MTK 24.

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

24.

TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG/LEKTOROK
SCIENTIFIC ADVISORY BOARD/PEER REVIEWERS

Balogh Balázs (Budapest)
Baranyai Bálint (Pécs)
Bitay Enikő (Kolozsvár/Marosvásárhely)
Csavdári Alexandra (Kolozsvár)
Czigány Tibor (Budapest)
Dávid László (Marosvásárhely)
Deák Márton (Budapest)
Dezső Gergely (Nyíregyháza)
Diószegi Attila (Jönköping, Sweden)
Dobránszky János (Budapest)
Domokos József (Marosvásárhely)
Dulf Éva Henriett (Kolozsvár)
Dusza János (Kassa)
Erdei Timotei István (Debrecen)
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)
Horváth Richárd (Budapest)
Hutter Ákos (Sopron)
Kis Károly Árpád (Debrecen)
Kovács Tünde Anna (Budapest)
Lakatos Artúr (Nagyvárad)
Lázok Klára (Marosvásárhely)
Máté Márton (Marosvásárhely)
Pásztor Judit (Marosvásárhely)
Pokorádi László (Budapest)
Réger Mihály (Budapest)
Réti Tamás (Budapest)
Roósz András (Budapest)
Szántó Attila (Debrecen)
Talpas János (Kolozsvár)

ISSN 2393 – 1280

Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya
Transylvanian Museum Society – Department of Technical Sciences

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

24.

Szerkesztette / Edited by
FORGÓ ZOLTÁN – MÁTÉ MÁRTON

ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2026

A kötet megjelenését támogatta a Magyar Tudományos Akadémia,
a Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt. és az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya.

The publication of this volume was supported by the Hungarian Academy of Sciences,
by the Bethlen Gábor Fund, and by the TMS – Department of Engineering Sciences.

Copyright © a szerzők/the authors, EME/TMS 2026

Minden jog a kiadvány kivonatos utánnyomására, kivonatos vagy teljes másolására (fotokópia, mikrokópia) és fordítására fenntartva.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.

Kiadó/Publisher: Erdélyi Múzeum-Egyesület

Felelős kiadó/Responsible Publisher: Biró Annamária

Szerkesztette/Edited by: Forgó Zoltán, Máté Márton

Olvasószerkesztő/Proofreader: András Zselyke (magyar), David Speight (English)

Műszaki szerkesztő/DTP: Szilágyi Júlia

Borítóterv/Cover: Könczey Elemér

Nyomdai munkálatok/Printing-work

F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós
Ügyvezető igazgató/Manager: Ambrus Enikő
Tel./Fax: +40-266-364171

Online elérhető/Online available at:

Magyar/Hungarian	Angol/English
https://eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.htm	https://eme.ro/publication/mtk/mtk-main.htm
DOI: 10.33895/mtk-2026.24	DOI: 10.33894/mtk-2026.24

TARTALOM

Bakos Levente, Bakos Csongor
Ügyfélkockázat-elemzés kérdései innovatív ipari termékek esetén 1

Bitay Enikő
A Tehnofrig-gyár korai történetének levéltári forrásai (1954–1965) 12

Csajbók Imola Lenke, Nemes Dániel
Járműdinamikai modell paraméter-illesztésének előkészítése 30

Forgó Tamás
Adaptív sebességtartó rendszer fejlesztése és tesztelése különböző hajtásláncokhoz 38

Kádár Alex-Jenő, Forgó Zoltán
Négy szabadságfokú párhuzamos robot geometriai elemzése 47

Kakucs András, Harangus Katalin, Fogarasi Zoltán
Lights Out – logikai játék 53

Kőhegyi Zsolt, Ravai-Nagy Sándor, Szigeti Ferenc
Hidraulikusprofil-nyitó szerszám konstrukciós tervezése 64

Kulcsár Kira, Sarvajcz Kornél
A Watch+ pályaorientációs program bemutatása és továbbfejlesztési lehetőségei 72

Libik András, Pásztor Judit
A Bolyai Múzeumban található oszlopkemence tanulmányozása 79

Máder Patrik Márk, Bakai Nándor, Jászberényi Tünde, Simon Dóra Erika, Rák Olivér, Etlinger József, Zagorácz Márk Balázs
Digitális iker létrehozása építményinformációs modellezéssel és IOT-szenzorhálózat integrációval 83

Popa-Müller Izolda, Deák Szabolcs
Stick-slip laboratóriumi mérőkészülék segítségével kapott súrlódási tényezők adatfeldolgozása és kiértékelése 90

Rák Olivér, Bakai Nándor, Máder Patrik Márk, Etlinger József, Simon Dóra Erika, Jászberényi Tünde, Zagorácz Márk Balázs

Mesterségesintelligencia-alapú építéshelyi minőségellenőrzés: az MI-tanítás tapasztalatai építőipar-specifikus felhasználásra 94

Rétfalvi Donát, Varjú Kata, Heidecker Adél

Validáció és akkreditáció az építészeti oktatásban: az adminisztratív racionalitástól a tervezési tudás intézményes elismeréséig 101

Székely Ágoston, L. Szabó Gábor

R290 éS R32 hűtőközeggel üzemelő hőszivattyúk teljesítményének összehasonlító vizsgálata 112

Török István, Lőrincz Barnabás-Attila, Sütő Abigail-Bethsabé, Urszuly Nóra, Nagy Zsolt

Acélgerenda és betonoszlop közötti kapcsolat elemzése 119

Varjú Kata, Zilahi Péter

Épületek energetikai teljesítménye és a helyi tüzelőanyag-ellátás integrált értékelése a hátrányos helyzetű települések fenntartható fejlődésében 128

Bitay Enikő

Az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának 2025. évi tevékenysége. Elnöki tájékoztató 137

SZERZŐK JEGYZÉKE 151

CONTENT

Levente BAKOS, Csongor BAKOS
Customer Related Risk Assessment Issues in the Case of Innovative Industrial Products 1

Enikő BITAY
Archival Sources on the Early History of the Tehnofrig Factory (1954–1965) 12

Imola Lenke CSAJBÓK, Dániel NEMES
Preparation for Parameter Identification in a Vehicle Dynamics Model 30

Tamás FORGÓ
Development and Testing of Adaptive Cruise Control Systems for Different Powertrains 38

Alex-Jenő KÁDÁR, Zoltán FORGÓ
Geometrical Analysis of a 4-DOF Parallel Robot 47

András KAKUCS, Katalin HARANGUS, Zoltán FOGARASI
Lights Out – Logic Game 53

Zsolt KŐHEGYI, Sándor RAVAI-NAGY, Ferenc SZIGETI
The Design of a Hydraulic Profile Opening Tool 64

Kira KULCSÁR, Kornél SARVAJCZ
Presentation of the Watch+ Career Orientation Program and Opportunities for Further Development 72

András LIBIK, Judit PÁSZTOR
Study of the Column Stove Located in the Bolyai Museum 79

Patrik Márk MÁDER, Nándor BAKAI, Tünde JÁSZBERÉNYI, Dóra Erika SIMON, Olivér RÁK, József ETLINGER, Márk Balázs ZAGORÁCZ
Development of a Digital Twin Using Building Information Modelling and IOT Sensor Network Integration 83

Izolda POPA-MÜLLER, Szabolcs DEÁK
Data Processing And Evaluation Of Friction Factors Obtained Using a Stick-Slip Laboratory Measuring Device 90

Olivér RÁK, Nándor BAKAI, Patrik Márk MÁDER, József ETLINGER, Dóra Erika SIMON, Tünde JÁSZBERÉNYI, Márk Balázs ZAGORÁCZ

AI-Based On-Site Construction Quality Control: Experiences in Training AI for Constructionspecific Applications 94

Donát RÉTFALVI, Kata VARJÚ, Adél HEIDECKER

Validation vs Accreditation in Architectural Education: From Administrative Rationality to the Institutional Recognition of Design Knowledge 101

Ágoston SZÉKELY, Gábor L. SZABÓ

Comparative Performance Analysis of Heat Pumps Operating with R290 and R32 Refrigerants 112

István TÖRÖK, Barnabás-Attila LŐRINCZ, Abigail-Bethsabé SÜTŐ, Nóra URSZULY, Zsolt NAGY

Analysis of Steel Beam-To-Concrete Column Connection 128

Kata VARJÚ, Péter ZILAHI

Integrated Assessment of Building Energy Performance and Local Fuel Supply in Sustainable Development of Deprived Rural Settlements 137

LIST OF AUTHORS 151

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 1–11.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.01
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.01

ÜGYFÉLKOCKÁZAT-ELEMZÉS KÉRDÉSEI INNOVATÍV IPARI TERMÉKEK ESETÉN

CUSTOMER RELATED RISK ASSESSMENT ISSUES IN THE CASE OF INNOVATIVE INDUSTRIAL PRODUCTS

Bakos Levente,[1] Bakos Csongor[2]

[1] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, bakos@ms.sapientia.ro*

[2] *Kolozsvári Műszaki Egyetem, Ipari gépészmérnöki Kar, Kolozsvár Románia, bakosistvancsongor@yahoo.com*

Abstract

The paper examines some risk assessment issues related to the distribution of innovative products in particular B2B markets. The products are sold on global markets and provide competitive advantage in terms of market leading. In the topic we have chosen, the primary source of risk is the customer themselves. Through a case study, we establish a connection between risk assessment processes and the customer relationship management. Based on research conducted on the flagship product of an American company, distributed through their Romanian branch, we present a risk identification model that establishes a link between the identified risk level and customer type, and it proposes a risk analysis algorithm based on these factors. We propose a multi-step analysis which evaluates risks that can be identified early in the technical documentation and quotation stages.

Keywords*: risk assessment, customer relationship management, CRM, conformity .*

Összefoglalás

Dolgozatunk a B2B-piacok olyan, innovatív termékei forgalmazásával kapcsolatos kockázatelemzéssel foglalkozik, amelyek globális piacokon kerülnek forgalmazásra, és amelyek a piacvezető cégek versenyelőnyt biztosító termékei. Az általunk választott témakörben a kockázat elsődleges forrása maga az ügyfél. Egy esettanulmányon keresztül kapcsolatot teremtünk a kockázatelemzési módszerek és az ügyfélkapcsolatmenedzsment-tevékenység között. Egy romániai telephelyű cég csúcsterméke kapcsán végzett kutatás alapján egy olyan kockázatelemzési modellt mutatunk be, amely a kapcsolatot teremt a kockázati szint és vevőtípusa között, illetve ezek függvényében kockázatelemzési algoritmust is javasol. Az általunk javasolt, többlépcsős, általános elemzési modell segít a specifikus B2B-piacokon kiküszöbölni a műszaki dokumentáció és az árajánlat-készítés során már azonosítható kockázatokat. A soklépcsős elemzés feltétele lehet a szabványok, jogszabályok betartásának, illetve biztosíthatja a versenyelőnyt.

Kulcsszavak*: kockázatelemzés, ügyfélkapcsolat-menedzsment, CRM, megfelelőség.*

1. Bevezetés

Kiindulva abból, hogy a piacvezető cégek innovatív termékei globális piacokon kerülnek forgalmazásra, a nemzetközi piacokon való jelenlét azt feltételezi, hogy a termékek megfelelnek azoknak a jogszabályoknak, standardoknak, ahol felhasználásra kerülnek [1, 2]. Akár a világviszonylatban is ismert, elfogadott műszaki jellemzők, paraméterek, egyes sajtos esetekben mégsem forgalmazhatók. A korlátot vagy az jelenti, hogy a termék nem felel meg a helyi jogszabályoknak, vagy az, hogy olyan specifikus felhasználási területről van szó, amely sajátos korlátozások alatt áll. Így

például az EU a mérőműszerekre vonatkozóan meghatározza a tagállamokban forgalomba hozott mérőműszerek vonatkozó keretrendszert. Ez érvényes mind a letelepedett gyártókra nézve, mind a harmadik országból behozott termékekre. A tagállami jogszabályok harmonizálásáról szóló irányelv itt az EU 2014/32/EU jogszabály [3].

A modern iparnak korábban soha nem látott kihívásokkal kell szembenéznie, kifejezetten igaz ez az olyan iparágakban, amelyek stratégiai fontosságúak. Ezen B2B-piacokra az is jellemző, hogy a versenyelőny megőrzéséért hatalmas innovációs verseny zajlik, a tranzakciók értéke magas, és a kockázatkezelésnek olyan dimenziói vannak, amelyeket más területeken nem jellemzőek. Külön dolgozat tárgyát képezheti felsorolni – egyébként akár csak iparág-specifikusan is –, melyek azok a kockázati tényezők, amelyek ezeket a különleges piacokat jellemzik.

Ezek a korlátok ritkábban csak cégszintű üzletpolitikai döntések, de mint fentebb bemutattuk, legyakrabban nemzetközi egyezmények, jogszabályok határozzák meg az egyes termékek forgalmazásának feltételeit. A gyógyszeripari termékek, haditechnika, atomenergia-területeken kifejezetten sok a korlátozás, de az autóipar, energiaipar, illetve az információs technológia egyes területein is jellemzőek a területspecifikus szabványok vagy a szabályértékű, bevált gyakorlati eljárások. A gyógyszeriparban például a teljes iparágban elterjedt GMP-khez (az angol Good Manufacturing Practices rövidítés) igazodnak, a legszigorúbb megfelelési szintet ez határozza meg, nemcsak a gyártóknak, hanem a beszállítói ipar és a forgalmazók számára is. Lásd például az emberi használatra szánt gyógyszerek segédanyagaira vonatkozó megfelelő helyes gyártási 2015/C 95/ 02 gyakorlatot. [4]

Ennél kevésbé szigorú és kevésbé ismert korlátozások lehetnek érvényben szinte bármelyik iparterületen. Ezeknek az elvárásoknak való nem megfelelés (angol szakkifejezéssel nonconformity) negatív következményekkel jár, emiatt kockázati tényezőként kell kezelni. Mint minden kockázat esetén, itt is a megelőzés a cél. Amennyiben mégis bekövetkezne, akkor a szakszerű kezelés, a következmények csökkentése, illetve amennyiben lehetséges, az eredeti helyzet visszaállítása a cél (azaz a rezilienciára való törekvés). [5, 6]

Következtetésképpen elmondhatjuk, ezeken a specifikus B2B-piacokon a forgalmazás során nem lehet csak kizárólagos szempont a profitmaximalizálás. Bár axióma, hogy minden vállalkozás létrehozásának elsődleges célja a profit – és implicit, hogy minden termékéből minél több darabot tudjon forgalmazni –, a fejlett ipari termékek forgalmazása esetében ez a szándék a fent említett korlátokba ütközhet. Tekintettel ezekre a korlátozásokra, a kockázatelemzés is más dimenziókkal rendelkezik, hiszen minden korlát egyben kockázati tényező is.

Az általunk vizsgált kérdéskörben a kockázat elsődleges forrása maga az ügyfél. Az ügyfél –akár közvetítő vagy végső felhasználó – tudatosan vagy sem, olyan terméket vagy szolgáltatást szeretne, amely forgalmazása valamelyik korlát miatt nem lehetséges. A jogsértés, más esetekben a szabálysértés elkövetése a forgalmazó/gyártó által történik, emiatt a kockázatelemzést nekik kell elvégezni.

2. Az ügyfélkapcsolatok mint stratégiai tevékenység

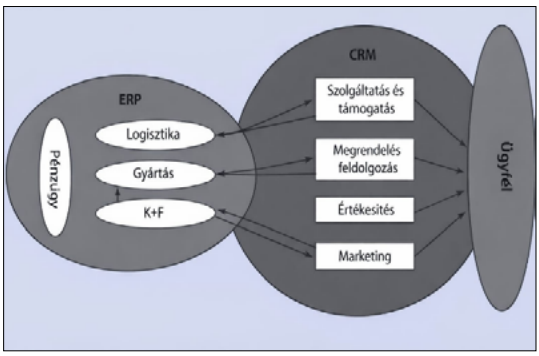
Ipari termékek esetén, B2B-piacokon, a műszaki és jogi értelemben is értelmezett megfelelőség elemzése távolról sem egyetlen ember vagy szervezeti alegység feladata [7, 8, 9]. A kutatásunknak nem célja, hogy pontos és átfogó képet elemezzen, melyek azok a szervezeti alegységek, illetve felelős személyek, akiknek ez a feladata. Ez részben az adott iparág és szervezet sajátossága lehet, illetve függ az épp rendelkezésre álló munkaerő kompetenciáitól, szakmai felkészültségétől is. Munkánkban, egy esettanulmányon keresztül, arra szeretnénk felhívni a figyelmet, hogy a kockázatelemzés az ügyfélkapcsolat-menedzsment (angol szakkifejezéssel Customer Relationship Management, CRM) tevékenységkörből indul ki (rendszerint egy CRM-applikáción keresztül), és az elemzésben elsődleges szerephez jutnak a műszaki szakemberek, mérnökcsapatok.

A CRM-rendszerek piacorientált szervezetek kulcsfontosságú folyamatait támogatják, megkönnyítik az ügyfelekkel kapcsolatos információk gyűjtését, feldolgozását és felhasználását az üzleti folyamatok optimalizálása érdekében. A szakirodalom szerint a CRM egy olyan stratégiai koncepció, amely integrálja a folyamatokat, az embereket és a technológiát az ügyfélkapcsolatok és a szervezeti teljesítmény javítása érdekében [10].

Ennek a tevékenységcsoportnak a fontosságát mi sem tükrözi jobban, hogy a CRM-szoftverpiac 2018 óta a legnagyobb vállalati szoftverszegmenssé vált. Az előrejelzések szerint 2029-re elérheti a 145,6 milliárd dollárt [11]. Napjainkban az ügyfélkapcsolat-kezelés (CRM) egy taktikai marketingeszközből immár a fenntartható ver-

senyelőny stratégiai alapkövévé fejlődött [12]. Az 1. ábrán (forrás: [13]) vázlatosan szemléltetjük a CRM-rendszer és vállalatirányítási rendszer kapcsolatát, integrációját.

Az ábrán látható, hogy az ügyfélkapcsolatok menedzsmentje kapcsolatban van nemcsak az értékesítéssel és marketinggel, hanem a gyártási folyamatok optimalizációjával, a kutatásfejlesztéssel és pénzügyekkel is. Súlyos tévedés a menedzsment részéről a CRM-t kizárólag a marketing és/vagy az értékesítési csapatok felelősségi körébe helyezni [14].

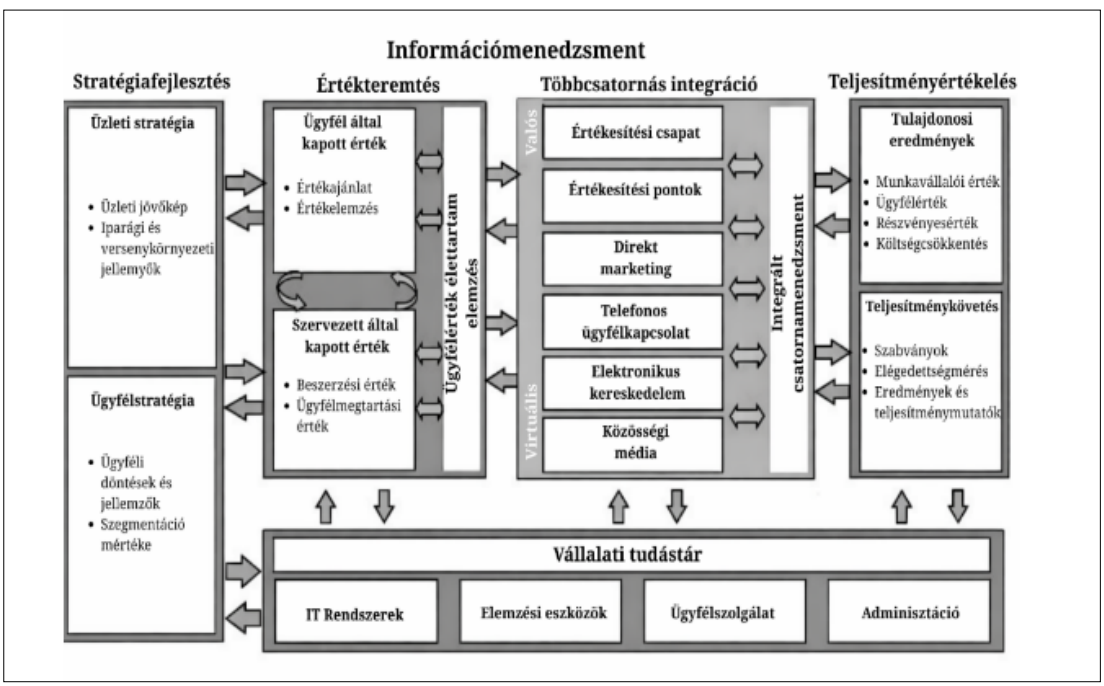


1. ábra. *A vállalatirányítási rendszer és a CRM-rendszer viszonya*

3. Ügyfélkapcsolatok mint informatikai rendszer

A CRM központi motorja az adat. Segítségével lehetővé válik az ügyfélprofilok tárolása, egyes interakciók naplózása, az adatfrissítés és rendszerezés. A cél az egységes, átlátható ügyfélkép, és az adatalapú döntéshozatal támogatása [14].

A felsorolt tevékenységek mindegyike számtalan adattal szolgálhat a műszaki folyamatok alakulására is. A CRM napjainkban egy integrált informatikai rendszert is jelent, egy olyan adatbázissal a háttérben, amely ügyfélközpontú, de ugyanakkor pontosan illeszkedik a vállalat belső folyamataihoz. A CRM adatai azzal a sajátossággal rendelkeznek, hogy a nagy mennyiségű információ nem kapcsolódik feltétlenül egy adott termékhez. Ezek az adatok már az első rendelés előtt a szervezet birtokába kerülnek, lehet pontosan azért, hogy a megfelelő terméket tudjuk a vevőnek ajánlani. Korábbi rendszerek esetében ezek az adatok a vállalat különböző részlegeinél egymástól függetlenül működő rendszerekben kerülnek tárolásra, és nem kerülnek egységes rendszerbe. A CRM-rendszerek előnye, hogy egységes, osztott adatbázisokat használnak. A 2. ábra a CRM-folyamatokkal kapcsolatos komplex adatforgalmat illusztrálja.



2. ábra. *A vállalat információs rendszerének fontosabb adatáramlásai, forrás:* [15]

A kockázatmenedzsment szempontjából kiemelt fontosságú, hogy a CRM-szoftverek miként azonosítják a kockázatokat, vagy önmagukban milyen mértékben jelentenek kockázatot. Önmagában kockázat a CRM-t csak egy IT-rendszerként tekinteni. Kétségtelenül a CRM működésével járó hatalmas mennyiségű adat gyors tárolására, elemzésére és megosztására információs technológiára van szükség, de hatalmas hiba bevezetését pusztán informatikai kezdeményezésként kezelni, és figyelmen kívül hagyni a valódi célt – azaz a nyereséges ügyfélkapcsolatokat, az értéket, amelyet a CRM, a vállalat teremt [14].

4. Kockázatmenedzsment és ügyfélkapcsolatok

Jelen dolgozatunk specifikus tematikájának köszönhetően eltérünk napjaink domináns megközelítésétől, mely szerint a kockázat hatása nemcsak negatív, hanem pozitív irányú eltérést is okozhat a szervezet céljától (ISO 31000-es szabvány szerinti [16] vagy a projektmenedzsmentben használt megközelítést [17]). Ezúttal kivételesen a kockázatot a hagyományos (egyes szakirodalmak szerint „német” vagy „rajnai” megközelítésben [18, 19]), veszéllyel asszociálható fogalomként kezeljük. A mi kontextusunkban az ügyfélmenedzsmentben található kockázati faktorok megvalósulása szinte kizárólag negatív következményekkel jár, elsősorban a gyártó számára. Ebben a megközelítésben a hangsúly a megelőzésen és szabályozáson van. Az esettanulmány kutatási fázisában találkoztunk ugyan olyan sikertörténetekkel, amelyek arról szóltak, hogy a kockázatelemzés során alacsony megbízhatósági paraméterekkel rendelkező potenciális vevő utólag megbízható, stabil partnerként jelenleg a cég portfóliójában szerepel. Ezek a példák tulajdonképpen csak megerősítik azt, hogy a szervezetnek jól működő kockázatelemző rendszere van, amelyben legfeljebb hamis pozitív jelzések fordulnak néha elő (azaz kockázatosnak minősít a rendszer egy olyan ügyfelet, aki valójában nem az).

Tágabb értelemben a kockázatelemzés tulajdonképpen már az érintettmenedzsment-tevékenységnél elkezdődik, ugyanis a kritikus stakeholderek (érintettek) elemzése során az ügyfelek mellett megjelennek azok a szervezett (rendszerint intézményi) vagy szervezetlen (rendszerint egyéni vagy látens szervezeti) stakeholderek, akikhez a forgalmazással kapcsolatos korlátok, kockázati tényezők kapcsolhatók. Az intézményi stakeholderek között, akikhez a forgalmazással kapcsolatos korlátok kapcsolhatók, megemlíthetjük a különböző állami ügynökségeket, kereskedelmet szabályozó hatóságokat, nemzetközi egyezményeket felügyelő szervezeteket, (pl. az ENSZ és az EU szakosított szervezetei, a Nemzetközi Atomenergia ügynökség, Kereskedelmi Világszervezet vagy akár a NATO).

A 3. ábra a kockázatelemzés azon szintjeit szemlélteti, amelyeket az ügyfélkapcsolatok menedzsmentje szempontjából egy ipari termék esetén számításba érdemes venni. Az általános értelmezésben vett érintettmenedzsmenttől az ügyfélre szabott ajánlatkészítésig, az ügyfelekkel kapcsolatos kockázatok feltérképezése kiemelten fontos (rész)tevékenység.

Fejlett ipari termékek esetén az ügyfelekkel kapcsolatos kockázatelemzés kulcsszereplői műszaki szakemberek, olyan mérnökök, akiknek a kockázatelemzés a feladatkörük része kell, hogy legyen: az ügyfelekre való odafigyelés, az ajánlatkészítéstől a termék utókövetéséig. Minden műszaki jellegű tevékenységben jelen lehet az ügyfelekkel kapcsolatos kockázat. Ezek azonosítása, megelőzése számtalan olyan eszközt feltételez, amelynek kifejezetten műszaki jellege van, ilyen például a többlépcsős adatszivárgás-védelem és szakmai szűrés. Ezek kiegészítik az ismert jogi és adminisztratív jellegű megoldásokat, mint a titoktartási szerződés, adatvédelmi szabályzat vagy az alkalmazotti tudatosság fejlesztése. Egyre gyakoribb az a helyzet, amikor a magas innovációs termék nemcsak műszaki jellegű védelmi rendszereket tartalmaz, hanem az illetéktelen másolást, a nem szakszerű kezelést előzi meg. Gyakran ez azt feltételezi, hogy a termék jogi értelemben csak részlegesen vagy egyáltalán nem kerül a vevő birtokába. Itt részben a szoftverek világában egyre inkább elterjedő, csak felhasználói státust biztosító alkalmazásokra gondolunk, illetve egyes high-tech cégek által alkalmazott megoldásokra,

3. ábra. *Az ügyfelekkel kapcsolatos kockázatelemzés szintjei*

amikor az adott berendezés karbantartása, fogyóanyagokkal való ellátása, de gyakran az üzembe helyezés utáni folyamatos beállítása is a gyártó feladata marad. A gyártó gyakran online folyamatosan követi a termék szakszerű felhasználását.

A számos mérnöki tevékenységek közül a dolgozatban, B2B piacokon, műszaki ajánlatokkal kapcsolatos kockázatokra összpontosítunk. Az itt felmerülő kockázatelemzés nem kezelhető elszigetelt tevékenységként. A **4. ábra** azt mutatja, hogy a vevőkkel történő sokszínű interakciók során több kockázati tényező jelentkezhet. Az ezekben a folyamatokban részt vevő szakértők egymástól függetlenül, de egymást erősítve járulhatnak hozzá ahhoz, hogy egyes kockázati tényezők ne valósulhassanak meg.

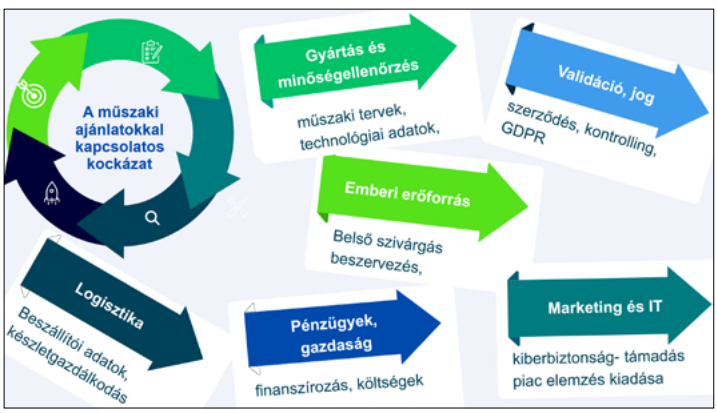
A CRM-tevékenységek és ezen belül a kockázatmenedzsment kiemelten fontosságúvá válnakk az olyan innovatív termékek esetén, amelyek piacvezető cégek versenyelőnyt biztosító termékei. A B2B-piacok során kifejezetten előfordulhat, hogy a forgalmazás során az ügyféllel folytatott kommunikációban érzékeny technológiai adatok, bizalmas üzleti információk kerülhetnek megosztásra. Első lépésben a védett adatokkal kapcsolatos kockázatokat alapvetően az ügyfélkezelő szoftver (CRM) segítségével lehet azonosítani. Az ismert ipari szabványokhoz (ISO 9001, 31000, 27001, 14001) képest, sokkal szigorúbb eljárások szükségesek, és ennél messzemenőbben ezeknek az eljárásoknak be kell épülniük a szervezet DNS-ébe **[20]**. Ezek az óvintézkedések segíthetnek részben a versenyelőny megőrzésében, részben a különböző belső, de akár nemzetközi szabályok betartásában. Lásd például a közelmúlt geopolitikai helyzetében egyre gyakrabban megjelenő embargókat, és az ezzel kapcsolatos komplex elvárásrendszert.

Dolgozatunk egy olyan specifikus kockázatkezelést eljárást mutat be, amely specifikus B2B-piacokra jellemző. Itt mindkét szereplő olyan ipari szervezet, amely tevékenységét tekintve csúcstechnológiákat alkalmaz, és a tranzakciók tárgya magas innovációs szinttel rendelkező ipari termékek.

5. Esettanulmány a Rosemount™ 3051S Multivariable nyomásjeladó forgalmazása esetén

A választott vállalat, mint az egyik globális piacvezető az automatizálási területen, számtalan műszaki megoldást kínál ipari rendszerek esetén. A mérőműszerek tekintetében számtalan kategóriában gyárt olyan termékeket, amelyek az élen járnak. Az általunk vizsgált területen, eszközök gyártása esetén – integrált nyomás, hőmérséklet- és hozammérés –, világviszonylatban egyértelmű piacvezető cég. **[21, 22, 23, 24]**

Különösen az olyan mérőműszerek esetében egyértelmű a vezetőszerep, ahol integrálni kell 2-3 mérőműszertípust, megtartva a magas mérési pontosságot. Ezek olyan többváltozós mérőműszerek, amelyek több fizikai mennyiség egyidejű, nagy pontosságú meghatározására képesek. A Rosemount 3051S ennek a termékkategóriának a legkiemelkedőbb terméke. Műszaki besorolását tekintve ez egy öndiagnosztizáló, multi-paraméteres monoblokk-mérőműszer, amely a mérési pontosságának a kategóriájában az egyetlen ilyen jellegű termék a piacon. A Rosemount 3051S MultiVariable távadó egy kiemelkedő teljesítményű, iparági szinten vezető megoldás, amelyet a differenciálnyomás, statikus nyomás és folyamat-hőmérséklet mérési kombinációinak meghatározására optimalizáltak. Ez a többparaméteres jeladó



4. ábra. *Kockázati tényezők ügyfélkapcsolati interakcióban*

költséghatékony eszközként jelentős mértékben csökkenti a csőbehatolások, impulzusvezetékek és csatlakozási rendszerek szükségességét. [25] A versenyelőnyt a termék széles értéktartományban levő mérési pontossága jelenti elsősorban. Kőolaj vagy más, nagy értékű mért anyagok esetén 60,000 $/év vagy ennél nagyobb megtakarítás is elérhető ennek az eszköznek a használata által [26]. Így pl. kőolaj esetén, ahol évi 240.000 $ megtakarításról [27, 28], míg egyik partnercég évi 300.000 $-os megtakarításról számol be acélgyártás területén [29]. Ez a versenytársak termékeihez képest pontosabb méréssel, csökkentett mérési bizonytalansággal érhető el, ami stabilabb folyamat-ellenőrzést eredményez. Az 5. ábrán a vizsgálat során mintaként használt mérőműszer látható.

Kutatásunk során társadalomtudományokban használt módszertant alkalmaztunk. A rendelkezésre álló módszertani eszközök közül a tartalomelemzést és a félig strukturált interjút választottuk. A tartalomelemzés során a cég honlapját és a vizsgált terméket bemutató nyilvános dokumentumokat használtuk. A 3 félig strukturált interjú alanyai a cég romániai vállalatának eladási szakemberei, középvezetői.

A rendelkezésre álló adatokból kiindulva megtudtuk, hogy a cég termékei globális piacokon kerülnek forgalmazásra, olyan iparágakban, amelyek stratégiai fontosságúak. A forgalmazás során bár kiemelten fontos a profitmaximalizálás, több belső és külső korlátozás miatt nem lehetséges a feltételek nélküli forgalmazás. Túl a profitmaximalizáláson a forgalmazó cég kiemelt érdeke az érvényben levő jogi normák teljes betartása, sőt ezeken túl is, a vállalati társadalmi felelősségvállalási (CSR) elvein keresztül megfogalmazott további korlátok betartása. Ezek nemcsak egy adott gyártási helyszínre (esetleg forgalmazással foglalkozó alegységre) vonatkozó korlátok, hanem a teljes cégcsoportra vonatkozó előírások, amelyeket szigorúan be kell tartani, sőt a korlátozások gyakran a teljes ellátási láncra, azaz a cégcsoport üzleti partnereire is vonatkoznak (forrás: [31]).

5. ábra. *A Rosemount 3051S MultiVariable Transzmitter (forrás:[30])*

Mivel az Emerson által gyártott és forgalmazott Rosemount 3051S távadók olyan stratégiailag fontos iparágakban és földrajzi régiókba kerülhetnek beszerelésre, amelyek a nemzetközi szintű hatóságok által felügyeltek, emiatt minden potenciális ügyfél egy szűrési folyamaton esik át [32]. Mivel ezek a korlátozások nemzetközi jogi ismereteket involváló tudást feltételeznek, ezek ismerete nem lehet feltétel minden munkatárs számára. Emiatt ezek a CRM-rendszeren keresztül a cég saját, mindenki által érthető forgalmazási politikájának részévé válnak. A szűrés jelen van a meglévő vagy korábbi ügyfelek esetén is. A vevő profilja és a konkrét megrendelésének típusa függvényében szintén jelen van a kockázatelemzés.

A cégen belüli, országos vagy nemzetközi elvárásoknak való megfelelés elemzése a gyártó/forgalmazó feladata. Bár a kockázat forrása maga az ügyfél, a szállítói szerződés megkötéséért a gyártó/forgalmazó felelős, függetlenül attól, hogy a vevő tudatosan vagy sem, olyan terméket vagy szolgáltatás szeretne megvásárolni, amelyre nincs jogosultsága. Elemzésünk során nyilván nem férhettünk hozzá bizalmas adatokhoz és a cég belső szabályozásaihoz, de azt azonosítani tudtuk, hogy a megfelelőség elemzése távolról sem egyetlen ember vagy szervezeti alegység feladata. A vizsgálat során láthattuk, hogy az ügyfélkapcsolatok tartalma, a kockázatelemzés szempontjából, jelentősen eltérhet az ügyfél típusától függően.

Az interjúk során elhangzott példákon keresztül megfogalmaztunk egy olyan vevőcsoportosítási javaslatot, amely a cég által használt eljárási rendből indul ki. Ugyanakkor meg kell említenünk, hogy nem a vizsgált vállalat eljárásait mutatjuk be, hanem egy általunk kidolgozott rendszert, amelyet a vállalattól kapott általános információk alapján mi dolgoztunk ki. Az Emerson-mintából kiinduló modell szándékaink szerint általánosan alkalmazható minden, magas innovációs szintű termékeket forgalmazó vállalkozás esetén. Elemezve az Emerson cég gyakorlatát, a begyűjtött adatok szerint a vevők a következő három fő kockázati csoportba sorolhatók:

– megbízható vevő,
– semleges vevő,
– kockázatos vevő.

A megbízható vevők a legalacsonyabb kockázati szintet jelentő vevők. Olyan törzsvevők, akik elsősorban a megbízhatóságuk alapján kapják ezt a minősítést, és nem feltétlenül a nagy értékű és rendszeres rendeléseik miatt. Természetesen, jellemzően a folyamatosan visszatérő vevők kerülnek ebbe a besorolásba. Sőt, szinte kivétel nélkül egyben végső felhasználók is. A végső felhasználók alacsonyabb kockázatot jelentenek, emiatt könnyen kerülnek a megbízható vevők besorolásba. Ezzel szemben a viszonteladók esetében nem biztos ez a besorolás, bár gyakrabban és nagyobb mennyiségben rendelnek, mint a végső felhasználók.

A megbízható törzsvásárlók esetében a kockázatelemzés kevésbé részletes, hiszen a vevő személye és egyben az eladott termék felhasználási helye többé-kevésbé ismert. Fontos kiemelni, hogy amennyiben a tranzakció tárgya magas innovációs szinttel rendelkező, piacvezető csúcstermék, a kockázatelemzési eljárás valamivel alaposabb, mint egy szokványos adás-vételi tranzakció estén.

A semleges vevők esetén alapfeltétel, hogy legyen korábbi tranzakció. Rendszerint viszonteladók kerülnek ebbe a besorolásba, illetve olyan végső felhasználók, akiknél bizonyítottan nincs kialakulva még a márkahűség. Ennél a vevőtípusnál a kockázatelemzés alaposabb. Amennyiben magas innovációs szinttel rendelkező, piacvezető csúcstermékről van szó, a végső felhasználó személyére vonatkozóan szükséges egy kérdőív kitöltése. Ez a feltétele a termékre vonatkozó ajánlattételnek. Ennek nyilvánvaló célja, a testre szabás mellett, a végső felhasználó azonosítása. A felhasználó az olyan termékek esetében jelent a gyártóvállalatoknak kockázatot, amelyek a világ minden tájára szállítanak csúcstechnológiát, és amelyekben a nemzetközi jogszabályok nem teszik lehetővé a forgalmazást. Ennek oka lehet például, hogy a termék nem illeszkedik a célország szabványaihoz, de elképzelhető akár egy időszakos embargó is. Ilyen esetekben a szervezeteknél léteznie kell egy olyan adatbázisnak, amely nem más, mint egy tiltólista, országokra, régiókra, illetve iparágakra vonatkozóan, ahova a cég nem szállíthat. A fentiekben említett vevői felmérés célja, hogy a munkatársak ne kezdeményezhessenek tranzakciókat a tiltólistán levők felé, illetve nem fogadhatnak el rendeléseket olyan közvetítőktől vagy megrendelőktől, akik a tiltólistán szerepelnek. A viszonteladók esetében a vevői kérdőív tartalmazza mind a viszonteladó részletes adatait, mind a végső felhasználóét. Amennyiben a két cég közül bármelyiknél az adatok felvétele során valamilyen inkoherencia, ellenőrizhetetlen részlet jelenik meg, a kockázatkezelési mechanizmus vészjelzést ad le. Csak az első szűrőkön történő pozitív véleményezést követően lehet a visszatérő vevők termékigénylésére végleges árajánlatot készíteni, szerződni és számlázni.

