkor megtörtént?
7. Kivitelező vett igénybe biztonsági és egészségvédelmi kordinátort?
8. Kivitelezési terv része a biztonsági és egészségvédelmi terv?
9. Ha több alvállalkozó dolgozik egyszerre azok kordinálása megoldott?
10. Változtatás befolyásolja a tűzoltó rendszert?
11. Változtatás befolyásolja a kiürítést?

Változás vegyi anyag esetén vizsgálándó főbb pontok

1. Meglévő anyaggal kapcsolatos a változás?
- Ha új anyaggal kapcsolatos akkor a nem a megfelelő válasz
2. Van az anyagnak biztonsági adatlapja?
 3. Veszélyesnek minősül az anyag vagy keverék?
 4. Be kell jelenteni a veszélyes anyagot vagy keveréket az egészségügyi államigazgatási szerv felé?
 5. Gondoskodtak az anyag, keverék megfelelő raktározásáról?
 6. Veszélyes vegyi anyag, keverék hulladék kezelésé biztosítva van?
 7. Veszélyes anyag, keverék helyettesítése kevésbé veszéllyel lehetséges?
 8. Kijelölésre kerültek az oktatásban részesítendőek?
 9. Viselendő egyéni védőeszközök megállapításra kerültek?
 10. Kollektív védelem megfelelően kiépítésre került?
 11. A vegyi anyagnak van rákkeltő vagy mutagén tulajdonsága?
 12. Megfelelően biztosítva vannak a körülmények a rákkeltő, mutagén vegyi anyag használatához?

Változás a folyamatban vizsgálándó főbb pontok

1. FMEA/HAZOP/WHAT IF modellek valamelyikének használata megtörtént a kockázatok meghatározásához?
2. Az egészséget nem veszélyeztető és biztonságos munkavégzésre vonatkozó szabályok kialakításra kerültek?
3. Ergonómiai tényezők számításba lettek véve?
4. Nem veszélyezteteti a folyamat az egészséget és/vagy biztonságot?
5. Köti jogszabály a munkafolyamat végzését engedélyhez?
6. Veszélyforrások esetén a hatásos védelem kiépítésre került?
7. Munkavállaló alkalmas a munkafolyamat végzésére?
8. Az oktatásra szánt személyek csoportja kijelölésre került?
9. Viselendő egyéni védőeszközök megállapításra kerültek?
10. Munkautasítás készült a folyamat szabályozására?
11. Szükséges szakképesítés a munkafolyamat végzéséhez?
12. Folyamat végzése során az elsősegély nyújtás feltételei biztosítottak?

Változás a gép/berendezés/munkaeszközben vizsgálándó főbb pontok

1. Veszélyes munkaeszköznek minősül?

2. Készült kockázatértékelés a berendezéshez?
3. Van a gépnek CE jelölése és EK megfelelőségi nyilatkozata?
4. Műszaki dokumentáció rendelkezésre áll a munkaeszközhöz?
5. Dokumentáció tartalmazza a használati utasítást?
6. Berendezéshez tartozik karbantartási utasítás?
7. Zajmérés megtörtént?
8. Villamos biztonsági felülvizsgálat lezajlott?
9. A munkaeszköz időszakos felülvizsgálatának időpontját kijelölték?
10. Munkaeszköz karbantartási terve elkészült?
11. Oktatásban résztvevők kijelölésre kerültek?
12. Munkaeszköz emelőgépnek minősül?

4. Összefoglalás

Az általunk kidolgozott változásmenedzsment eljárás és modell szorosan illeszkedik a munkavédelmi irányítási rendszerek nemzetközileg elismert iránymutatásaihoz, különös tekintettel az ISO 45001 szabványra és az EU-s jogszabályokra. Az eljárás megalkotása során figyelembe vettük a hatályos magyarországi törvényeket és rendeleteket, biztosítva, hogy az alkalmazás során megfeleljen az előírásoknak és a gyakorlatban könnyen végrehajtható legyen. Az eljárás kiemelt hangsúlyt helyez a kockázatértékelés folyamatára, a folyamatos fejlesztés elvére, valamint az érintettek bevonására, biztosítva ezzel az átláthatóságot és az eredményességet.