A semleges vevők esetében egy 5 lépcsős szűrésre van szükség. Az első az eladási személyzet, a második műszaki konfigurációt kidolgozó mérnökcsapat, a harmadik a jogi/számviteli osztály munkatársai, a negyedik a kivitelező mérnökcsapat és az ötödik a logisztikai csoport. Külön-külön, közvetve vagy közvetlenül, mindegyik szakértői csoport elemzi kockázati szempontból is a rendelést és a megrendelőt.

Az kockázatos vevők esetén a kockázatelemzési folyamat a legkomplexebb. A fentiek mellett szükséges, hogy specifikusan kockázat-elemzésre szakosodott szakemberek is bekapcsolódjanak az információs folyamatokba. A kockázatos vevők rendszerint az új vevők. Míg az előző két vevőtípusnál a kockázatelemzést az adott terméket előállító gyár személyzete végzi, a kockázatos vevőket az anyavállalat globális szinten erre szakosodott munkatársai elemzik. Az új partner adatai a továbbiakban a világ minden táján levő munkapontok számára elérhetővé válnak. Amennyiben az új vevő a kockázatkezelés során tiltólistára kerül, ez a tiltás a cégcsoport akár minden munkapontjára vonatozhat.

A fenti besorolás elsősorban egy kockázati szint szerinti osztályozás, és kevésbé tesz különbséget, hogy a vevő milyen célból vásárol. Emiatt szükséges egy újabb osztályozás, amely a vásárlás célja szerint történik. A továbbiakban értelemszerűen olyan ipari vevőket elemzünk, amelyek az általunk vizsgált specifikus B2B-piacokon jellemzőek, azaz magas innovációs szintet jelentő, ipari felhasználású termékeket vásárolnak, rendszerint saját maguk számára, illetve az egyértelműen azonosított végső felhasználók számára. Az Emerson cégnél, a Rosemount™ 3051S jeladó forgalmazásának elemzése során az alábbi vevőcsoportosítást dolgoztuk ki. A csoportosítás alapját a cégnél folytatott strukturált interjúk jelentik, ugyanakkor fontosnak tartjuk pontosítani, hogy az osztályozást a szerzők végezték, a vizsgált vállalat osztályozása – ha van egyáltalán ilyen – eltérhet ettől.

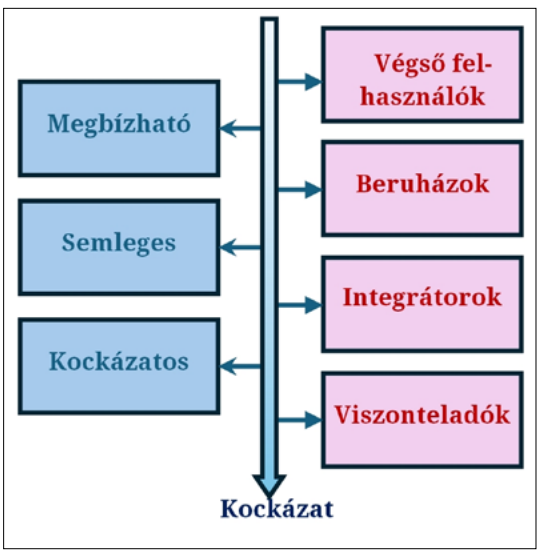
Tehát a vásárlás célja alapján az alábbi vevőtípusokat különböztethetjük meg:

– végső felhasználók,
– beruházók,
– integrátorok,
– viszonteladók.

A végső felhasználók olyan vevők, akik saját maguknak vásárolnak, és rendszerint önmaguknak, a meglévő rendszerükbe telepítik, helyezik üzembe a terméket. A beruházók olyan vevők, amelyek ipari rendszereket fejlesztenek, és ezekbe építik bele a vásárolt terméket. Ezek a szervezetek lehetnek a későbbi végső felhasználók is, de előfordulhat, hogy a fejlesztés mögött álló megbízók fogják üzemeltetni a kiépített rendszert. Az integrátorok olyan cégek, amelyek különböző elemeket, technológiákat fognak össze egy egységes, működőképes rendszerré. Nem ők a végső felhasználók. A viszonteladók ipari ügyfelekre szakosodott vevőspecialista kereskedők, aki hozzáadott műszaki szolgalátatás nélkül forgalmazzák az adott terméket. Tulajdonképpen a gyártó ügynökei, közvetítői a végső felhasználók felé.

A fenti felsorolt kategóriák eltérő kockázatelemzési stratégiát feltételeznek, hasonlóan a korábban bemutatott kockázati szerinti osztályozáshoz. A különböző partnertípusokhoz különböző kockázatszint szerinti besorolás párosítható. Ezt a párosítást érzékelteti a **6. ábra**.

A kockázati csoportoknál, ahogyan korábban is leírtuk, a típus szerint eltérő elemzési procedúrát feltételez. Az **7. ábra** vázlatosan szemlélteti az eltérő besorolású ügyfelek esetén a kockázatelemzés fázisait.



6. ábra. *A vevőtípusok összehasonlítása*

Az ábrán látható fázisokat gyakran eltérő földrajzi helyszínen, eltérő szakmai hátterű szakembercsoportok kell, hogy végezzék. Az ábra bal oldalán látható, hogy az első fázisban értékesítéssel foglalkozó munkatársaknál kezdődik a kockázatelemzés. Ők rendszerint ugyanabban a földrajzi zónában tevékenykednek, ahonnan a megrendelés érkezik. Az eladási személyzet szerepe rendkívül fontos a kockázatelemzés céljából, mivel feltételezhetően alapos helyismerettel rendelkeznek.

Tekintve a vevők több típusát (pl. nem minden esetben a vevő és a végső felhasználó azonos), az eladási személyzet nem tudhatja teljesen biztosan, hogy az adott berendezés hol kerül felhasználásra, és implicit azt sem tudhatja, hogy a forgalmazásnak van valamilyen akadálya. Emiatt fontos a megrendelésre és a megrendelőre vonatkozó általános adatoknak a felvétele, hogy a cég az üzletkötés lehetőségét elemezhesse a továbbiakban. Az üzletkötők/viszonteladók munkájuknak alapcélja, hogy minél nagyobb volumenű terméket értékesítsenek, emiatt ebben a fázisban a szerződés megkötésének a szándéka a cél, illetve a szerződés értékének maximalizálása. A kockázatelemzés bár jelen van, nem ez a fő tevékenység, emiatt indokolt a további vizsgálat. Ebben az elsődleges elemzésben a vevővel járó kockázatok legáltalánosabb felmérése történik, és vevőtől függetlenül minden esetben sorra kerül.

A következő két lépés csak az új partnerek esetében szükséges. A két fázis elemzése, több helyszínen zajlik. Az elsődleges információfelvétel a terméket gyártó üzem helyszínén történik, és egy részletes adatfelvevő kérdőív kitöltésével kezdődik, valamint a vevő műszaki elvárásaira fogalmazott megoldást is előrevetíti. Elvileg elképzelhető, hogy a műszaki megoldás mutat rá, hogy egy kockázatot jelentő partner jelentkezett, és nem a vevő által szolgáltatott adatok. A harmadik fázis, mint a fentiekben is jeleztük, a cégcso-

7. ábra. *Kockázatelemzési lépések*

port koordinációs szintjén történik, egységesen a vállalat minden gyárára vonatkozóan. A korábbi két fázisban keletkezett adatokat erre szakosodott szakemberek ellenőrizik, és kockázat észlelése esetén további adatokat is kérhetnek, illetve nem engedélyezik a szerződéskötést és gyártást. Amennyiben a partnercég átesett ezen az elemzésen, a következő fázisban megtörténhet az ajánlattétel. Ebben, a kockázatelemzés szempontjából a mi ábránkon negyedik lépésnek jelzett fázisban a gyártási helyszínen levő mérnökcsapat feladata a vevői kérésnek való megfelelés. Ugyanakkor bármely megszokottól eltérő helyzet kockázati tényezőként is kezelendő. Ez az a fázis, amikor lehetőség van műszaki szempontból azonosítani az esetleges anomáliákat. A vizsgált cégnél például kérdéseket vet fel, ha egy partner, aki kőolajiparban használatos mérőeszközöket rendelt korábban, hirtelen teljesen más területen használt berendezéseket rendel, vagy egy más országban érvényes standardok szerinti kéri a termék hitelesítését.

A gyártás előtti validáció, amely magában foglalja a szerződéskötést is, jogi értelemben véglegesíti mindazt, amiben a korábbi fázisokban a felek megegyeztek. A kockázatelemzés során felmerült kockázati tényezők kezelési módját is ekkor rögzítik, illetve ezek bekövetkezése esetén a felelősségek meghatározását. Amennyiben korábban olyan kockázati tényező azonosítása történt amelyik bekövetkezésének valószínűsége magas, és a következményei súlyosak, vagy eleve jogszabálysértés veszélye áll fenn, akkor ez a kockázatelemzés szempontjából ún. gyilkos feltétel, és a szerződéskötés nem történik meg.

A gyártás és a szállítás során is történik több szempontú kockázatelemzés, és bár ilyenkor a szerződéses kötelezettségvállalás a legfontosabb szabályozó dokumentum, mégis amennyiben még ezekben a fázisokban is kiderül, hogy (rendszerint nemzetközi) jogszabályokba ütközik a szerződés valamelyik részének a teljesítése, akkor a szerződés felfüggesztésre kerül. Nem képzelhető el a partnerek között olyan szerződéses megegyezés, amely ellenkezik valamely jogszabállyal. A felek közötti szerződés mindig jogilag gyengébb dokumentum, mint a helyi vagy nemzetközi jogszabályok.

6. Következtetések

Dolgozatunk B2B-piacok olyan specifikus termékeivel foglalkozik, amelyek innovatív termékek, és globális piacokon kerülnek forgalmazásra. Itt gyakran előfordul, hogy a forgalmazás során a profitmaximalizálás nem lehetséges, jogi és üzletpolitikai korlátok jelenléte miatt. Tekintettel ezekre a korlátozásokra, a kockázatelemzés is más dimenziókkal rendelkezik más termékekhez képest, hiszen minden korlát egyben kockázati tényező is.

A nemzetközi piacokon való jelenlét azt feltételezi, hogy a termékek megfelelnek azoknak a jogszabályoknak, standardoknak ott, ahol felhasználásra kerülnek, illetve a versenyelőny megőrzéséért folytatott innovációs verseny korábban nem tapasztalt kockázatokat generál. A jogsértés, más esetekben a szabálysértés elkövetése a forgalmazó/gyártó által történik, emiatt a kockázatelemzést nekik kell elvégezni Az általunk vizsgált kérdéskörben a kockázat elsődleges forrása maga az ügyfél.

Egy esettanulmányon keresztül kapcsolatot teremtünk egyes kockázatelemzési módszerek és az ügyfélkapcsolatmenedzsment-tevékenység között. A dolgozatban több helyen kiemeltük, hogy az ügyfelekkel kapcsolatos kockázatelemzés kulcsszereplői műszaki szakemberek. Ők elsősorban a CRM-rendszerek által képesek elsődleges elemzést elvégezni, hiszen ezek adott szervezetekre szabott szoftverek, megkönnyítik az ügyfelekkel kapcsolatos információk gyűjtését, feldolgozását és felhasználását az üzleti folyamatok optimalizálása érdekében. A kockázatmenedzsment szempontjából kiemelt fontosságú, hogy a CRM-szoftverek miként azonosítják a kockázatokat, vagy önmagukban milyen mértékben jelentenek kockázatot.

Az Emerson cég Rosemount 3051S Multivariable nyomásjeladó forgalmazása kapcsán elkészített félig strukturált interjúk eredményeképpen egy olyan kockázatelemzési modellt mutatunk be, amely a kapcsolatot teremt a kockázati szint és vevőtípusa között, illetve ezek függvényében kockázatelemzési algoritmust is javasol.

Kutatásunk során társadalomtudományokban használt módszertant alkalmaztunk. A rendelkezésre álló módszertani eszközök közül a tartalomelemzést és a félig strukturált interjút választottuk. A tartalomelemzés során a cég honlapját és a vizsgált terméket bemutató nyilvános dokumentumokat használtuk. A 3 félig strukturált interjú alanyai a cég romániai vállalatának eladási szakemberei, középvezetői. A kutatás eredményeképpen egy kockázatkezelési eljárást mutatunk be, amely olyan tranzakciókban alkalmazhatók, ahol mindkét szereplő olyan ipari szervezet, amely tevékenységét tekintve csúcstechnológiá-

kat alkalmaz, és a tranzakciók tárgyai magas innovációs szinttel rendelkező ipari termékek.

Az Emerson-mintából kiinduló modell szándékaink szerint általánosan alkalmazható minden, magas innovációs szintű termékeket forgalmazó vállalkozás esetén. A bemutatott vevőkategóriák eltérő kockázatelemzési stratégiát feltételeznek. Az egyes kockázatelemzési fázisokat gyakran eltérő földrajzi helyszínen eltérő szakmai hátterű szakembercsoportok végzik. Az általunk javasolt, többlépcsős, általános elemzési modell segít ezeken a specifikus B2B-piacokon kiküszöbölni a műszaki dokumentáció és az árajánlat-készítés során már azonosítható, az adott iparágra jellemző kockázatokat.

Az eltérő kockázati szintű besorolás segíti a hagyományos vevőkkel a gyors ügyfélkiszolgálást, míg a magas kockázatú potenciális vevőket már az együttműködés kezdeti fázisában azonosítja. A műszaki ajánlatok és ügyfélkapcsolatok vizsgálatával kapcsolatos kockázatok elemzése sokkal komplexebb, mint első látásra tűnhet. A többnyire műszaki szakemberek által végzett soklépcsős elemzés jelentheti a szabványoknak, jogszabályok betartásának feltételét, illetve a hosszú távú versenyelőnyt.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk az Emerson Románia vállalat kolozsvári telephelyének és munkatársainak, hogy a cég termékét példaként hozhattuk fel a fejlett innovációs termékek forgalmazásával kapcsolatos kihívások illusztrálására, az általuk használt elemzések mintát jelenthetnek más vállalatok versenyképességének biztosításában, a nemzetközi piacokon való jelenlét elvárásainak való megfelelésben.

A cikk megjelenését a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Kara támogatta.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] World Trade Organization, Agreement on Technical Barriers to Trade, Annex 1A, 1868 U.N.T.S. 120., art.2.2, 1994

[2] Loshin D.: *Enterprise Initiative Integration*. In: *The Practitioner's Guide to Data Quality Improvemen*t, MK Series on Business Intelligence, (2011) 53–66. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373717-5.00021-X

[3] Az Európai Parlament és A Tanács 2014/32/EU Irányelve: a mérőműszerek forgalmazására vonatkozó tagállami jogszabályok harmonizálásáról. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/txt/?uri=celex%3A32014L0032&qid=1777036364149

[4] Az Európai Parlament és A Tanács 2015/C 95/ 02 irányelve Az emberi használatra szánt gyógyszerek segédanyagaira vonatkozó megfelelő helyes gyártási 2015/C 95/ 02 gyakorlat. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/hu/txt/?uri=celex:52015XC0321(02)

[5] Fiegenwald V., Bassetto S., Tollenaere M.: *Controlling Non-Conformities Propagation in Manufacturing*. International Journal of Production Research, 52/14. (2014) 4118–4131. https://doi.org/10.1080/00207543.2013.783244

[6] Wachtera S., BeckschulteaS., Hinrichsa P. M, Sohniusa F., Schmitta R. H.: *Strategies for Resilient Manufacturing: A Systematic Literature Review of Failure Management in Production*. 57th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2024 (CMS 2024)

[7] Aven T.: *Risk Assessment and Risk Management: Review of Recent Advances on Their Foundation.* European Journal of Operational Research, 253/1. (2016) 1–13. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023

[8] Oakland J S.: *Total Quality Management and Operational Excellence: Text with Cases.* Routledge, 2014.

[9] Bartl B.: *A hibás termékekért való felelősség változó szabályozásának új irányai az európai uniós jogalkotás mérlegén*. Iustum Aequum Salutare. 21. (2025) 157–171. https://doi.org/10.69695/ias.2025.1.10

[10] Rababah K. H.: *Customer Relationship Management (CRM) Processes from Theory to Practice: The Pre-Implementation Plan of CRM System*. International Journal of e-Education, e-Business, e-Management and e-Learning, 1/1. (2011) 22–27.

[11] Statista Market Insights, Customer Relationship Management Software – Worldwide. (letöltve: 2026. március 15.) https://www.statista.com/outlook/tmo/software/enterprise-software/customer-relationship-management-software/worldwide

[12] Reinartz W. J: *Customer Relationship Management: Past, Present, and Future*. Int. Journal of Research in Marketing, 43/1. (2026) 8–27. https://doi.org/10.1016/j.ijresmar.2025. 12. 001

[13] Kumar V., Reinartz W.: *Concepts of Customer Value*. In: *Customer Relationship Management*. Springer, Berlin Heidelberg (2018), 17–29. https://doi.org/10.1007/978-3-662-55381-7

[14] Prior D.D., Buttle F., Maklan S.: *Customer Relationship Management Concepts.* Applications and Technologies , 5th Edition, Routledge, 2024.

[15] Payne, Frow, P.: *Strategic Customer Management: Integrating Relationship Marketing and XRM.* Cambridge Uni. Press, 2013

[16] EN ISO 31000 Risk management – Guidelines, 2018

[17] Project Management Institute: A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (6th ed.), 2017.

[18] Pillay R.: *Corporate Governance and the Anglo-Saxon vs. Rhenish Model*. Journal of Management and Governance, 2015.

[19] Aven T.: *The Risk Concept – Historical and Recent Development Trends*. Reliability Engineering & System Safety, 99. (2012) 33–44. https://doi.org/10.1016/j.ress.2011.11.006

[20] Chapman, Robert J.: *Simple Tools and Techniques for Enterprise Risk Management*. John Wiley and Sons, 2011, https://doi.org/10.1002/9781119989974

[21] Varga D, Wendt S., Brennan: *Process Control Industry Statistics*. Report 2026. (letöltve: 2026. március 15.) https://gitnux.org/process-control-industry-statistics

[22] www.researchandmarkets.com/reports/5790758/industrial-control-and-factory-automation-market?srsltid=AfmBOorWfFcJ7LCO3t0k-3GWc4vVn6M66oUNL_JxFcW4lAvlfLG9PRdkQ (letöltve: 2026. március 15.)

[23] www.sec.gov/Archives/edgar/data/32604/000003260424000061/fy24annualreport-website-fi.pdf (letöltve: 2026. március 15.)

[24] www.reportprime.com/differential-pressure-transmitters-r1719/company (letöltve: 2026. március 15.)

[25] https://www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-sku-3051s-multivariable-transmitter

[26] www.emerson.com/documents/automation/case-study-cotton-seed-processing-company-saves-over-60-000-operational-savings-rosemount-3051smv-chemical-en-89460.pdf (letöltve: 2026. március 15

[27] go.emersonautomation.com/case-study-chevron (letöltve: 2026. március 15.)

[28] www.emersonautomationexperts.com/wp-content/uploads/2021/10/white-paper-sustainable-energy-efficiency-english-us-en-42788.pdf (letöltve: 2026. március 15.)

[29] https://www.controlglobal.com/home/article/11381932/emerson-exchange-2009-smart-wireless-innovators-make-the-connection-control-global (letöltve: 2026. március 15.)

[30] https://www.emerson.com/en-us/catalog/rosemount-sku-3051s-multivariable-transmitter (letöltve: 2026. március 15.)

[31] https://www.emerson.com/documents/automation/terms-of-quotation-sale-goods-services-en-6504244.pdf (letöltve: 2026. március 15.)

[32] https://www.emerson.com/documents/automation/emerson-process-management-b-v-general-conditions-of-purchase-en-42730.pdf (letöltve: 2026. március 15.)

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 12–29.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.02
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.02

A TEHNOFRIG GYÁR KORAI TÖRTÉNETÉNEK LEVÉLTÁRI FORRÁSAI (1954–1965)

ARCHIVAL SOURCES ON THE EARLY HISTORY OF THE TEHNOFRIG FACTORY (1954–1965)

Bitay Enikő,[1,2,3]

[1] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia;*

[2] *Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Kari Kutatásszervező Központ, Budapest, Magyarország;*

[3] *Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, Románia, bitay@eme.ro*

Abstract

This study examines the early history of the Tehnofrig factory in Cluj, founded in 1949–1950, based on archival sources. For the first time, it draws on the earliest documents preserved in the Tehnofrig fonds of the Cluj County Branch of the Romanian National Archives. The analysed material, dating mainly from 1954–1965, includes autobiographies, applications, labour contracts, personnel records, political registers, and workforce-management correspondence. These sources make it possible to reconstruct labour recruitment practices, vocational training mechanisms, and the social composition of the factory's early workforce. They also provide valuable information on the local dimensions of socialist industrialization, the integration of rural populations into industrial labour, and the relationship between technical education and industrial production. A particular value of the material lies in the coexistence of Romanian- and Hungarian-language documents, which reveal the multilingual character of the factory's early institutional environment. The study contributes new findings to the history of Tehnofrig and to the social history of post-war industrialization in Romania.

Keywords*: Tehnofrig, industrialization, archival research, labour recruitment, industrial heritage.*

Összefoglalás

A tanulmány a kolozsvári Tehnofrig gyár korai történetét vizsgálja levéltári források alapján; a gyár 1949–1950-ben alakult meg állami vállalatként. Az 1954–1965 között keletkezett dokumentumok – önéletrajzok, kérelmek, munkaszerződések, személyzeti nyilvántartások, politikai minősítésű iratok és munkaerő-gazdálkodási levelezés – lehetővé teszik a gyár munkaerő-toborzási gyakorlatának, szakember-utánpótlási rendszerének és korai társadalmi összetételének rekonstrukcióját. A források különösen értékes adatokat szolgáltatnak a szocialista iparosítás helyi folyamatairól, a falusi népesség ipari munkába való bekapcsolódásáról, valamint a műszaki oktatás és az ipari termelés kapcsolatáról. Külön jelentőséget ad az anyagnak, hogy román és magyar nyelvű dokumentumokat egyaránt tartalmaz, amelyek a gyár korai intézményi környezetének többnyelvűségét dokumentálják. A tanulmány új adatokkal járul hozzá a Tehnofrig történetének és a háború utáni romániai iparosítás társadalomtörténetének kutatásához.

Kulcsszavak: *Tehnofrig, iparosítás, levéltári kutatás, munkaerő-toborzás, ipartörténet.*

1. A Tehnofrig korai történetének kutatási előzményei és forrásai

A második világháborút követő romániai iparosítás a 20. századi gazdaság- és társadalomtörténet egyik legjelentősebb átalakulási folyamata volt. Az 1948-as államosítást követően az államszocialista gazdaságpolitika kiemelt céljává vált az ipari termelés gyors fejlesztése, amelynek keretében új vállalatok jöttek létre, miközben a meglévő üzemek is jelentős bővítésen mentek keresztül. Az iparosítás nem csupán gazdasági programot jelentett, hanem a társadalom szerkezetét is alapvetően átalakította: új munkásrétegek alakultak ki, felgyorsult a vidéki lakosság városokba áramlása, valamint a műszaki és szakmai képzés intézményrendszerének kiépítése is [1, 2, 3, 4].

E folyamat Erdély nagyvárosaiban különösen látványosan érvényesült. Kolozsvár a háború utáni évtizedekben nemcsak kulturális és oktatási központként fejlődött tovább, hanem jelentős ipari szerepkörre is szert tett. Az új ipari létesítmények létrejötte és a meglévő vállalatok fejlesztése a város gazdasági és társadalmi arculatát egyaránt átformálta [5, 6]. Az ekkor létrejött vagy megerősödött vállalatok közé tartozott a Tehnofrig is, amely néhány évtized alatt a romániai hűtéstechnikai és élelmiszeripari gépgyártás egyik meghatározó központjává fejlődött.

A kolozsvári Tehnofrig gyár a szocialista korszak egyik kiemelkedő ipari létesítménye volt Erdélyben. A hűtéstechnikai berendezések, ipari tartályok, hőcserélők és élelmiszeripari technológiai eszközök gyártására szakosodott vállalat közel fél évszázadon át meghatározó szerepet töltött be a város gazdasági és társadalmi életében. Az üzem alapítása az 1949–1950-es évekre tehető, és szorosan illeszkedett a kommunista Románia iparosítási politikájához. A vállalat történetének későbbi szakaszairól rendelkezésünkre állnak visszaemlékezések, személyes dokumentumok, vállalati kiadványok és kéziratos feldolgozások, különösen Jenei Dezső főmérnök életútjához és a gyár műszaki fejlődéséhez kapcsolódóan [7, 8]. A vállalat korai történetének levéltári forrásokon alapuló feldolgozása azonban mindeddig háttérbe szorult. Jelen vizsgálat a Tehnofrig-fond legkorábbi fennmaradt iratanyagára támaszkodik.

A szocialista korszak vállalattörténetének kutatása az utóbbi évtizedekben jelentős módszertani megújuláson ment keresztül. A gazdaság- és technikatörténeti megközelítések mellett egyre nagyobb hangsúlyt kaptak azok a vizsgálatok, amelyek az iparosítás társadalmi következményeire, a munkaerő-toborzás mechanizmusaira, a szakemberképzés intézményes formáira és a vállalati közösségek kialakulására irányulnak [9, 10]. A vállalati iratok így nem csupán az intézmény működésének dokumentumai, hanem a korszak társadalomtörténetének fontos forrásai is.

A vállalati múlt feltárásában kiemelkedő szerepet töltenek be a levéltári források. A romániai levéltárak gazdasági fondjai számos olyan dokumentumot őriznek, amelyek mindeddig csak korlátozott mértékben kerültek a történeti kutatások látókörébe [11]. Különösen értékesek ebből a szempontból a személyzeti és munkaügyi iratok, amelyek nemcsak a vállalat szervezeti működéséről szolgáltatnak adatokat, hanem az alkalmazottak társadalmi hátterére, képzettségére és szakmai pályájára vonatkozóan is fontos információkat őriztek meg. Az önéletrajzok, kérelmek és személyi nyilvántartások olyan egyéni életutakat tesznek láthatóvá, amelyek más forráscsoportokból rendszerint nem rekonstruálhatók. Ezáltal az intézménytörténeti kutatás társadalomtörténeti dimenzióval egészül ki, és lehetővé válik az iparosítás helyi folyamatainak árnyaltabb vizsgálata is.

Jelen tanulmány alapvető forrásbázisát a Román Állami Levéltár Kolozs Megyei Kirendeltségén (Direcția Județeană Cluj a Arhivelor Naționale, a továbbiakban: DJAN-CJ) őrzött Fond Întreprinderea Tehnofrig Cluj (nr. 626.) dokumentumai képezik. A kutatás a fond első két iratcsomójának feldolgozására épül: a *Cadre. Repartizări. Contract de muncă (1954–1965)*, illetve a *Diversă corespondență cu forțele de muncă (1958–1965)* című iratcsomók anyagára. A fennmaradt dokumentumok között önéletrajzok, felvételi kérelmek, munkaszerződések, politikai nyilvántartások, állományjegyzékek, valamint a munkaerő-gazdálkodással kapcsolatos hivatalos levelezés található. A forrásanyag különleges értékét az adja, hogy lehetőséget nyújt a gyár első munkatársi közösségének, a munkaerő-toborzás gyakorlatának, a szakember-utánpótlás korai formáinak és a vállalat multietnikus társadalmi környezetének vizsgálatára.

Jelen tanulmány célja kettős: egyrészt a Tehnofrig-fond legkorábbi iratanyagának rendszeres feldolgozása és bemutatása, másrészt a levéltári dokumentumokból kirajzolódó ipar-, társadalom- és technikatörténeti összefüggések feltárása. A vizsgálat középpontjában a vállalat alapításának időszaka, a munkaerő összetétele, a szakmai utánpótlás biztosításának formái, valamint azok a társadalmi folyamatok állnak, amelyek a Tehnofrig fejlődését a romániai iparosítás korai szakaszában meghatározták.

2. Az iratanyag és az iratképző intézmény

2.1. A vizsgált forrásanyag jellege és összetétele

A jelen tanulmány alapját képező levéltári forrásanyag elsősorban a Tehnofrig-fond 1. és 2. iratcsomójából származik.[1] A kutatás három fő forrástípust vizsgál az 1. iratcsomó anyagából: (1) a gyárba felvételre jelentkezők, illetve szakmai gyakorlatukat a vállalatnál teljesítő tanulók és hallgatók által készített kézzel írott önéletrajzokat (autobiografie); (2) a vállalat igazgatóságához benyújtott kérelmeket; valamint (3) az üzem belső adminisztratív dokumentumait, köztük egy Strict Secret minősítésű politikai nyilvántartást. A 2. iratcsomó a Tehnofrig és a munkaerő-gazdálkodási szervek közötti hivatalos levelezést tartalmazza, amely lehetővé teszi a vállalat munkaerő-toborzási és munkaerő-gazdálkodási gyakorlatának rekonstruálását.

A vizsgált dokumentumok túlnyomó többsége 1954 és 1965 között keletkezett. A forrásanyag egyidejűleg nyújt betekintést a vállalat személyzeti politikájába, a szakember-utánpótlás rendszerébe, a munkásság társadalmi összetételébe, valamint a korabeli ipari igazgatás működésének egyes területeibe.

2.2. A Tehnofrig gyár alapítása és korai évei

A Tehnofrig gyár szervezeti előzményei az 1949-es évre nyúlnak vissza, jogilag azonban 1950. december 26-án alakult meg állami vállalatként. A gyár Kolozsvárott, a Gyufagyár utcán (Str. Fabrica de Chibrituri) az 5–7., illetve később 5–11. szám alatt kapott helyet. Az üzem alapvető profilja a hűtéstechnikai berendezések és ipari hűtőrendszerek tervezése, gyártása és szerelése volt – innen ered a neve is: a román frigorific (hűtéstechnika) szóból.

A gyár neve az évek során többször változott: a korai iratokon Kolozsvári Tehnofrig Üzemek (Uzinele Tehnofrig Cluj) szerepel, amelyet később Kolozsvári Tehnofrig Vállalat (Întreprinderea Tehnofrig Cluj) váltott fel. Az alapítástól fogva meghatározó személyisége volt Jenei Dezső főmérnök, aki 1949. december 6-án lépett be a vállalathoz, és egészen 1973-ig töltötte be a főmérnöki tisztséget. Az ő nevéhez fűződik a gyár műszaki fejlesztéseinek irányítása a kezdeti évtizedekben; emellett az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának alapítója és első elnöke volt.[2]

A gyár hamarosan túlnőtt Kolozsvár határain: szerelési munkákat végzett Románia számos városában, köztük Besztercén (Bistrița), Szucsáván (Suceava), Jászvásáron (Iași), Pitești-ben és Temesváron (Timișoara). A vállalat arculatának meghatározó eleme lett a pingvinembléma, amelyet András László rajztanár és ötvösművész tervezett – az 1948-as tanügyi reform előtt a Református Kollégium rajztanára, ezt követően a Tehnofrig grafikus művésze.[3]

2.3. Az iratcsomók szerkezete és tartalma

Az állandóan megőrzendő iratok 1954–1968-as leltára 100 iratcsomó meglétéről tanúskodik. A fond az 1950-es évektől az 1960-as évek végéig ível, és a vállalat működésének szinte minden aspektusát lefedi: az igazgatói határozatoktól és laboratóriumi elemzésektől a munkásság felvételi iratain és szerelési munkák szerződésein át az újítási dokumentumokig.[4]

Jelen tanulmány részletesen elemzi az 1. és 2. iratcsomót. Az 1. iratcsomó eredeti borítófelirata: 1 – Tehnofrig – Cadre. Repartizări. Contract de muncă. 1954–1965. T. păst. permanenți (Termen de păstrare permanent – állandóan megőrzendő). 356 file. Összesen 337 digitalizált oldalt tartalmaz; a különbség azzal magyarázható, hogy egyes lapok kétoldalas fotója van, illetve a digitalizálás során néhány üres oldal hiányozhat.[5] A 2. iratcsomó borítófelirata: Diversă Corespondență cu Forțele de muncă, anii: 1958–1965 (Vegyes levelezés a Munkaerő-gazdálkodási Hivatallal, 1958–1965), 369 lap.[6]

Az 1. iratcsomó anyaga nem egységes, hanem több különböző iratcsoportból tevődik össze: (1) helyi falusi munkások önéletrajzai (Kisbács/Baciu) – ff. 1–3.; (2) munkára jelentkezők önélet-

1 DJAN-CJ, Fond Întreprinderea Tehnofrig Cluj nr. 626. (a továbbiakban: Fond Tehnofrig), dos. 1. Cadre. Repartizări. Contract de muncă (Káderek. Kirendelések. Munkaszerződések), 1954–1965, 356 file; dos. 2. Diversă corespondență cu forțele de muncă (Vegyes levelezés a munkaerő-gazdálkodási szervekkel), 1958–1965, 369 file.

2 Jenei Dezső szakmai életútjáról és a Tehnofrigban betöltött szerepéről részletesen lásd [7].

3 Ferencz Attila ny. tervezőmérnök levele Bitay Enikőhöz, az általa kezdeményezett, a Tehnofrig gyár történetére irányuló kutatás keretében. Kolozsvár, 2015. augusztus 21–23. Tehnofrig-gyűjtemény, EME, KIK (Könyvtár és Információs Központ), Kolozsvár.

4 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig. A fond leltára (Inventarul pentru documentele care se păstrează permanent, create în perioada 1954–1968) az állandóan megőrzendő iratokat tartalmazza, összesen 100 iratcsomó (dosszié).

5 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1. (Repartizări, Contract de muncă, 1954–1965), 356 lap.

6 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 2. (Diversă Corespondență cu Forțele de muncă, 1958–1965), 369 lap.

rajzai – ff. 4–10.; (3) a Kolozsvári Műszaki Egyetem egyik hallgatójának önéletrajza – f. 11.; (4) a Bukaresti Élelmiszeripari Intézet hallgatóinak 1954. nyári szakmai gyakorlatára vonatkozó program, beosztási lista és önéletrajzok – ff. 12–25., az f. 21. hiányzik; (5) a Kolozsvári Hűtéstechnikai Középfokú Műszaki Iskola beosztási listája – f. 26., ff. 28–31.; (6) ugyanezen iskola tanulóinak önéletrajzai – ff. 32–60.; (7) kolozsvári kereskedelmi középiskolások magyar nyelvű kérelmei és önéletrajzai – ff. 61–75.; (8) belső adminisztratív iratok – elbocsátási értesítők (ff. 76–83.), szigorúan titkos (Strict Secret) politikai nyilvántartás (ff. 84–87.), állományjegyzék (f. 96.), névjegyzékek (ff. 98–105.), esti iskolai nyilatkozatok (ff. 121–127.); valamint (9) munkaszerződések – részben kitöltött, részben üres nyomtatványok formájában, amelyek az iratcsomó terjedelmesebb részét alkotják (ff. 128–356.).

A 2. iratcsomó anyaga egységesebb jellegű: a Tehnofrig és a Kolozsvári Munkaerő-toborzó és -elosztó Hivatal (Secția Orașului de Recrutare și Repartizare a Forțelor de Muncă) között váltott levelek sorozatát tartalmazza, amelyet a gyár Személyzeti és Káderképzési Szolgálata (Serv. Personal și Formare Cadre) bonyolított. A 369 lapból álló iratcsomót 1965. december 9-én zárták le. A levelek munkaerő-igényléseket, szakmunkások és műszaki alkalmazottak toborzását, versenyvizsgák hirdetését, belső munkaerő-átcsoportosítási kérelmeket, valamint a munkaerő-gazdálkodás szabályozásával kapcsolatos köriratokat tartalmaznak. Az iratanyag az 1958–1965 közötti időszakot öleli fel, és közvetlen betekintést enged a gyár munkaerő-gazdálkodásának mindennapi gyakorlatába, a gyár fejlődésébe és a kor munkaügyi szabályozásába.

Az iratanyag szerkezete lehetővé teszi, hogy a vállalat korai működését egyszerre személyi, szervezeti és társadalomtörténeti nézőpontból vizsgáljuk. A következőkben az 1. és 2. iratcsomó alapján rekonstruáljuk a gyár munkaerő-állományának és szakember-utánpótlásának legfontosabb jellemzőit.

3. A munkaerő összetétele és toborzásának mechanizmusai

3.1. Helyi falusi munkások önéletrajzai (1954)

A Tehnofrig gyár korai időszakából fennmaradt, legkorábbi személyzeti dokumentumok közé tartozik három kisbácsi munkás 1954. október 1-jén keltezett, kézzel írott magyar nyelvű önéletrajza. A dokumentumok Balázs Lajos, Gáspár Gyula és Turós Dénes életútját mutatják be, és egyúttal betekintést nyújtanak azoknak a társadalmi csoportoknak a világába, amelyekből a vállalat első munkavállalói kikerültek. A három önéletrajz ugyanazon a napon készült, tartalmuk és szerkezetük pedig jól tükrözi az 1950-es évek személyzeti nyilvántartásaihoz kapcsolódó elvárásokat. A szerzők nemcsak születési és iskolai adataikat közölték, hanem beszámoltak családi hátterükről, munkaviszonyaikról, katonai szolgálatukról és politikai múltjukról is.

A három személy egyaránt Kisbács (Baciu) községből származott, amely Kolozsvár közvetlen vonzáskörzetében feküdt. Bár mindannyian mezőgazdasági környezetből érkeztek, társadalmi helyzetük nem volt azonos. Balázs Lajos 1908. szeptember 2-án született napszámos családban. Elemi iskolai tanulmányait Kisbácsban végezte 1915 és 1919 között, ezt követően mezőgazdasági és alkalmi napszámos munkából élt. Önéletrajzában kiemelte, hogy családfenntartóként mentesült a rendszeres katonai szolgálat alól, ugyanakkor 1943-ban rövid ideig a kolozsvári 60. vadászosztálynál teljesített szolgálatot. Politikai szervezethez nem tartozott.[7]

Gáspár Gyula 1907. február 14-én született Kisbácsban középparaszti családban. Hat testvére volt, hat elemi osztályt végzett, majd földműveléssel foglalkozott. Önéletrajza szerint vagyoni helyzetét egy hektár föld jellemezte. Nős volt, és négy gyermeket nevelt. Katonai szolgálatát 1929-ben Pitești-ben, a 6. ezrednél teljesítette. A dokumentum hangsúlyozza, hogy sem korábban, sem az önéletrajz megírásának idején nem vett részt politikai szervezet munkájában.[8]

Turós Dénes 1912. szeptember 12-én született Kisbácsban szegényparaszti családban. Nyolc testvér mellett nőtt fel, elemi iskolai tanulmányait 1919 és 1924 között végezte. Az önéletrajz szerint a család mindössze 0,73 hektár földdel rendelkezett. Gyermekkorától mezőgazdasági és napszámos munkát végzett, majd 1931-ben Kolozsvárra költözött. A második világháború idején, 1942 és 1943 között katonai szolgálatot teljesített. Saját megfogalmazása szerint politikai pártban vagy szervezetben nem vett részt.[9]

A három önéletrajz számos közös vonást mutat. Mindegyik kézzel írott, magyar nyelvű dokumentum, amely a szerző életútját kronologikus rend-

7 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., f. 1.

8 Uo., f. 2.

9 Uo., f. 3.

ben mutatja be. A szövegekben kiemelt szerepet kap a társadalmi származás, az iskolai végzettség, a katonai szolgálat és a politikai múlt ismertetése, ami jól illeszkedik az államszocialista korszak személyzeti gyakorlatához. Ugyanakkor a dokumentumok arról is tanúskodnak, hogy a Tehnofrig első munkavállalói között a környező falvak különböző társadalmi rétegei képviseltették magukat. A napszámos, a szegényparaszti és a középparaszti háttér egyaránt megjelenik, ami arra utal, hogy a vállalat munkaerő-utánpótlásának egyik legfontosabb forrását a Kolozsvár környéki mezőgazdasági népesség alkotta. A dokumentumok egyúttal érzékletesen mutatják be azt a társadalmi mobilitási folyamatot is, amelynek során a vidéki lakosság egy része fokozatosan bekapcsolódott az ipari termelés világába.