Az értékelés alapján az eljárás legnagyobb erőssége a strukturált megközelítés és az egyszerű, ugyanakkor hatékony eszközök használata. Ezek lehetővé teszik, hogy a munkavédelmi rendszerek nemcsak a legalapvetőbb jogi követelményeknek feleljenek meg, hanem támogassák a szervezet általános biztonsági és egészségvédelmi kultúrájának fejlődését is. Az alkalmazott modell rugalmasságának köszönhetően különféle iparágakban és szervezeti méretekben is sikeresen implementálható, ami tovább növeli az értékét.

Az eljárás hatékonysága tovább növelhető lenne, ha annak hatályát kiterjesztenénk a változásmenedzsment folyamatot alkalmazó multinacionális cég partneri kapcsolatban álló vállalkozásokra és vevőkre. Ez a kiterjesztés több szempontból is előnyös lehet:

Minőségbiztosítási fejlesztés: A közös eljárás alkalmazása egységes standardokat teremtene a teljes ellátási láncban, ami csökkentené a hibalehetőségeket, növelné a termékek és szolgáltatások minőségét, és javítaná az ügyfél-elégedettséget.

Auditálhatóság javítása: Egy egységes rendszer könnyebbé és gyorsabbá tenné az auditokat, mivel az eljárások átláthatósága és egységessége lehetővé tenné az adatok hatékonyabb elemzését és az esetleges hiányosságok gyorsabb kijavítását.

Költségcsökkentés: Az egységes munkavédelmi és minőségbiztosítási megoldások révén csökkenthető lenne a redundáns rendszerek fenntartásának költsége, valamint az időráfordítás az egymástól eltérő eljárások koordinációjára.

Egységes munkabiztonsági standardok kialakítása: A rendszer kiterjesztése biztosítaná, hogy a cég partneri kapcsolatban álló vállalkozások és vevők is azonos munkabiztonsági előírásokat alkalmazzanak. Ezáltal csökkenthető lenne a balesetek és egészségkárosító események kockázata, különösen az ellátási láncban dolgozók körében, akik gyakran eltérő biztonsági kultúrával és eljárásokkal szembesülnek.

Kockázatértékelés javítása: A modell alkalmazása lehetőséget biztosítana a partnerek és beszállítók kockázatainak közös értékelésére. Az azonosított veszélyforrások alapján egységes

intézkedési terveket lehetne kidolgozni, amelyek a teljes ellátási lánc munkavédelmi helyzetét erősítenek.

Folyamatos oktatás és képzés: Az eljárás bevezetése megkövetelné a résztvevő vállalatoktól a munkavédelmi oktatások és képzések színvonalának egységesítését. Ez nemcsak a biztonsági tudatosság növeléséhez járulna hozzá, hanem biztosítaná, hogy minden dolgozó a legfrissebb szabványok szerint végezze munkáját.

Hosszú távú együttműködés erősítése: Az eljárás kiterjesztése elősegítené a szorosabb partneri együttműködést, és hozzájárulna az ellátási lánc egészének hatékonyságához.

Bár az eljárás és annak kiterjesztése számos előnnyel jár, van néhány hátránya is, amelyeket figyelembe kell venni az implementáció során. Az egyik legjelentősebb kihívás a magas kezdeti erőforrás-igény, amely mind pénzügyi, mind időbeli befektetést jelent. Az alábbi szempontok különösen relevánsak:

- Bevezetési költségek: Az egységes rendszer kialakítása és kiterjesztése a partnerekre jelentős kezdeti beruházást igényelhet.
- Partnerek eltérő érettségi szintje: Az eljárást használó vállalkozás és a kapcsolatban álló partnerek és vevők különböző mértékben lehetnek felkészülve egy ilyen szintű változtatásra. Az eltérő munkavédelmi és minőségbiztosítási kultúra, valamint az esetleges ellenállás lassíthatja a folyamatot, és további ellentéteket is generálhat.