3.2. Munkára jelentkezők önéletrajzai (1955)

A személyzeti iratok között hét, munkavállalási szándékkal benyújtott önéletrajz maradt fenn 1955 februárjából. A dokumentumok 1955. február 8–9-én keltek, és fiatal, többnyire 1933–1938 között született jelentkezők pályakezdő élethelyzetét tükrözik. Az önéletrajzok között négy román és három magyar nyelvű dokumentum található, amelyek egyaránt betekintést nyújtanak a korabeli munkaerő-felvétel gyakorlatába és a jelentkezők társadalmi hátterébe.[10]

A román nyelvű önéletrajzok szerzői – Osváth Ileana, Osváth Anna, Veres Anasztázia és Buda Aurélia – valamennyien vidéki, földművescsaládokból származó fiatal nők voltak. Az önéletrajzok részletesen ismertetik a szülők foglalkozását, a testvérek számát, az iskolai végzettséget és a társadalmi származást. Több esetben megjelenik az UTM-tagság is, amely a korszak személyzeti dokumentumaiban rendszeresen feltüntetett adatnak számított.[11]

A magyar nyelvű önéletrajzok szerzői – Hideg György, Jakab Károly és Pácz Pál – szintén földműves vagy középparaszti családi háttérrel rendelkeztek, ugyanakkor esetükben már a középfokú kereskedelmi képzés is megjelenik. Hideg György és Jakab Károly a Kereskedelmi Iskola IV. osztályának tanulói voltak, míg Pácz Pál hét elemi osztály elvégzését követően kereskedelmi tanulmányokat folytatott. Az önéletrajzokban a DISZ-tagság feltüntetése mellett a továbbtanulás és a munkavállalás szándéka is hangsúlyosan megjelenik.[12]

A dokumentumok alapján megállapítható, hogy a Tehnofrig az 1950-es évek közepén a vizsgált fiatal jelentkezők számára vonzó munkalehetőséget kínált. A fennmaradt önéletrajzok tanúsága szerint a jelentkezők többsége vidéki vagy kisvárosi környezetből érkezett, és társadalmi hátterükben meghatározó szerepet játszott a földművescsaládi eredet. A vizsgált dokumentumegyüttes (ff. 4–10) egyúttal jól szemlélteti azt a társadalmi mobilitási folyamatot is, amelynek során a mezőgazdasági hátterű fiatalok az ipari üzemekben kerestek munkalehetőséget és szakmai előrelépést. Az f. 11. a Kolozsvári Műszaki Egyetem egyik hallgatójának 1954-ben kelt, feltehetően szakmai gyakorlathoz kapcsolódó önéletrajzát tartalmazza.

3.3. Szakmai gyakorlat a Tehnofrigban: a Bukaresti Élelmiszeripari Intézet hallgatói (1954)

Az 1954. júliusi iratanyag a Bukaresti Élelmiszeripari Intézet (Institutul Industriei Alimentare București, Facultatea Mașini și Utilaje) hallgatóinak Tehnofrigban végzett szakmai gyakorlatát dokumentálja. A névsor tizenhárom résztvevőt rögzít, közülük tizenkét hallgató önéletrajza maradt fenn; az f. 21. hiányzik. A csoportok élén egy-egy hallgatói felelős állt: Colofeteanu Ion, Geafar Megidet és Constantinescu Ion.[13]

A gyakorlatosok önéletrajzai Románia különböző vidékeiről érkező fiatal főiskolai hallgatókat mutatnak be. A résztvevők között megtaláljuk Amaranu Eugeniát Râmnicu Săratból, Colofeteanu Iont a Plenița környéki Velából, Șarpe Elenát Budieni-ből, Vasiliu Gabrielát Galați-ból, Georgescu Marianát Bragadiruból, valamint Geafar Megidetet a dobrudzsai Veleni-ből. A fennmaradt önéletrajzok alapján a hallgatók társadalmi háttere rendkívül változatos volt: munkás-, paraszt-, kisiparos-, tisztviselői, szövetkezeti alkalmazotti és műszaki értelmiségi családok gyermekei egyaránt jelen voltak a csoportban.[14]

Különösen figyelemre méltó két kínai hallgató jelenléte. Cioi Guan-Pil 1934. október 10-én született a Juan-He régióbeli Hai-Zu településen, míg Cia-Kuk-Iun 1933. október 8-án Tianjin városában. Mindketten az 1953-as tanévtől tanultak Bukarestben, és 1954 nyarán a Tehnofrigban végezték szakmai gyakorlatukat. Jelenlétük a szoci-

10 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1, ff. 4–10. Román és magyar nyelvű, kézzel írott önéletrajzok. Keltezésük: 1955. február 8–9.

11 Uo., ff. 4–7.

12 Uo., ff. 8–10.

13 Uo., f. 12v.

14 Uo., ff. 13–20., 22–25.; az f. 21. hiányzik.

alista országok közötti műszaki és oktatási kapcsolatok korai helyi megjelenését dokumentálja a Tehnofrig gyakorlatában.[15]

A szakmai gyakorlat programja részletes képet nyújt a gyár ekkori szervezetéről. A hallgatók rotációs rendszerben dolgoztak az egyes műhelyekben, így megismerhették a termelés teljes folyamatát. A programban szerepelt az öntöde (Turnătorie), a lakatosműhely (Lăcătușerie), a hegesztőrészleg (Sudură), a szerszámgépműhely (Mașini Unelte), az asztalosműhely (Tâmplărie), a szerelőműhely (Montaj) és a kovácsműhely (Forje). A gyakorlati képzést tanulmányi látogatások egészítették ki a kolozsvári vágóhídon, sörgyárban, édességgyárban és az élelmiszeripari tervezőintézet helyi egységénél.[16]

A dokumentumok jelentősége túlmutat az oktatási tevékenységen. A felsorolt műhelyek és üzemrészlegek azt mutatják, hogy a Tehnofrig 1954 közepére már összetett fémipari termelési szervezettel rendelkezett. A vállalat nemcsak gyártóüzemként működött, hanem a felsőfokú műszaki képzés gyakorlóhelyeként is, ami a szakembergárda és a termelési infrastruktúra korai megszilárdulására utal.[17]

3.4. Szakmai gyakorlat a Tehnofrigban: az Élelmiszeripari Középiskola hűtéstechnikai szakos tanulói (1954)

Az 1. iratcsomó egyik értékes forráscsoportját a Kolozsvári Élelmiszeripari Középfokú Műszaki Iskola Hűtéstechnikai Szak (Școala Medie Tehnică de Industrie Alimentară, secția frigotehnica) 1954. júniusi iratanyaga alkotja (f. 26., ff. 28–60.). Az 1954. június 14-én kelt beosztási lista fejléce szerint – Az Élelmiszeripari Műszaki Középiskola tanulóinak szakmai gyakorlata (Practica elevilor dela Școala Medie Tehnică Alimentară) – a II. Frig. évfolyam 29 tanulója (19 lány, 10 fiú) töltötte szakmai gyakorlatát a Tehnofrig üzemeiben. Az összesítő lapon az intézmény neve Kolozsvári Hűtéstechnikai Műszaki Középiskola (Școala Medie Tehnică Frigotehnică, Cluj) alakban szerepel.[18]

Az önéletrajzok tartalmi és formai szempontból egyaránt figyelemre méltó forráscsoportot alkotnak. Minden tanuló kézzel írta saját önéletrajzát románul, többségük egységes szerkezeti sémát követve: születési hely és dátum, a szülők neve és foglalkozása, társadalmi réteghelyzet (szegényparaszt, középparaszt, tisztviselő), az elemi iskola helye és elvégzésének éve, a középiskolába kerülés körülményei, majd a politikai szervezeti tagság – az Ifjú Munkások Szövetsége (Uniunea Tineretului Muncitoresc, UTM) – feltüntetése dátummal. Az önéletrajzokat kötelező politikai záróformulával fejezték be. Ez az egységes szerkezet a korszak általánosan alkalmazott káderanyag-összeállítási gyakorlatát tükrözi, amelynek célja a tanuló politikai megbízhatóságának és szociális hátterének dokumentálása volt.[19]

Az iratanyag különös jelentőségét az adja, hogy a Tehnofrig gyár 1956-ban alapította saját inasiskoláját a Monostori úton (Calea Moților). Az 1954-es iratanyag tehát a Tehnofrig saját iskolájának megalapítását megelőző időszakot dokumentálja: a gyár ekkor még a Kolozsvári Élelmiszeripari Középfokú Műszaki Iskola hűtéstechnikai szakával együttműködve biztosította szakember-utánpótlását. Ez a kapcsolat illeszkedett a korszak szakképzési gyakorlatához: az élelmiszeripari iskolák és az ipari vállalatok együttműködése a szakképzett munkaerő tervszerű biztosítását szolgálta.[20]

Az iskola kolozsvári telephelyeit az önéletrajzok pontosan rögzítik: az iskola épülete a 23 August utcán (Király utca) 22–23. szám alatt volt, a tanulók bentlakása (kollégiuma) pedig a Petőfi utca 44–46. és a Böszörményi utca 12. szám alatt működött.[21]

A tanulók műhelybeosztása rotációs rendszerben zajlott a hat műhely között: szerszámgyártó műhely (Mașini Unelte), lakatosműhely (Lăcătușerie), lemezmegmunkáló, kovács-, hegesztőműhely (Țevărie-Forjă-Sudură), szerelőműhely (Montaj), öntöde (Turnătorie) és asztalosműhely (Tâmplărie) – a tanulók hetente váltottak, 1954. június 14-től július 2-ig. A jelenlétüket nyilvántartották.[22]

15 Uo., ff. 16, 24.

16 Uo., f. 12.

17 Uo., ff. 12–12v.

18 Uo., f. 26., ff. 28–31. Fejléc: Întreprinderea Tehnofrig Cluj. Practica elevilor dela Școala Medie Tehnică Alimentară. Keltezés: Cluj, 14. VI. 1954. Összesítő: Școala Medie Tehnică Frigotehnică, Cluj, 14. VI. 1954. Sunt 29 elev. Femenine 19. Băeți 10.

19 Uo., ff. 32–60. Az önéletrajzok román nyelvűek, kézzel írtak, keltezésük: Cluj, 14. VI. 1954.

20 A Monostori úton (Calea Moților) alapított inasiskolából (Școală de Ucenici) később a Grupul Școlar Industrial „Tehnofrig” fejlődött ki, amelynek 1973-ban a gyár saját költségvetéséből campusszerű új épületet emeltetett a Máramaros utcán (Str. Maramureșului; ma Liceul Tehnologic nr. 1, Str. Maramureșului nr. 165A, Kolozsvár).

21 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., ff. 32–60. A bentlakások és az iskola címe az egyéni önéletrajzokban szerepel.

22 Uo., f. 26. (első beosztási terv, géppel írott, 3 csoport, 3 részleg); f. 28. (végleges beosztási lista, géppel írott, 5 csoport, 6 részleg); f. 29. (ugyanaz kézzel írva); f. 30. (kézzel írott összesítő névsor csoportbeosztással, 29 tanuló, 19 lány, 10 fiú); f. 31. (jelenlét-nyilvántartás; hiány-

Az önéletrajzok alapján a tanulók 1954-ben jellemzően 15–18 évesek voltak – a legtöbben 1936 és 1939 között születtek. Néhányan később kezdték meg tanulmányaikat, mint osztálytársaik: Cutean Patriciu betegség miatt késett, Zbucea Teodor és Ciungan Emilian 1952-ben iratkozott be. A tanulók döntően Kolozs régió/Regiunea Cluj több járásából érkeztek – a Szamosújvár/Gherla, Kolozs/Cluj, Dés/Dej és Torda/Turda járásból –, de akadt köztük Nagysármás/Sărmaș, Nagyenyed/Aiud és Topánfalva/Câmpeni járásból való tanuló is. Hárman Kolozsvárról/Cluj érkeztek, egy tanuló a városi Marosújvárról/Ocna Mureș (Nagyenyed járás/Raionul Aiud). A többiek falvakból és községekből jöttek: Retteg/Reteag (Dés járás/Raionul Dej), Móró/Morău (Szamosújvár járás/Raionul Gherla), Magyarszarvaskend/Cornești (Szamosújvár járás/Raionul Gherla), Nyikula/Nicula (Szamosújvár járás/Raionul Gherla), Nagycég/Țagu (Nagysármás járás/Raionul Sărmaș), Kolozs/Cojocna (Kolozs járás/Raionul Cluj), Felsőtök/Tiocu de Sus (Szamosújvár járás/Raionul Gherla), Mezőszopor/Soporul de Câmpie (Torda járás/Raionul Turda), Indal/Deleni (Torda járás/Raionul Turda), Kolozsgyula/Giula (Szamosújvár járás/Raionul Gherla), Kolozsbós/Boju (Kolozs járás/Raionul Cluj), Csicsómihályfalva/Ciceu-Mihăiești (Dés járás/Raionul Dej), Kolozspata/Pata (Kolozs járás/Raionul Cluj), Kalotaszentkirály/Sâncrai (Bánffyhunyad járás/Raionul Huedin), Aranyosvágás/Vadu Moților (Topánfalva járás/Raionul Câmpeni), Erdőszombattelke/Sâmboieni (Szamosújvár járás/Raionul Gherla), Salamás/Sărmaș (Nagysármás járás/Raionul Sărmaș), Ispánlaka/Spâlnaca (Nagyenyed járás/Raionul Aiud). A csoportban két kivételes eset is akadt: Fluerică Maria moldvai születésű volt (Vorniceni, Săveni járás/Raionul Săveni, Szucsáva régió/Regiunea Suceava), Bălăeș Elisabeta pedig Kisinyovban/Chișinău (U.R.S.S.) született. Az azonosított helységek és mai közigazgatási hovatartozásuk a lábjegyzetben szerepelnek részletesen. Szüleik zömmel szegény vagy középparasztok (agricultor), egyes esetekben tisztviselők (funcționar).[23]

A 29 tanuló névsorában a román névformák vannak többségben; magyar névformaként egyértelműen Szatmári Juliana neve azonosítható, míg néhány más név (Cutean, Redai) esetében a névből nem lehet biztosan következtetni az anyanyelvre. Ez a megoszlás nem meglepő: az Élelmiszeripari Középfokú Műszaki Iskola Hűtéstechnikai Szaka román tannyelvű intézmény volt.

zók az első napon: Opriș Gheorghe, Turc Eugenia, Ciungan Emilian). Megj. az f. 27. hiányzik az iratcsomóból.

23 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., ff. 32–60. (önéletrajzok): f. 32. (Mesaroș Teodor – Retteg/Reteag, Dés járás/Raionul Dej, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Beszterce-Naszód megye/Bistrița-Năsăud); f. 33. (Opriș Gheorghe – Ispánlaka/Spâlnaca, Nagyenyed járás/Raionul Aiud, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Fehér megye/Alba); f. 34. (Suciu Maria – Marosújvár/Ocna Mureș, Nagyenyed járás/Raionul Aiud, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Fehér megye/Alba); f. 35. (Cristea Rodica – Kolozsbós/Boju, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 36. (Szatmári Juliana – Nagycég/Țagu, Nagysármás járás/Raionul Sărmaș, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Beszterce-Naszód megye/Bistrița-Năsăud); f. 37. (Dordei Maria – Kolozsvár/Cluj, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 38. (Pop Vasile – Nyikula/Nicula, Szamosújvár járás/Raionul Gherla, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 39. (Cutean Patriciu – Kolozsvár/Cluj, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 40. (Sașu Georgeta – Salamás/Sărmaș, Nagysármás járás/Raionul Sărmaș, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Maros megye/Mureș); f. 41. (Ranga Maria – Kolozs/Cojocna, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 42. (Moraru Eugenia – önéletrajz nem azonosítható); f. 43. (Cecan Cornelia – Magyarszarvaskend/Cornești, Szamosújvár járás/Raionul Gherla, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 44. (Roman Augustin – Guga, Dés járás/Raionul Dej, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 45. (Crăciun Ștefan – Móró/Morău, Szamosújvár járás/Raionul Gherla, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 46. (Nechita Otilia – Diós/Deuș, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 47. (Cadariu Nastasia – Indal/Deleni, Torda járás/Raionul Turda, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 48. (Rusu Maria – Mezőszopor/Soporul de Câmpie, Torda járás/Raionul Turda, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 49. (Olteanu Maria – sz. Bukarest, lakhely: Erdőszombattelke/Sâmboieni, Szamosújvár járás/Raionul Gherla, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 50. (Turc Eugenia – Kolozsgyula/Giula, Szamosújvár járás/Raionul Gherla, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 51. (Ciungan Emilian – Ispánlaka/Spâlnaca, Nagyenyed járás/Raionul Aiud, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Fehér megye/Alba); f. 52. (Sabău Petru – Kolozspata/Pata, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 53. (Redai Ioan – Csicsómihályfalva/Ciceu-Mihăiești, Dés járás/Raionul Dej, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Beszterce-Naszód megye/Bistrița-Năsăud); f. 54. (Bălăeș Elisabeta – Kisinyov/Chișinău, U.R.S.S.); f. 55. (Rațiu Maria – Felsőtök/Tiocu de Sus, Szamosújvár járás/Raionul Gherla, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 56. (Roșca Cecilia – Nagycég/Țagu, Nagysármás járás/Raionul Sărmaș, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Beszterce-Naszód megye/Bistrița-Năsăud); f. 57. (Jepure Elena – Csürülye/Ciurila, Kolozs járás/Raionul Cluj, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 58. (Zbucea Teodor – Kalotaszentkirály/Sâncrai, Bánffyhunyad járás/Raionul Huedin, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Kolozs megye/Cluj); f. 59. (Ana Sabina – Aranyosvágás/Vadu Moților, Topánfalva járás/Raionul Câmpeni, Kolozs régió/Regiunea Cluj, ma Fehér megye/Alba); f. 60. (Fluerică Maria – Vorniceni, Săveni járás/Raionul Săveni, Szucsáva régió/Regiunea Suceava, ma Botoșani megye/Botoșani). Vö.: *A Román Népköztársaság településeinek ábécésorrendű jegyzéke/Indicator alfabetic al localităților din Republica Populară Romînă.* **[12]**

A kolozsvári magyar fiatalok számára ugyanebben az időszakban magyar tannyelvű műszaki szakiskolák is működtek – köztük a Farkas utcán működő magyar tannyelvű Gépipari Szakiskola –, amelyek magyar nyelvű továbbtanulási lehetőséget kínáltak a magyar anyanyelvű fiatalok számára.[24]

Különleges eseteket is rejt az iratanyag. Bălăeș Elisabeta 1938-ban Kisinyovban (Chișinău) született, amely akkor még román fennhatóság alatt állt; apja törzsőrmester (plutonier major) volt a román hadseregben – feltehetően a második világháború után tért vissza Romániába. Dordei Maria kolozsvári tanuló bátyja a Temesvári Repülős Tisztiiskolán tanult – ez a megjegyzés ritka pillantást enged a korszak katonai karrierlehetőségeire. Figyelemre méltó Szatmári Juliana esete: önéletrajzában megjegyzi, hogy apja korábban semmilyen politikai szervezetnek nem volt tagja, ma azonban a Román Munkáspárt (Partidul Muncitoresc Román, PMR) tagja, fivére szintén PMR-tag és a Tehnofrig gyárban dolgozik – ami közvetlen családi szinten is dokumentálja a gyár és az iskola közötti kapcsolatot. Cutean Patriciu kolozsvári tanuló a Józsa Béla utcában lakott.[25] Az utcanév a szocialista korszak kolozsvári névpolitikájának egyik sajátos példája: a korábbi Vasvári Pál utcát 1945 után Józsa Béláról nevezték el: az utca korábban Vasvári Pál nevét viselte, majd 1945 után egy erdélyi magyar munkásmozgalmi mártír, Józsa Béla nevére keresztelték át – a kommunista rendszer számára is vállalható személyiség nevével.[26]

A beosztási lista tanúsága szerint a tanulók csoportosan kerültek a Tehnofrig üzemeibe szakmai gyakorlatra – ez az iskola és a gyár közötti intézményes megállapodás keretében zajlott. Két tanuló önéletrajzában ezt kifejezetten meg is fogalmazza: mindketten megemlítik, hogy az iskolából közvetlenül a Tehnofrigba osztották be őket gyakorlatra.[27]

Önéletrajzaikat a tanulók a korszak kötelező politikai formulájával zárják – azonban a záróformulák nem egységesek, hanem több változatban fordulnak elő, így az előírt politikai tartalom mellett egyéni megfogalmazásokat is őriznek. A leggyakoribb változat: „Harcolunk aktívan a békéért!" – emellett előfordul az „Éljen a békeharc!" változat is. Egyedi eset Szatmári Juliana önéletrajzának záróformulája: ő más formulát választott, mint osztálytársai – az „Éljen a Román Népköztársaság!" felkiáltással zárta önéletrajzát.[28]

Az iratcsoport végén (f. 61.) egy egyéni kérvény is fennmaradt, amely jól szemlélteti, hogy a Tehnofrig nemcsak intézményes keretek között, hanem egyéni kérvény alapján is fogadott gyakorlatos tanulókat különböző kolozsvári iskolákból. Tódor Ferenc, a Kolozsvári Kereskedelmi Középiskola IV. éves tanulója 1954. január 28-án kérvényt intézett a Tehnofrig Igazgatóságához, amelyben kérte, hogy február 9-től május 9-ig fogadják el gyakorlatra. Lakcíme: Kolozsvár, Madách utca.[29]

3.5. Szakmai gyakorlat a Tehnofrigban: a Kolozsvári Kereskedelmi Leányiskola és a Kolozsvári Villamosipari Középiskola tanulói (1954)

A Tehnofrig személyzeti iratanyagában a munkavállalók és szakiskolai tanulók dokumentumai mellett középiskolai tanulók szakmai gyakorlatához kapcsolódó kérelmek és önéletrajzok is fennmaradtak. Az 1954 januárja és februárja között keletkezett iratok tanúsága szerint a vállalat rendszeresen fogadott gyakornokokat a kolozsvári középfokú oktatási intézményekből, elsősorban a Kolozsvári Kereskedelmi Leányiskolából és a Kolozsvári Villamosipari Középiskolából. A dokumentumok egyaránt betekintést nyújtanak a korszak szakmai képzésének gyakorlatába és a tanulók társadalmi hátterébe.[30]

24 Az 1948-as tanügyi reform során államosított Református Kollégium Farkas utcai épületébe a magyar tannyelvű Gépipari Szakiskola, majd a Villamosipari Középiskola költözött.

25 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., f. 54. (Bălăeș Elisabeta – Chișinău, apja plutonier major); f. 37. (Dordei Maria – bátyja Temesvári Repülős Tisztiiskola tanulója volt); f. 36. (Szatmári Juliana – fivére PMR-tag, a Tehnofrigban dolgozik: „fratele membru P.M.R. e căsătorit, lucrează la această Întreprindere"); f. 39. (Cutean Patriciu – Str. Józsa Béla Nr. 24.).

26 Józsa Béla (Hodgya, 1898. december 4. – Kolozsvár, 1943. november 29.): közíró, szerkesztő, költő, munkásmozgalmi aktivista. Székely földművescsaládból származott; az 1920–30-as években a kolozsvári munkásmozgalom egyik vezető alakja, a Román Kommunista Párt (KRP) politikájának híve. 1943 novemberében a Horthy-rendszer katonai hatóságai letartóztatták, és halálra kínozták. Vértanúsága után Erdély több városában utcát neveztek el róla.

27 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., f. 50. (Turc Eugenia: „de aici am fost repartizată pentru practică la uzinele Tehnofrig"); f. 51. (Ciungan Emilian: „de unde a fost repartizat la Tehnofrig").

28 Uo.: „La luptă activă pentru pace" – f. 33.; „La luptă activă pentru Pace" – ff. 32., 40. verso, 54., 55., 59., 60.; „Trăiască lupta pentru pace" – ff. 50., 51.; „Luptăm activ pentru «Pace»!" – ff. 58., 59.; „Trăiască Republica Populară Română[?]" – f. 36. verso (Szatmári Juliana).

29 Uo., f. 61. Tódor Ferenc kérvénye, keltezés: Kolozsvár, 1954. január 28.

30 Uo., ff. 62–75. Magyar nyelvű, többségében kézzel írott kérelmek és önéletrajzok. Keltezésük: 1954. jan.–feb.

A Kolozsvári Kereskedelmi Leányiskola tanulóinak iratai között Farkas Mária, Takács Borbála, Turói Sidónia és Alvai Éva kérelmei, illetve önéletrajzai találhatók. A kérelmek szinte azonos szerkezete és egyező időszaka a szakmai gyakorlat szervezett, intézményi keretek között történő lebonyolítását jelzi. A tanulók többnyire 1954. február 15. és május 10. között kívánták gyakorlatukat a Tehnofrig üzemben teljesíteni.[31] Az önéletrajzok részletes adatokat közölnek a családi körülményekről, az iskolai előmenetelről és az ifjúsági szervezetekben való részvételről. Farkas Mária munkáscsaládból származott, Takács Borbála esetében kisiparoscsaládi háttér rajzolódik ki, míg Alvai Éva tisztviselői család gyermekeként került a kereskedelmi iskolába. A dokumentumok így jól érzékeltetik a középfokú oktatásban részt vevő fiatalok eltérő társadalmi hátterét.

A forrásanyagban két fiútanuló, Zágoni Ferenc és Orbán Attila kérelmei és önéletrajzai is megtalálhatók. Mindketten 1954 elején fordultak a vállalat vezetőségéhez szakmai gyakorlat iránti kérelemmel. Önéletrajzaik a korabeli káderjellegű dokumentumokra jellemző módon ismertetik családi hátterüket, tanulmányaikat és társadalmi származásukat.[32]

Az 1. iratcsomó végén a Kolozsvári Villamosipari Középiskola három tanulójának – Kovács Ferencnek, Ladó Sándornak és Both Sándornak – önéletrajza található. A dokumentumok alapján mindhárman műszaki képzésben részesültek, ugyanakkor eltérő társadalmi környezetből érkeztek. Kovács Ferenc földművescsaládból származott, Ladó Sándor életútjában a katonai szolgálat és a tanulmányok váltakozása is nyomon követhető, míg Both Sándor önéletrajza részletesen bemutatja nagycsaládos hátterét és testvéreinek pályáját. Az önéletrajzokban rendszeresen megjelenik az ifjúsági szervezetekben való részvétel is, elsősorban az UTM-tagság említése.[33]

A kérelmek és önéletrajzok alapján kirajzolódik a Tehnofrig és a kolozsvári középfokú oktatási intézmények közötti kapcsolat egyik korai formája. A vállalat gyakorlati képzőhelyként is szerepet vállalt, miközben a fennmaradt dokumentumok értékes információkat őriztek meg a korszak tanulóifjúságának családi hátteréről, tanulmányairól és szervezeti kötődéseiről. A vizsgált dokumentumegyüttes (ff. 62–75) tanúsága szerint a Tehnofrig már az 1950-es évek közepén bekapcsolódott a szakmai utánpótlás képzésébe, és kapcsolatot tartott fenn a kolozsvári kereskedelmi és műszaki oktatás egyes intézményeivel.

4. Az üzem belső dokumentumai

4.1. A Szigorúan titkos politikai nyilvántartás (1955)

Az 1. iratcsomó egyik legnagyobb forrásértékű irata egy 1955. június 27-én kelt, *Strict Secret* (Szigorúan titkos) minősítésű névjegyzék: *Tabel nominal pentru tovarășii care au posturi de răspundere în uzină* (Névjegyzék a gyárban felelős beosztásban levő elvtársakról). A listán tizenkilenc személy szerepel.[34]

A lista különös forrástörténeti értéke abban rejlik, hogy Jenei Dezideriu – a gyár alapító főmérnöke, az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának egyik alapítója – neve nyitja a sort: főmérnök (Șef Ing.), felvéve: 1949. december 6., politikai hovatartozás: szakszervezeti tag (Sindicat), megjegyzés: volt műhelytulajdonos (Fost proprietar de atelier).[35]

A lista a szocialista kori munkásigazgatás politikai minősítési gyakorlatát dokumentálja; a bejegyzések valóságtartalma e forrás alapján nem ellenőrizhető. A Szakács Gustav nevű főkönyvelőt azért zárták ki a Román Munkáspártból, mert külföldön járt. Nagy Alexandru termelési osztályvezetőt letartóztatták. Pop Octavian műszaki osztályvezetőt másfél évre ítélték, amiért elmulasztotta feljelenteni egy felforgatónak minősített szervezet (organizație subversivă) tagjait. Boieriu Ioan laboratóriumvezető korábbi vasgárdista (fost legionar) múltja szerepel a listán. Székely Tiberiut, a műszaki-ellenőrzési osztály vezetőjét mint sztrájktörőt zárták ki a pártból. Tenkei Tiberiu mérnököt szüleinek kulák (chiabur) származása miatt zárták ki a pártból.[36]

31 Uo., ff. 64–70.

32 Uo., ff. 62–72.

33 Uo., ff. 62–72.

34 Uo., ff. 84–87. Fejléc: Tehnofrig Cluj, Str. F-ca de Chibrituri 5–7. Strict Secret. Tabel nominal pentru tovarășii care au posturi de răspundere în uzină. Keltezés: Cluj, la 27 Iunie 1955. Aláírók: Directorul és a Șeful Serv. Cadre (Foránk[y])

35 Uo., f. 84. A lista Jenei Dezideriu bejegyzése: Șef Ing. Angajare: 6 Dec.1949. Apart. polit.: Sind[icat]. Observații: Fost proprietar de atelier.

36 Uo., ff. 84–87. A *fost legionar* kifejezés a Legiunea Arhanghelului Mihail (Mihály Arkangyal Légiója) egykori tagját jelöli – ez egy szélsőjobboldali, antiszemita és nacionalista mozgalom volt a két világháború közötti Romániában, amelyet a kommunista hatalom betiltott, és tagjait üldözte. Az *organizație subversivă* kifejezés a szocialista hatalom nyelvén minden nem kommunista vagy rendszerellenes szervezetre vonatkozhatott. A *chiabur* kifejezés a tehetősebb parasztságot jelölte, amelyet a kommunista rendszer osztályellenségnek minősített.

A névjegyzék második lapján (f. 87) egy újabb szempont tárul fel: a *Ce politică a făcut înainte de 1944?* (Mit csinált politikailag 1944 előtt?) rovatban szinte minden személynél a *Nu a făcut* (Nem csinált semmit) bejegyzés szerepel. Ez az adat önmagában is sokatmondó: a nyilvántartásban szereplő személyek többségénél nem rögzítettek 1944 előtti politikai tevékenységet, mégis számon tartották őket – kizárólag osztálybeli származásuk, szakszervezeti tagságuk hiánya vagy egyéb, a rendszer szempontjából gyanús körülmény miatt. A második oldal azonosított személyei: Bare Andrei (tâmplar/asztalos), Luka Iuliu (muncit. necal./képzetlen munkás), Măcin Petru (inginer/mérnök), Toth Emerich (funcționar/tisztviselő), Tischler Maurițiu (tâmplar/asztalos), Tenkei Tiberiu (inginer/mérnök), Ingár Alexandru (dispecer/diszpécser), Campor Elisabeta (lăcătuș/lakatos).[37]

A lista tehát nemcsak a gyár személyzetének összetételéről, hanem a korszak politikai légköréről is rendkívül plasztikus képet nyújt: a vezető beosztású dolgozók politikai múltját nyilvántartották és politikai szempontból értékelték.

4.2. Elbocsátási értesítők – munkaszerződések felmondása (1956)

Az 1. iratcsomó 1956-os iratanyaga egységes sablonra épülő értesítők sorozatát tartalmazza, amelyek 1956. augusztus 31-én keltek, és 1956. szeptember 1-jei hatállyal mondják fel az érintett dolgozók munkaszerződését. A jogi alap – a H.C.M. (Hotărârea Consiliului de Miniștri – Minisztertanácsi Határozat) 1360/1956 és a 369/1956. sz. rendelet 20. cikk b. albekezdése – munkakör-megszüntetésre utal, amelynek során az érintetteknek 14 napi átlagkeresetnek megfelelő kártérítés járt.[38]

Azonosított elbocsátottak: Băgăceanu Ana, Pálfi Ana, Ilian Georgeta, Muradin Viorica, Georgescu Aurelia, Lukács Carol, Orosz Zoltán. Az elbocsátottak között román és magyar névformában rögzített személyek egyaránt szerepeltek; az intézkedések etnikai szempontjai azonban e névsor alapján nem ítélhetők meg.[39]

4.3. Az állományjegyzék (1955)

Az 1. iratcsomó iratanyagában szerepel az 1955. évi állományjegyzék (Stat de funcțiuni al Întreprinderii de Stat „Tehnofrig”), amelyet a Pénzügyminisztérium (Ministerul Finanțelor) 1955. április 5-én hagyott jóvá. A Vezetőség (Conducerea) rovatában: Orosz Béla (Adalbert) igazgató, XIV/2 kategória, 1.567,50 lej; Jenei Dezső (Dezideriu) főmérnök, szintén XIV/2; Szakács Gusztáv (Gustav) főkönyvelő.[40]

Az állományjegyzék azért bír kiemelkedő forrásértékkel, mert első alkalommal teszi lehetővé a Tehnofrig korai vezetői és alkalmazotti struktúrájának dokumentált rekonstruálását.

4.4. Az irodai alkalmazottak névjegyzéke és beosztásjegyzéke (1956)

Az 1. iratcsomó két egymást kiegészítő dokumentuma – az irodai alkalmazottak névjegyzéke (Tabel nominal despre angajații Uzinei Tehnofrig în posturi de funcționari administrativi, ff. 98–102.) és a beosztásjegyzék (Situația despre denumirea funcției a salariaților, ff. 105–106.) – együttesen a legátfogóbb képet nyújtja a gyár szellemi állományáról. Mindkét irat 1956-ból való, és Kovacs Eugen (Jenő) személyzeti osztályvezető hitelesítette, Cluj, 12. XI. 1956. keltezéssel.[41]

A névjegyzék összesen 148 főt sorol fel. Az összesítés alján szereplő számok figyelemre méltó arányokat tükröznek: a 148 főből 125 személy neve magyar, 23 személyé pedig román névformában szerepel – vagyis a névjegyzékben közel 84% a magyar névformák aránya. Fontos megjegyezni, hogy ez névforma szerinti csoportosítás; az érintettek tényleges nemzetiségi vagy anyanyelvi önbesorolása ismeretlen. A nők és férfiak aránya is figyelemre méltó: a 148 személyt tartalmazó

37 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., f. 87.

38 Uo., ff. 76–83. Az értesítők szövege: *Vă aducem la cunoștință că în conformitate cu H.C.M. 1360/1956 art.10 și Decretul 369/1956 art. 20 aliniatul b., cu data de 1 septembrie 1956, vi se desface contractul de muncă al dv. Cluj, la 31 august 1956. A Decretul nr. 369 din 24 iulie 1956* a romániai munkajogi reformcsomag részét képezte, amely szabályozta a munkáltató kezdeményezésére történő munkaszerződés-felmondásokat.

39 Uo., ff. 76–83.

40 Uo., f. 96. A dokumentum fejléce: Élelmiszeripari Minisztérium (Ministerul Industriei Alimentare). Állami Vállalat Tehnofrig állományjegyzéke (Stat de funcțiuni al Întreprinderii de Stat „Tehnofrig”). A Vezetőség (CONDUCEREA) rovatban: Orosz Adalbert – director, XIV/2, 1.567,50 lej; Jenei Dezideriu – ing.șef, XIV/2, 1.567,50 lej; Szakács Gustav – contab.șef. Mindhárom vezető neve román nyelvű alakban szerepel a dokumentumban; magyar névformájuk más forrásokból is ismert.

41 Uo., ff. 98–102. Tabel nominal despre angajații Uzinei Tehnofrig în posturi de funcționari administrativi. Cluj, 12. XI. 1956. Kovacs Eugen személyzeti osztályvezető hitelesítésével. Összesítő: 148 fő – 125 magyar nevű, 23 román nevű. A névjegyzékből néhány azonosított név: Orosz Béla (Adalbert), Jenei Dezideriu, Szakács Gusztáv, Igdorovits Emeric, Brekes Ildikó, Adorján Edmund, Éger Zoltán, Halmai Magdalena, Reisman Magda, Turós Szidonia, Molnár Magdalena, Balázs Rozalia, Török Eva, Szappanos Terezia, Balogh Ghézela, Tenkei Tiberiu, Winkler Ioan – és még 131 további személy.

névjegyzékben a két nem közel azonos arányban szerepel, ami azt mutatja, hogy a vizsgált irodai munkaköröket nők és férfiak közel azonos arányban töltötték be.

A beosztásjegyzék a névjegyzékkel párhuzamosan tartalmazza az egyes személyek funkcióját. A lista élén Orosz Béla (Adalbert) igazgató és Jenei Dezideriu főmérnök áll. A beosztások sokfélesége – igazgatótól a tervezőkön, laborvezetőn, könyvelőkön, normásokon és raktárvezetőkön át az adminisztratív személyzetig – megmutatja, hogy 1956-ra a gyár teljes értékű, komplex szervezetté fejlődött. A műszaki-szellemi pozíciókat is döntően magyar nevű személyek töltötték be: Igdorovits Emeric a műszaki tanulmányok vezetője, Brekes Ildikó a műszaki újítások előadója, Adorján Edmund és Éger Zoltán tervezők, Regöczi Vasile (László) tervezési osztályvezető, Kovács Carol (Károly) személyzeti osztályvezető, Székely Tiberiu (Tibor) osztályvezető, Gáll Andrei (András), Klima Alfréd és Tóth Francisc (Ferenc) tervezők – hogy csak néhányat emeljünk ki.[42]

A két dokumentum együttesen azt mutatja, hogy a Tehnofrig 1956-os szellemi állományában jelentős többségben szerepeltek magyar névformában rögzített alkalmazottak.

4.5. Munkaszerződések – a gyár legkorábbi alkalmazottai (1954)

Az iratcsomó terjedelmesebb részét – a ff. 128–356. oldalakat – munkaszerződések alkotják, amelyek három különböző dokumentumtípusba sorolhatók, és a munkaerő-felvétel két meghatározó útját dokumentálják.

Az első típust az üres, kitöltetlen Contract de Muncă nyomtatványok képviselik (ff. 128–135., ff. 142–231.), amelyek a Direcția Generală a Rezervelor de Muncă fejlécét viselik, és Director Orosz Adalbert nevét tartalmazzák. Ezek a nyomtatványok a központi munkaerő-elosztás bürokratikus keretét dokumentálják.[43]

A második típust a Munkaerő-tartalékok Főigazgatósága (Direcția Generală a Rezervelor de Muncă) által közvetített, kitöltött szerződések képviselik, amelyek 1954. március 13-án keltek. Ezeket Kovacs Carol delegátus írta alá a gyár nevében. Az azonosított személyek – Callo Béla, Jiga Béla, Both Francisc, Varga Ioan képzetlen munkások és Naș Petru lakatos – mind állami közvetítéssel kerültek a gyárba. Ez a szerződéstípus azt dokumentálja, hogy az állam a Munkaerő-tartalékok Főigazgatóságán keresztül központilag irányította a munkaerő-elosztást.[44]

A harmadik és leggyakoribb típust a Tehnofrig saját fejléces, Orosz Béla (Adalbert) igazgató által aláírt szerződései alkotják, amelyek 1954 júliusában és augusztusában keltek. Az azonosított személyek: Dimény Eugen – strungar (esztergályos), Márton Béla, Mátyás Iosif – strungar, Hanciu Simion – lăcătuș (lakatos), Iosif Ioan, Jakab Margit, Zoványi Elisabeta – sculer-lăcătuș, Bányai Gheorghe, Erdélyi Pál – strungar, Androne Ioan, Drăgan Piroska, Varga Ilona – montator (szerelő), Suciu Ioan – turnător (öntő), Cseke Mihai – sudor autogen (autogénhegesztő), Újvári Nicolae – sudor plătnicer, Dârjan Ioan – sudor electric (villamos hegesztő), Balea Simion, Gerő Carol. A felsorolt munkások között jelentős arányban szerepelnek magyar névformában rögzített személyek.[45]

A három szerződéstípus együttesen megmutatja, hogy a Tehnofrig munkaerő-toborzása 1954-ben egyszerre zajlott állami közvetítéssel és közvetlen igazgatói szerződéskötéssel, és hogy a gyár már alapítása utáni első években is a szakképzett munkások széles körét foglalkoztatta.

4.6. Vegyes adminisztratív iratok

Az iratcsomó számos kisebb, de forrástörténetileg értékes iratot is tartalmaz, amelyek a gyár mindennapi működésébe engednek betekintést.

42 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., ff. 105–106. Situația despre denumirea funcției a salariaților. A beosztásjegyzékből néhány kiemelt funkció: Orosz Béla (Adalbert) – director, Jenei Dezideriu – ing.șef, Szakács Gusztáv – contab.șef, Igdorovits Emeric – tech.studii, Brekes Ildikó – tech.inovator, Adorján Edmund – proiectant, Éger Zoltán – proiectant, Szilágy Adalbert – techn.șef desfacere, Reisman Magdalena – contabilă.

43 Uo., ff. 128–135. (üres Contract de Muncă nyomtatványok, I. típus, fejléc: Director Orosz Adalbert); ff. 142–231. (üres Contract de Muncă nyomtatványok, különböző típusok).

44 Uo., ff. 238–239. (Callo Béla – lucr. necalif., Kovacs Carol aláírásával); ff. 240–241. (Jiga Béla – lucr. necalif., 1954. III. 13., Kovacs Carol aláírásával); ff. 242–243. (Both Francisc – lucr. necalif., 1954. III., Kovacs Carol aláírásával); ff. 246–247. (Varga Ioan – lucr. necalif., 1954. III., Kovacs Carol aláírásával); ff. 248–250. (Naș Petru – lăcătuș, 1954. III., Orosz Adalbert aláírásával).

45 uo., ff. 151–334. Tehnofrig fejlécű, Orosz Béla (Adalbert) igazgató által aláírt szerződések, 1954. VII–VIII. Azonosított személyek és foliószámok: Dimény Eugen – strungar (ff. 154–155.), Márton Béla (ff. 258–259.), Mátyás Iosif – strungar (ff. 260–261.), Hanciu Simion – lăcătuș (ff. 265–266.), Iosif Ioan – sculer-lăcătuș (ff. 275–276.), Jakab Margit – sculer-lăcătuș (ff. 279–280.), Zoványi Elisabeta – sculer-lăcătuș (ff. 281–282.), Bányai Gheorghe – strungar (ff. 283–284.), Erdélyi Pál – strungar (ff. 285–286.), Androne Ioan – montator (ff. 291–292.), Drăgan Piroska – montator (ff. 295–296.), Suciu Ioan – turnător (ff. 299–300.), Cseke Mihai – sudor autogen (ff. 305–306.), Újvári Nicolae – sudor plătnicer (ff. 307–308.), Dârjan Ioan – sudor electric (ff. 313–314.), Varga Ilona – montator (ff. 323–324.), Balea Simion (ff. 329–330.), Gerő Carol (ff. 331–332.). Dir.: Orosz Adalbert, 1954. VII–VIII.

1955 januárjában a Tehnofrig személyzeti osztálya körlevelet intézett a kolozsvári vágóhídhoz (Abator) és a dohánygyárhoz (Fca Tutun), amelyben kérte, hogy az ott is dolgozó Tehnofrig-alkalmazottak nevét igazolják vissza. Ez az irat arra utal, hogy egyes munkások egyidejűleg több munkahelyen is dolgoztak – ez a korszakban nem volt ritka jelenség.[46]

Ugyancsak 1955-ből maradt fenn az ideiglenes kőműves munkások listája: Fodor Petru (1913, Kolozsvár), Tecari Alexe (1911, Kolozsvár) és Süle Adalbert (1923, Tureni/Tordatúr), akiket 1955. január 27-től alkalmaztak ideiglenesen. Ez az adat azt jelzi, hogy a gyár ebben az időszakban építési-bővítési munkálatokat is végzett.[47]

A H.C.M. Nr. 2047/1954 rendelet alapján a munkások kötelesek voltak nyilatkozni arról, hogy esti iskolára járnak, és ezért műszakot váltanak. Az 1. iratcsomó több ilyen nyilatkozat (Declarație) sorozatát tartalmazza (ff. 117–133.), amelyeket különböző Tehnofrig-alkalmazottak írtak alá 1955–1956 folyamán: Szőllősi Márton, Sass Nicolae, Simon Károly, Nanași Țicariu Tiberiu és mások. Az aláírók névsorában magyar és román névalakok egyaránt előfordulnak, tehát az esti oktatásban mindkét névformával rögzített dolgozók részt vettek – a gyár tehát nemcsak munkahely, hanem a szocialista felnőttoktatás terepe is volt.[48]

4.7. A munkaerő-gazdálkodás operatív levelezése (1958–1965)

A fond 2. iratcsomója (Diversă Corespondenţă cu Forțele de muncă, 1958–1965, 369 file) a Tehnofrig és a kolozsvári Munkaerő-toborzó és Elosztó Hivatal (Secția Orașului de Recrutare și Repartizare a Forțelor de Muncă, illetve Oficiul de Repartizare a Forțelor de Muncă Cluj) között váltott levelek sorozatát tartalmazza. Az iratcsomót 1965. december 9-én zárták le.[49]

A levelek aláírói alapján Orosz Béla (Adalbert) utolsó, név szerint azonosítható igazgatói aláírása (gépelt név és saját kezű aláírás) 1960. június 30-án kelt (f. 254.), míg ing. T. Simedrea első, ugyanilyen módon azonosítható igazgatói aláírása 1961. október 3-án szerepel (f. 199.). Az igazgatóváltás pontos időpontja az így azonosítható aláírások alapján ebből az iratcsomóból nem állapítható meg. A személyzeti osztályvezetők sorában – a levelekben szereplő aláírások és géppel írott nevek alapján – egymást követik: Kirkos Gy. (1959. május), Mezei I. (1959–1960), Nagy B. (1959. december), Görög (1960–1961), Salamon Adalbert (1961–1962), Mudura Teodor (1963), Bolba Constantin (1964–1965).[50]

A levelek tárgya a Tehnofrig által a kolozsvári munkaerő-elosztó szervekhez – amelyek neve és szervezeti formája az évek során többször változott – intézett munkaerő-igénylések. Az igényelt munkakörök időrendi sorban tükrözik a gyár fejlődését: 1958-ban főkönyvelőt, magas kategóriájú lakatosokat (cat. 6–8), szerszámlakatosokat, villanyszerelőt, tűzoltót (pompier) és CFR-szállítási szakembert (expeditor spec. transp. CFR) igényeltek; 1959-ben öntőket (turnători), hűtéstechnikai specialistákat (tehnician frigotehnist specialist compresoare amoniac), laboratóriumi fizikus-kémikust (laborant chimist fizician cu studii superioare), telefonistát, famintakészítőt (modelar în lemn), vulkanizátort (vulcanizator) és heliografistát; 1960-ban egyetlen levélben 40 esztergályost, 30 lakatost, 10 szerelőt, 15 szerszámkészítőt és más szakembereket, köztük 2 hitelesített orosz fordítót (traducători autorizați pentru limba rusă) és 9 technikus mérnököt; 1961-ben 20 esztergályost, 10 lakatost, technikusokat, mechanikai rajzolónőt (Islik Edita) és könyvtárost (Bibliotecar cu studii medii sau superioare să cunoască 2-3 limbi străine); 1962-ben szerelőmérnököt (inginer instalator), építőmérnököt (inginer constructor) és metallurgiai mérnököt (inginer metalurg); 1963-ban fényképészt (fotograf) és műszaki rajzolót; 1964-ben könyvelőket, tervezőmérnököket, 3 traktorost és 2 gépkocsivezető-daruskezelőt (conducător auto cu autorizație macaragist) és diákmunkásokat.[51]

46 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 1., f. 107. Körlevél kelte: –. Fejléc: Către Fca Tutun Cluj / Către Abator Cluj.

47 Uo., f. 108. Angajați temporari zidari dela 27 Ian. 1955: Fodor Petru (15 Mai 1913, Cluj), Tecari Alexe (8 Apr. 1911, Cluj), Süle Adalbert (19 Iun. 1923, Tureni).

48 Uo., ff. 117–133. A nyilatkozatok alapja: H.C.M. Nr. 2047/1954 privind organizarea și funcționarea școlilor serale de cultură generală.

49 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 2. (Diversă Corespondenţă cu Forțele de muncă, 1958–1965), 369 lap. Lezárás dátuma: 9. XII. 1965.

50 Uo., f. 254. (Orosz A. utolsó azonosítható aláírása, 1960. VI. 30.); f. 199. (T. Simedrea első azonosítható aláírása, 1961. X. 3.); f. 298. (Kirkos Gy., 1959. V.); ff. 279–305. (Mezei I.); f. 278. (Nagy B., 1959. XII. 29.); f. 210. (Görög, 1960. VIII. 30. – 1961. V. 20.); f. 182. (Salamon/Solomon Adalbert, 1962. I. 17.); f. 92. (Mudura Teodor, 1963. X. 2.); ff. 6., 9., 14. (Bolba Constantin, C-tin rövidítéssel, 1964–1965).

51 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 2.: f. 362. (1958. IV. 28.: 2 lakatos, 3 szerszámlakatos és 1 villanyszerelő); f. 311. (1959. II. 17.: tehnician frigotehnist specialist compresoare amoniac); f. 292. (1959. VII. 14.: laborant chimist fizician cu studii superioare și 1 lansator, aláírók: Orosz Ad., Mezei J.); f. 312. (1959. II. 10.: telefonistă); f. 317. (1959. I. 21.: modelar în lemn specialist); f. 315. (1959. I. 31.: 5 turnători); f. 309. (1959. III. 2.: 5 turnători ca-

A 2. iratcsomó számos egyedi iratot is tartalmaz, amelyek a gyár mindennapi életébe engednek betekintést. 1959. szeptember 12-én a gyár az ISCIR (Inspecția de Stat pentru Controlul Cazanelor, Recipientelor sub Presiune și Instalațiilor de Ridicat – Állami Műszaki Felügyelőség) által kiutalt siketnéma (surdomut) kovácsmestert, Kadar Franciscot kérte felvételre (f. 289.). Az 1960. szeptember 14-i levélből kiderül, hogy a gyárnak kantinja volt – szakácsot (bucătar) kértek a nyugdíjba vonuló helyére (f. 242.). Egy 1959-es levélből kiderül, hogy a gyárnak istállója is volt: istállóőr (grăjdar) munkakört töltöttek be (f. 277.). A gyár telefonközpontot is működtetett – telefonost (telefonistă) igényeltek 1959-ben (f. 312.) és 1958-ban is (f. 337.). 1964 nyarán a gyár darukezelői képzőtanfolyamot szervezett az MICM által jóváhagyott iskoláztatási terv alapján; a vizsgát az ISCIR Kolozsvári Regionális Kirendeltsége (ISCIR-Regionala Cluj) előtt négy munkásnő – Fluieraș Margareta, Kerekeș Berta, Orbán Sára és Gocan Ana – tette le. Darukezelői (macaragiu) engedélyüket 1964. augusztus 17-én kapták meg (f. 12.). Fejes Ștefan (István) szerszámüzem-vezető mérnök (sculer-șef) 1964 júniusában két belső levelet is írt a személyzeti osztálynak: az egyikben Racz Iosif szerszámosztó munkás (primer-distribuitor de scule) nyugdíjba vonulása miatt kért pótlást (f. 26.), a másikban Boros Ioan maróeszterga-szerszámkészítő (frezor-sculer) transzferrel való felvételét kezdeményezte, indokolva, hogy a gyárban nagy hiány van ebből a magas kategóriájú szakmából (f. 44.). A munkaerőhiány egyébként már korábban is hirdetésre kényszerítette a gyárat: 1960. június 8-án szintén mindkét kolozsvári napilapban – a román *Făcliá*ban és a magyar Igazságban – tett közzé toborzási felhívást, amelyben 40 esztergályost, 30 lakatost és más szakembereket keresett.[52] 1964-ben a gyár esztergályos mesteri állásra (maistru strungar) hirdetett versenyt, amelyet 1964. augusztus 15-én tartottak meg (f. 23.). Ebből az évből maradt fenn Király Alexandru (Király Sándor) kézzel írt visszavételi kérvénye is, amelyben a gyárban korábban festőmesterként dolgozó technikus a visszavételét kéri – a kérvény záróformulájaként a korszak jellemző frazeológiáját alkalmazza: „Trăiască Prietenia între popoare" (Éljen a népek barátsága!) (f. 31.).[53]

A 2. iratcsomó a szakképzés és a belső munkaerő-fejlesztés dokumentumait is megőrizte. Az 1960. szeptember 20-án kelt névjegyzék (f. 241.) a Tehnofrigben szakmai gyakorlatot töltő mesterképző iskola II. éves tanulóit tartalmazza. Az 1964. évi darukezelői tanfolyam dokumentációja (f. 12.) szintén a gyár belső szakképzési tevékenységét dokumentálja. Különösen figyelemre méltó az 1961. augusztus 10-i levél (f. 204.), amelyben a gyár 2-3 idegen nyelvet ismerő könyvtárost (Bibliotecar cu studii medii sau superioare să cunoască 2-3 limbi străine) is igényel – ez a gyár műszaki könyvtárának működésére, valamint az idegen nyelvű szakirodalom és műszaki dokumentáció iránti igényre utal. Az 1961. december 12-i levél 2 hitelesített orosz fordítót (traducători autorizați

tegoria 5 și 8); f. 316. (1959. I. 27.: vulcanizator); f. 283. (1959. XII. 28.: 1 grăjdar, 2 desenatori tehnici); f. 290. (1959. VI. 19.: dactilografă să cunoască la perfecție limba română); f. 255. (1960. VI. 10.); f. 181. (1961. XII. 12.: 2 traducători autorizați pentru limba rusă și 9 tehnicieni, aláírók: ing. Simedrea T., Salamon Adalbert); f. 295. (1959. VI. 6.: desenatoare tehnică mecanică – Islik Edita, aláírók: Orosz A., Mezei I.); f. 160. (1962. VI. 27.: inginer instalator, inginer constructor, inginer metalurg); f. 130. (1963. III. 4.: fotograf, pecsét: Ministerul Metalurgiei și Construcțiilor de Mașini); f. 79. (1964. I. 7.: 3 tractoriști și 2 conducător auto cu autorizație macaragist); ff. 40–41. (1964. VII. 1.: studenți și elevi în timpul vacanței); f. 204. (1961. VIII. 10.: 2 calculatoare salar, 15 tehnicieni mecanici, 5 desenatori tehnici, 2 maistrii turnători, 1 dactilografă, 1 Bibliotecar cu studii medii sau superioare să cunoască 2-3 limbi străine, 5 sudori electrici și autogen, 5 electricieni cu autorizație, aláíró: Görög).

52 Uo., f. 258. (1960. VI. 8.: hirdetés a *Făclia* és az *Igazság* lapokba, 6 egymást követő napra; 40 esztergályos, 30 lakatos, 10 szerelő, 15 szerszámkészítő, 1 technológus, 1 normálótechnológus, 10 gépészmérnök, 2 építészmérnök; aláírók: Dir. Orosz Adalbert, Sef Serv. Org. Si Norm. Muncii: Zeck Gh.)

53 Uo., f. 289. (1959. IX. 12.: surdomut Kadar Francisc, meseria forjar, Ministerul Sănătății și Prevederilor Sociale által kiutalt, aláírók: Orosz Adalbert, Mezei Iosif); f. 242. (1960. IX. 14.: bucătar pentru cantina noastră); f. 277. (1959. XII. 28.: 1 muncitor necalificat (grăjdar), aláírók: Orosz Ad., Mezei I.); f. 312. (1959. II. 10.: telefonistă); f. 337. (1958: 1 Telefonist, 1 Zidar); f. 79. (1964. I. 7.: 3 tractoriști, 2 conducător auto cu autorizație macaragist); f. 336. (1958. IX. 16.: pompier, monteur specialist de frigotehnie, expeditor spec. transp. CFR); f. 12. (háromoldalas irat; darukezelői tanfolyam, 1964. V. 4. – VIII. 17., MICM által jóváhagyva; ISCIR-Regionala Cluj vizsgabizottság, 1964. VIII. 10., Proces-Verbal Nr. R40-226; engedélyek kiadva 1964. VIII. 17.: Fluieraș Margareta – Nr. 22.399, átlag 8,14%; Kerekeș Berta – Nr. 22.403, átlag 5,57%; Orbán Sára – Nr. 22.406, átlag 6,72; Gocan Ana – Nr. 22.407, átlag 8,09); f. 26. (1964. VI. 23.: Racz Iosif primer-distribuitor de scule nyugdíjazása, aláíró: ing. Fejes Ștefan sculer-șef); f. 44. (1964. VI. 19.: Boros Ioan frezor-sculer felvétele transferrel 1964. VI. 22-től, aláíró: ing. Fejes Ștefan sculer-șef, viza: Serv. Plan és Mihacea A. Serv. Org. Prod.); f. 23. (1964. VII. 17.: hirdetés a *Făclia* és az *Igazság* lapokba, 1964. VII. 24–26.: maistru strungar verseny 1964. VIII. 15-én; aláírók: ing. Simedrea T., Bolba C-tin, Florian V. contabil șef); f. 31. (1964. IV. 7.: Király Alexandru, Str. Budai Nagy Antal 158., technician mecanic diploma Nr. 20/1950, maistru vopsitor industrial, záróformula: „Trăiască Prietenia între popoare" – Éljen a népek barátsága!).

pentru limba rusă) kér (f. 181.), ami az orosz nyelvű műszaki és hivatali kommunikáció korabeli jelentőségét is dokumentálja.[54]

A 2. iratcsomó a munkaerő-gazdálkodás szabályozásának dokumentumait is tartalmazza. Az 1961. december 20-i Sfatul Popular körirat (ff. 177–178.) szabályozta a falusi kollektív gazdaságok munkásainak városba toborzását, megakadályozva a kollektív gazdaságok munkaerő-elvándorlását. Az 1963. december 13-i Farkas Andrei Director Regional körirat (f. 129.) a kolozsvári lakcímkártyával (buletin) nem rendelkező vidéki munkások foglalkoztatásának korlátozásáról rendelkezett. Ennek közvetlen következményeként 1963. szeptember 6-án a gyárban minuta (f. 101.) készült a Sfatul Popular delegátusának jelenlétében, amelyen ellenőrizték az összes kolozsvári, lakóhely nélkül dolgozó munkást. A véglegesítési kérelmek (ff. 126–128., f. 130.) szintén ezt a szabályozási folyamatot dokumentálják: a gyár a dormitóriumában élő, nélkülözhetetlen vidéki munkásait próbálta végleges státuszba helyezni.[55]

A 2. iratcsomó a munkaerő-toborzás és -áthelyezés formai dokumentumait is megőrizte. Egy 1958. júliusi Proces-Verbal (f. 345.) tanúsítja, hogy a Direcția Regională delegátusa, Groza Anton tíz képzetlen munkást adott át a Tehnofrig képviselőjének; a mellékelt Contract de Recrutare (ff. 349–351.) a HCM Nr. 371/1955 alapján 30 munkás három részletben történő toborzásáról rendelkezett. Az 1960. június 10-i áthelyezési névsor (f. 257.) megmutatja, hogy a gyár Kolozsvár különböző üzemeiből is fogadott munkásokat áthelyezéssel – az esztergályosok és lakatosok közt a CFR-üzemből, a poligráfiai üzemből, az autójavítóból és a Herbák János üzemből érkezők is szerepelnek. Különösen figyelemre méltó az 1960. november 22-i levél (f. 231.), amelyben a gyár 14 ideiglenes képzetlen munkás ingázó formában történő alkalmazásához kért jóváhagyást: a felsorolt személyek Kolozsvár környéki falvakból – Kajántó (Chinteni), Türe (Turea), Vista (Vișteа), Füzesmikola (Fizes-Nicula), Szék (Sic) és Magyarszentpál (Sânpaul) – naponta vonaton ingáztak a gyárba.[56] A 2. iratcsomó más iratai tanúsága szerint az ingázó munkások köre ennél szélesebb volt: visszatérő küldő helységek voltak még Magyargorbó (Gârbău), Szamoshesdát (Hășdate), Oláhléta (Lita-Turda) és Kolozsborsa (Borșa-Gherla) is.[57]

Az 1960. november 22-i levél (f. 231) ingázó munkásainak névsora adatokat szolgáltat a Kolozsvár vonzáskörzetéből érkezők név szerinti összetételéről: a 14 személy között román és ma-

54 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 2., f. 241. (1960. IX. 20.: elevii anului II maistri care practică la uzinele Tehnofrig Cluj; névjegyzék: Bollai Stefan, Bab Gavril, Boanca Vasile, Bojau Teofil, Cimpean Alexandru, Codreanu Gheorghe, Iordai Ioan, Gruz Iosif, Hora Ioan, Moldoran Roman, Ostoce Ioan, Pesteanu Grigore, Puiescu Moise, Rusu Petru, Tirnoveanu Vasile, Turatcy Carol); f. 181. (1961. XII. 12.: 2 traducători autorizați pentru limba rusă); f. 204. (1961. VIII. 10.: Bibliotecar cu studii medii sau superioare să cunoască 2-3 limbi străine, aláíró: Görög).

55 Uo., ff. 177–178. (1961. XII. 20.: Sfatul Popular al Orașului Cluj Comitetul Executiv, Nr. 71007, körirat a Sfatul Popular al Comunei-hez, HCM Nr. 371/1955 alapján); f. 129. (1963. XII. 13.: Farkas Andrei Director Regional körirata); f. 101. (1963. IX. 6.: MINUTA, jelenlévők: Mudura Teodor, S.D.R.R.F.M. delegátusa Costăchind Oprea, Sfatul Popular delegátusa Velican Petru; ellenőrzött munkások: Szekely Martin, Tupea Elena ing., Bonda Victor, Kallos Ioan, Nicolae Nicolae, Popuța Augustin, Kotik P. Ioan, Moldos Mihai, Laszlo Martin, Cuc Simion, Viton Anica, Litan Alexandru, Bonda Ioan, Bonda Simion, Boita Alexandru, Fircas Ignat, Bodea Ioan, Dan Petru); ff. 126–127. (1963. IV. 2.: véglegesítési kérelem Nr. 456/1963, aláírók: ing. Simedrea T., Mudura T.; névjegyzék 21 ingázó (navetás) munkásról: Pop Eremie – Baciu, Csiki Ioan, Neamntu G. Ioan – Girbău, Litan Alexandru, Kovacs Martin – Vistea, Diosi Ioan, Gaspar Ioan, Matyas Stefan, Szekely Ioan, Antal Martin, Szallos Pal Stefan, Pintea Vasile – Chinteni, Barta Ioan, Baciu Ioan – Sânpaul, Abrudan Ioan – Turea, Nagy Francisc – Vistea, Pop Gavril – Fizeș, Szabados Ioan – Chinteni, Szallos Martin – Vistea, Matyas Stefan – Girbău, Sarca Nicolae – Gălăseni); f. 128. (1963. IV. 2.: véglegesítési kérelem Nr. 455/1963, a névjegyzékben Boita Alexandru, Bonda Ioan, Bonda Simion, Bonda Victor, Boita Ioan, Kallos Ioan és Fircas Ignat szerepel; lakóhelyük Lita, Borșa, illetve Hăsdate); f. 130. (1963. III. 15.: véglegesítési kérelem – fotograf, aláírók: ing. Simedrea T., Mudura T.).

56 Uo., f. 345. (1958. VII. 29.: Proces-Verbal Nr. 5420; Groza Anton DGRFM-delegátus 10 képzetlen férfi munkást adott át a Tehnofrig képviselőjének); ff. 349–351. (Contract de Recrutare pentru Muncitori Necalificați, HCM Nr. 371/1955 alapján; a Direcția regională képviselője: Gaga Anton Șef Principal; a Tehnofrig képviselője: Orosz Adalbert igazgató; 30 munkás három részletben: 1 iunie – 10, 1 aug – 10, 1 sept – 10); f. 257. (1960. VI. 10.: áthelyezési névsor, aláíró: Mezei I.; Schuller Iosif – strungar – Trust Constr. Montaj Intr. 4 Cluj; Bobos Andrei – strungar – Trust Reg. Constr. Loc. Cluj; Máté Albert – merceolog – O.C.L. Aprozar Cluj; Jakab Francisc – strungar – At. CFR-C Cluj; Blenyas Francisc – strungar – Intr. Poligrafică Cluj; Pescan Ioan – lăcătuș – Intr. Rep. Auto nr. 5 Cluj; Albert Iosif – lăcătuș – Intr. Fructexport; Tintas Alex. – strungar – Intr. Tr. Com. Reg.; Olt Ioan – strungar – Autobaza Călători; Gavris Ioan – lăcătuș – Uz. Herbak Ianos; Lengyel Alex. – strungar – Uz. Herbak Ianos).

57 Uo., ff. 126–127. (Sarca Nicolae – Gălășeni, Neamntu G. Ioan – Gârbău); foliószám nélkül, az 1962. március 30-i levél melléklete (Fărcas Ignati, Bodea Ioan, Boita Alexandru és Bonda Ioan – Hășdate; Miklos Domide – Pădurea; Oltean Ioan – Boju); f. 265. (Pop Erenie – Baciu, Litan Alexandru – Gîrbău, Kovacs Martin – Vistea); ff. 272–273. (Gáspár Ioan – Vistea, Mátyás András – Vistea, Boita Alexandru – Lita, Antal Márton – Méra); f. 232. (Bonda Victor – Lita-Turda, Kallos Ioan – Borșa-Gherla).

gyar névformában rögzített munkások egyaránt szerepelnek – mindannyian kolozsvári állandó lakcím nélkül, az építési munkák időtartamára felvett ideiglenes alkalmazottak.[58]

A 2. iratcsomó egyetlen fennmaradt, összesített munkáslétszám-kimutatása 1958. március 15-i állapotot rögzít, szekciónként feltüntetve az állományt: I. szekció: 116 fő; II. szekció: 177 fő; III. szekció: 67 fő; IV. szekció: 95 fő; anyagkiszabó részleg: 33 fő; kisegítő személyzet: 40 fő; műszaki ellenőrzés: 19 fő; raktár: 29 fő – összesen 576 munkás. Ez a vizsgált iratanyag legkorábbi összesített létszámadata, amely jól érzékelteti a gyár 1958-ra elért szervezeti és foglalkoztatási méreteit.[59]

Mărginean Ilie acélmester (maistru oțelar) esete – aki Aranyosgyéresről (Câmpia Turzii-ból) érkezett, kolozsvári lakcímkártyával (buletin) nem rendelkezett, ugyanakkor felvételét kérte azzal az indoklással, hogy sógorai saját házat bocsátanak rendelkezésére, és nem igényel állami lakást (f. 252.) – jól szemlélteti azokat az egyéni és vállalati megoldásokat, amelyekkel a munkások foglalkoztatását az állami munkaerő-gazdálkodás keretei között igyekeztek biztosítani.

A 2. iratcsomó adatai közvetve dokumentálják a Tehnofrig vasöntödéjének korai működését és rendszeres munkaerőigényét. 1959 januárjától kezdve sorozatosan öntői munkakörökre igényeltek munkásokat: 1959. január 21-én famintakészítőt (modelar în lemn specialist, f. 317.), aki az öntödei homokformák famintatömbjeit készítette; 1959. január 31-én 5 öntőt (f. 315.); 1959 februárjában magas kategóriájú vasöntödei munkást (muncitor calificat la turnătorie /cubilou de fontă/, f. 313.); 1959. március 2-án ismét 5 magas kategóriájú öntőt (cat. 5–8, f. 309.); 1959. március 21-én további öntőket és kazánkovácsokat (forjari cazangii, f. 301.); 1959. november 3-án 7 nehézfizikai munkást az öntödébe (muncă grea în turnătorie, f. 282.); 1960. május 26-án öntőt (f. 260.); 1960. december 7-én magkészítőt (miezuitoare); 1961. augusztus 10-én pedig két öntödemestert (maistrii turnători, f. 204.). Az öntödei munkakörökre irányuló ismételt igénylések azt mutatják, hogy a Tehnofrig vasöntödéje legkésőbb 1959 elejétől folyamatosan üzemelt – az öntők, famintakészítő, kupolókemence-munkás (cubilou de fontă) és magkészítő (miezuitoare) együttes jelenléte egy teljes öntödei technológiai lánc meglétére utal.[60]

A 2. iratcsomó a Tehnofrig pingvinemblémájának levéltári megjelenését is dokumentálja: a fejléces levelezőpapírokon már 1958-tól szerepel a pingvinlogó (f. 341.), amely a gyár arculatának korai intézményesülését jelzi.

5. A levéltári forrásanyag értékelése

5.1. Forrástörténeti szempontok

Az 1. iratcsomó jelentős forrástörténeti értéket képvisel. Az iratanyag az alapítói generáció dokumentumait tartalmazza – a legkorábbi azonosított szerződés 1954-ből való, a legkésőbbi iratok 1956-ből. Az iratcsomó szerkezete különösen sokrétű: egymás mellett szerepelnek falusi napszámosok kéziratos önéletrajzai, bukaresti főiskolások életrajzai, kolozsvári diákok magyar nyelvű kérelmei, titkos politikai nyilvántartások, munkaszerződések és esti iskolai nyilatkozatok – mindez egyetlen kötetben, amely a gyár korai működésének szinte minden aspektusát dokumentálja.

A 2. iratcsomó szintén jelentős forrásértékkel bír: az 1958–1965 közötti munkaerő-gazdálkodási levelezés részletes betekintést nyújt a gyár fejlődésébe, a munkaerőhiány kezelésének stratégiáiba és az ingázó munkások foglalkoztatásának mechanizmusaiba. Különös értéke az egyetlen fennmaradt, összesített munkáslétszám-kimutatás (1958. március 15., 576 fő), amely a gyár korai fejlődésének egyetlen levéltárilag dokumentált létszámadata.

A kézírással írt dokumentumok különös forrástörténeti értéket hordoznak: az önéletrajz mint

58 DJAN-CJ, Fond Tehnofrig, dos. 2., f. 231. (1960. XI. 22.: névjegyzék lakóhelyadatokkal: Pintea Vasile – Com. Chinteni; Sochei Ioan – Com. Turea-Gârbău; Barta Stefan – Com. Vistea; Barta Ioan – Com. Vistea; Magyarosi Stefan – Com. Chinteni; Baciu Ioan – Com. Simpaul; Kelemen Andrei – Com. Chinteni; Abrudean Ioan – Com. Turea-Gârbău; Nagy Francisc – Com. Vistea; Pop Gavril – Com. Fizeș-Nicula; Szabados Ioan – Com. Chinteni; Szallos Martin – Com. Vistea; Serestely Gheorghe – Com. Sic; Zsoldos Mihály – Com. Sic; f. 252. (1960. VII. 6.: Mărginean Ilie, maistru oțelar, Câmpia Turzi, aláíró: Mezei I.).

59 Uo., f. 351. Situația repartizării forțelor de muncă, valabilă de la 15 martie 1958. Aláírók: Director Orosz Adalbert, Sef Serviciu Plan, Sef Serv. Org. Si Norm. Muncii.

60 Uo., f. 317. (1959. I. 21.: modelar în lemn specialist); f. 315. (1959. I. 31.: 5 turnători); f. 313. (1959. II.: muncitor calificat la turnătorie /cubilou de fontă/); f. 309. (1959. III. 2.: 5 turnători cat. 5–8); f. 308. (1959. III. 21.: 15 esztergályos cat. 5–8, 5 öntő cat. 5–8, 4 képzetlen munkás, 1 vízvezeték-szerelő); f. 301. (1959. III. 20.: 4 turnători, 30 muncitori necalificați pentru spargerea fontei, 2 forjari cazangii); f. 282. (1959. XI. 3.: 7 muncitori necalificați munca grea în turnătorie); f. 260. (1960. V. 26.: un turnător); folio nélkül (1960. XII. 7.: una muncit. mezuitoare); f. 204. (1961. VIII. 10.: 2 maistrii turnători, aláíró: Görög); f. 241. (1960. IX. 20.: mesterképző iskola II. éves tanulóinak gyakorlata; névjegyzék: Bollai Stefan, Bab Gavril, Boanca Vasile, Bojau Teofil, Cimpean Alexandru, Codreanu Gheorghe, Iordai Ioan, Gruz Iosif, Hora Ioan, Moldoran Roman, Ostoce Ioan, Pesteanu Grigore, Puiescu Moise, Rusu Petru, Tirnoveanu Vasile, Turatcy Carol).

műfaj a szocialista kori bürokratikus apparátus kötelező kelléke volt, amelynek tartalmi és formai normáit erőteljesen szabályozták. A kötelező formulák – *Harcolunk a békéért!*, *La luptă activă pentru Pace!* – uniformizálták a szöveget, ugyanakkor az egyes önéletrajzok mégis egyéni életutak nyomait őrzik: szülők foglalkozása, iskolai út, katonai szolgálat, lakhely – mind-mind a korszak társadalmi valóságának lenyomata.

5.2. A munkaerő-toborzás mechanizmusainak dokumentumai

Az 1. iratcsomó egyedülálló forrása a szocialista munkaerő-toborzás mechanizmusainak megértéséhez, legalább öt különböző toborzási csatornát dokumentálva: a Munkaerő-tartalékok Főigazgatósága (Direcția Generală a Rezervelor de Muncă) által közvetített állami munkaerő-elosztást; a Bukaresti Élelmiszeripari Főiskola hallgatóinak szakmai gyakorlatát; a Frigotehnică középiskola tanulóinak üzemi gyakorlatát; a helyi falusi napszámosok közvetlen felvételét; valamint a kolozsvári középiskolások önkéntes kérelmeit. Ez a sokcsatornás toborzás azt mutatja, hogy a gyár munkaerő-szükségletét egyszerre elégítette ki az állami tervezés és a spontán helyi kezdeményezés.

A bukaresti intézet hallgatói között két kínai mérnökjelölt is szerepelt, akik 1954-ben Kolozsvárra érkeztek szakmai gyakorlatra. Jelenlétük a szocialista országok közötti oktatási kapcsolatok helyi megjelenését dokumentálja.

A 2. iratcsomó levelezési anyaga ezt kiegészíti: dokumentálja az állami munkaerő-toborzási szerződések (HCM Nr. 371/1955) alkalmazását, az ingázó (naveta) munkások szervezett foglalkoztatását Kolozsvár vonzáskörzetéből, valamint a munkaerőhiány kezelésére alkalmazott hirdetési gyakorlatot mindkét kolozsvári napilapban.

5.3. A multietnikus munkásközösség dokumentumai

Az iratanyag egyik fontos tudományos eredménye a gyár többnyelvű és változatos névformákat mutató munkásközösségének korai dokumentálása. Ezt több forráscsoport is alátámasztja.

Az első réteg a nyelvhasználat: az iratanyagban két nyelven íródtak dokumentumok – románul és magyarul. A magyar nyelvű dokumentumokon a Tehnofrig gyár bélyegzője szerepel, és a gyár igazgatósága jóváhagyólag aláírta őket. Ez azt mutatja, hogy a gyár adminisztrációja 1954-ben magyar nyelvű beadványokat is elfogadott.

A második réteg a névjegyzék: az 1956-os *Tabel nominal* 148 irodai alkalmazottjából 125 fő neve magyar – ez az arány 84%. Fontos megjegyezni, hogy a névből csupán valószínű anyanyelvi hovatartozásra következtethetünk, a tényleges nemzetiségi önbesorolás ismeretlen. Ez az arány azt mutatja, hogy a Tehnofrig 1956-os szellemi állományában jelentős többségben voltak a magyar névformában rögzített alkalmazottak.

A harmadik réteg az esti iskolai nyilatkozatok névsora: a H.C.M. Nr. 2047/1954 rendelet alapján készített „Declarații”-sorozat aláírói között egyaránt szerepelnek magyar és román nevű munkások – Simon Károly, Sass Nicolae, Nanași Țicariu Tiberiu. Ez azt mutatja, hogy a gyár nemcsak munkahely, hanem a szocialista felnőttoktatás egyik helyszíne is volt; az esti oktatás résztvevőinek névsorában magyar és román névalakok egyaránt előfordulnak.

A negyedik réteg a 2. iratcsomó ingázó munkásainak névjegyzékei: az ff. 126–127., f. 231. és más iratok tanúsága szerint a Kolozsvár vonzáskörzetéből érkező ingázó munkások között egyaránt szerepelnek román és magyar nevű személyek – ami megerősíti, hogy a gyár multietnikus jellege nemcsak az irodai állományra, hanem a fizikai munkások körére is kiterjedt.

5.4. A politikai megfigyelés dokumentumai

A „Strict Secret” (szigorúan titkos) minősítésű névjegyzék (1955) az 1. iratcsomó legérzékenyebb irata. Forrástörténeti értéke kettős: egyrészt dokumentálja a szocialista kori ipari igazgatás politikai ellenőrzési mechanizmusait, másrészt közvetett bizonyítékot nyújt a gyár vezető állományának összetételéről.

A lista első oldalán szereplő személyek bejegyzései – volt műhelytulajdonos, külföldön járt, letartóztatták, vasgárdista múlt, kulák szülők – a rendszer osztályszempontú megközelítését tükrözik. Különösen figyelemre méltó a lista második lapján szereplő *Ce politică a făcut înainte de 1944?* (Mit csinált politikailag 1944 előtt?) rovat: a válasz szinte minden személynél *Nu a făcut* (Nem folytatott politikai tevékenységet). A bejegyzések szerint az érintettek többségénél nem rögzítettek 1944 előtti politikai szerepvállalást, ennek ellenére politikai szempontú nyilvántartásba kerültek. Ez a korszak személyzeti ellenőrzési gyakorlatát szemlélteti.

5.5. A Hűtéstechnikai Szak és a gyár oktatási kapcsolatai

Az 1. iratcsomó egyik jelentős, a jelenlegi szakirodalomban nem azonosított adata: 1954-ben Kolozsváron működött a Kolozsvári Élelmiszer-

ipari Középfokú Műszaki Iskola Hűtéstechnikai Szaka (Școala Medie Tehnică de Industrii Alimentare Cluj, secția Frigotehnică), amelynek tanulói 1954. június 14-től a Tehnofrig különböző üzemrészeiben töltötték szakmai gyakorlatukat. Ez az adat azt jelzi, hogy a gyár és az oktatási rendszer között már a korai időszakban intézményes kapcsolat alakult ki – a Frigotehnică szak működése összefüggethetett a Tehnofrig növekvő szakemberigényével. Az iskola pontos intézménytörténete további levéltári kutatást igényel.

A 2. iratcsomó adatai megerősítik, hogy ez az oktatási kapcsolat a gyár egész vizsgált időszakán át fennmaradt: az 1960. szeptember 20-i névjegyzék a Tehnofrigban szakmai gyakorlatot töltő mesterképző iskola II. éves tanulóit rögzíti (f. 241.), az 1964. évi darukezelői tanfolyam dokumentációja (f. 12.) pedig a gyár belső szakképzési tevékenységének folytatásáról tanúskodik.