Irodalomjegyzék

- [1] Farkas F.: Változásmenedzsment, KJK-KERSZÖV Jogi és Üzleti Kiadó, Budapest. 2004
- [2] A Munkavédelem Nemzeti Politikája 2024-2027
- [3] Crosby, Gilmore. Planned change: Why Kurt Lewin's social science is still best practice for business results, change management, and human progress. Productivity Press, 2020.
- [4] Checkland, P. Systems Thinking, Systems Practice. John Wiley & Sons, New York. (1981)
- [5] MSZ ISO 45001:2018 A munkahelyi egészségvédelem és biztonság irányítási rendszere. Követelmények alkalmazási útmutatóval
- [6] Kato, I., & Smalley, A. Toyota Kaizen Methods: Six Steps to Improvement (1st ed.). Productivity Press. (2010) <https://doi.org/10.1201/b10296>
- [7] Mann, D. Creating a Lean Culture: Tools to Sustain Lean Conversions, Third Edition (3rd ed.). Productivity Press. (2015). <https://doi.org/10.1201/b17563>
- [8] Jeffrey K. Liker, Gary L. Convis: The Toyota Way to Lean Leadership: Achieving and Sustaining Excellence Through Leadership Development, McGraw-Hill Education, 2011
- [9] Michael Balle, Daniel Jones, Jacques Chaize, Orest Fiume: The Lean Strategy: Using Lean to Create Competitive Advantage, Unleash Innovation, and Deliver Sustainable Growth, McGraw Hill LLC, 2017
- [10] Robert Martichenko: Everything I Know about Lean I Learned in First Grade, Lean Enterprise Institute, 2012

Innovációs kutatási tevékenység a Hadtudományi Kar szolnoki kampuszán

¹Vas Tímea, ²Palik Mátyás, ³Károly Krisztián
^{1,2,3} NKE HHK Repülésirányító és Repülő-hajózó Tanszék
vas.timea@uni-nke.hu

A HHK szolnoki tanszékein megvalósuló kutatások két tématerület köré csoportosulnak. Egyrészt a légijárművek, pilóta nélküli légijárművek gazdaságos és fenntartható üzemeltetésével és szenzorrendszerek miniaturizálásával kapcsolatos korszerű technológiákhoz köthető kutatási területek. Másrészt a humán és alkalmazói területekhez kapcsolódó repülésbiztonsági, repüléspszichológiai, humán-élettani, légiforgalomszervezési- és kommunikációs rendszerek modernizációjában alkalmazható technológiák, eljárások vizsgálata. A cikkben az elmúlt 3 év kutatási tevékenysége, tapasztalatai és eredményei kerülnek bemutatásra, melyekben megvalósult ötletek, technológiai újítások alapján kutatóink innovatív tevékenysége révén a projektjeinkben megfogalmazott célkitűzéseket elértük.

Kulcsszavak: alternatív üzemanyag, RBV szenzor, 3D szimulátor, xR labor, Drón átjátszó állomás

1. Bevezetés

Az NKE szolnoki tanszékeinek tudományos szakmai előélete és pályázati tapasztalata az utóbbi években a pilóta nélküli légijárművek, légijármű rendszerek köré csoportosultak. A tanszékek meglévő infrastruktúrája – kis- és nagyméretű drónjai, tesztajtóműve, élettani laborja, drón laborja lehetővé tette, hogy fentartsuk a már megszerzett képességeinket, további vizsgálatokat folytathassunk. Gyakorlati tesztek során realizálhassuk a szakirodalmi kutatásokban feltárt új kutatási irányokat és elképzeléseket. Mindemellett folyamatosan átgondoljuk, pontosítjuk kutatási terveinket, melyek a tanszékek profiljához illeszkednek. Az ehhez szükséges további kutatások, beszerzések, kísérletek, tesztek és publikációk finanszírozása pályázati forrásokból valósulhatott meg, ezek közül a Tématerületi Kiválósági Program¹ és a Kooperatív Technológiák Nemzeti Labor² projektekben elnyert támogatás kiemelendő. A pályázatokra benyújtott kutatási terv [1] a drónok többcélú felhasználásának, integrálásának lehetőségei köré építettük fel, mely az IMA (Integrált Minta Repülőtér) elnevezés alatt korrelált három kutatási területet egyesítette. Az IMA kutatási víziója egy olyan repülőtér üzemeltetését vetíti előre, ami a hagyományos és pilóta nélküli légijárművek üzemeltetéséhez alternatív üzemanyagokat használ, a repülőterek számos környezeti hatását, többek között az emisszióból eredő légszennyezést, hajtóművek okozta zajszennyezést, a földhasználat és az élőhelyek zavarását, a lefolyásból eredő vízszennyezést és az éghajlatváltozáshoz hozzájáruló üvegházhatású gázok kibocsátását kívánja csökkenteni (1. ábra).

¹ A TKP2021-NVA-16a Tématerületi Kiválósági Program (TKP) 2021-es keretében futó, a Nemzetvédelem és Nemzetbiztonság alprogramhoz tartozó projekt.

² 2022-2.1.1-NL-2022-00012 A Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratórium (KTNL) ipari innovációs kapacitások és kompetenciák felépítését és fejlesztését végzi.



1.ábra: Green Airport³

Emellett a drónok, mint hordozóplatformok a repülőtér környezetében, légterében és munkaterületén a fedélzetükre telepített szenzorokkal számos feladat elvégzésére képesek. Az IMA másik kutatócsoportja egy egyesített drónra függeszthető szenzorcsomag fejlesztését és tesztelését tűzte ki célul, ami képes a radioaktív- biológiai és vegyi szennyezettség mérésére, és a mérési adatok közel valós idejű továbbítására, ezzel egy légszennyezettségi térkép összeállítására és naprakész adatokkal való ellátására. Az IMA nagyméretű-hagyományos légijárművekhez hasonló méretű- és kisméretű, úgynevezett munkadrónok integrálásának lehetőségeit és módszereit is vizsgálta. Ennek a kutatásnak a célkitűzése, hogy egyrészt vizsgálja a szabványos légiforgalom szervezési eljárásokat, azok alkalmazhatóságát nagy- és kisméretű drónok esetén, döntéstámogató megoldásokat dolgozzon ki, melyek kibővített valóság (xR) technológia felhasználásával segítik a repülőtér légiforgalom irányítójának munkáját. További kutatási célkitűzés volt a repülőtér munkaterületén előforduló idegen anyagok (FOD-Foreign Object Debris) detektálásának módszertana különböző drón-fedélzeti szenzorok alkalmazásával (2. ábra).

A tanszékeink kutatási térképe nem lenne teljes a „drón-átjátszó állomás” kutatás bemutatása nélkül, mely lényegében a drónt, mint hordozóeszközt olyan kommunikációs relék magasba juttatására használja, melyek képesek egy adott terület felett közvetlen rálátást biztosító adatkapcsolatot létrehozni és fenntartani.

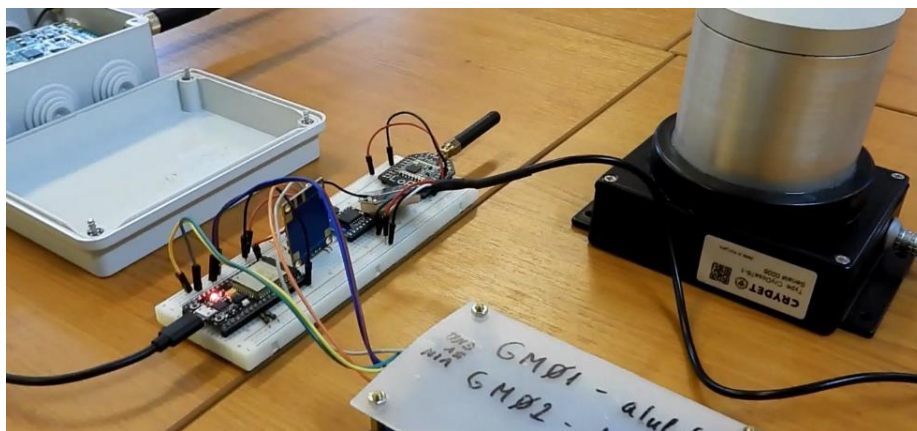
³ TKP 2021 NVA 16 IMA kiadványfüzet <https://ppi.uni-nke.hu/document/ppi-uni-nke-hu/KKT1-sz%C3%B3r%C3%B3lap-interakt%C3%ADv.pdf>



2.ábra: IMA Szenzor KCS és IMA VR KCS⁶

2. Módszertan

A jelenlegi pályázati modellekben már alapkövetelményként várják el a pályázat kiírók, hogy a kutatások olyan eredménytermék, produktum előállításával záruljanak, mely felkelti a piaci szereplők érdeklődését és a befektetett pénzügyi javak bevételeket is hoznak az egyetem számára. Ezért a kutatási célkitűzés olyan elméleti- és gyakorlati, működőképes modellek, esetleg prototípusok fejlesztését célozta, melyek tulajdonosa az NKE és emellett a projektek indikátorai azok az együttműködő cégek, akik a kutatás-fejlesztés eredménytermékeihez hozzájárultak.