6. Következtetések

A DJAN-CJ Tehnofrig-fond 1. és 2. iratcsomója a kolozsvári gyár korai történetének gazdag és sokrétű forrásegyüttese. A feldolgozás során feltárt adatok az alábbi főbb következtetések levonását teszik lehetővé.

1. A munkaerő-toborzás 1954-ben legalább öt különböző csatornán keresztül folyt: állami közvetítéssel érkező munkások (Direcția Generală a Rezervelor de Muncă); helyi falusi napszámosok közvetlen felvétele; a Bukaresti Élelmiszeripari Főiskola hallgatóinak nyári szakmai gyakorlata; a Kolozsvári Frigotehnică Középiskola tanulóinak üzemi gyakorlata; és kolozsvári kereskedelmi középiskolások önkéntes kérelme alapján végzett szakmai gyakorlat. Ez a sokcsatornás toborzás azt mutatja, hogy a gyár munkaerő-szükségletét egyszerre elégítette ki az állami tervezés és a spontán helyi kezdeményezés.
2. A gyár már 1954-ben felsőfokú szakmai gyakorlatoknak adott helyet: a Bukaresti Élelmiszeripari Intézet hallgatói között két kínai mérnökjelölt is szerepelt, akik Bukarestből érkeztek Kolozsvárra.
3. A források a gyár korai munkatársi közösségének nyelvi és névhasználati összetettségét dokumentálják: a gyár adminisztrációja 1954-ben magyar nyelvű beadványokat is elfogadott; az 1956-os névjegyzék 148 irodai alkalmazottjából 125 személy neve magyar névformában szerepel (84%); a beosztásjegyzékben a műszaki-szellemi munkaköröket betöltők többségét is magyar névformában rögzítették. A névformákból azonban az érintettek etnikai vagy anyanyelvi hovatartozása nem állapítható meg teljes bizonyossággal.
4. A Kolozsvári Élelmiszeripari Középfokú Műszaki Iskola Hűtéstechnikai Szakának (Frigotehnică) 1954-ből fennmaradt levéltári dokumentációja a jelenleg áttekintett szakirodalomban nem szerepelt. Az iskola és a gyár kapcsolata az iparosítás oktatáspolitikai vetületét is szemlélteti.
5. A Szigorúan titkos politikai nyilvántartás (1955) megvilágítja a szocialista ipari igazgatás egyik legkevésbé kutatott aspektusát: a vezető beosztású dolgozók politikai hátterének folyamatos dokumentálását. A nyilvántartás szerint az érintettek többségénél nem rögzítettek 1944 előtti politikai tevékenységet, ennek ellenére politikai szempontú nyilvántartásban szerepeltek.
6. A H.C.M. 1360/1956 jogszabály alapján végrehajtott elbocsátások névjegyzékében román és magyar névformában rögzített személyek egyaránt szerepelnek. A névjegyzék alapján azonban nem állapítható meg, hogy az elbocsátások során szerepet játszottak-e etnikai szempontok.
7. Az 1. iratcsomó legkorábbi, fennmaradt munkaszerződései 1954 márciusából valók – ezek a Direcția Generală a Rezervelor de Muncă által közvetített, képzetlen munkások szerződései. A Tehnofrig saját fejléces, Orosz Adalbert igazgató által aláírt szerződések sorozata 1954 júliusától kezdődik. A két szerződéstípus együttesen bizonyítja, hogy a gyár 1954-ben egyszerre támaszkodott állami munkaerő-közvetítésre és közvetlen igazgatói szerződéskötésre.
8. A 2. iratcsomó munkaerő-gazdálkodási levelezése (1958–1965) dokumentálja a gyár fejlődésének egy következő szakaszát: az 1958. március 15-i munkáslétszám-kimutatás szerint a Tehnofrig ekkoriban 576 főt foglalkoztatott; az ingázó munkások foglalkoztatása Kolozsvár széles vonzáskörzetéből szervezett keretek között zajlott; az igazgatóváltás (Orosz Adalbert → ing. Simedrea T.) 1960–1961 között ment végbe; a vasöntöde legkésőbb 1959 elejétől folyamatosan üzemelt; a gyár arculatának korai intézményesülését jelzi, hogy a pingvinlogó már 1958-tól szerepel a fejléces levelezőpapírokon.

A jelen tanulmányban feldolgozott iratanyag csupán a gyár fennmaradt levéltári hagyatékának töredékét képviseli. A fond további iratcsomóinak módszeres feldolgozása várhatóan még árnyaltabb képet nyújt majd a Tehnofrig fejlődéséről, szervezeti működéséről, valamint gazdaság-, társadalom- és technikatörténeti szerepéről.

A vizsgált dokumentumok nem csupán egy vállalat történetének forrásai, hanem a romániai szocialista iparosítás helyi megvalósulásának, a műszaki szakemberképzés korabeli rendszerének és az ipari munkaerő átalakulásának vizsgálatához is fontos adalékokat szolgáltatnak.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki Mostis Márk egyetemi hallgatónak a levéltári dokumentumok digitalizálásában nyújtott segítségéért, amelyet a Mathias Corvinus Collegium Műhelytagság Programja támogatott.

Levéltári források

I. Kolozs Megyei Nemzeti Levéltár Igazgatósága (Direcția Județeană a Arhivelor Naționale Cluj – DJAN-CJ), Fond Întreprinderea Tehnofrig Cluj nr. 626.
   – dos. 1. Cadre. Repartizări. Contract de muncă (1954–1965), 356 file.
   – dos. 2. Diversă corespondență cu forțele de muncă (1958–1965), 369 file.
   – Inventarul documentelor cu termen de păstrare permanentă create în perioada 1954–1968.

Kéziratos és gyűjteményi források

II. Tehnofrig-gyűjtemény. Erdélyi Múzeum-Egyesület Könyvtár és Információs Központja, Kolozsvár.
III. Jenei Dezső hagyatéka. Erdélyi Múzeum-Egyesület Kézirattára, Kolozsvár.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Turnock D.: *The Romanian Economy in the Twentieth Century*. Croom Helm, London, 1986.
[2] Verdery K.: *What Was Socialism, and What Comes Next?* Princeton University Press, Princeton, 1996.
[3] Dobrincu D., Iordachi C. (szerk.): *Țărănimea și puterea. Procesul de colectivizare a agriculturii în România*. Polirom, Iași, 2005.
[4] Cucu A.-S.: *Planning Labour: Time and the Foundations of Industrial Socialism in Romania*. Berghahn Books, New York, 2019.
[5] Negucioiu A., Teodor P., Edroiu N. (szerk.): *Cluj. Monografie*. Editura Sport-Turism, București, 1980.
[6] Lakatos A. L.: *Szocialista iparosítás, demográfiai változások: Kolozsvár, Nagyvárad és Marosvásárhely fejlődési irányai (1945–1989).* Belvedere Meridionale, 29. évf., 2. sz., 2017, 27–53.
[7] Bitay E.: *Jenei Dezső emlékére.* Műszaki Tudományos Közlemények MTK 2., EME, Cluj-Napoca, 2015. 17–38. https://doi.org/10.33895/mtk-2015.02.01
[8] Bitay E.: *A Tehnofrig emlékezete.* Kézirat, Kolozsvár, 2015–2026.
[9] Kideckel D. A.: *Getting By in Postsocialist Romania. Labor, the Body, and Working-Class Culture.* Indiana University Press, Bloomington, 2008.
[10] Pittaway M.: *The Workers' State: Industrial Labor and the Making of Socialist Hungary, 1944–1958*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, 2012.
[11] Mátyás Z.: *Romániai levéltárak kutatási lehetőségei.* Magyar Levéltári Portál, 2018. https://archivportal.hu/wp-content/uploads/2022/06/matyas_zoltan_romaniai_levelta-rak_kutatasi_lehetosegei-1.pdf
[12] *Indicator alfabetic al localităților din Republica Populară Romînă.* Editura de Stat pentru Literatură Științifică, București, 1954.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 30–37.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.03
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.03

JÁRMŰDINAMIKAI MODELL PARAMÉTER-ILLESZTÉSÉNEK ELŐKÉSZÍTÉSE

PREPARATION FOR PARAMETER IDENTIFICATION IN A VEHICLE DYNAMICS MODEL

Csajbók Imola Lenke,[1] Nemes Dániel[2]

[1] *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, csajbok.imola@gmail.com*

[2] *Debreceni Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Debrecen, Magyarország, nemes.daniel@eng.unideb.hu*

Abstract

Vehicle dynamics models are important for understanding and predicting vehicle behavior under different operating conditions. However, their practical applicability depends largely on how well the simulated responses reflect the actual performance of the vehicle. Therefore, it is essential to validate the model with real measurement data. This study focuses on the validation of a MATLAB–Simulink longitudinal vehicle dynamics model and the parameter identification of rolling resistance using CAN bus data recorded during road driving. The measurement data were collected using a CANedge2 data logger. The measured signals were compared with the simulation results to assess the model's ability to reproduce real vehicle behavior under different driving conditions. The resistance forces causing the vehicle to decelerate were also examined. The presented workflow demonstrates a practical and reproducible approach for CAN-based model validation using real vehicle data.

Keywords*: vehicle, model validation, data-based model, optimization, parameter identification.*

Összefoglalás

A járműdinamikai modellek fontosak a jármű viselkedésének megértéséhez és predikciójához különféle üzemi körülmények között. Gyakorlati alkalmazhatóságuk azonban nagyban függ attól, hogy a szimulált viselkedés milyen mértékben tükrözi a jármű tényleges teljesítményét. Ezért elengedhetetlen a modell valós mérési adatokkal történő validálása. Ez a tanulmány egy MATLAB–Simulink hosszanti járműdinamikai modell validálására és a gördülési ellenállás paraméterének azonosítására összpontosít, közúti vezetés során rögzített CAN-busz-adatok felhasználásával. A mérési adatokat CANedge2 adatgyűjtővel rögzítettük. A mért jeleket összehasonlítottuk a szimulációs eredményekkel, hogy értékeljük a modell képességét a valós járműviselkedés különböző vezetési körülmények közötti reprodukálására. Megvizsgáltuk a jármű lassulását okozó ellenállási erőket is. A bemutatott munkafolyamat egy gyakorlati és reprodukálható megközelítést mutat be a CAN-alapú modell validálásához valós járműadatok felhasználásával.

Kulcsszavak*: jármű, modellvalidáció, adatalapú modell, optimalizáció, paraméter-identifikáció .*

1. Bevezetés

A modern járművek egyre bonyolultabb szerkezeti, elektronikai elemekkel és mechatronikai rendszerekkel rendelkeznek, amelyek működésük során jelentős mennyiségű adatot generálnak fedélzeti kommunikációs rendszereiken keresztül. Viszont az egyre újabb megoldások az üzemfenntartás színvonalának folyamatos fejlődését követelik. Ezért egyre nagyobb szerepet kapnak az állapotfüggő karbantartási rendszerek. A Cont-

roller Area Network (CAN) hálózat lehetővé teszi a jármű különböző elektronikus vezérlőegységei (ECU) közötti strukturált és szabványos kommunikációt, ezáltal lehetőséget biztosít számos fontos működési paraméter nyomon követésére és elemzésére. Ezek az adatok nemcsak diagnosztikai célokra használhatók, hanem járműdinamikai modellek fejlesztéséhez és validálásához is értékes információkat szolgáltatnak.

A járműdinamikai modellek széles körben alkalmazott eszközök a járművek viselkedésének elemzésére és szimulációjára [1]. Az irodalomban számos különböző modell található, például negyedjármű- [2], féljármű- vagy teljes járműmodellek [3 , 4, 5], amelyek különböző részletességgel írják le a jármű mozgását. Ezek a modellek gyakran a laterális dinamikára vagy az utazási kényelemre helyezik a hangsúlyt. [6, 7] Számos alkalmazás esetében azonban elegendő lehet egy egyszerűbb, kizárólag a jármű hosszanti (longitudinális) mozgását leíró modell alkalmazása. Az ilyen modellek előnye az egyszerűség és a gyors számítási idő, azonban a pontosságuk nagymértékben függ a modellben szereplő paraméterek helyes megválasztásától.

A jármű hosszanti mozgását befolyásoló legfontosabb ellenállási erők közé tartozik a gördülési ellenállás, a légellenállás, valamint a hajtáslánc veszteségei. Ezek közül a gördülési ellenállás jelentős szerepet játszik, különösen alacsony és közepes sebességtartományban.

A jelen kutatás célja egy egyszerű hosszanti járműdinamikai modell paraméterezésének előkészítése mért járműadatok felhasználásával, különös tekintettel a gördülési ellenállás paraméterének meghatározására.

2. Anyag és módszer

2.1. Mérőeszköz

A járműadatok méréséhez a dán CSS Electronics által kifejlesztett CANedge2 eszközt (1. ábra) használtuk, amely kontrollált módon képes a CAN-hálózat üzeneteinek rögzítésére. Ez a kétcsatornás CAN/LIN adatnaplózó kompakt kialakításának és fejlett funkcióinak köszönhetően kiválóan alkalmas autóipari kutatás-fejlesztési tesztekhez, valamint prediktív karbantartási feladatok támogatásához.

A készülék egyik legfontosabb jellemzője a nagy pontosságú, folyamatos és időbélyeggel ellátott adatrögzítés, amely akár két CAN-csatornán párhuzamosan is megvalósítható. A CANedge2 rugalmasan paraméterezhető: a felhasználók online vagy offline konfigurációs editor segítségével szabhatják testre a működési jellemzőket. Az eszköz az áramellátás megjelenésekor azonnal, teljesen automatikusan megkezdi az adatgyűjtést az SD-kártyára.

A rendszer integrálhatóságát nagyban növeli a beépített Wi-Fi modul, amelyen keresztül az adatok vezeték nélkül továbbíthatók távoli szerverekre vagy közvetlenül Python-alapú környezetbe. Lehetőség van még GPS modul csatlakoztatására is.

1. ábra. *A CANedge2 mérőeszköz és az OBD2 kábel*

2. ábra. *Toyota Avensis, 2012*

2.2. Jármű

Méréseinket egy olyan 2012-es évjáratú Toyota Avensis 2.0 D-4D-típusú autón végeztük, mint amely a (2. ábrán) látható.

Az 1. táblázatban láthatóak a jármű fontosabb adatai.

1. táblázat. *A Toyota Avensis műszaki adatai*

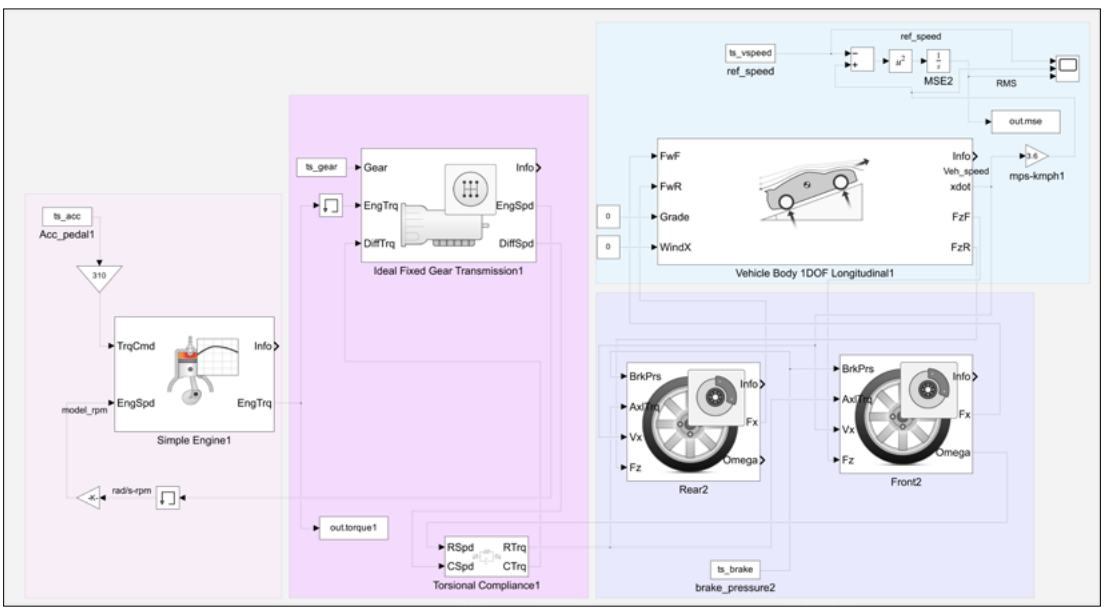
Kategória	Jellemző
Meghajtás típusa	Elsőkerék-meghajtás (FWD)
Motor típusa	Dízel
Sebességváltó típusa	Kézi
Fokozatok száma	6
Motor térfogat	1998 [ccm]
Maximumteljesítmény	91 [kW], 310 [Nm]
Végsebesség	200 [km/h]
Üzemanyag-fogyasztás	4.5 l/100 [km]
Maximális teljesítmény-hez tartozó fordulatszám	3100 [rpm]
Hosszúság	4710 [mm]
Szélesség	1810 [mm]
Magasság	1480 [mm]
Tengelytáv	2700 [mm]
Saját tömeg	1555 [kg]
Gumiabroncs mérete	205/60R16V
Tömegközéppont távol-sága a hátsó tengelytől:	1.62 [m]
Tömegközéppont távol-sága az első tengelytől:	1.08 [m]

2.3. Járműmodell

Ahogy a Bevezetésben is olvasható, a szakirodalomban gyakran előforduló járműmodellek, mint például a kerékpár-, negyedautó-, fél- vagy teljes autómodellek általában konkrét célokra lettek kialakítva, és nem mindig alkalmasak általános felhasználásra. Kezdetben az volt a cél, hogy egy egyszerű, testre szabható modellt használjunk, amelyet a CANedge2 eszközzel rögzített mérési adatokhoz lehet igazítani. A legtöbb rendelkezésre álló modell az oldalirányú dinamikán alapul, azaz magában foglalja a kormányzás és a kanyarodás hatásait, míg elsődleges célunk a hosszirányú viselkedés vizsgálata volt. Ezért egy erősen leegyszerűsített hosszirányú modellt fejlesztettünk ki MATLAB környezetben (**3. ábra**), amelyben egyenes vonalú mozgást elemeztünk, az autó álló helyzetéből indulva **[8]**. Ha ez az egyszerű modell megfelelően ábrázolja a valós adatokat, akkor a modell bonyolultabbá tehető, és például beépíthető a kormányzás is. Az alkalmazott blokkok az alábbiak:

- Vehicle Body 1DOF Longitudinal
- Simple Engine
- Ideal Fixed Gear
- Torsional Compliance
- Longitudinal Tire Disc Brake

Ezeken kívül egységátváltáshoz Gain blokkokat, a függő jelek elkerüléséhez Memory és Delay blokkokat, valamint a modell ellenőrzéséhez és



3. ábra. *A longitudinális járműmodell MATLAB-Simulink környezetben*

a kimenetek megjelenítéséhez Scope blokkokat használtunk. A mért CAN-adatokból a gázpedál állását, a féknyomást, a jármű sebességét, majd később a számított fokozatot idősoros formátumban töltöttük be a szimulációs környezetbe Matlab-kódokból a From Workspace blokkok segítségével.

A blokkok közötti kapcsolat:

Gearbox blokk

A sebességváltó blokk a motor nyomatékát az aktuális áttételi arány alapján módosítja. A váltási jelet a CAN-busz-adatokból meghatározott aktuális sebességfokozat szolgáltatja, így a modell a valós jármű működését követi. A blokk bemenetei a Simple Engine és a Torsional Compliance blokkokból érkező nyomatékok. Kimenetei a hajtott tengelyre jutó módosított nyomaték, valamint a motor felé visszaható nyomaték. Az áttételeket sorvektor formájában kellett megadni. Mivel a váltó- és végáttételek közvetlenül nem voltak mérhetők, az egyes fokozatokhoz tartozó tényleges összáttételeket a mért motor- és kerékfordulatszám arányából becsültük állandó haladási körülmények között.

Tire blokk

A blokk a kerék és az útfelület kapcsolatát írja le a Pacejka-féle Magic Formula modell alapján [9]. Mivel a modellünk hosszirányú, és a keresztirányú (laterális) hatásokat nem szimuláltuk, így nem szükséges 2 kereket alkalmazni tengelyenként. Ezért összesen két kerékblokkot alkalmaztunk: egyet az első, egyet a hátsó kerekekhez. A bemenő nyomaték alapján a blokk kiszámítja a tapadási erőt és a csúszási arányt. További bemenetek a járműtestből érkező erő- és sebességjelek, valamint a mért fékpedálállás. A blokk egyik kimenete a jármű hosszanti mozgására ható erő, a másik a kerék szögsebessége, amely visszacsatolásként a Torsional Compliance blokkba kerül. A modellhez meg kellett adni a terhelt keréksugarat és a maximális kerékcsúszást.

1 DOF Vehicle Body blokk

Ez a blokk a jármű mozgását egy szabadsági fokra, a hosszanti irányra korlátozva modellezi. A Tire blokkból érkező hajtó- és fékezőerők alapján számítja ki a jármű gyorsulását, sebességét és elmozdulását. A számított sebességet összehasonlítjuk a mért referenciasebességgel, és az eltérés MSE (Mean Square Error) értéke egy scope-on figyelhető. A modell paraméterezéséhez meg kellett adni a jármű tömegét és a tengelyek tömegközépponthoz viszonyított távolságát. Az egyszerűsítés érdekében az út emelkedési szöge és a szélsebesség értékét nullának vettük.

2.4. Adatgyűjtés és elemzés

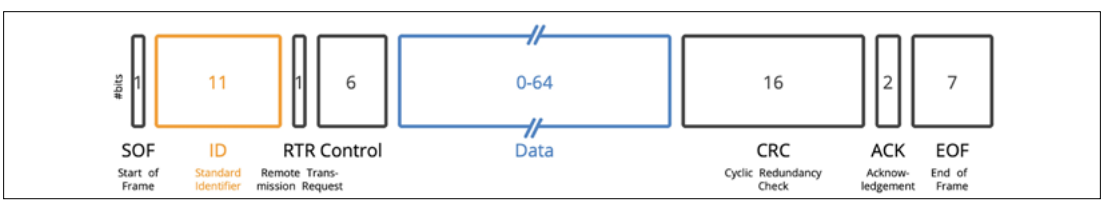
A kutatás során 2025 augusztusa és októbere között végeztünk méréseket változó útviszonyok mellett, városi és autópályás forgalomban egyaránt. A vizsgálatok alatt módosítottuk a mintavételezési periódust az optimális beállítás meghatározása érdekében. A rögzített adatmennyiség elegendőnek bizonyult a modell teszteléséhez, validálásához, valamint a jármű dinamikai viselkedésének alapszintű elemzéséhez. Az adatgyűjtés folyamata az alábbi szakaszokra bontható:

2.4.1. Konfiguráció és OBD-II kérések meghatározása

A mérések megkezdése előtt a CANedge2 eszközt a vizsgált jármű sajátosságaihoz kellett igazítani, mivel az OBD-II kérések és a CAN-hálózati struktúrák típusfüggőek. A konfiguráció a CSS Electronics „OBD PID lookup tool” [10] online szerkesztőjében történt, ahol egy próbamérés után látni lehetett a támogatott PID-ek listáját a válaszüzenetek bitstruktúrája alapján. A kiválasztott jelekhez (pl. gázpedálállás, féknyomás) szintén a CSS Electronics által biztosított online konfigurációs eszközt használva beállítottuk a bitmódot (standard/extended), a lekérdezési gyakoriságot és a válaszformátumot, majd a konfigurációs fájlt rámásoltuk egy SD-kártyára, amelyet behelyeztünk az eszközbe.

2.4.2. Adatrögzítés és dekódolás

A mérések során az eszközt a kormánykerék alatt található OBD2-portba csatlakoztattuk. Az adatgyűjtés a gyújtás ráadásakor automatikusan elindul, és a leállításig tart; az aktív rögzítést az eszköz LED-ekkel jelzi. Az adatok MF4 formátumban tárolódnak. A nyers CAN-üzenetek (4. ábra) fizikai paraméterekké alakításához (dekódolá-



4. ábra. *Standard CAN-üzenet felépítése* [10]

sához) az open-source, Python-alapú asammdf szoftvert alkalmaztuk.

A dekódoláshoz elengedhetetlen egy vagy több megfelelő DBC adatbázis (fájl), amely leírja a bitek jelentését és a skálázási faktorokat. A kutatás korai szakaszában több adatbázist is összehasonlítottunk, mivel a mértékegységekben és struktúrákban jelentős eltérések mutatkoztak. A pontos eredmények érdekében végül több adatbázis egyidejű alkalmazása mellett döntöttünk.

2.4.3. Szűrés és előfeldolgozás

A valós forgalomban rögzített adatokból Python kód segítségével választottunk ki egyenes szakaszokat, hiszen a longitudinális modellhez ezek szükségesek. A szűrés során két fő kritériumot fogalmaztunk meg:

1. A kormányszög nem haladhatta meg az 5°-ot (egyenes vonalú mozgás).
2. A járműnek álló helyzetből (0 km/h) kellett indulnia.

Az így kinyert szegmenseket .csv és .mat formátumban exportáltuk, majd MATLAB környezetbe integráltuk. A változókat vektorokká alakítottuk át (ügyelve arra, hogy mindegyik következetesen sor- vagy oszlopvektor legyen, mivel ellenkező esetben nem lehetett volna őket megfelelően felhasználni). Ezután „timeseries” formátumra konvertáltuk őket a Simulink-modellbe való betöltéshez. Az adatokon interpolációs újra-mintavételezést (resampling) végeztünk egy közös idővektor mentén. Ez biztosította, hogy minden bemeneti paraméter azonos időlépéssel rendelkezzen, ami lehetővé tette a modellszimuláció gyorsabb és stabilabb futtatását. Végül egy újabb MATLAB-kódot írtunk a szimuláció és a modell eredményeinek egy közös grafikonon történő ábrázolásához, hogy gyorsabban ellenőrizhetőek legyenek az eredmények.

2.5. Optimalizálás előkészítése

A járműdinamikai modellek pontossága nagymértékben függ a modellben szereplő paraméterek helyes megválasztásától. A járműdinamikai modellek valós mérési alapú validálása a szakirodalomban jól ismert téma, és elengedhetetlennek tartják a szimulációs eredmények megbízhatóságának és alkalmazhatóságának biztosításához. [11] A validálási eljárások során jellemzően a mért és a szimulált jeleket hasonlítják össze meghatározott üzemi feltételek mellett, figyelembe véve a modell feltételezéseit, a jelek rendelkezésre állását és a mérési bizonytalanságot. [12, 13].

Bár számos paraméter, például a jármű tömege vagy geometriai adatai közvetlenül meghatározható a jármű műszaki adataiból, egyes paraméterek értéke csak közelítő módon ismert, vagy jelentős mértékben függ az aktuális üzemi körülményektől [11]. Ilyen paraméter például a gördülési ellenállás, amely a gumiabroncsok és az útfelület kölcsönhatásából [9] származó hatásokat foglalja magában.

A járműdinamikai modell pontosítása érdekében ezért szükséges ezen paraméterek mért adatok alapján történő illesztése. A paraméterek meghatározására gyakran optimalizációs módszereket alkalmaznak, amelyek célja, hogy a modell által számított járműviselkedés a lehető legjobban közelítse a valós mérési eredményeket.

A járműdinamikai modell paramétereinek meghatározásához szükséges volt olyan méréseket végezni, amelyek alkalmasak a jármű lassulási viselkedésének vizsgálatára. Ehhez álló helyzetből felgyorsítottuk a járművet 1-es fokozatban, majd a kuplung lenyomása nélkül hagytuk visszalassulni. Ezt többször megismételtük, majd ugyanezt 2-es fokozatban is elvégeztük. A gördülési ellenállás paraméterének becsléséhez a mérésekből kiválasztottuk a motorfékes szakaszokat. Ezekben a szakaszokban a jármű sebessége a különböző ellenállási erők hatására csökken, miközben a hajtáslánc zárt állapotban marad, mivel a kuplung nincs benyomva.

Motorfékes üzemben a jármű lassulását több tényező együttes hatása határozza meg. Ezek közé tartozik a gördülési ellenállás, a hajtáslánc veszteségei, a motorfékből származó ellenállás, valamint kisebb mértékben a légellenállás. Korábbi kutatási eredmények szerint a hajtáslánc hatékonyságát befolyásoló, terhelésfüggő veszteségek a sebesség és az üzemeltetési körülmények függvényében jelentősen változnak. [14, 15, 16] A jelen vizsgálat során elsősorban az alacsony sebességtartományra koncentráltunk, ahol a légellenállás hatása viszonylag kicsi, így a lassulást elsősorban a gördülési ellenállás és a motorfékből származó hatások befolyásolják.

A mérések során a kiválasztott időintervallumokban a jármű sebességének időbeli változását vizsgáltuk. A mérési adatok feldolgozásának első lépéseként az adatok ábrázolása után azonosítottuk azokat az időintervallumokat, amelyekben a sebesség-idő görbe közel lineáris csökkenést mutatott. Ezek a szakaszok alkalmasak a jármű lassulásának becslésére.

A kiválasztott mérési szakaszokat MATLAB környezetben dolgoztuk fel. A sebességadatokat

először km/h egységből m/s egységre alakítottuk át. Ezután minden egyes kiválasztott időintervallumban lineáris illesztést végeztünk a sebesség-idő adatokra a MATLAB polyfit függvényének segítségével.

Az illesztett egyenes meredeksége közvetlenül megadja a jármű lassulását az adott mérési szakaszban. A MATLAB kód minden egyes kiválasztott intervallumra külön meghatározta az illesztett egyenes meredekségét. Az eredményeket grafikus formában is ábrázoltuk, ahol a mért sebesség-idő görbe mellett az illesztett egyenesek is megjelentek. (**5. ábra**)

A vizsgálat során az első sebességfokozatban négy, míg a második sebességfokozatban három motorfékes mérési szakaszt választottunk ki. Minden szakaszhoz egy külön lassulási értéket kaptunk. Mivel a különböző mérési körülmények, mint például az útviszonyok kisebb eltéréseket okozhatnak az egyes meredekségek között, a kapott értékeket átlagoltuk.

Az első és második fokozatban kapott meredekségek átlagát külön-külön meghatároztuk. Ezek az átlagos lassulási értékek reprezentálják a jármű viselkedését a vizsgált motorfékes állapotban, és alapul szolgálnak a járműdinamikai modell paraméter-illesztéséhez.

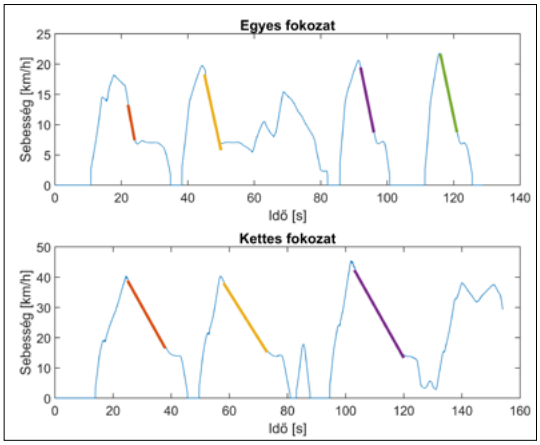
A modell paramétereinek meghatározásához optimalizációs eljárást fogunk alkalmazni. Az optimalizáció során két paraméter kerül azonosításra:

- ERp, amely a motorfékből származó ellenállási hatást ellensúlyozza
- RRp, amely a gördülési ellenállást súlyozza, a kerékblokknak a „Rolling resistance scaling factor, lam_My”-paramétere

A paraméterek meghatározásához a MATLAB Optimization Toolbox eszköztárát fogjuk alkalmazni. Az optimalizáció célja egy olyan paraméter-kombináció meghatározása, amely mellett a modell által számított járműlassulás a lehető legjobban illeszkedik a mérési adatokból származó referenciameredekséghez.

Az optimalizáció során egy célfüggvényt definiálunk, amely jelen esetben a szimulált és a mért lassulás közötti eltérést adja. Az optimalizációs algoritmus a paraméterek iteratív módosításával keresi azt az értékkombinációt, amely minimalizálja ezt a hibát.

Az optimalizáció előkészítéseként a paraméterekhez alsó és felső határokat határoztunk meg néhány próbaszimuláció elvégzése után. Azért kell már most beletenni a célfüggvénybe mindkét paramétert, mert egymástól függetlenül nem lehetne optimalizálni őket, hiszen mindkettő befolyásolja a lassulást. A jelenlegi mérési konfigurációban a jármű lassulását jelentős mértékben befolyásolja a motorfék hatása, ezért az első lépésben az ERp paraméter számára szélesebb keresési tartományt biztosítunk majd. Ezzel szemben az RRp paraméter változási tartományát szűkebbre választjuk, mivel a gördülési ellenállás pontosabb azonosítása további méréseket igényel.



5. ábra. *A lassuló szakaszokra illesztett egyenesek egyes (felső ábra) és kettes (alsó ábra) fokozatokban*

A későbbi vizsgálatok során olyan mérési adatokat is kívánunk gyűjteni, amelyekben a jármű kinyomott kuplunggal gurul, így a hajtáslánc és a motorfék hatása megszűnik. Ebben az esetben a jármű lassulását elsősorban a gördülési ellenállás és a légellenállás határozza meg, ami lehetővé teszi az RRp paraméter pontosabb meghatározását.

3. Eredmények

A longitudinális járműdinamikai modell megalkotása és a mérési módszer kidolgozása után a rögzített CAN-busz-adatok feldolgozását végeztük el. A mérési rendszer és az adatfeldolgozási folyamat célja az volt, hogy a jármű valós működéséből származó adatok alapján megalkotott járműmodell minél jobban reprezentálja a valóságot. A modell pontosítása érdekében elkezdtük vizsgálni a jármű lassulási viselkedését olyan üzemállapotokban, amelyek alkalmasak a modell paramétereinek későbbi illesztésére.

A mérési adatok feldolgozása során több motorfékes szakaszt azonosítottunk az első és a második sebességfokozatban rögzített mérési adatok között. Ezekben a szakaszokban a jármű sebességének időbeli változását lineáris függvénnyel közelítettük.

A MATLAB polyfit függvény segítségével meghatározott meredekségek a jármű lassulását adták meg az egyes mérési szakaszokban. Az illesztések grafikus ábrázolása alapján megállapítható volt, hogy a kiválasztott szakaszokban a sebesség-idő függvény jó közelítéssel lineáris viselkedést mutatott, így a lineáris illesztés megfelelő módszernek bizonyult a lassulás becslésére.

Az első sebességfokozatban négy, míg a második sebességfokozatban három mérési szakasz meredekségét határoztuk meg. Az egyes szakaszokban kapott értékek között kisebb eltérések figyelhetők meg, amelyek a mérési zajból és a különböző környezeti hatásokból adódhatnak.

A kapott meredekségek átlagolásával (**2. táblázat**) meghatároztuk az első és második fokozatra jellemző átlagos lassulási értékeket, amelyeket referenciaként fogunk használni. Ezek az értékek a jármű lassulását okozó ellenállások hatását reprezentálják a vizsgált motorfékes üzemállapotban.

A meghatározott referenciameredekség a továbbiakban bemeneti adatként szolgál a járműdinamikai modell paraméter-illesztéséhez.

2. táblázat. *A mért meredekségek és átlagaik*

	Meredekségek egyes fokozatban [m/s^2]	Meredekségek kettes fokozatban [m/s^2]
1	-0,8107	-0,4785
2	-0,6965	-0,4241
3	-0,7446	-0,4749
4	-0,7185	-
Átlag	-0,7426	-0,4592

4. Következtetések

A tanulmány célja egy járműdinamikai modell motorfék- és gördülési ellenállási paraméterének meghatározásához szükséges mérési és feldolgozási módszer bemutatása volt. A valós járműből származó CAN-busz-adatok feldolgozásával sikerült olyan motorfékes mérési szakaszokat azonosítani, amelyek alkalmasak a jármű lassulási viselkedésének vizsgálatára.

A sebesség-idő adatok lineáris illesztésével meghatározhatóvá vált a jármű lassulása az egyes mérési szakaszokban. Az így kapott meredekségek átlagolásával referencia lassulási értékeket határoztunk meg, amelyek a jármű viselkedését jellemzik a vizsgált motorfékes állapotban.

A meghatározott referencia meredekségek alapul szolgálnak a járműdinamikai modell paramétereinek optimalizációs módszerekkel történő azonosításához. A paraméter-illesztés során két fő paraméter, a motorfékből származó ellenállást reprezentáló ERp, valamint a gördülési ellenállás RRp paramétere kerül majd meghatározásra.

A jelen munka elsősorban az optimalizáció előkészítésére, valamint a szükséges mérési és feldolgozási lépések kidolgozására fókuszált. A meghatározott referenciaértékek lehetővé teszik, hogy a következő lépésben optimalizációs módszerekkel történjen meg a járműdinamikai modell ellenállási paramétereinek, első lépésként különösen a motorfékből származó és a gördülési ellenállási hatások illesztése.

A jövőbeni munkák során további mérések végzése is indokolt, például olyan üzemállapotokban, amikor a jármű kinyomott kuplunggal gurul. Az ilyen mérési körülmények lehetővé teszik a gördülési ellenállás hatásának pontosabb elkülönítését, ezáltal támogatva a modellparaméterek későbbi pontosabb azonosítását.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Reicherts S., Hesse B. S., Schramm D.: *Use of Naturalistic Driving Studies for Identification of Vehicle Dynamics.* IEEE Open Journal of Intelligent Transport Systems, 2. (2021) 195–206. https://doi.org/10.1109/OJITS.2021.3093712

[2] De Hoyos Fernández de Córdova A., Olazagoitia J. L., Gijón-Rivera C.: *Non-Invasive Identification of Vehicle Suspension Parameters: A Methodology Based on Synthetic Data Analysis.* Mathematics, 12/3. (2024) 397. https://doi.org/10.3390/math12030397

[3] Parra A., Cagigas D. – Zubizarreta A.: *Modelling and Validation of Full Vehicle Model Based on a Novel Multibody Formulation.* In: IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. Lisszabon, Portugália, 2019. https://doi.org/10.1109/IECON.2019.8926854

[4] Ahmad F., Mazlan S., Jamaluddin H., Hudha K.: *Modelling and Validation of the Vehicle Longitudinal Model.* International Journal of Automotive and Mechanical Engineering, 10. (2022) 2042–2056. https://doi.org/10.15282/ijame.10.2014.21.0172

[5] Wu Z., Kang C., Li B.: *Dynamic Modeling, Simulation, and Optimization of Vehicle Electronic Stability Program Algorithm Based on Back Propagation Neural Network and PID Algorithm.* Actuators, 3/13. (2024) 100. https://doi.org/10.3390/act13030100

[6] Wang P., Wang J., Li Z., Qu T.: *Koopman-MPC-Based Energy-Efficient Integrated Control of Attitude Maneuver and Vibration Suppression for Nonlinear In-Wheel Motor-Active Suspension on Uneven Roads.* Energy, 336. (2025) 138157. https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.138157

[7] Haidar F.: *Integrated Vehicle Dynamics Modeling, Path Tracking, and Simulation: AMATLAB Imple-*

mentation Approach. Engineering Perspective, 1/1. (2024) 7–16.
https://doi.org/10.29228/eng.pers.75106

[8] Rill G., Castro A. A.: *Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling with MATLAB®*. CRC Press, Boca Raton, 2020.
https://doi.org/10.1201/9780429244476

[9] Pacejka H. B., Besselink I.: *Tyre and Vehicle Dynamics.* 2. kiadás. Butterworth-Heinemann Elsevier, Oxford Waltham, 2006.

[10] CSS Electronics. (letöltve: 2026. március 14.).