3.ábra: Levegőkémiai szenzorrendszer moduljai tesztelés közben (fotó: Jámbor Krisztián, Gajdács László)

A fent leírt projektek igen szerteágazóak, ezért az eredmények eléréséhez vezető kutatás módszertanban is vannak különbségek és azonosságok is. Ami azonos, hogy mindegyiket előkészítő kutatások előzték meg, melyek elsősorban szakirodalomkutatások voltak, melyekkel korábbi- nemzetközi, de hazai publikációk szisztematikus áttekintését és elemzését végeztük el. Ezek eredményeképp állítottuk össze a **Légiforgalmi Irányító Döntéstámogató rendszer Alternatív valóságok használatával (LIND-A)** műszaki specifikációit leíró modellt [2], [3]. Ugyanezen alapkutatási szakasz mérföldköveként jegyezték kollégáink annak a felhőalapú digitális adatfeldolgozási rendszernek a megtervezését (3. ábra), melyet a levegőkémiai adatok mintavétele utáni adattovábbításra és azonnali kiértékelésre kívántak használni [4]. A repülőtéri vegyes pilótás- és pilóta nélküli forgalomra történő szimulációs gyakorlattervezés forgatókönyveinek összeállítása, és a gyakorlatok futtatása. A kutatás ezen fázisában terveztük meg a repülőtéri futópályavizsgálatra alkalmazható munkadrón repülési forgatókönyvét és

műveleti koncepcióját. Végül a drón-átjátszó állomás kísérleti fázisáig is hasonló út vezetett, melyet többszemponútú hordozó (drón) kiválasztás, hasznosteher függesztési platformtervezés és kereskedelmi forgalomban kapható rádiók specifikációnak mélyreható szakmai vizsgálata, kiválasztása előzött meg.

A kutatások következő fázisában vizsgáltunk esettanulmányokat, és adatbázis elemzést végeztünk, empirikus kutatásként kísérleti repüléseket hajtottunk végre, vizsgáltuk hipotéziseink működőképességét, valamint konstruktív kutatás eredményeképp készültek el azok a fejlesztések, melyek a levegőkémiai mintavételt, a döntéstámogató deszkamodellt, illetve a drónra függeszthető átjátszóállomás hálózati adattovábbítási képességét voltak képesek demonstrálni. A futópályavizsgálat koncepciójába több tesztrepülést terveztünk minden rendelkezésre álló és adott drón típusra függeszthető szenzor kipróbálására, így a LiDAR, RGB és termális szenzorokból származó nyers adatok előfeldolgozása során pontfelhő, DEM és ortofotó készült, melyeket reflektivitás magasság, lejtőszög érdesség és szín alapú klasszifikáció mellett élkeresési algoritmusok segítségével ellenőrzöttén osztályozták kutatóink.

Minden kutatási fázis újabb és újabb kérdéseket indukált, megoldandó problémákat vetett fel, példának okáért a VR környezet adta 3D-s megjelenítés alkalmazhatóságának vizsgálata a légiforgalmi irányítás munkafolyamataiban, vagy épp a VR elviselhetősége és az emberi szervezet alkalmazkodóképességének kutatása. (4. ábra)



4. ábra: VR ATC szimulátorban végzett hallgatói kísérlet⁴

Az FOD kereséséhez illeszkedő szenzorkiválasztás kísérleti repülései, melyet egyrészt a szolnoki repülőtér igénybevételének engedélyeztetéséhez szükséges hosszadalmas bürokratikusan procedúra előzött meg, másrészt a repülésbiztonságért felelős szervezettel a repülőtéren előforduló idegen anyagok kiválasztására irányuló konzultáció. Ez utóbbinak fókuszterületévé vált az FOD mellett a rágcsálópopuláció feltérképezése (5. ábra), mely kiterjeszti a ragadozómadarak vadászterületét és ezzel nagyban hozzájárul a madárral való ütközésszámok növekedéséhez az utóbbi egy évben.