[11] Widner A., Tihanyi V., Tettamanti T.: *Framework for Vehicle Dynamics Model. Validation.* IEEE Access, 10. (2022) 35422–35436.
https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3157904

[12] Rhode S. – Von Keler J.: *Online Validity Monitor for Vehicle Dynamics Models.* In: 2019 IEEE International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE). Graz, Ausztria, 2019.
https://doi.org/10.1109/ICCVE45908.2019.8965162

[13] Danquah B., Riedmaier S., Rühm J.: S*tatistical Model Verification and Validation Concept in Automotive Vehicle Design*. Procedia CIRP, 91. (2020) 261–270.
https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.175

[14] Minaker B. P.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics and Modelling: a Textbook for Engineers with Illustrations and Examples.* Wiley, Hoboken, NJ, 2020.

[15] Gillespie T. D.: *Fundamentals of Vehicle Dynamics* (Revised Edition). SAE International, Warrendale, Pennsylvania, 2021.

[16] Lugner P.: *Vehicle Dynamics of Modern Passenger Cars.* Springer International Publishing, Cham, 2019.

[17] Laila D., Shakouri P., Ordys A. – Askari M.: *Longitudinal vehicle dynamics usingSimulink/Matlab*. In: UKACC International Conference on Control. Coventry, Egyesült Királyság, 2010.
https://doi.org/10.1049/ic.2010.0410

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 38–46.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.04
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.04

ADAPTÍV SEBESSÉGTARTÓ RENDSZER FEJLESZTÉSE ÉS TESZTELÉSE KÜLÖNBÖZŐ HAJTÁSLÁNCOKHOZ

DEVELOPMENT AND TESTING OF ADAPTIVE CRUISE CONTROL SYSTEMS FOR DIFFERENT POWERTRAINS

Forgó Tamás

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Közlekedésmérnöki és Járműmérnöki Kar, Közlekedés- és Járműirányítási Tanszék. Budapest, Magyarország, forgotamas3@gmail.com

Abstract

Due to the diversification of powertrains in the automotive industry, maximizing energy efficiency has become a core priority for driver assistance systems, alongside safety and comfort. My research aimed to develop a universal, energy-optimized adaptive cruise control (ACC) system operating optimally across internal combustion, hybrid, and purely electric vehicles. The scientific contribution of this research is a comprehensive simulation and validation framework that objectively demonstrates, via standardized metrics, the proposed control strategy's measurable energy savings in heterogeneous, simulated traffic conditions.

Keywords*: Adaptive Cruise Control (ACC), energy efficiency, powertrain technologies, simulation environment.*

Összefoglalás

A gépjárműipar hajtáslánc-diverzifikációja miatt a vezetéstámogató rendszereknél a biztonság és kényelem mellett az energiahatékonyság maximalizálása is prioritássá vált. Kutatásom célja egy univerzális, energia-optimalizált, adaptív sebességtartó automatika (ACC) kidolgozása volt, amely optimálisan működik belső égésű, hibrid és tisztán elektromos járművekben egyaránt. A kutatás tudományos hozzáadott értéke egy olyan komplex szimulációs és validációs keretrendszer létrehozása, amely standardizált metrikákkal, objektíven igazolja a javasolt szabályozás mérhető energiamegtakarítását heterogén, szimulált forgalmi viszonyok között.

Kulcsszavak*: adaptív sebességtartó automatika (ACC), energiahatékonyság, hajtáslánc-technológiák, szimulációs környezet.*

1. Bevezetés

A gépjárműipar napjainkban az egyik legjelentősebb átalakulásán megy keresztül. Ezt két, egymással szorosan összefonódó ötlet vezérli: alternatív hajtáslánctípusok kifejlesztése a belső égésű motorok (Internal Combustion Engine-ICE) helyett, valamint a járművek autonómiájának növelése. A károsanyagkibocsátás-normák szigorodása a belső égésű motorok fokozatos visszaszorulását és a hibrid, valamint a tisztán elektromos (Electric Vehicle- EV) hajtások térnyerését eredményezi, ezek mellett a biztonság és a vezetési komfort iránti igény a fejlett vezetéstámogató rendszerek (Advanced Driver Assistance Systems – ADAS) széles körű elterjedését ösztönzi. Az ipari gyakorlatban a sebességtartó automatikák (tempomat, Cruise Control-CC) fejlesztése szigorú szabványok és biztonsági előírások szerint zajlik. A jelenleg piacon lévő ACC-rendszerek többsége feketedobozként kezeli a hajtásláncot: a vezérlő kimenete egy gyorsulási vagy lassulási igény, amelyet az alacsonyabb szintű motorvezérlő fordít le nyomatékigénnyé [1]. Ez a megközelítés lehetővé teszi a modularitást, ugyanakkor

hatékonysági korlátokat is jelent. A szakirodalom áttekintése során azonosítható egy jelentős rés a hajtásláncok és az ACC-rendszerek interakciójának vizsgálatában. A legtöbb publikáció vagy egyetlen specifikus hajtásláncra (főként EV vagy párhuzamos hibrid) fókuszál, vagy kizárólag az energiamenedzsment-stratégiák optimalizálását vizsgálja fix sebességprofil mellett [2, 3]. Hiányzik azonban az a szisztematikus megközelítés, amely egyetlen, rögzített paraméterű ACC-algoritmus hatását vizsgálná a teljes hajtásláncspektrumon keresztül. Különösen kevés figyelem irányul a komplexebb hibrid architektúrákra, amelyek vezérlése nem triviális feladat az ACC dinamikus beavatkozásai során. További módszertani nehézséget jelent az eredmények összehasonlíthatósága: nehéz objektíven összevetni egy dízelmotoros jármű fogyasztáscsökkenését (l/100km) egy elektromos jármű energiamegtakarításával (kWh/100km), különösen, ha a forgalmi szituációk dinamikája is változik. Nincs egységes, dimenziótlan metrika, amely a beavatkozás hatékonyságát minősítené, függetlenül az energiahordozó típusától. Dolgozatomban, ezeknek a szemléleteknek megfelelően, saját fejlesztésű ACC-rendszert vizsgáltam, amelyet különböző járműtípusok és hajtásláncok esetén, többféle forgalmi szituációban teszteltem. A szimulációk során az üzemanyag és elektromosenergia-fogyasztás vizsgálata volt a fő cél. Az eredményeket összehasonlítottam és kiértékeltem egy saját fejlesztésű keretrendszerben, hogy átfogó képet kapjak az ACC teljesítményéről és alkalmazhatóságáról. A dolgozat eredményei rámutatnak arra, hogy egyazon vezérlési logika milyen eltérő hatásfokkal működhet a hajtáslánctípustól függően, ezzel iránymutatást adva a jövőbeli hajtásláncfüggetlen vezérlők fejlesztéséhez.

2. Elméleti alapok, felhasznált eszközök és módszertan

A modern járműipar, hasonlóan más ipari ágakhoz, napról napra fejlődik és formálódik. A tisztán belső égésű motorokkal meghajtott járművek korszaka úgy tűnik, hogy lejárt, hiszen a hibrid és elektromos hajtásláncok egyre több és több teret hódítanak maguknak a piacon [4]. A kérdés, hogy ez miért történik, egy komplex válaszra vár, de egyszerűsítve természetvédelmi, kereskedelmi és politikai okai is vannak [5, 6, 7]. Alábbiakban az alternatív hajtásláncok, fejlett vezetőtámogató rendszerek és az energiafogyasztás kérdéseit fogom tárgyalni.

2.1. Hajtáslánctípusok

2.1.1. Belső égésű motoros hajtáslánc

A jelenleg legelterjedtebb hajtáslánctípus a belső égésű motoros hajtáslánc [8]. Üzemanyagtól függően a motorok kialakítása eltérő lehet, de a hajtáslánc felépítése közel azonos, így beszélhetünk általánosságban a belsőégésű motoros hajtásláncokról.

2.1.2. Párhuzamos hibrid hajtáslánc

Az egyik leggyakoribb hibrid típus a személyautók között a párhuzamos hibrid elektromos jármű (Parallel Hybrid Electric Vehicle - PHEV– *nem összetévesztendő a Plug-in Hybrid Electric Vehicle angol kifejezés rövidítésével*) [9]. A PHEV főként városi és elővárosi használatra kedvelt [10], hiszen alacsony sebességnél az elektromotor végzi a hajtás nagy részét, kevesebb üzemanyagot fogyaszt a jármű, így olcsóbb a közlekedés.

2.1.3. Soros hibrid hajtáslánc

A soros hibrid hajtás kevésbé elterjedt a gépjárművek körében, sajátos kialakításának és az adottságainak köszönhetően [11]. Leginkább városi kisautókban, valamint buszoknál alkalmazott [12, 13]. Ez annak tudható be, hogy a belső égésű motor nem hajtja a kerekeket közvetlenül, hanem csak egy generátort, amely a termelt energiát vagy a kerekek hajtására fordítja, vagy pedig eltárolja egy akkumulátorban.

2.1.4. Tengelyenkénti megosztású hibrid hajtáslánc

A tengelyenkénti megosztású hajtáslánccal ellátott jármű (Axle Split Hybrid Vehicle - ASHEV) komplexebb kialakítású, hiszen a két különböző tengelyt két különböző motor hajtja, egymástól mechanikailag függetlenül [14]. Egy elektronikus vezérlő hangolja össze a két hajtás működését. A jármű képes a két motort külön-külön (elsőkerék- vagy hátsókerék-hajtás) vagy egyszerre (összkerék-hajtás) működtetni.

2.1.5. Teljesítményosztásos hibrid hajtáslánc

A dolgozatban felsoroltak közül a legkevésbé hagyományos hajtáslánc a teljesítményosztásos hibrid (Power-Split Hybrid Electric Vehicle - PSHEV), amely hatalmas sikernek örvend napjainkban [15]. A rendszer ötvözi a soros és a párhuzamos hibridek architektúráját, különlegessége a bolygóműalapú nyomatékelosztás [16].

2.1.6. Elektromos hajtáslánc

Egy elektromos jármű, a nevéből adódóan is, teljesen elektromos hajtáslánccal rendelkezik [17]. Ez egy egyre népszerűbb megoldás a közlekedésre [18], amelynek előnyei, hogy a felhasznált energia nagyon magas százaléka hasznos munkát tud végezni [19], zéró lokális emisszió, valamint a motor(ok) rugalmas elrendezésének köszönhetően kiváló nyomatékleadás [20, 21].

2.2. Vezetéstámogató rendszerek szabályozástechnikai megoldásai

Napjainkban a legtöbb autóba már számos vezetést segítő rendszer is be van építve, sokszor már kötelező jelleggel [22].

2.2.1. Vezetéstámogató rendszerek

Példa egy vezetést segítő rendszerre lehet a blokkolásgátló fékrendszer (Anti-Lock Braking System - ABS) [23] vagy a sávtartó asszisztencia (Lane Keeping Assist - LKA) [24]. Egy rendszer, amelyik ugyanúgy használható városban, mint azon kívül, nem más, mint a sebességtartó automata [25]. Ezt a funkciót bekapcsolva a járművezetőnek a kívánt sebesség elérése után nem kell a sebesség szabályozásával foglalkoznia, hiszen a beállított sebességet tartja a gépjármű. A CC-rendszer továbbfejlesztett verziója az adaptív sebességtartó automatika [26], ez annyiban különbözik a hagyományos sebességtartó rendszertől, hogy nem csupán tartja a beállított sebességet, hanem mindeközben biztonságos távolságot is tart az esetleges elöl haladó járműhöz képest. Az ACC magas sebesség esetén is egy kényelmes utazási élményt kínál, mivel nem szükséges a sofőrnek a forgalom kis változásaira reagálnia, a városban pedig a forgalmi dugókban való közlekedés is elviselhetőbbé válhat. Bizonyos biztonsági és kényelmi megkötései vannak az ACC-rendszernek. Például szigorúan előírt, hogy három másodperces követési távolságot kell betartania a járműnek [27], ezt a korlátozást figyelembe véve kell meghatároznia a rendszernek, hogy milyen követési sebességet vegyen fel. Emellett az utasok kényelmének érdekében kötelező egy megengedett maximális gyorsulás- és lassulásmennyiséget meghatározni [28].

2.2.2. LQ-alapú szabályozás

Az LQ-szabályozás a modern irányításelmélet egyik alapvető módszere, amely az optimális szabályozási problémák megoldására szolgál. A módszer célja, hogy egy lineáris rendszert egy előírt referenciaérték körül stabilizáljon úgy, hogy közben minimalizálja az állapotok és a vezérlési jelek kvadratikus súlyozott költségét. Az optimális szabályozás tehát az állapotvektor lineáris visszacsatolásán alapul, amely garantálja a rendszer stabilitását és a költségminimalizálást. Az így kapott szabályozási törvény minden kezdeti állapot esetén biztosítja, hogy a rendszer az egyensúlyi helyzet felé konvergáljon. Az LQ-szabályozó előnyei közé tartozik az egyszerűség, a stabilitás garantálása, valamint az, hogy a módszer jól alkalmazható lineáris rendszerek széles körére [29]. Az LQ-szabályozónak két formája jelenhet meg: offline és online LQ [30]. Az offline LQ-szabályozó jellemzője, hogy a visszacsatolási mátrix előbb kerül kiszámításra. Így a szabályozó számítási igénye csökken, ezzel szemben, ha változnak a rendszer paraméterei, kevésbé rugalmas az offline kialakítás. Ezzel szemben az online LQ valós időben számolja ki a visszacsatolási mátrixot. Ez nagy számítási igényű, de a rendszer rugalmasabb és robusztusabb.

2.3. Felhasznált szoftverek

Tesztelés során a virtuális környezet lehetővé teszi a komplex forgalmi szituációk és a szabályozási algoritmusok biztonságos, reprodukálható és költséghatékony vizsgálatát. A szimulációk az IPG CarMaker szoftverben futottak. Ez egy fejlett járműdinamikai szimulációs szoftver, amelyet elsősorban autóipari fejlesztésekhez és kutatásokhoz használnak. A program lehetővé teszi a teljes személygépjármű, az alrendszerek és a vezetési környezet valósághű modellezését. A CarMaker segítségével a mérnökök virtuális prototípusokat hozhatnak létre, így a fejlesztési folyamat korai szakaszában is tesztelhetők különböző koncepciók szimulációkban. A szoftver támogatja a járműdinamika, a hajtáslánc, a futómű és az ADAS-rendszerek részletes vizsgálatát. A CarMaker nyitott architektúrával rendelkezik, ezért könnyen kombinálható más mérnöki eszközökkel és környezetekkel. Ezek közül kiemelten fontos a Simulinkkel való összekapcsolhatósága, amely lehetővé teszi, hogy a felhasználók saját szabályozási algoritmusaikat közvetlenül a járműmodellben teszteljék [31]. A Simulinkben megírt vezérlők közvetlenül futtathatók a CarMaker szimulációs környezetében, így támogatja a hardver a hurokban (Hardware in-the-loop- HIL) és a szoftver a hurokban (Software-in-the-loop- SIL) teszteléseket is. Ennek köszönhetően a fejlesztők a valós vezérlőegységeket is bevonhatják a szimulációba [32].

2.4. Matematikai eszközök

Három paramétert vizsgálok (járműtípus, hajtáslánc és forgalmi szituáció), és minden kombinációhoz hat mérés áll rendelkezésre. Ez bőséges lehetőséget ad a statisztikai módszerek hatékony alkalmazására. Az adatok elemzésének alapvető lépése az átlag, a medián és a szórás meghatározása [33].

A dobozdiagram a leíró statisztika egyik alapvető grafikus eszköze, amely szemléletesen mutatja be egy adathalmaz eloszlását. Az ábra központi eleme a doboz, amely az első és a harmadik kvartilis közötti tartományt jelzi. A dobozban elhelyezett vonal a mediánt mutatja, amely a tipikus értéket reprezentálja. A doboz alatt és fölött a minimum- és maximumértékeket jelzik, míg az ezeken kívül eső pontok a kiugró adatok. A dobozdiagram előnye, hogy egyszerre ad információt a központi tendenciáról, a szóródásról és az esetleges szélsőségekről [34].

A sugárdiagram olyan grafikus ábrázolási forma, amely több változó értékeit egy közös középpontból kiinduló tengelyen jeleníti meg. Minden tengely egy-egy dimenziót képvisel, és az értékek összekötésével egy sokszög rajzolódik ki. Ez a sokszög vizuálisan mutatja meg, mennyire kiegyensúlyozott vagy éppen torz az adott profil. A sugárdiagram előnye, hogy egyszerre több szempontot lehet vele összehasonlítani. A poligon alakja és területe információt adhat az összesített teljesítményről: nagyobb, szabályosabb terület kiegyensúlyozott és magas szintű eredményt jelez, míg kisebb vagy torz alakzat a gyengébb vagy egyenetlen teljesítményt tükrözi. Emiatt a sugárdiagram különösen hasznos komplex rendszerek összehasonlításánál, ahol több dimenziót kell egyidejűleg figyelembe venni [35].

Egy poligon területének számítása a shoelace (Gauss-féle) képlettel azon az elven alapul, hogy a sokszög polárkoordinátáiból keresztszorzatok összegeként kapható meg a terület, majd ennek abszolút értékét felezzük. Tehát, ha adott n szögek száma, valamint a csúcsok (x, y) koordinátái, az (1) egyenlet szerint kiszámítható a terület, amely egy mértékegység nélküli mennyiség, csupán összehasonlíthatósági célból létrehozva:

$$T = \frac{1}{2}\left|\sum_{i=1}^{n}(x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)\right| , \qquad (1)$$

ahol: $x_{n+1} = x_1$ és $y_{n+1} = y_1$.

2.5. Módszertan

Dolgozatomban hat különböző típusú jármű fogyasztását vizsgáltam hat különböző hajtásláncc-cal, négyfajta forgalmi szituációban, ki- és bekapcsolt ACC-állapotban. A szimulációk paramétereit az 1., 2. és 3. táblázatok alapján választottam ki.

A járművek meghajtásához az adott szimuláció során szükséges üzemanyag és elektromos áramfogyasztás felméréséhez első sorban egységesíteni kell a fogyasztás mértékegységét. Az üzemanyag-fogyasztás mértékegysége l/100km, míg az elektromos energia fogyasztásának a mértékegysége kWh/100km. Ezek között felállítható egy egységes váltószám, amely az üzemanyag-fogyasztást is kWh/100km egységben fejezi ki. [36, 37]

1. táblázat. *A szimulációkban felhasznált járműveket ismetető táblázat.*

Járműtípus	Járműmodell
Hatchback	Honda Fit
Szedán	BMW 5
Furgon	Mercedes Vito
Pickup	Toyota Tacoma
SUV	Volvo XC90
Kombi	Renault Megane

2. táblázat. *A szimulációkban felhasznált hajtáslánccokat ismertető táblázat.*

Hajtáslánc típusa
ICE
PHEV
SHEV
ASHEV
PSHEV
EV

3. táblázat. *A szimulációkban felhasznált forgalmi szituációkat ismetető táblázat.*

Forgalmi szituáció
Követés sík autópályán
Követés sík országúton
Sebességcsökkentési zóna
Követés változó domborzatú autópályán

3. Megvalósítás

3.1. A Simulink ACC-rendszer

A CarMaker projekt létrehozásakor automatikusan létrejön a Simulink modell is. Ez teszi lehetővé a SIL-működést.

Egy adatbuszon érkeznek az előző szimulációs lépésből kiolvasott járműparaméterek, majd egy másik buszon lépnek ki a modellből a következő lépésbe. A kettő között hoztam létre az ACC-rendszert, amely kiolvassa a bejövő aktuális sebességet, valamint gáz- és fékpedálállásokat. Ezek mellett a rendszer bemeneteihez tartozik még a szimulált szenzor (az elöl haladó járműhöz viszonyított távolságot és relatív sebességet adja meg) és az előre beállított referenciasebesség.

Az első főkomponense az ACC-rendszernek az aktiváló egység. Ha a jármű sebessége jelentősen a beállított érték alatt van, nem érdemes bekapcsolni a funkciót, hiszen a kontroller nagyon lassan állna be a referenciasebességre.

A következő elem a referenciasebesség-előállító egység. Ennek meghatározása két lépésben történik. Először a rendszer megvizsgálja, hogy a szenzor érzékel-e elöl haladó járművet. Ha igen, a kívánt sebesség az elöl haladó jármű sebességének értékét veszi fel, ha ez nem haladja meg az előre beállított sebességet. Ha nincsen jármű a szenzor előtt, akkor a kívánt sebesség az előre beállított sebesség lesz. A kívánt sebesség és az aktuális sebesség különbségéből hibát számít, tehát a szükséges gyorsítás vagy lassítás nagyságát. Második lépésben megvizsgálja a rendszer a kiszámított sebességkülönbség értékét. Ha ez egy minimumon vagy maximumon kívül található, az aktuális sebesség adott szélső értékkel megnövelt vagy csökkentett sebessége értékét veszi fel a referenciasebesség.

Az LQ-kontroller biztosítja a referenciasebesség eléréséhez szükséges gyorsulás kiszámítását. A bemenete a megállapított sebesség különbsége, kimenete egy gyorsulásérték. Offline LQ-szabályozót alkalmaztam, mivel a szimulációk számítási és időigénye túl magas lett volna online kontroller esetén. Így heurisztikus előtesztelések során megállapítottam a kontroller súlyait.

Az utolsó komponens a pedálállás-aktuátor alrendszer. Fő funkciója, hogy a megkapott gyorsulás értéket két tartományra osztja. A pozitív tartományban a gázpedálállás kerül meghatározásra, a negatív tartomány pedig a fékezés mértékét határozza meg. Ezentúl az alrendszer további összetevői egy kapcsoló, amely kikapcsolt ACC esetén a bemenetben megkapott pedálállásokat továbbítja, valamint egy fogyasztásoptimalizálásra beiktatott alrendszerelem, amely egy másik jármű követése során, adott sebességkülönbségek esetén, nem avatkozik be semmilyen pedálállással, elkerülve a rövid idő alatt bekövetkező, nagymértékű gyorsításokat és lassításokat.

3.2. Fogyasztásértékek kiértékelése

Ki- és bekapcsolt ACC-vel, minden típus – hajtáslánc – szituáció kombinációban három-három szimulációt futtattam. Az azonos paraméterekkel rendelkező szimulációkból kiolvasott fogyasztásokat átlagoltam, vizsgálva azt is, hogy mennyi idő alatt ért végig a jármű a szimuláción. A szimulációs idők között sosem volt lényeges különbség, ezért a későbbiekben annak vizsgálatától eltekintettem. Az azonos paraméterekkel rendelkező szimulációk átlagfogyasztásaiból megállapítottam egy százalékos különbséget a ki- és bekapcsolt ACC-vel futott szimulációk között. Ennek a nagysága adja meg az általam meghatározott jósági tényező értéket (k_e), amely 1 és 9 között vesz fel értékeket a **4. táblázat** szerint. A jósági tényező segítségével egységesen összehasonlítható az ACC hatékonysága a különböző paraméterrel rendelkező szimulációk között.

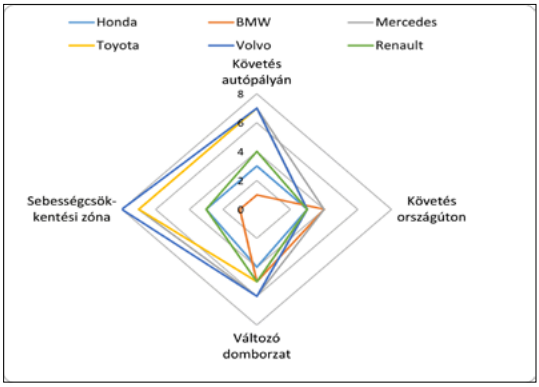
4. táblázat. *A k_e érték meghatározására használt segédtáblázat.*

Százalékos különbségtartománya	k_e	Százalékos különbségtartománya	k_e
(-∞, -14]	1	(2, 6]	6
(-14, -10]	2	(6, 10]	7
(-10, -6]	3	(10, 14]	8
(-6, -2]	4	(14, +∞)	9
(-2, 2]	5		

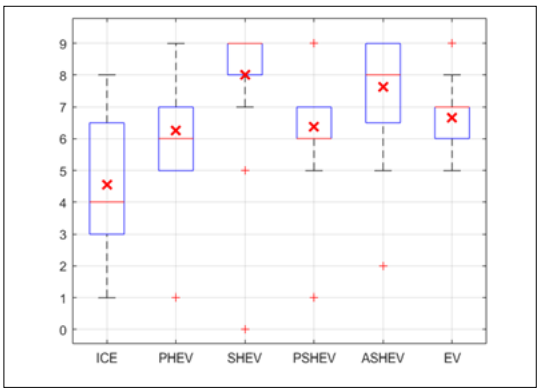
4. Eredmények

A hat különböző hajtáslánctípushoz (ICE – I, PHEV – P, SHEV – S, ASHEV – AS, PSHEV – PS, EV-E) sugárdiagram szerkeszthető. A diagramok területei megadják, hogy miként viszonyulnak egymáshoz a hajtáslánctípusok performanciái. Négy forgalmi szituációban, hat járműtípussal (Honda – H, BMW – B, Mercedes – M, Toyota – T, Volvo – V, Renault - R) vizsgáltam a hajtásláncok közötti különbséget, ezek eredményét az **5. táblázat** mutatja be. Egy tipikus sugárdiagram az **1. ábrán** látható, ez a belsőégésű motoros szimulációk összehasonlítását mutatja be.

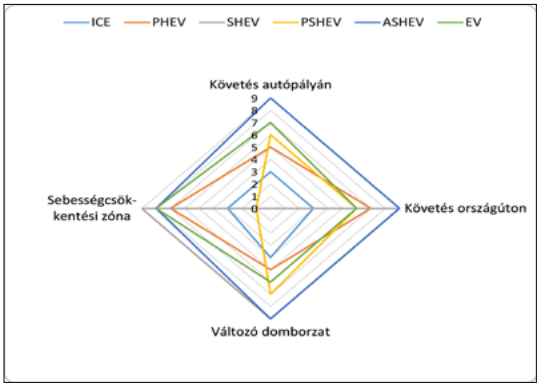
A különböző hajtásláncok teljesítménye a **2. ábrán** látható. A dobozdiagramban hét kiugró érték jelenik meg. Ezek közül az egyik esetben a jármű nem tudta teljesíteni a szimulációt, hiszen lemerült az akkumulátora. Egy hajtáslánctípus kivételével mindegyik 5-ös átlagos jóság fölött van, tehát kedvezőbb az energiafogyasztás, mint kikapcsolt ACC-vel.



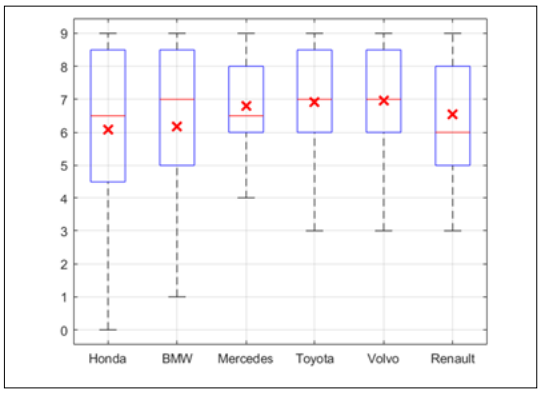
1. ábra. *Az ICE sugárdiagramja különböző járműtípusok és forgalmi szituációk alapján*



2. ábra. *A hajtásláncok alapján összehasonlított eredmények dobozdiagram segítségével*



3. ábra. *Hatchback sugárdiagramja különböző hajtáslánctípusok és forgalmi szituációk alapján*



4. ábra. *A járműtípusok alapján összehasonlított eredmények dobozdiagram segítségével*

5. táblázat. *A különböző hajtáslánctípusok alapján összehasonlított szimulációk sugárdiagramjainak területei*

	I	*P*	*S*	*AS*	*PS*	*E*
H	21	70	81	45	153	91
B	15	70	136	84	93	84
M	71	82	127	90	102	78
T	60	90	117	96	108	97
V	71	84	153	82	96	97
R	27	66	144	82	135	84

6. táblázat. *A különböző járműtípusok alapján összehasonlított szimulációk sugárdiagramjainak területei*

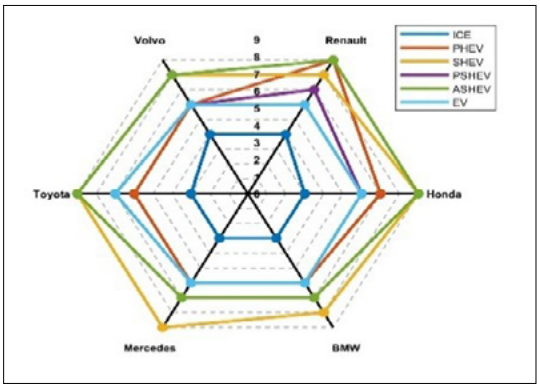
	H	*B*	*M*	*T*	*V*	*R*
I	21	15	71	60	71	27
P	70	70	82	90	94	66
S	81	136	127	117	153	144
AS	45	84	90	96	82	82
PS	153	93	102	108	96	135
E	91	84	78	97	97	84

Hasonlóan az előbbiekhez, a különböző járműtípusok összehasonlításában is alkalmazható a sugárdiagram terület-összehasonlítás módszere. A járműtípusok közötti különbséget négy forgalmi szituációban, hat hajtáslánctípussal (ICE – I, PHEV – P, SHEV – S, ASHEV – AS, PSHEV – PS, EV-E) végeztem, az eredményt a 6. táblázat szemlélteti. A hatchback-típusú jármű sugárdiagramja a **3. ábrán** látható.

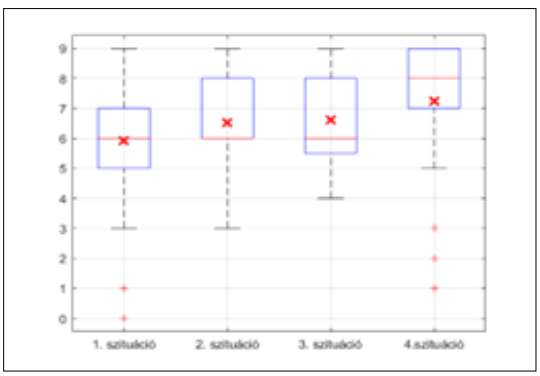
A különböző hajtásláncok teljesítménye a **4. ábrán** látható. Az összes autótípus átlagos jósága 6 és 7 között van, szóval átlagosan 2–10%-kal jobb az autók fogyasztása, ha be van kapcsolva az ACC-rendszer. Ez azt jelenti, hogy kiegyensúlyozottan működik az ACC-rendszer, járműtípustól függetlenül.

A forgalmi szituációösszehasonlításakor is a fentiek szerint jártam el. A négy szituációt (köve-

tés autópályán – 1., követés országúton – 2., követés változó domborzatú autópályán – 3., sebességcsökkentési zóna – 4.) hat járműtípus esetén, rendre hat hajtáslánctípussal (ICE – I, PHEV – P, SHEV – S, ASHEV – AS, PSHEV – PS, EV – E) vizsgáltam, aminek az eredményét a 7. táblázat ismerteti. A követés országúton elnevezésű forgalmi szituáció sugárdiagramját az 5. ábra mutatja be.



5. ábra. *Követés országúton nevű forgalmi szituáció sugárdiagramja különböző hajtáslánctípusok és járműtípusok alapján*



6. ábra. *A forgalmi szituációk alapján összehasonlított eredmények dobozdiagram segítségével.*

7. táblázat. *A különböző forgalmi szituációk alapján összehasonlított szimulációk sugárdiagramjainak területei.*

	1.	2.	3.	4.
I	64	29	69	64
P	64	115	91	139
S	90	187	180	210
AS	88	103	104	130
PS	148	173	141	143
E	99	98	110	159

A különböző forgalmi szituációkban elért teljesítmények a 6. ábrán láthatók. Az összes forgalmi szituáció esetén legalább 2%-os növekedést tapasztalható, tehát az esetek többségében a jóság 6. A 4. szituációban kiemelkedően magas a teljességi mutató, valamint az 1. szituációban a legalacsonyabb ez. A 2. és a 3. szituációban egymáshoz nagyon közeli a jellemző. Ebből a szórásból azt a következtést lehet levonni, hogy az ACC-rendszer nem működik kiegyensúlyozottan a forgalmi szituációkat tekintve.

5. Következtetések

Minden járműtípusra, hajtáslánctípusra és forgalmi szituációra minél nagyobb és minél egymáshoz közelibb sugárdiagramösszterület-értékek jelentik egy univerzálisan sikeres ACC-tervezést.

Mind a három vizsgált paraméter esetében kiszámítottam a maximális lehetséges területek összegét, majd megvizsgáltam, hogy az elért összterületek a három esetben hogyan viszonyulnak az adott maximumhoz, megadva egy végső teljesség (T_v) mutatót. Ennek eredménye a 8. táblázatban látható. Mindegyik teljességmutató 50% fölött van, ami energiahatékonyság-javulásként értelmezve kb. 4.6%-os növekedést jelent. Tehát kijelenthető, hogy a tervezett ACC-rendszer sikeres, de bőven van hely még a fejlődésnek.

8. táblázat. *Tv-értékek a három vizsgált paraméter esetén.*

Vizsgált paraméter	T_v (%)
Járműtípus	54.66
Hajtáslánctípus	54.67
Forgalmi szituáció	55.64

A továbbfejlesztés terén többféle módon lehetne elindulni. Egyrészt, az ACC tovább hangolható egy specifikus vagy több paraméterre. De az ACC-rendszer is további fejlesztéseknek vethető alá, mint például egy teljes longitudinális önvezető rendszerré alakítás (nagy gyorsítási és lassítási szituációk hatékony lereagálása, start/stop funkció stb.), vagy pedig laterális modellbe való implementálás (oldalirányú gyorsulás figyelembevétele). Az LQ-kontroller is tovább fejleszthető több bemeneti paraméter létrehozásával, például pedálállás-különbség, vagy gyorsuláskülönbség. Egy másik továbbfejlesztési irány a teljességi mutató komplexitásának növelése, például a károsanyagkibocsátás-vizsgálat vagy a hajtóanyag előállításának a költsége.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Rajamani R.: *Vehicle Dynamics and Control.* 2. kiadás. Springer Science & Business Media, New York, NY, USA, 2011.

[2] Guanetti J., Kim Y., Borrelli F.: *Control of Connected and Automated Vehicles: State of the Art and Future Challenges.* Annual Review of Control, Robotics and Autonomous Systems, 45. (2018) 18–40. https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2018.04.011

[3] Zhou Q., Du J., Zhao D.: *Integrated Energy Management and Control of Hybrid Electric Vehicles: A Review*. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 21/6. (2019) 2576–2589. https://doi.org/10.1109/TITS.2019.2917454

[4] Enstrat.hu: *Az elektromos és a hibrid autók értékesítési részaránya Magyarországon*. 2024. https://www.enstrat.hu/blog/az-elektromos-es-a-hibrid-autok-ertekesitesi-reszaranya-magyarorszagon (letöltve: 2025. 12. 15.).

[5] Ministry of Natural Resources Canada, AutoSmart - learn the facts: Fuel Consumption and CO_2. 2014. (letöltve: 2025. 12. 15.). https://natural-resources.canada.ca/sites/www.nrcan.gc.ca/files/oee/pdf/transportation/fuel-efficient-technologies/autosmart_factsheet_6_e.pdf

[6] BEUC – The European Consumer Organisation, A Turning Point for Consumers' Electric Mobility. 2025. (letöltve: 2025. 12. 15.). https://www.beuc.eu/sites/default/files/publications/BEUC-X-2025-078%20TCO%20Study_Automotive%20Dialogue_Summary.pdf

[7] European Commission, Fit for 55 Package. 2021. https://ec.europa.eu/clima/policies/fit-for-55_hu (letöltve: 2025. 12. 15.).

[8] van Basshuysen R., Schäfer F.: I*nternal Combustion Engine Handbook: Basics, Components, Systems and Perspectives*. SAE International, 2016.

[9] Spierling T., Lents C.: P*arallel Hybrid Propulsion System for a Regional Turboprop: Conceptual Design and Benefits Analysis*. In: 2019 AIAA/IEEE Electric Aircraft Technologies Symposium (EATS). 2019. 1–7. https://doi.org/10.2514/6.2019-4466

[10] Capata R.: *Urban and Extra-Urban Hybrid Vehicles: A Technological Review.* Energies, 11/11. (2018) 2924. https://doi.org/10.3390/en11112924

[11] Trapp C., Böhme M.: I*nnovative, Modular Serial Hybrid Concept for a Highly Efficient, Clean Automotive Powertrain*. In: 22. Internationales Stuttgarter Symposium. (Szerk.: Bargende M., Reuss H.-C., Wagner A.). Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2022. 124–141.

[12] Nissan Motor Co. Ltd.: e-Power System for Pure Electric Drive in Nissan Note Technical Review. Nissan Technical Review, 87/SP2. (2021) https://www.nissan-global.com/EN/TECHNICAL-REVIEW/pdf/topic/NISSAN_TECHINICAL_REVIEW_87_En_SP2.pdf (letöltve: 2025. 10. 01.).

[13] Benevieri A. és tsai.: *Series Architecture on Hybrid Electric Vehicles: A Review*. Energies, 14/22. (2020) 7672. https://doi.org/10.3390/en14227672

[14] Zulkifli S. A. és tsai.: *Impact of Motor Size & Efficiency on Acceleration, Fuel Consumption & Emissions of Split-Axle Through-the-Road Parallel Hybrid Electric Vehicle*. In: Automotive Engineering and Mobility Research. Trans Tech Publications Ltd, 663. 2014. 498–503. https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.663.498

[15] Liu J., Peng H.: *Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle*. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 16/6. (2008) 1242–1251.

[16] Xue H., Li L.: *Motion, Static Force, and Efficiency Analysis of Planetary Gear Transmission Based on Graph Theory.* Applied Sciences, 13/19. (2022) 10983. https://doi.org/10.3390/app131910983

[17] Bayindir K. Ç., Gözüküçük M. A., Teke A.: *A Comprehensive Overview of Hybrid Electric Vehicle: Powertrain Configurations, Powertrain Control Techniques and Electronic Control Units*. Energy Conversion and Management, 52/2. (2011) 1305–1313. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2010.09.028

[18] International Energy Agency, Global EV Outlook 2025. Paris, 2025. (letöltve: 2025. 12. 15.). https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025

[19] Gobbi M. és tsai.: *Traction Motors for Electric Vehicles: Maximization of Mechanical Efficiency – A Review.* Applied Energy, 357. (2024) 122496. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122496

[20] Requia W. J. és tsai.: *How Clean are Electric Vehicles? Evidence-Based Review of the Effects of Electric Mobility on Air Pollutants, Greenhouse Gas Emissions and Human Health.* Atmospheric Environment, 185. (2018) 64–77. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.04.040

[21] Chan C. C.: *The State of the Art of Electric, Hybrid, and Fuel Cell Vehicles.* Proceedings of the IEEE, 95/4. (2007) 704–718. https://doi.org/10.1109/JPROC.2007.892489

[22] European Commission – European Road Safety Charter, Mandatory Drivers Assistance Systems Expected to Help Save over 25,000 Lives by 2038. 2024. https://roadsafety-charter.ec.europa.eu/content/mandatory-drivers-assistance-systems-expected-help-save-over-25000-lives-2038 (letöltve: 2025. 10. 08.).

[23] Koylu H., Tural E.: *Experimental Study on Braking and Stability Performance during Low Speed Braking with ABS under Critical Road Conditions*. Engineering Science and Technology, an International Journal, 24/5. (2021) 1224–1238. https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.02.001

[24] Li B. és tsai.: *Lane-Keeping System Design Considering Driver's Nervousness via Scene Analysis*. IET Intelligent Transport Systems, 14/10. (2020) 1171–1182. https://doi.org/10.1049/iet-its.2019.0518

[25] Chaudhary P., Chandratre A., Bhatjire A.: *Study of Cruise Control System Used Vehicle*. International Journal of Advanced Research in Science and Engineering. (2016) (letöltve: 2025. 12. 15.) https://www.ijarse.com/images/fullpdf/1459175279_248N.pdf.