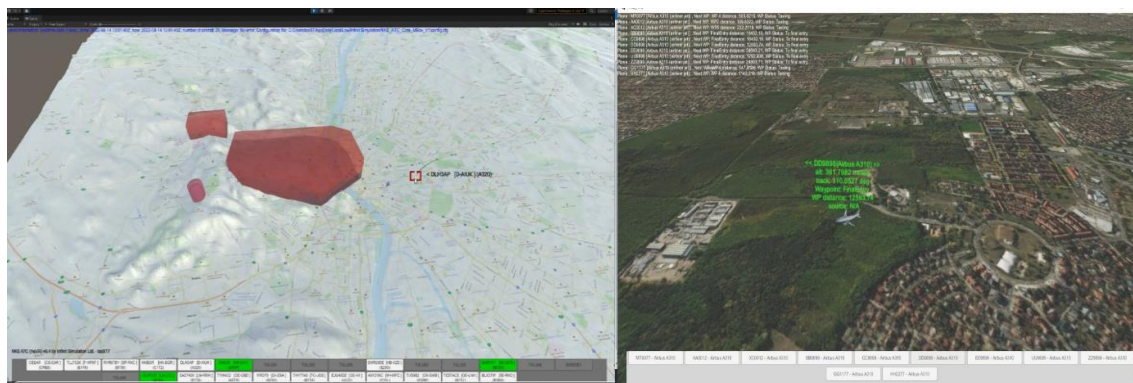
⁴ Saját szerkesztés, cikk lektorálás alatt



5.ábra: FOD és rágcsálópopuláció feltérképezés [5]

3. Eredmények

A kutatásaink egyik legfontosabb eredménye, hogy a fent felsorolt elméleti modellek mind eljutottak a szimulációs- és/vagy éles repülési fázisokba, melyek során sikerült hipotéziseinket alátámasztani, elvetni, valamint további kutatási kérdéseket megfogalmazni. A Térmaterületi Kiválósági Program eredménytermékeként elkészült a LINDA 3D szoftver első verziója, mely képes megjeleníteni 3D-ben több adatforrásból származó légiforgalomszervezéshez elengedhetetlen információt. Ilyen a légijárművek azonosságát és térbeli helyzetét megjelenítő adatcsomag, az aktív légterek 3D képe, az időjárási jelenségek 3D modellje, a repülőtér megjelenítése, mely adatokat az erre célra dedikált szerver fogadja és aggregálja a szoftver futtatásához. A modell képes aktív és felvett légihelyzetképet megjeleníteni. (6. ábra)



6.ábra: LINDA szoftver 1.0 [2]

A FOD kutatás és azonosításhoz szükséges szenzor tesztek 3 alkalommal végeztük el téli, tavaszi és nyári időjárási és hőmérsékleti viszonyok között, vizsgálva különböző anyagú (fém, műanyag) színű és méretű FOD-k felkutatását. A tesztrepülések eredményeképp megállapítottuk, hogy feltételezett legjobb felbontóképességgel bíró termális kamera képe a feldolgozáshoz szinte értékelhetetlen információkat adott téli-, alacsony hőmérsékletű és gyenge fényviszonyok között, azonban az RGB kamerából származó képek alkalmasak voltak a módszertanban felvázolt elemzések és osztályozások elvégzéséhez.

A kombinált légkör mintavételi szenzor tesztelése folyamatban van, az erre a célra épített hordozó drón tesztrepülései megkezdődtek, biztató eredményeket prognosztizál a laboratóriumi körülmények közötti szenzorcsomag tesztelése.

A rádiókommunikációs átjátszóállomás telepítése drónon kutatás, melyet a Kooperatív Technológiák Nemzeti Labor támogatásával végeznek kutatóink, akik sikeres demonstrációs kísérletet végeztek. A drónra telepített átjátszó „node”-okkal létrehozott mesh hálózattal képesek

„ad-hoc” lefedni az adott területet, és ott hálózati elérést biztosítani. Jelenleg már elvégzett tesztek biztató eredményeket mutatnak mind merev- és forgószárnyas eszközökön.

Az említett projektek eredménytermékein túlmutatnak azok a létrejött nemzetközi- és hazai egyetemi és ipari kapcsolatok, együttműködési megállapodások, melyek további kutatási tervek összeállításában és megvalósításában partnereink lehetnek.

4. Következtetések

A kutatási folyamatok még most is zajlanak, amikor már a következő lehetséges forrásokat és pályázatokat igyekszünk felderíteni, hogy a piaci érdeklődésre, gyártásra számot adó kutatási eredményeinket tovább vigyük és a felmerült további kérdéseinkre választ kapjunk. A fent említett projektek közül a LINDA döntéstámogató keretrendszer fejlesztése és tesztelése során megállapítható volt, hogy a 3D, VR alapú megoldások elsősorban a repülőtéri irányítás munkafolyamataiban elképzelhetők, de további kutatást igényel az emberi teljesítőképességre gyakorlott hatásvizsgálat.

A szenzorcsomag tesztelés még folyamatban lévő kutatás, ezért erre vonatkozó következtetések megfogalmazása nem ért véget.

Az FOD detektáláshoz optimalizált szenzorkiválasztás egy nagyon érdekes kutatási folyamat, melynek továbbvitele mindenképp szükséges, különösen annak megállapítására, hogy a szenzorspecifikált repülési idők, milyen módon csökkenthetők vagy tervezhetők a légiforgalom szervezés igényeihez igazodva.

A drónra szerelhető rádiókommunikációs átjátszóállomás telepítésének és tesztelése során levont következtetések, az ad-hoc mesh hálózatok rezilienciája, valamint elkészült egy megfelelő tesztelési módszertan. Természetesen mindemellett sikerült demonstrálni az elgondolás működőképességét.

„A kutatás a 2022-2.1.1-NL-2022-00012 azonosító számú Kooperatív Technológiák Nemzeti Laboratóriuma projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2022-2.1.1-NL Nemzeti Laboratóriumok Létrehozása, Komplex Fejlesztése pályázati program finanszírozásában valósul meg.”

Irodalomjegyzék

- [1] Palik Mátyás: TKP2021-Az NVA-16 KFI projekt Integrált-mintarepülőter kiemelt kutatási terület bemutatása: konferencia előadás (2023)
Műszaki Tudomány az Észak-kelet Magyarországi Régióban 2023 Konferencia, 2023. június 8., Szolnok, Magyarország
- [2] Károly, Krisztián; Marlok, Tamás; Juhász, József; Gajdos, Máté; Ágoston, Tibor; Németh, András: Extended Reality possibilities in Air Traffic Management
In: Andoga, Rudolf; Főző, Ladislav (szerk.) New Trends in Aviation Development 2023: The XVIII. International Scientific Conference. Proceedings
Danvers (MA), Amerikai Egyesült Államok: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (2023)
290 p. pp. 134-138., 5 p.; <https://ieeexplore.ieee.org/document/10380138>
- [3] Vas, Tímea; Kelemen, Miroslav; Rozenberg, Róbert; Fekete, Csaba; Antoško, Matej; Palik, Mátyás: Aerodrome Controller's decision support for the approval of UAS operations
In: Andoga, Rudolf; Főző, Ladislav (szerk.) New Trends in Aviation Development 2023: The XVIII. International Scientific Conference. Proceedings
Danvers (MA), Amerikai Egyesült Államok: Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (2023)
290 p. pp. 275-279., 5 p.; <https://ieeexplore.ieee.org/document/10380158>
- [4] Csurgai József, Szilvássy László, Jámbor Krisztián: Légisugár-fejlesztésünk rögzös útja
REPÜLÉSTUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK (1997-TŐL) 35: 2 pp. 67-77., 11 p. (2023);
<https://folyoirat.ludovika.hu/index.php/reptudkoz/article/view/7026>

[5] Kovács, Béla; Vörös, Fanni; Vas, Tímea; Károly, Krisztián; Gajdos, Máté; Varga, Zsófia:
Safety and Security-Specific Application of Multiple Drone Sensors at Movement Areas of an Aerodrome;
DRONES 8: 6 pp. 1-19. Paper: 231, 19 p. (2024); <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/6/231>