[26] MathWorks, Adaptive Cruise Control System Using Model Predictive Control. https://www.mathworks.com/help/mpc/ug/adaptive-cruise-control-using-model-predictive-controller.html (letöltve: 2025. 10. 08.).

[27] Travelers Risk Control, 3-Second Rule for Safe Following Distance. 2024. https://www.travelers.com/resources/auto/travel/3-second-rule-for-safe-following-distance (letöltve: 2025. 12. 15.).

[28] de Winkel K. N. és tsai.: *Standards for Passenger Comfort in Automated Vehicles: Acceleration and Jerk*. ScienceDirect, 2022.

[29] Lewis F. L., Vrabie D., Syrmos V. L.: *Optimal control: Wiley Interscience Series in Systems and Control*. 3. ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2012.

[30] Kirk D. E.: *Optimal Control Theory: an Introduction.* Dover Publications, Mineola, NY, 2004.

[31] Arcidiacono A., ADAS Virtual Validation: *ACC and AEB Case Study with IPG*. 2018. (letöltve: 2025. 12. 15.) https://webthesis.biblio.polito.it/8276/1/tesi.pdf

[32] IPG Automotive GmbH, CarMaker – Virtual Test Driving Software for Passenger Cars and Light-Duty Vehicles. 2025. https://www.ipg-automotive.com/en/products-solutions/software/carmaker/ (letöltve: 2025. 11. 05.).

[33] Massachusetts Institute of Technology, Introduction to Descriptive Statistics. 2015. https://web.mit.edu/~17.871/www/2015/02descriptive_stats_2015.pdf (letöltve: 2025. 11. 19.).

[34] McLeod S.: *Reading a Box and Whisker Plot*. 2025. https://www.simplypsychology.org/boxplots.html (letöltve: 2025. 11. 19.).

[35] FasterCapital: *Visualization Techniques: Radar Charts - Comparing Multivariate Data with Radar Charts*. 2025. (letöltve: 2025. 11. 19.).

[36] Puma-Benavides D. S. és tsai.: *Comparative Analysis of Energy Consumption between Electric Vehicles and Combustion Engine Vehicles in High-Altitude Urban Traffic*. 2024. (letöltve: 2025. 12. 15.). https://www.mdpi.com/2032-6653/15/8/355

[37] Muñoz P. és tsai.: *Comparative Analysis of Cost, Emissions and Fuel Consumption of Diesel, Natural Gas, Electric and Hydrogen Urban Buses*. Energy Conversion and Management, 257. (2022) 115412. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115412

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 47–52.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.05
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.05

NÉGY SZABADSÁGFOKÚ PÁRHUZAMOS ROBOT GEOMETRIAI ELEMZÉSE

GEOMETRICAL ANALYSIS OF A 4-DOF PARALLEL ROBOT

Kádár Alex-Jenő,[1] Forgó Zoltán[2]

[1] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, kadar.alex.jeno@student.ms.sapientia.ro*

[2] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, zforgo@ms.sapientia.ro*

Abstract

The thesis presents the development of the geometric and kinematic model of a 4-DOF parallel robot. The mechanism consists of two symmetric closed kinematic chains and provides three translational and one rotational degree of freedom through four actuated joints. The model was established using the Denavit–Hartenberg parametrization method, enabling the determination of the closed-form formulation of the forward kinematics. The inverse kinematic model was derived geometrically by exploiting the structural symmetry of the mechanism. The mathematical model was implemented in MATLAB, including a graphical user interface and a simple trajectory-tracking function. The developed system provides a basis for further workspace and dynamic analyses.

Keywords: *parallel robot, kinematic modelling, Denavit–Hartenberg parameterization, inverse kinematics, MATLAB application.*

Összefoglalás

A dolgozat egy négy szabadságfokú párhuzamos robot geometriai és kinematikai modelljének kidolgozását mutatja be. A két szimmetrikus, zárt kinematikai láncból felépülő mechanizmus négy aktív csuklóval biztosít három transzlációs és egy rotációs szabadságfokot. A modell felállítása a Denavit–Hartenberg-paraméterezés alkalmazásával történt, amely lehetővé tette a direkt kinematika zárt alakú felírását. Az inverz kinematikai modell geometriai úton, a szerkezeti szimmetria kihasználásával került megoldásra. A matematikai modell implementálása MATLAB-környezetben valósult meg, grafikus felhasználói felülettel és egyszerű pályakövetési funkcióval. A kidolgozott rendszer alapot biztosít további munkatér- és dinamikai vizsgálatokhoz.

Kulcsszavak: *párhuzamos robot, kinematikai modellezés, Denavit–Hartenberg-paraméterezés, inverz kinematika, MATLAB-applikáció.*

1. Bevezetés

A párhuzamos kinematikájú robotok az elmúlt évtizedekben a robotika kiemelt kutatási területévé váltak nagy merevségük, kedvező teherbírás/tömeg arányuk és nagy pozicionálási pontosságuk miatt [1]. A soros robotokkal szemben – amelyek ipari alkalmazásban jobban elterjedtek [2] – a párhuzamos szerkezetek esetében a munkapont több, egymással párhuzamosan kapcsolt kinematikai láncon keresztül csatlakozik az alaphoz. Ez a struktúra csökkenti a mozgó tömeget és javítja a dinamikai tulajdonságokat [3].

A párhuzamos manipulátorok egyik legismertebb példája a Stewart-platform, amelyet Stewart írt le repülésszimulációs alkalmazásokra [4]. A teljes hat szabadságfokú (6-DOF) rendszerekkel szemben számos ipari és kutatási alkalmazásban elegendő csökkentett szabadságfokú konfiguráció alkalmazása. Ezt igazolja a Nemzetközi Robotikai Szövetség, a Balluff vállalat hivatkozása alapján [2], amely szerint az iparban a második legelter-

jedtebb robottípus a négy szabadságfokú SCARA. Négy szabadságfokú (4-DOF) mechanizmusok esetén tipikusan három transzlláció és egy rotáció valósul meg. Az ilyen rendszerek kedvező kompromisszumot kínálnak szerkezeti egyszerűség és funkcionalitás között [3].

A párhuzamos robotok tervezésének alapja a pontos geometriai és kinematikai modell. A kinematikai analízis során megkülönböztetjük a direkt (előre) és az inverz kinematikai modellezést. Párhuzamos manipulátorok esetében az inverz kinematika gyakran zárt alakban meghatározható, míg a direkt kinematika rendszerint nemlineáris egyenletrendszer megoldását igényli [1].

A kinematikai láncok szisztematikus geometriai leírására széles körben alkalmazott módszer a Denavit–Hartenberg-féle paraméterezés [5]. A jelen munka során a vizsgált négy szabadságfokú párhuzamos robot Denavit–Hartenberg-paraméterei kerültek meghatározásra, majd a geometriai összefüggések alapján zárt alakú inverz kinematikai egyenletek kerültek levezetésre.

A modell implementálása MATLAB-környezetben történt, amely hatékony eszközt biztosít mátrixműveletek, szimbolikus számítások és térbeli vizualizáció elvégzésére [6]. A fejlesztett szimulációs alkalmazás lehetővé teszi a robot konfigurációjának térbeli megjelenítését, mind a direkt, mind az indirekt kinematikai modell alkalmazásával.

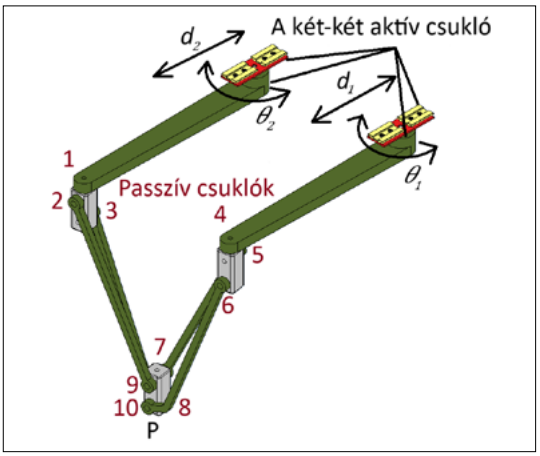
A dolgozat célja a vizsgált négy szabadságfokú párhuzamos robot geometriai modelljének meghatározása és szimulálása MATLAB-alapú applikáció létrehozásával.

2. Javasolt struktúra

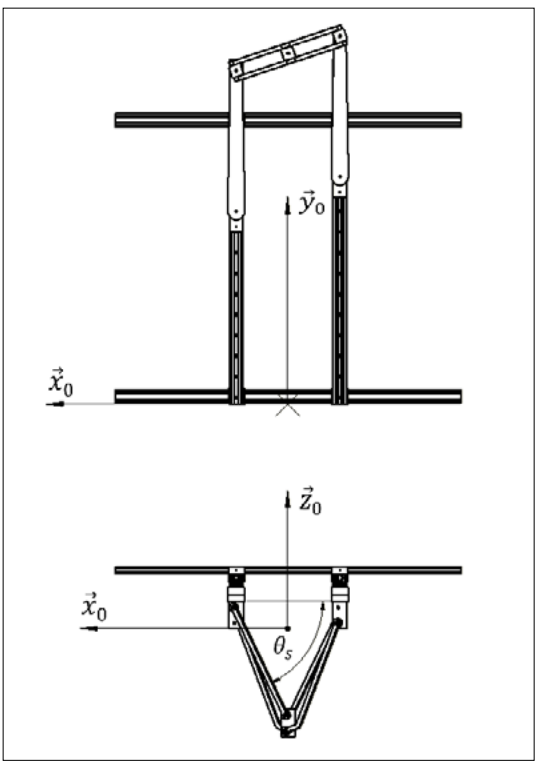
A robot topológiája négy szabadságfokú, ennek megfelelően négy aktív csuklóval rendelkezik: két transzlációs és két rotációs csuklóval. A mechanizmus két, egymáshoz kapcsolódó kinematikai láncból épül fel, amelyek együttesen tíz – lánconként öt – passzív csuklót tartalmaznak. A rendszer szerkezeti felépítését az 1. ábra szemlélteti.

A kinematikai modell meghatározásának első lépése a világ-koordinátarendszer definiálása, amely a teljes mechanikai rendszer rögzített, vonatkoztatási rendszerét adja. Ebben a globális referenciarendszerben rögzítjük a robot bázisának helyzetét és orientációját, valamint ehhez viszonyítva definiáljuk az egyes csuklókhoz rendelt lokális koordinátarendszereket [3]. A robotmechanizmusok ilyen módon történő leírása a merevtest-kinematika általánosan elfogadott formalizmusán alapul [7].

A világ-koordinátarendszert a 2. ábrán szemléltetett módon határoztuk meg. Az $\vec{y}_0$ tengely irányát a lineáris (transzlációs) csuklók mozgásirányával megegyezően választottuk meg, míg a $\vec{z}_0$ tengely függőlegesen felfelé mutat. Az $\vec{x}_0$ tengelyt úgy definiáltuk, hogy az tegyen eleget a jobb sodrású koordinátarendszer követelményeinek [7].



1. ábra. *Robotkar-topológia*



2. ábra. *A világ-koordinátarendszer helyzete és orientációja*

A koordinátarendszer origójának elhelyezése a geometriai szimmetriát és a számítási egyszerűséget figyelembe véve történt: az y tengely a két lineáris vezetősín középvonalába került, míg az origó z koordinátája a robot munkapontja által elméletileg elérhető legmagasabb pontjához igazodik. Ez a választás megkönnyíti a kinematikai egyenletek felírását és a munkatér értelmezését [3].

2.1. Direkt kinematika

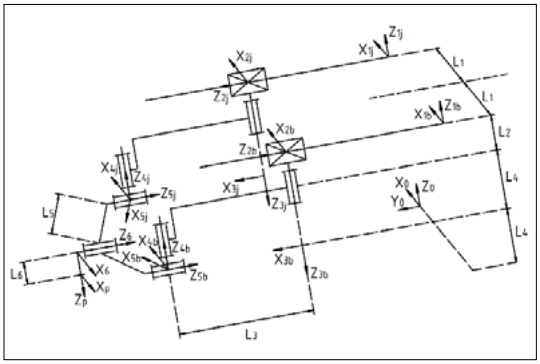
A direkt kinematika meghatározására a szakirodalomban legelterjedtebben alkalmazott módszer a Denavit–Hartenberg-féle parametrizáció, amely szisztematikus és strukturált eljárást biztosít soros kinematikai láncok modellezésére [5]. A módszert Jacques Denavit és Richard S. Hartenberg vezették be, és azóta a robotikai kinematika alapvető eszközévé vált.

A modell felírásának első lépéseként minden csuklóhoz lokális koordinátarendszert rendelünk a Denavit–Hartenberg-szabályoknak megfelelően [5]. A szerkezet topológiai elemzése alapján megfigyelhető, hogy egyes passzív csuklópárok – amelyek között relatív szabadságfok nem jelenik meg – a modellezés szempontjából egyetlen ekvivalens csuklóként kezelhetők. Ez az összevonás csökkenti a modell paramétereinek számát és egyszerűsíti az analitikus leírást anélkül, hogy a kinematikai viselkedést befolyásolná [3].

A két kinematikai láncot a továbbiakban j, illetve b index különbözteti meg attól függően, hogy a világ-koordinátarendszer $\vec{y}_0$ tengelyének pozitív irányába tekintve a jobb vagy bal oldalon helyezkednek el. Az ilyen jelölési konvenciók alkalmazása elősegíti a szimmetrikus mechanizmusok tárgyalását.

A szomszédos csuklókhoz rendelt koordinátarendszerek közötti térbeli kapcsolat homogén transzformációs mátrixokkal írható le, amelyek egységesen tartalmazzák a merevtest-eltolás és -elforgatás komponenseit [7]. A teljes direkt kinematikai leképezést a résztranszformációk egymás utáni szorzata határozza meg. A koordinátarendszerek konkrét pozícióját és orientációját a 3. ábra szemlélteti, a transzlációs Denavit–Hartenberg-paraméterekkel együtt.

Mivel a világ-koordinátarendszer origója és az első – lineáris – csuklók tengelyei nem azonos magasságban helyezkednek el, a Denavit–Hartenberg-paraméterek konzisztens meghatározásához egy segéd-koordinátarendszer bevezetése szükséges [5, 7]. Ez a köztes rendszer biztosítja, hogy a parametrizáció megfeleljen a módszer formai követelményeinek, és a transzformációs lánc egységes alakban írható fel.



3. ábra. *A robot Denavit–Hartenberg-koordinátáinak ábrázolása*

A bal oldali kinematikai lánc Denavit–Hartenberg-paramétereit az 1. táblázat, míg a jobb oldali lánc paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. *A bal oldali kinematikai lánc Denavit–Hartenberg-paraméterei*

DH	a_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1.	0	$-L_1$	0	L_2+2L_4
2.	$-\pi/2$	0	0	d_1
3.	$-\pi/2$	0	$-\theta_1$	L_2+L_4
4.	π	L_3	$-\theta_1+\theta_p$	0
5.	$\pi/2$	0	$-\theta_s$	0
6.	0	L_5	$\theta_s+\pi$	0
TCP	$-\pi/2$	0	0	L_6

2. táblázat. *A jobb oldali kinematikai lánc Denavit–Hartenberg-paraméterei*

DH	a_{i-1}	a_{i-1}	θ_i	d_i
1.	0	L_1	0	L_2+2L_4
2.	$-\pi/2$	0	0	d_2
3.	$-\pi/2$	0	$-\theta_2$	L_2+L_4
4.	π	L_3	$-\theta_2+\theta_p$	0
5.	$\pi/2$	0	$\theta_s+\pi$	0
6.	0	L_5	$-\theta_s$	0
TCP	$-\pi/2$	0	0	L_6

A táblázatok az i-edik koordinátarendszerhez rendelt négy klasszikus Denavit–Hartenberg-paramétert adják meg [5]:

- α_{i-1} a z_{i-1} és z_i tengelyek közötti szög az x_{i-1} tengely körül mérve;
- a_{i-1} az $\{i-1\}$ és $\{i\}$ rendszerek origói közötti távolság az x_{i-1} tengely mentén;

– θ_i az x_{i-1} és x_i tengelyek közötti szög a z_i tengely körül;
– míg d_i az x_{i-1} és x_i tengelyek közötti eltolás a z_i tengely irányában.

E paraméterek egyértelműen meghatározzák a szomszédos koordinátarendszerek közötti homogén transzformációs mátrixokat, és ezáltal a teljes kinematikai lánc direkt leképezését [3, 7].

A táblázatokban szereplő θ_1 és θ_2 az aktív, vezérelt rotációs csuklók szögeit, míg a d_1 és d_2 az aktív transzlációs csuklók elmozdulásaik nagyságát jelölik. A koordinátarendszerek meghatározásához a passzív csuklók elfordulási szögeit is bevezettük θ_P és θ_s jelöléssel. A θ_P paraméter egyben a munkapont z_0 tengely körüli elfordulásával is ekvivalens, így a rendszer negyedik szabadságfokát reprezentálja.

A passzív csuklószögek nem független változók, hanem a zárt kinematikai lánc geometriai kényszereiből adódóan az aktív csuklókoordináták függvényeként határozhatók meg [1, 4]. Értéküket az (1)–(4) egyenletekben megadott geometriai összefüggések alapján számítottuk, amelyek a lánc síkbeli vetületében felírt trigonometrikus relációkból vezethetők le.

$$\theta_p = arctan\left(\frac{D_{jb_4}^{y_0}}{D_{jb_4}^{x_0}}\right) \tag{1}$$

$$\theta_s = arctan\left(\frac{\sqrt{4L_5^2 - D_{jb_4}^{x_0} - D_{jb_4}^{y_0}}}{\sqrt{D_{jb_4}^{x_0} + D_{jb_4}^{y_0}}}\right) \tag{2}$$

$$D_{jb_4}^{x_0} = 2L_1 + L_3(cos(\theta_2) - cos(\theta_1)) \tag{3}$$

$$D_{jb_4}^{y_0} = d_2 - d_1 + L_3(sin(\theta_2) - sin(\theta_1)) \tag{4}$$

A fenti paraméterek és kényszeregyenletek együttesen lehetővé teszik a rendszer direkt kinematikai leképezésének teljes meghatározását a homogén transzformációk szorzataként. A szorzatok eredményét az (5)–(7) egyenletek szemléltetik, az $\vec{r}$ meghatározza a munkapont pozícióját, míg az R mátrix az orientációját a világ-koordinátarendszerben.

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} L_1 + L_3\ cos(\theta_2) - L_5\, cos(\theta_p)\, cos(\theta_s) \\ d_2 + L_3\ sin(\theta_2) - L_5\, sin(\theta_p)\, cos(\theta_s) \\ L_4 - L_6 - L_5\, sin(\theta_s) \end{pmatrix} \tag{5}$$

$$R = \begin{pmatrix} cos(\theta_p) & -sin(\theta_p) & 0 \\ -sin(\theta_p) & cos(\theta_p) & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \tag{6}$$

$$Th_0^p = \begin{pmatrix} R_{3x3} & \vec{r}_{3x1} \\ \vec{0}_{1x3} & 1 \end{pmatrix} \tag{7}$$

2.2. Inverz kinematika

Az inverz geometriai modell a direkt leképezés inverzének meghatározására irányul, azaz adott a munkapont pozíciója és orientációja, melyekből meg ki kell számítani a szükséges csuklóváltozókat. Az inverz modell általánosságban nemlineáris egyenletrendszert jelent, amely több megoldást is eredményezhet, illetve bizonyos konfigurációkban szingularitások léphetnek fel. A modellt a szerkezet topológiai sajátosságait figyelembe véve határoztuk meg.

Az inverz kinematikai modell megalkotásához kiszámítottuk a 3. ábrán szemléltetett koordinátarendszerek pozícióját a világ-koordinátarendszerben. Az első rendszer a 6., mely csak egy z tengely menti eltolással rendelkezik a P, vagyis a munkapont rendszeréhez képest. A bal és jobb oldali 5. koordinátarendszerek z tengely szerinti magassága ismert (L_4), míg az x és y koordinátájuk meghatározásához ki kellett számolnunk a jobb, illetve bal oldali 5-ös rendszerek távolságának a felét. Tudva, hogy a munkapont mindig egy vonalban lesz ezzel a felezőponttal, így ismerjük az egyik befogót ($z_5 - z_6$) és az átfogót (L_5) is. A 4-es rendszerek origója egybeesik az 5-ösök origójával, így azokat nem szükséges kiszámolni.

$$D_{5P}^{x_4} = \sqrt{{L_5}^2 - \left(L_6 - L_4 + z_p\right)^2} \tag{8}$$

$$Ob_5 = \begin{pmatrix} x_p + cos(\theta_p + \pi)\ D_{5P}^{x_4} \\ y_p + sin(\theta_p + \pi)\ D_{5P}^{x_4} \\ L_4 \end{pmatrix} \tag{9}$$

$$Oj_5 = \begin{pmatrix} x_p + cos(\theta_p)\ D_{5P}^{x_4} \\ y_p + sin(\theta_p)\ D_{5P}^{x_4} \\ L_4 \end{pmatrix} \tag{10}$$

A 3-as koordinátarendszerek kiszámításához meghatározunk geometriai egyenletekkel egy-egy kört úgy, hogy az 5-ös rendszerek legyenek a körök középpontjai, és L_3 nagyságú legyen a sugaruk. Ezeket a köröket metszik a lineáris csuklók által meghatározott egyenesek ($x = \pm L_1$), és ezek a metszéspontok határozzák meg a 3-as koordinátarendszerek origójának helyzetét. Az origó pozícióját a világ-koordinátarendszerben a (11)–(14) egyenletek szemléltetik.

$$d_1 = y_{b_3} = y_{b_5} - \sqrt{L_3^2 - \left(-L_1 - x_{b_5}\right)^2} \tag{11}$$

$$d_2 = y_{j_3} = y_{j_5} - \sqrt{L_3^2 - \left(L_1 - x_{j_5}\right)^2} \tag{12}$$

$$Ob_3 = \begin{pmatrix} -L_1 \\ y_{b_3} \\ L_4 \end{pmatrix} \tag{13}$$

$$Oj_3 = \begin{pmatrix} L_1 \\ y_{j_3} \\ L_4 \end{pmatrix} \tag{14}$$

A csuklóparaméterek meghatározására elégséges a bal és jobb oldali 5., illetve 3. rendszer pozíciója, melyek y koordinátája megfelel a d_1, illetve a d_2 lineáris csuklóparamétereknek. A θ_1 és θ_2 rotációs csuklóparaméterek kiszámítását a (15) és (16) egyenlet szemlélteti.

$$\theta_1 = arctan\left(\frac{y_{b_5} - y_{b_3}}{x_{b_5} - x_{b_3}}\right) \tag{15}$$

$$\theta_2 = arctan\left(\frac{y_{j_5} - y_{j_3}}{x_{j_5} - x_{j_3}}\right) \tag{16}$$

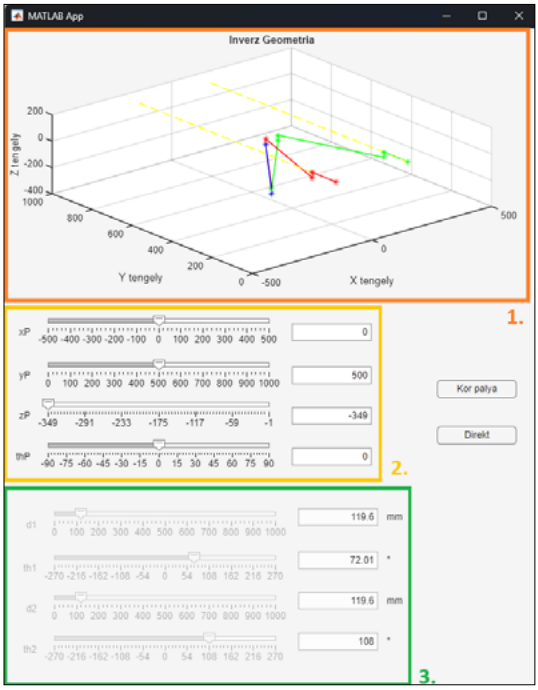
A további koordinátarendszerek pozíciójának meghatározása egyszerű transzlációkkal valósítható meg. Ezek kiszámítása csak a modell grafikus ábrázolása miatt szükséges.

3. Matlab-implementáció

A modellek felírásához és a szükséges matematikai műveletek elvégzéséhez a Matlab programozási környezetet alkalmaztuk, amely mátrixalapú számítások hatékony végrehajtására alkalmas **[6]**. A homogén transzformációs mátrixok kezelése, valamint a nemlineáris egyenletek szimbolikus feldolgozása jelentősen megkönnyítette a kinematikai összefüggések levezetését. Az összefüggések eredményét a beépített 3 dimenziós grafikus megjelenítés (plot3) ábrázolja. A modelleket és azok ábrázolását egy Matlab-applikációban implementáltuk, melynek grafikus kezelői felülete (GUI) a **4. ábrán** látható.

Az 1-es számmal jelölt panel a kinematikai modellek grafikus megjelenítését tartalmazza. A 2-es és 3-as jelölésű kezelőfelületek rendre az inverz, illetve a direkt modell bemeneti paramétereinek beállítására szolgálnak. A **4. ábrán** a Direkt felirattal ellátott nyomógomb lehetőséget biztosít a direkt és inverz kinematikai mód közötti váltásra; üzemmódváltás esetén a gomb felirata ennek megfelelően dinamikusan módosul, jelen esetben Inverzre.

A felület kiegészült egy kezdetleges pályakövető algoritmussal is, amely a Körpálya gomb megnyomásával indítható. A funkció működése során a rendszer egy körpálya pontjait generálja, majd azokat egymást követően az inverz kinematikai modell segítségével kiszámított csuklóváltozókkal követi le. A robot mozgását az 1-es panelen grafikus formában jeleníti meg.



4. ábra. *Az applikáció kezelői felülete*

Következtetések

A dolgozat célja egy négy szabadságfokú párhuzamos robot geometriai és kinematikai modelljének meghatározása, valamint annak MATLAB-alapú szimulációs megvalósítása volt. A vizsgált mechanizmus két szimmetrikus kinematikai láncból áll, négy aktív csuklóval, amelyek a munkapont háromtranszlációs és egyrotációs szabadságfokát biztosítják.

A modellalkotás során a világ-koordinátarendszer megfelelő megválasztásával és a Denavit–Hartenberg-paraméterezés alkalmazásával meghatároztuk a direkt kinematikai leképezést. Az inverz kinematikai modellt geometriai úton vezettük le, amely lehetővé teszi az aktív csuklóparaméterek analitikus meghatározását az előírt végponti helyzet és orientáció alapján.

A matematikai modellre építve grafikus felhasználói felülettel ellátott alkalmazás készült, amely alkalmas a direkt és inverz kinematika vizsgálatára, valamint egyszerű pályakövetési feladatok szimulációjára. A kidolgozott modell megfelelő alapot biztosít további munkatér-, szingularitási és dinamikai vizsgálatokhoz.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Merlet J.-P.: *Structural Synthesis and Architectures*. In: *Parallel Robots*. (Szerk.: Merlet J.-P.). Springer Netherlands, Dordrecht, 2006. 19–94.

[2] The 5 Most Common Types of Fixed Industrial Robots | Balluff. (letöltve: 2025. október 18). https://www.balluff.com/en-us/blog/the-5-most-common-types-of-fixed-industrial-robots

[3] Siciliano B., Sciavicco L., Villani L., Oriolo G.: *Visual Servoing*. In: *Robotics: Modelling, Planning and Control*. (Szerk.: Siciliano, B., Sciavicco, L., Villani, L., Oriolo, G.). Springer, London, 2009. 407–467.

[4] Stewart D.: *A Platform with Six Degrees of Freedom*. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 180/1. (1965) 371–386. https://doi.org/10.1243/PIME_PROC_1965_180_029_02

[5] Denavit J., Hartenberg R. S.: *A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanisms Based on Matrices*. Journal of Applied Mechanics, 22/2. (1955) 215–221. https://doi.org/10.1115/1.4011045

[6] Matlab 7. Getting Started Guide. (letöltve: 2025. január 18). https://people.math.wisc.edu/~sgurevich/Int-to-Matlab.pdf

[7] Murray, R. M., Li, Z., Sastry, S. S.: *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*. CRC press, 2017.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 53–63.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.06
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.06

LIGHTS OUT – LOGIKAI JÁTÉK

LIGHTS OUT – LOGIC GAME

Kakucs András,[1] Harangus Katalin,[2] Fogarasi Zoltán[3]

[1] *Sapientia-EMTE, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, kakucs2@ms.sapientia.ro*

[2] *Sapientia-EMTE, Tanárképző Intézet, Marosvásárhely, Románia, katalin@ms.sapientia.ro*

[3] *Sapientia-EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Mechatronika IV, fogarasi.zoltan@student.ms.sapientia.ro*

Abstract

Lights Out is a logic puzzle game that was distributed in various versions by a company called Tiger Electronics between 1995 and 1998. Later, the production was taken over by a larger company, Hasbro, and the last version was released about two decades ago. The mathematical foundations of the game have been studied by several researchers. We aimed to extend the game by exploring the possibilities of manual solving, and to generalize and expand its mathematical model. To this end, we first developed a computer-based version, which made it easier to implement and test the mathematical background of the game in practice. Our future goal is to build a physical prototype constructed from 3D-printed components and controlled by a microcontroller, in order to test the gameplay experience of this new version.

Keywords: *Lights Out, logic game, system of linear equations, finite field GF(n).*

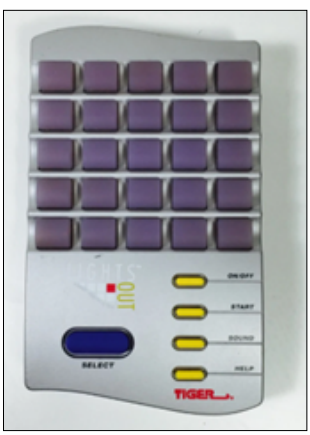
Összefoglalás

A Lights Out egy logikai játék, amelyet különböző változatokban a Tiger Electronics nevű cég forgalmazott 1995 és 1998 között. Később a gyártást egy nagyobb cég, a Hasbro vette át, kb. két évtizede adták ki az utolsó változatot. A játék matematikai alapjaival több kutató is foglalkozott. Úgy gondoltuk, hogy a játékot kibővítve megvizsgáljuk a kézi megoldás lehetőségeit, a matematikai modelljét pedig kibővítjük és általánossá tesszük. Ennek érdekében először egy számítógépes változatot hoztunk létre, amelyen könnyebb volt a játék matematikai hátterét kipróbálni és tesztelni. Későbbi célunk egy 3D nyomtatott alkatrészekből felépített, mikrokontroller-alapú fizikai prototípus elkészítése, amellyel az új változat játékélményét szeretnénk kipróbálni.

Kulcsszavak: *Lights Out, logikai játék, lineáris egyenletrendszer, GF(n) véges test.*

1. Bevezető

A Lights Out (fényeket ki!) egy elektronikus logikai játék, amelyet ezen a néven elsőként a Tiger Electronics nevű amerikai cég adott ki, 1995-ben (**1. ábra**). Ez egy 5×5-ös táblán, négyzetrács formájában elhelyezett nyomógombokból áll, amelyek vagy világítanak, vagy nem. Ha egy gombot megnyomunk, akkor a fényének állapota megváltozik: ha addig világított, akkor kialszik, és fordítva. Azonban nemcsak a megnyomott gomb, hanem a felette, az alatta, és annak a két oldalán, tehát a keresztalakzatban elhelyezkedő szomszédos gombok állapota is megváltozik. A játék kezdetén néhány fény világít, a cél pedig az összes világító gomb kioltása.



1. ábra. *Az 1995-ben kiadott Lights Out*

A későbbi kiadásokban a játékot tovább fejlesztették. Így jelent meg a 4×4-es Mini Lights Out, ahol bevezették a végtelenített (perem nélküli) kiosztást, ahol a sor vége a sor elején, az oszlop alja meg az oszlop tetején folytatódik. Ezt úgy is lehet elképzelni, hogy a játék egy gyűrű (tórusz) felületén folyik, ahol mindkét irányban körbe lehet menni.

A Lights Out 2000-en, amit már a Hasbro adott ki, játszható egy olyan változat is, ahol a fények háromállapotúak: a világító gombok zöldek, a leoltott és a zölden világító között pedig van egy pirosan világító köztes állapot is.

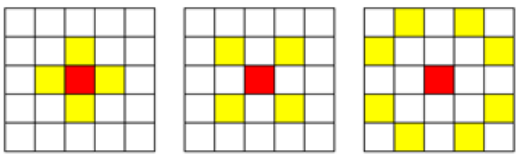
Később megjelent egy 6×6-os verzió is, a Lights Out Deluxe, amelyen a gombnyomások X-alakzatú hatását is bevezették: a megnyomott gomb körül az átlósan elhelyezkedő négy szomszédjának változik az állapota.

A játék nem előzmények nélküli: Dávid Gábor, Mérő László és Szatmári Ferenc kb. a bűvös kocka megjelenése idején fejlesztett ki egy, az 1995-ös Lights Outtal lényegében azonos játékot, amelyet 1982-ben szabadalmaztattak, egy évvel később pedig XL 25 néven a Vulcan Electronics nevű cég kezdett gyártani Hong-Kongban (**2. ábra**; a kép az internetről származik). Az akkori műszaki körülmények miatt a magyarországi gyártása nem volt lehetséges, de ott is forgalmazták. Ez a játék nemcsak a hatások kereszt formájú elrendezésével működött, hanem volt egy lólépésszerű változat is.

A **3. ábrá**n a piros cella a megnyomott gombot, a sárgák pedig az érintett szomszédokat mutatják, az említett három elrendezésben .

A Lights Outnak van egy még korábbi előzménye is, amely az első mikrokontrolleres játékok egyike volt: a Parker Brothers nevű amerikai cég által 1978-ban kiadott Merlin, amelyen egyebek között egy Lights Out-szerű játékot is lehetett játszani egy 3×3-as táblán. Ez a fénykép is (**4. ábra**) az internetről származik.

2. ábra. *Az 1982-ben kiadott XL 25*



3. ábra. *A gombnyomással átváltott fények*

4. ábra. *Az 1978-ban kiadott Merlin*

2. A tanulmány célja

A játék működési elvének tanulmányozása során született meg a játszható változatok kiterjesztésének az ötlete. A gombnyomások által befolyásolt fények mintázatát, az állapotok számát és a tábla méreteit elvileg tetszőlegesen lehet változtatni, így a verziókat végtelen nagy számban lehetne előállítani. Az egyik kitűzött célunk az volt, hogy a játékot kibővítve megvizsgáljuk a kézi megoldás lehetőségeit.

A játék matematikai alapjaival több kutató is foglalkozott. Ezek tanulmányozása után úgy gondoltuk, hogy a játék gépi megoldásának matematikai modelljét is kibővítjük és általánosabbá tesszük.

Mivel technikailag nehéz lenne nagyobb kiosztásokat kézben tartható játékként megvalósítani, a kézi megoldás esetében a legnagyobb tanulmányozott méret a 6×6-os maradt, azonban a fények mintázatának új változatait vezettük be. Mi több, a játékos egy 3×3-as mezőben tetszőleges mintázatot hozhat létre, amellyel majd a játék végbemegy.

3. A megvalósítás

A játék szoftverének a fejlesztése és tesztelése egy PC-n egyszerűbb, mintha azt rögtön egy mikrokontrolleren valósítanánk meg: így keletkezett az a program, amelynek a felhasználói felületét az 5. ábrán láthatjuk. A megírt program a kereskedelemben kapható játékok funkcióin felül lehetővé teszi egy adott állapot rögzítését, ahova egy gombnyomással vissza lehet térni, amikor onnan újra szeretnénk kezdeni a játékot. Nagyobb szabadságot nyújt a játszani kívánt kiosztások beállításában, alkalmas az optimális (a legrövidebb) megoldások kiszámítására és azok megjelenítésére, valamint a megoldható konfigurációk megtalálására is. Ez utóbbi a megoldási eljárások kidolgozásában volt fontos segédeszköz.

A játék fizikai megvalósítása még folyamatban van. Az egy ESP32 mikrokontrollerre fog alapozni. A szoftveres verzió felhasználó felületén megjelenő kezelő elemeket nyomógombok fogják helyettesíteni. A világító gombok 3D-nyomtatással készülnek, bennük ws2812b RGB LED-ek fognak világítani. A játék beállításai egy kis méretű LCD-képernyőn fognak megjelenni.

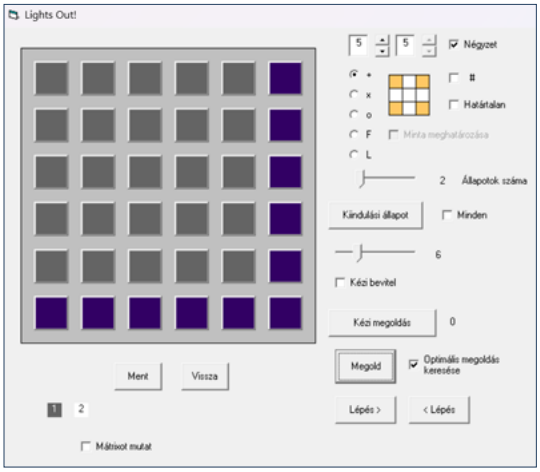
4. A tanulmányozott esetek

A gombnyomások által befolyásolt fények szimmetrikus mintázatának három alaptípusára koncentráltunk: a klasszikusnak számító kereszt (+), a kevésbé ismert X (×), valamint a saját fejlesztésű négyzet (□). Mind a három lehet lyukas is (#), ami szintén saját fejlesztés: ilyenkor a megnyomott gomb állapotában nincs változás, tehát hiányzik a mintázat közepe (6. ábra).

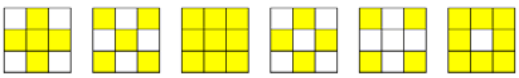
Ugyanakkor bármely verzió lehet végtelenített (no border, ∞), ami azt jelenti, hogy a szélső sorokban és oszlopokban, sarkokban levő gombok megnyomásakor a mintázatnak a gombok négyszögén kívül eső része az ellentétes oldalon jelenik meg. A 7. ábrán ezek a pirossal jelölt cellák, a fények kereszt alakú elrendezésére példázva.

Ezek mellett felélesztettük a háromállapotú fényekkel megoldott változatot is, amelynek az elvét még több állapotú fényekre is kiterjesztettük, valamint a lólépéses változatot is. Kísérleti konfigurációként, amelyet inkább a játékot leíró matematikai sajátosságok részletesebb megértéséhez és a program tesztelésére vezettünk be, a fények nem szimmetrikus, pl. háromszögű alakzatban való elhelyezését is megvizsgáltuk.

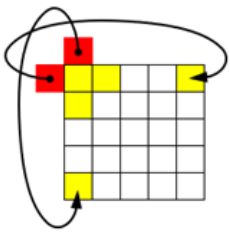
A gombok négyszöge (a tábla) lehet négyzet alakú, amikor a sorok és az oszlopok száma azonos, vagy pedig téglalap. Pl. az 5×6-os kiosztásban a



5. ábra. *A számítógépes játék felhasználói felülete*



6. ábra. *Egy gombnyomás által befolyásolt fények mintázatai*



7. ábra. *A gombnyomás által befolyásolt fények kereszt alakú mintázatának kiterjedése a végtelenített változatban*

30 gomb 5 sorban és 6 oszlopban, a 6×5-ös verzióban pedig ugyanannyi gomb 6 sorban és 5 oszlopban található: ezek egymás 90 fokkal elforgatott verziói. Azonban ha ragaszkodunk a szokásos fentről lefelé történő haladással, akkor a megoldásuk menete különbözni fog.

A játéknak van egy „fordított” módja is, amikor a cél az előbbi ellentéte: az összes fényt fel kell gyűjtani. Ezzel kapcsolatban tehetünk egy észrevételt: a Lights Out megoldásával foglalkozó irományokban gyakran olvasható, hogy az a kiindulási állapot, amikor minden fény ég, mindig megoldható. Ebből levonják azt a következtetést, hogy bármely, az összes fény kioltásának szempontjából megnyerhető állapotból kiindulva fel tudjuk kapcsolni az összes fényt. Ez az észrevé-

tel eredetileg a fények kereszt alakú elrendezésére volt megállapítva. A vizsgálataink alapján a gombnyomások hatásának felsorolt megoldásaiban a lyukas verziókban ez a kijelentés nem minden esetben igaz. Másképpen fogalmazva: ha a fények kioltása szempontjából megoldható egy állapot, akkor azok felgyújtása nem minden esetben jár sikerrel.

Ez az észrevétel a megoldható kiindulási helyzetek előállításában is fontos. Ha azt akarjuk, hogy a játék megnyerhető legyen, akkor az eredeti, minden fényt leoltani kívánó változatban a kiindulási állapotot úgy állíthatjuk elő, hogy egy teljesen sötét táblán megnyomunk egy pár gombot: ez fel fog gyújtani néhány fényt. A fordított, minden fényt felgyújtani kívánt módban ugyanezt a teljesen kivilágított táblán kell megtennünk, ahol a kezdetben minden fény világít: a gombnyomásokkal le fogunk oltani belőlük egy párat. Mindkét állapot biztosan megoldható lesz, mert ugyanazoknak a gomboknak az újbóli megnyomása vissza fogja állítani a teljesen sötét, illetve a teljesen kivilágított táblát.

A játék mikrokontrollerén futó program véletlenszerűen dönti el, hogy mely gombok megnyomásával álljon elő a megoldható kiinduló állapot, a gombnyomások számát pedig a játékos állítja be.

A lehetséges kiinduló helyzetek száma a gombok számától és a fények állapotának a számától függ: ha a gombok száma g, akkor n állapotú fények esetében ez a szám ng. Ez a szám a kétállapotú fények tanulmányozott eseteiben 2 (1×1-es kiosztás) és 236 (6×6) között van: ez utóbbi egy nagyon nagy szám: 68 719 476 736.

Sok esetben nincs bármilyen tetszőleges kiindulási állapotra megoldás, vagyis a fényeknek létezhet olyan konfigurációja is, amely esetben a játék nem nyerhető meg. A kézzel bevitt kiindulási állapotok esetében érdemes szem előtt tartani ezt.

5. A kézi megoldás lehetőségei

A Rubik-kockánál tapasztalhatjuk, hogy ha azt csak két-három forgatással kevertük össze, akkor aránylag könnyen megállapítható volt ez a pár forgatás, és könnyen vissza lehetett állítani a rendezett helyzetet. A Lights Out esetében is ugyanez a helyzet: két-három gombnyomás hatását még vissza lehet követni, azonban a további gombnyomások úgy megkeverik a fényeket, hogy valószínűleg azt már nem tudjuk megtenni.

A nagyobb kiosztásoknál a lehetséges megoldható kiindulási állapotok száma túlságosan nagy ahhoz, hogy azok kézi megoldására mindegyikhez külön-külön szabályokat találjunk ki. Akár a Rubik-kocka esetében, a megoldáshoz csak kisebb lépésekben lehet eljutni.

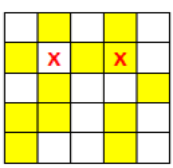
A megoldás mérettől és mintázattól függően történik, a követett taktika rendszerint a fények olyan elrendezésének a kialakítása, amit majd egyszerű szabályokkal kezelhetünk. Összesen 62 fajta változatra vizsgáltuk meg vagy dolgoztuk ki a kézi megoldás lehetséges módszereit. Ezek közül ebben a cikkben négy kiemelt esetet mutatunk be. E 62 változaton felül a játékosnak lehetősége nyílik arra, hogy téglalap alakú táblán is játsszon, valamint arra, hogy egy 3×3-as mezőben a fények konfigurációját tetszőlegesen állítsa be: ezekben az esetekben a megoldás szabályainak a kidolgozása a játékosra marad.

6. A klasszikus eset kézi megoldása

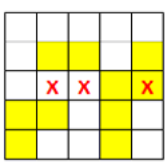
A kézi megoldás klasszikus menete a közismert „fénykövetés” (light chasing) módszere, amely során az első lépésben a fényeket leszorítjuk a legalsó sorba. A második lépésben, az alsó sorban így kialakult mintázattól függően a felső sorban bizonyos gombokat megnyomunk, majd az így felgyújtott fényeket újból leszorítjuk az alsó sorba. Mindkét lépésben soronként dolgozunk, felülről lefele haladva.

Általánosítva az eljárást, az első lépésben elsőként a második sorban nyomunk gombokat, a felső sorban égő fények alatt. A **8. ábrá**n látható példában tehát a második sorban a piros X-szel megjelölt második és negyedik gombot kell megnyomni. Ezen a szabályon lazíthatunk, mert pl. ha a felső sorban az első két fény ég, akkor a jobb felső sarokban levő gomb megnyomásával mindkét fényt leolthatjuk. Ugyanígy, ha a felső sorban egymás mellett három fény is ég, akkor ezek közül a középsőt megnyomva tudjuk mind a hármat leoltani.

Az első sorban levő fények kioltása után a második és a harmadik sor is átalakul (**9. ábra**). A következőkben a második sorban levő fényeket oltjuk ki



8. ábra. *Egy kiindulási helyzet*



9. ábra. *A fények a második sorban történt gombnyomások után*

úgy, hogy az alattuk levő gombokat nyomjuk meg. A második sorban levő gombokat nem nyomhatjuk meg, mert a felette levő, vagyis az első sorban levő, már leoltott fények állapotán is módosítanánk.

Így haladunk sorról sorra lefelé. Végül csak az ötödik sorban maradhatnak égő fények (**10. ábra**), de megtörténhet az is, hogy egy kis szerencsével már az első lépésben sikerül minden fényt kioltani.

Az 5×5-ös verzióban nincs minden fény-kombináció esetében megoldás, a megoldható kiinduló állapotokban az alsó sor fényeinek csak a **11. ábrá**n felsorolt elrendezéseivel találkozhatunk. A szimmetrikus ismétlődéseket leszámítva csak öt, azokkal együtt hét különböző ilyen állapot van. Ha az alsó sorban a fények más konfigurációja jelenik meg, akkor az adott játéknak nincs megoldása.

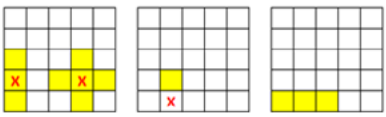
A fénykövetés második lépése az alsó sorhoz igazodik: a megoldáshoz, esetenként, a felső sorban a megjelölt gombokat kell megnyomni, aztán a fénykövető eljárással a második sortól ismét az alsó sor felé kell haladni: ha minden jól megy, akkor minden fényt le tudunk oltani. Az első sorban a megjelölteken kívül más gombot ne nyomjunk meg.

Ezeket a szabályokat úgy lehetett megállapítani, hogy egy olyan állapotból kiindulva, ahol egyetlen fény sem világít, a legfelső sorban megnyomunk egy gombot, majd megfigyeljük, hogy a fénykövetéssel a fények milyen elrendezése alakul ki az alsó sorban (**12. ábra**). Ilyenképpen a lehetséges hétből öt esetre már meg is lesz a megoldás. Viszont, ha az alsó sorban a két szélső fény világít, akkor a felső sorban egyetlen gomb megnyomásával nem juthatunk el a megoldáshoz. De ha megnyomjuk az elsőt (amely az alsó sorban átváltja a 2., 3. és 5. fényeket), majd a másodikat (amely az 1., 2., és 3. fényeket váltja át), akkor az alsó sorban a 2. és 3. fények a két egymást követő oda-vissza váltás miatt nem változnak meg, és csak az 1. és az 5., vagyis a két szélső gomb fényében történik változás. A hatodik eset megoldásához tehát a felső sorban az 1. és a 2. gombokat kell megnyomni. Hasonlóképpen jutunk a hetedik eset megoldásához is.

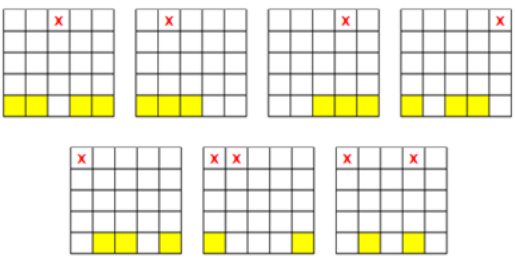
7. 6×6, lyukas négyzet, végtelenítve (□#∞)

A lyukas négyzet a **6. ábrá**n az utolsó mintázat. Ez a változat az előbbitől (és a többi tanulmányozott esettől is) lényegesen különböző megoldási módot igényel, mivel a fénykövetés módszerével a sorok végén a végtelenítés és a fények mintázata miatt akár két leolthatatlan fény is maradhat, minek következtében azokat nem lehet az alsó sorokba szorítani. Az első lépés után a két jobb oldali oszlopban meg a két alsó sorban fények különböző kombinációit figyelhetjük meg.

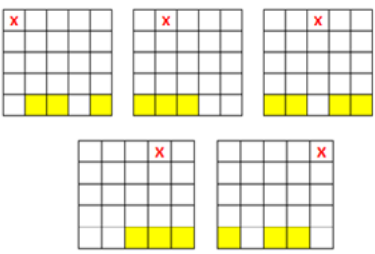
Ha megvizsgáljuk a megoldható állapotokat, akkor arra az eredményre jutunk, hogy a fények olyan párokban állnak, ahol a két világító gomb között egy sötét van. Egy ilyen párt a **13. ábrá**n is láthatunk, a kioltásához szükséges gombnyomá-



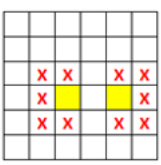
10. ábra. *A fénykövetés első lépése során kialakult helyzet*



11. ábra. *Az alsó sorban kialakuló lehetséges megoldható állapotok, valamint a megoldásukhoz szükséges gombnyomások a felső sorban*



12. ábra. *Az alsó sorban levő fények kioltásához szükséges gombnyomások megállapítása*



13. ábra. *Egy fénypár és a leoltásához szükséges gombnyomások*

sokkal együtt: viszonylag sok, 10 gomb megnyomása szükséges

A párok azonosítása körülményes lehet: ha három vagy több sorban is vannak fények, akkor azok függőleges irányban is megjelenhetnek. A **14. ábrán** a piros és a kék színű pár áll függőlegesen. Az első lépés végén kialakult állapotot elemi párokra bontva a fénykövetés második lépésében aránylag könnyen leolthatjuk a fényeket, beválalva az ismételt, fölösleges gombnyomások kockázatát. A példában az öt pár ötven gombnyomást igényelne. Ezen lehet egyszerűsíteni, az ismételt gombnyomások kiiktatásával. Ez fejben nehezen menne, de papíron előre megtervezve a megoldás már nem lesz annyira nehéz.

8. 5×5 lólépéssel

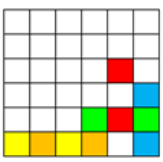
Ez az XL 25 egyik konfigurációja, amelyet a Lights Out későbbi verziói nem vettek át. Ennek az oka valószínűleg a megoldás nehézségeiben keresendő. Az egy gombnyomás által érintett fények helyzete eléggé komplikált ahhoz, hogy még az egy-két gombnyomással megoldható helyzetek felismerését is megnehezítse, mivel a gombnyomás hatása nagyobb területre, a megnyomott gombtól két sor vagy két oszlop távolságra is kiterjed. Emiatt amikor a fénykövetéssel a fényeket lefelé tereljük, azok az alsó két sorban égve maradhatnak, s ráadásul egy sorban nem mindig kapcsolható le az összes fény. Mivel ez esetben bármilyen kiindulási állapot megoldható, a fénykövetés első lépése után a fények igen nagy számú kombinációjához juthatunk, ami miatt a megjelenő mintázat alapján történő megoldási módszerek kidolgozása gyakorlatilag nem lenne célravezető. A járható út az első lépés után megmaradó fények egyenként történő leoltása, ami bonyolultabb sémákon alapuló hosszadalmas eljárást igényel.

A **15. ábrán** az egy fény kioltásához szükséges lépéseket látjuk. Ezeket sem lehet a klasszikus módon, próbálkozással meghatározni. A mellékelt ábrán a hat alapvető eset szerepel, a többiekhez ezeket a sémákat forgatni, tükrözni kell.

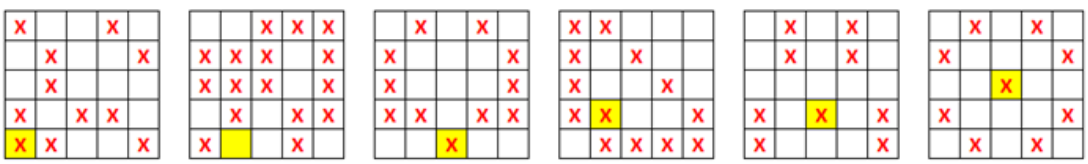
Mivel a fényeknek a klasszikus eljárás szerinti lefelé terelésének eredményeként azok közül elég sok maradhat égve (legtöbb 13), és azok leoltásához egyenként legalább 9, de akár 16 gombnyomásra van szükség, jobban járunk, ha kezdeti lépésként egy kevésbé rendezett, de kevesebb felgyújtott fényből álló helyzetet próbálunk kialakítani. Ha pl. a szélső sorok és oszlopok világító gombjait megnyomjuk, akkor azok ki fognak aludni, és van esélyünk arra, hogy ezt ismételgetve a fények számát lecsökkentsük négyre vagy ötre. Ezeket aztán **15. ábrán** bemutatott hat eljárás megfelelő alkalmazásával tudjuk kioltani.

9. 5×5 háromállapotú fényekkel

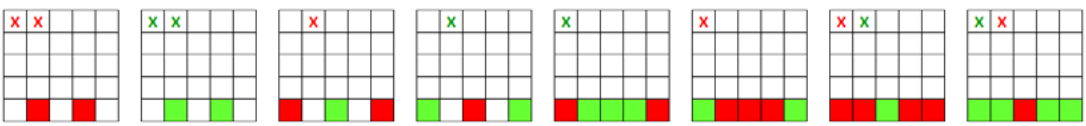
A játék Lights Out 2000 verziójában jelent meg, ahol gombnyomásra a fények a kioltott állapotból (jelölje 0) először pirosra (1), aztán a második megnyomásra zöldre (2) váltanak, a harmadik gombnyomás pedig kioltja a fényt. Tehát ez egy ciklikus, de nem oda-vissza váltása a három állapotnak, ahol az állapotok a 0→1→2→0... sorrendben követik egymást. A köztes állapotban levő gomb fényének kioltásához két gombnyomásra van szükség. Egy gomb megnyomásának hatása



14. ábra. *Párokra bontás*



15. ábra. *Egy adott fény leoltásához szükséges gombnyomások*



16. ábra. *Háromállapotú fények az első lépés végén*

ez esetben is a klasszikusnak nevezhető + forma szerint terjed ki a szomszédaira.

A megoldás menete nem sokban különbözik a klasszikus verzióétól: a fénykövetés első lépésében a fényeket leszorítjuk a legalsó sorba, ahol kioltott, piros és zöld fények egyaránt előfordulhatnak. Mivel a kiinduló állapotok között vannak olyanok, amiknek nincs megoldása, az alsó sorban e fények csak a **16. ábrán** látható nyolc elrendezésben fordulhatnak elő. Felismerhetjük, hogy ezek egyszínű párokból állnak, azok egymásra tevődésével: p + p = z, z + z = p, p + z = 0.

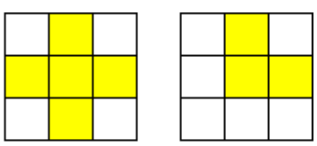
A fénykövetés második lépésében ebből a nyolc helyzetből kiindulva kell leoltani az összes fényt. Ha a felső sorban tett gombnyomások hatásának követési módszerét alkalmazzuk, akkor az ábrán látható megoldási szabályokhoz jutunk. Az ábrákon a piros X egyszeri, a zöld pedig dupla gombnyomást jelent.

10. A matematikai megoldás

A számításokhoz három dologra van szükségünk. Ezek közül az első a $[K]_{m\times m}$ kapcsolatmátrix, amelynek annyi sora és oszlopa van, ahány gomb van a tanulmányozott kiosztásban (m a sorok száma, × az oszlopok száma). E mátrix sorai egy-egy fényhez vannak rendelve, egy sor pedig azokat a gombokat adja meg, amelyek az illető fény állapotában változást idéznek elő. A kapcsolatmátrix tehát egy 0 és 1 számokat tartalmazó négyzetes mátrix. A tanulmányozott esetekben, a háromszög kivételével, gombnyomások hatása irányonként azonos, mondhatnánk, hogy izotróp, a felgyújtott fények elhelyezkedése vízszintesen is, és függőlegesen is szimmetrikus. Emiatt a kapcsolatmátrix szimmetrikus lesz, ami azt jelenti, hogy ha az i gomb módosítja a j gomb állapotát, akkor a j gomb módosítani fogja az i gombét.

Ha ezt a szimmetriát megbontjuk, amire a példa a fények háromszög alakú elrendezése (a **17. ábra** jobb oldalán), akkor a kapcsolatmátrix szimmetriája is meg fog szűnni.

A második dolog, amelyre a matematikai úton történő megoldáshoz szükségünk van, az a fények státusát tároló $\{A\}_m$ állapotvektor. Az állapotvektor egy eleme egy fény kioltásához szükséges lépések számát tartalmazza. Ha a gomb állapota x, a fények állapotainak a száma nA, akkor a vektor megfelelő eleme $nA - x$, feltéve, hogy az illető fény nincs leoltva (ha igen, akkor 0 marad).



17. ábra. *A fények szimmetrikus és nem szimmetrikus elrendezése*

A harmadik szükséges dolog szintén egy vektor, $\{G\}_m$, amely a fények kioltásához megnyomandó gombokat adja meg (azt, hogy a megoldáshoz a gombokat hányszor kell megnyomni).

A felsorolt három mennyiséget a $[K] \cdot \{G\} = \{A\}$ lineáris egyenletrendszer köti össze. Ennek a fizikai jelentése a következő: ha a kapcsolatmátrix i sorát megszorozzuk a gombnyomások vektorával, akkor egy $K_{ij} \cdot G_j$ szorzat azt adja, hogy a j fény állapota hány lépésben változik meg. Az sor és a vektor szorzata a $K_{ij} \cdot G_j$ mennyiségek összegeként a j fény állapotában történő változást adja, a gombok megnyomása után. Az egyenletrendszer megoldásával az ismert kiinduló állapot függvényében próbáljuk a megnyomandó gombokat megtalálni. Ismerős felállásnak tűnik, azonban van ennek egy sajátossága is: mindhárom tag csak 0 és $nA - 1$ közötti egész számokból állhat. A számításokat tehát a számok $\{0, 1, \ldots nA - 1\}$ halmazán kell elvégezni.

Kétállapotú fények esetében a GF(2) kételemű Galois-testről van szó, ahol az aritmetika modulo 2 szerint történik. GF(2)-ben minden számnak megvan az additív és a multiplikatív inverze, tehát az egyenletrendszernek a Gauss–Jordan-eljárással történő megoldása során nem ütközhetünk aritmetikai jellegű problémákba. Ami fontos a Lights Out szempontjából: ha egy számhoz 1-et hozzáadunk, a halmaz következő elemét kapjuk. Ha az utolsó elemhez adunk hozzá 1-et, az visszavisz a halmaz elejére (az eredmény 0 lesz).

Ugyanez a helyzet a háromállapotú fények esetében is: a megoldást a GF(3) Galois-test felett keressük. Ebből extrapolálhatnánk, hogy a megoldás általánosítását a GF(nA) test fölött kell megfogalmazni, azonban már a négyállapotú fények esetében is kiderül, hogy ez nem így van. GF(4) ugyan létezik, de a halmaz tagjai nem egész, számok, hanem $\{0, 1, \alpha, \alpha + 1\}$, ahol α és $\alpha + 1$ az $x^2 + x + 1$ polinom gyökei (ezek nem számok, hanem formális elemek). Első meglátásra kézenfekvőnek tűnik α-t egyszerűen a harmadik elemként „2”-nek tekinteni, $\alpha + 1$-et pedig „3”-nak, azonban GF(4)-ben $0 + 1 = 1$, $1 + 1 = 0$, „2” + 1 = „3”, „3” + 1 = „2”, vagyis nem adja az állapotok ciklikus változását. Ugyanez a helyzet minden más olyan esetben, amikor nA valamelyik prímszám hatványa. Ebből leszűrhetjük azt a következtetést, hogy a Lights Out megoldásához nem a Galois-test felet-

ti számolás a fontos, hanem az, hogy a számítások modulo *nA*-ban történjenek. Ennek van egy hátránya is, mert modulo *nA*-ban, ha *nA* nem prím, nincs minden számnak multiplikatív inverze. A négyállapotú fények esetében $3^{-1}=1$, viszont 2^{-1} nem létezik. Emiatt a Gauss–Jordan-eljárásban, ha a főátlóra 2-es kerül, nem tudjuk elvégezni a normalizálást, és ha így próbálunk visszahelyettesíteni, az további sorokat is „elronthat" (megtörténhet, hogy egy már normalizált sort 2-vel kell megszorozni a redukáláshoz, ami a főátlón levő 1-est 2-esre fogja állítani).

A további esetek tanulmányozásakor figyelembe kell venni azt a tényt, hogy ha *nA* nem prím vagy prímhatvány, akkor nem lehet vele Galois-testet alkotni. Ekképpen $nA=6$-ra is valamilyen más módszert kell kitalálni. Megpróbálhatnánk modulo 6-ban számolni, azonban ennek az a hátulütője, hogy a 2, 3 és 4 számoknak nincs multiplikatív inverzük, úgyhogy a négyállapotú fényeknél is bonyolultabb helyzetbe keveredünk. Van azonban egy kínai maradéktétel (Chinese Remainder Theorem, CRT), amely páronként relatív prímekre alkalmazható (mivel $6=2\cdot 3$ és 2 és 3 lnko-ja 1, az esetünk ennek éppen megfelel). E tétel szerint, ha x mod $m_1=a_1$, x mod $m_2=a_2$, és így tovább, ahol m_1, m_2 stb. relatív prímek, akkor $x=a_1\cdot M_1\cdot y_1+a_2\cdot M_2\cdot y_2+\ldots$, ahol $M_i=M/m_i$, $M=m_1\cdot m_2\ldots$, $M_i\cdot y_i=1$, modulo m_i-ben. E tétel alkalmazásához az egyenletrendszert kétszer oldjuk meg, modulo 2-ben és modulo 3-ban. A két megoldást jelölje $\{G_2\}$ és $\{G_3\}$. A megoldást ezek $\{G_6\}=3\cdot\{G_2\}+4\cdot\{G_3\}$ kombinációja adja.

Általánosíthatjuk a tapasztalatokat:

- ha *nA* prím, akkor modulo nA-ban számolunk, ami egyenértékű a GF(*nA*)-val;
- ha *nA* prímhatvány, akkor szintén modulo nA-ban számolunk, de a GF(*nA*) nem alkalmazható: ennek következményeként a Gauss–Jordan-eljárást megfelelőképpen módosítanunk kell;
- ha *nA* összetett szám, akkor azt relatív prímekre kell bontanunk. Az összetevőkkel az előző két pont szerint külön-külön megoldjuk az egyenletrendszert, a megoldásokat pedig a kínai maradéktétellel kombináljuk.

Ezek alapján a tanulmányozott esetek közül a 2, 3 és 5 állapot egyszerűen kezelhető, $4=2^2$ prímhatványként modulo 4-ben külön kezelendő helyzetekhez vezethet, $6=2\cdot 3$ a kínai maradéktétel alkalmazásával kétszeri megoldást és az eredmények kombinálását igényli. Ha tovább folytatnánk a sort, akkor 7 prímszám, 8 és 9 prímhatvány, $10=2\cdot 5$ (két prímszám szorzata), 11 prím, $12=3\cdot 4$ (relatív prímek szorzata) és így tovább.

Az egyenletrendszer megoldása a Gauss–Jordan-eljárással történik. Fentről lefelé haladva, a főátlón levő tagot normalizálni próbáljuk. Ha a főátlón nulla vagy egy nem invertálható szám van (ez utóbbi a négyállapotú fények esetében történhet meg, amikor ez a szám 2), akkor először a sorok cserélésével próbálunk a helyére egy 1-est, vagy ha az nincs, akkor egy invertálható számot odaköltöztetni. Amikor a sorok cseréjével ez nem oldható meg, akkor teljes pivotálást hajtunk végre (oszlopokat is cserélünk), miközben megjegyezzük a változók új sorrendjét.

Ha elfogytak az 1-esek és az invertálható számok, akkor a főátlóra egy nem nulla számot kell költöztetni.

Amikor nincs minden kiindulási helyzetnek megoldása, az utolsó sorokban csak nullások szerepelnek (a főátlón is). Ha egy ilyen sorban a szabadtag nem nulla, akkor a kiindulási helyzet megoldhatatlan.

A **18. ábrá**n az ekképpen redukált egyenletrendszer kiterjesztett mátrixát látjuk, négyállapotú fények esetére. Megfigyelhetjük, hogy az első 8 sorban a főátlóra 1-es került, amivel már elvégeztük a redukálást és a visszahelyettesítést is (az első 8 oszlopban a főátlón kívül csak nullások vannak).

A következő két sorban a főátlón 2-es van, tehát ezeket a sorokat nem lehet normalizálni, így nem lehetett redukálni és visszahelyettesíteni sem. E két sort próbálkozással oldjuk meg, megkeresvén az első lehetséges megoldást. Az első 8 változót nulla értékükkel vesszük. A megmaradó nyolccal végigpróbáljuk az összes lehetséges

```
  1234567890123456

1 1000000010000101--2
2 0100000003023232--3
3 0010000000300303--0
4 0001000000033232--3
5 0000100003033020--3
6 0000010010100100--0
7 0000001003032030--2
8 0000000110100001--0
9 0000000020200202--0
0 0000000002022020--2
1 0000000000000000--0
2 0000000000000000--0
3 0000000000000000--0
4 0000000000000000--0
5 0000000000000000--0
6 0000000000000000--0
```

18. ábra. *Az egyenletrendszer kiterjesztett mátrixának részben redukált formája*

kombinációt, amelyekből jelen esetben $4^8 = 65536$ van. Ez elég soknak tűnik, azonban számítógépes eljárással gyorsan megkerül a keresett megoldás. Először az első sorra keresünk egy lehetséges megoldást, majd ha az megvan, akkor leellenőrizzük, hogy a második sor esetében is megoldás-e. Ha nem, tovább folytatjuk a keresést. Az ábrán látható esetben egy lehetséges megoldás pl. az a vektor, amelynek a tizedik eleme 1, az összes többi 0. Ha megvan a megoldás, akkor a 9. sorban a szabadtagot 0-ra, a 10.-ben pedig 1-re állítjuk, a főátlón levő 2-esek helyére 1-eseket írunk, és a sorok többi elemét lenullázzuk. E két sor felett és alatt a kapott megoldást visszahelyettesítjük: pl. a próbálkozással kiszámított megoldáshoz tartozó x-edik sor szabad tagjával, b_x-szel megszorozzuk az i-edik sorban levő K_{ix} tagot, majd ezt a szorzatot átvisszük az egyenlet jobb oldalára: annak a szabad tagjának új értéke $b_i - b_x \cdot K_{ix}$ lesz.

A **18. ábrá**n a hat alsó sor csupa nullást tartalmaz (a szabad tagok is azok): a megoldásvektornak az e sorokhoz tartozó tagjait nullának vehetjük.

Ekképpen az egyenletrendszer s ezzel a kiindulási állapot egy lehetséges megoldásához jutunk.

11. Az optimális megoldás

Az optimális megoldás a legkevesebb gomb megnyomását igényli. Ezt segédeszközök nélkül még az egyszerűbb esetekben is elég nehéz megtalálni, a bonyolultakban meg egyszerűen lehetetlen, ezt csak matematikai úton lehet elérni.

A dolgok matematikai háttere az aluldeterminált lineáris egyenletrendszer megoldásához kötődik. Ebben több ismeretlen szerepel, mint ahány egymástól független egyenletünk van. A Gauss–Jordan-eliminációval ennek az egyenletrendszernek egy lehetséges $\{G_p\}$ partikuláris megoldását kaptuk, amelyben minden szabadon megválasztható változó értéke nulla volt. Az aluldeterminálttság miatt több megoldás is lehetséges. Ezeket a $[K] \cdot \{G\} = \{0\}$ homogén lineáris egyenletrendszer megoldásával lehet felírni. Ha ez utóbbinak egy megoldása van $\{G_h\}$, akkor $\{G_p\}+\{G_h\}$ a lineáris egyenletrendszer egy általános megoldása lesz. Mi több, azok $\{G_p\} + \sum c_i \cdot \{G_h\}_i$ lineáris kombinációja is az lesz. A homogén egyenletrendszer megoldásainak halmazát nulltérnek nevezik.

Ha a változók végtelen halmazon lennének értelmezve, mint például az egész számok halmazán, a nulltérnek végtelen sok eleme lenne (feltételezvén a lineáris egyenletrendszer megoldhatóságát). A mi esetünkben viszont a változók csak 0-tól $nA-1$-ig terjedő egész értéket vehetnek fel, így a nulltér csak néhány elemet tartalmaz: ha az egyenletrendszer redukált mátrixában n csupa nulla sort találtunk, akkor a szabadon választható ismeretlenek lehetséges elrendezéseinek száma nA^n.

Ha ez a szám nem túl nagy, akkor az optimális megoldást a teljes nulltéren való kereséssel végezhetjük el. Ehhez bázisvektorokat generálunk. Egy bázisvektornak minden tagja nulla, kivéve a nulltér egyik sorához tartozót, amely 1 és $nA-1$ között van. A bázisvektorok lehetséges kombinációival megoldjuk a homogén egyenletrendszert (csak visszahelyettesíteni kell a már redukált formában), minden egyes kombináció esetén megszámoljuk a megoldásvektorban levő gombnyomások számát. Az optimális megoldás az (vagy azok), ahol e számnak minimuma van.

Ha ez a szám túlságosan nagy, akkor a teljes nulltéren való keresés igen költséges lenne. Egyes végtelenített, 6 × 6-os kiosztásokban a nulla sorok száma 20 volt. Ezekben az esetekben, hatállapotú fényekre a lehetséges megoldások száma 6^{20} lenne, ami egy nagyon nagy szám. Ilyen esetben csak egy próba-szerencse alapú eljárást lehet alkalmazni: mi egy 10 lépésben történő Greedy-keresést alkalmaztunk, ami a legtöbb esetben valóban az optimális vagy ahhoz közel álló megoldáshoz vezetett. Az alkalmazott algoritmus egyenként próbálja végig a bázisvektorokat, és ha az eredmény javul, akkor azt beépíti a megoldásba. Mivel ez új állapotot teremt, a keresést még kilencszer elindítjuk, a már beépített bázisvektorok kiiktatásával. A tizedik lépés végén nyert megoldást tekintjük az elérhető legjobbnak.

12. Az optimális megoldás kézi eljárással

Az előbbi fejezetben leírtak alapján nyilvánvalóvá válik, hogy az optimális megoldás kézi keresése az elvégzendő műveletek nagy száma miatt alighanem lehetetlen. Ha mégis minden áron magunknak akarjuk tudni azt a dicsőséget, hogy emberi megoldással jutottunk el az optimális megoldásig, akkor megnyugodva könyvelhetjük el, hogy az egyszerűbb esetekben mégiscsak van egy módszer annak megkereséséhez. Ez akkor lehetséges, amikor a nulltérnek csak kevés eleme van. A megoldás a gombnyomások nulla hatású mintázatát használja, amelyek a homogén egyenletrendszer lehetséges, nem triviális megoldásai. Ezeket számítógéppel lehet előzetesen meghatározni. Másképpen: a munka nehezét továbbra is a számítógép végzi el, a kézi számítások pedig az így kapott

újrahasznosítható részeredményekre támaszkodnak. Egy ilyen mintázat (*Quiet pattern*, „csendes minta” vagy *zero pattern*) a gombnyomások egy olyan sorozata, amely végső soron nem változtatja meg a fények állapotát. Ha ezt egy teljesen leoltott táblán hajtjuk végre, akkor a végeredmény ugyancsak a teljesen leoltott tábla marad.

A Lights Out klasszikus verziójában három ilyen mintázat létezik. Ezeket a **19. ábrá**n láthatjuk. Észrevehetjük, hogy a második az első elforgatott változata, a harmadik pedig az első kettő kombinációja.

Az optimális megoldás keresésének menete a **20. ábrá**n követhető. A két első négyzet a fénykövetés két lépése során tett gombnyomásokat ábrázolja.

A harmadik ábra ezek összesítésével keletkezett: ha a két négyzetet egymásra helyezzük, az egymást fedő X-ek kioltják egymást, így ezeket töröljük. Megszámoljuk a megmaradt gombnyomások számát; legyen az n_0.

A negyedik négyzet az egyik csendes mintát mutatja, míg az ötödik a csendes minta és a fénykövetés gombnyomásainak egymásra tételével keletkezett.

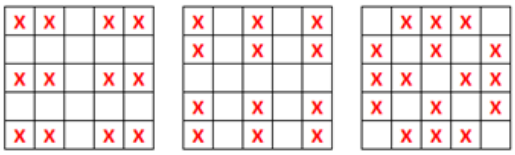
Megszámoljuk az ötödik ábrán levő gombnyomások számát (n_1), majd ugyanezt a számítást elvégezzük a másik két csendes mintával is (n_2, n_3).

Az optimális megoldás tehát az, amire az n_i szám a legkisebb. A példánkban ez a **20. ábrá**n látható; az első két „csendes minta” nagyobb gombnyomásszámhoz vezet (**21. ábra**).

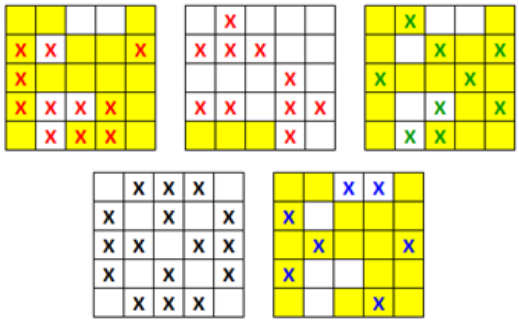
13. Következtetések

A Lights Out továbbfejlesztése során felvetődött két ötlet: a fények állapotszámának növelése, valamint a fények mintázatának tetszőlegessé tétele. Emiatt ki kellett bővíteni, általánossá kellett tenni a játék matematikai modelljét is. A játék megoldásáról szóló publikációk a matematikai modell alapjának a GF(n) Galoise-testet tekintették, azonban ez a test csak prímszámok, illetve prímhatványok esetében létezik.

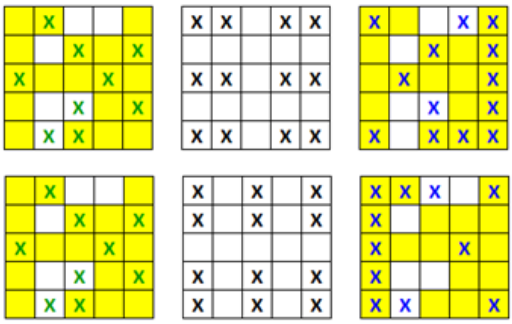
Prímszámokra ez a matematikai modell és a megoldó algoritmus egyszerűen használható, azonban prímhatványok esetében az összeadás művelete nem visz végig az egymást követő lehetséges állapotokon (nem biztosítja a ciklikus léptetést). Ebből arra következtettünk, hogy nem annyira a Galoise-test megléte és alkalmazása a fontos, hanem az aritmetikai műveletek modulo n elvégzése.



19. ábra. *„Csendes minták”*



20. ábra. *Az optimális megoldás kézi keresésének menete*



21. ábra. *A másik két lehetőség*

Prímhatványok és egyéb összetett számok esetében azonban a modulo n-ben való számítás új problémákat vet fel, mert az állapotok halmazát felépítő számok közül nincs mindegyiknek multiplikatív inverze, ami ahhoz vezet, hogy a fények állapotát a megtett gombnyomásokkal összekötő lineáris egyenletrendszer nem minden sora normalizálható a Gauss–Jordan-eljárással történő megoldás során. Emiatt az egyenletrendszernek azt a részét, ahol a főátlón nem invertálható számok vannak, csak próbálkozással tudjuk megoldani.

Olyan összetett számok esetében, amelyek relatív prímek szorzataként írhatók fel, a kínai maradéktétel kínál könnyebb megoldást, mert egysze-

rűbb részfeladatokra bontja a megoldás menetét, ami a nem invertálható sorok számának csökkenéséhez vezet. Hatállapotú fények esetében az egyenletrendszert kétszer kell megoldani, modulo 2-ben és modulo 3-ban, az eredmény pedig a két részeredmény kombinációjaként írható fel. Ekképpen, ebben az esetben a nem invertálható sorok problémája eltűnik.

Gyakran a játék optimális megoldását keresik: ez azokban a kiosztásoknál vetődik fel, amikor nincs minden lehetséges kezdeti állapotnak megoldása, ami azt is jelenti, hogy a megoldandó lineáris egyenletrendszer aluldeterminált. Ekkor az egyenletrendszernek, tehát a játéknak több megoldása is lehetséges, a feladat pedig ezek közül kiválasztani azt, amelyik a legkevesebb gombnyomásból áll. Amennyiben a nulla sorok száma kicsi, az optimális megoldást a teljes megoldáshalmazon történő kereséssel kapjuk, ellentétes esetben viszont valamilyen heurisztikus, próbálkozásalapú kereső algoritmussal (pl. Greedy) juthatunk el egy jobb megoldáshoz (amely nem lesz garantáltan optimális).

Szakirodalmi hivatkozások

Kimondottan a Lights Out történetével foglalkozó publikációkat nem lehet fellelni. Jaap Scherphuis a forgatható kirakósok (Rubik-kocka és rokon mechanikus logikai játékok) egyik legismertebb nemzetközi szakértője, gyűjtője és dokumentátora. A neve elsősorban a Jaap's Puzzle Page (jaapsch.net) oldal kapcsán ismert, amely a világ egyik legnagyobb, legpontosabb és legátfogóbb online adatbázisa a mechanikus és elektronikus logikai játékokról. Ezen az oldalon találhatunk egy rövid összefoglalót a Lights Out megjelenéséről, fejlődéséről és előzményeiről.

A magyar vonatkozásban is érdekes XL 25-ről legfennebb blogokban olvashatunk.

A Lights Out megoldásának matematikai háttere alapjairól a következő művekben olvashatunk:

[1] Marlow Anderson, Todd Feil: *Turning Lights Out with Linear Algebra.* Mathematics Magazine, 71/4. (1998) 300–303. https://people.sc.fsu.edu/~jburkardt/classes/imps_2017/11_28/2690705.pdf

[2] Robert Cowen, John Kennedy: *The Lights Out Puzzle.* Mathematica in Education and Research. 9. (2000) 28–32.

[3] Rudolf Fleischer, Jiajin Yu: *A Survey of the Game "Lights Out!"*. In: Brodnik, A., López-Ortiz, A., Raman, V., Viola, A. (eds) *Space-Efficient Data Structures, Streams, and Algorithms.* Lecture Notes in Computer Science, 8066. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40273-9_13

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 64–71.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.07
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.07

HIDRAULIKUSPROFIL-NYITÓ SZERSZÁM KONSTRUKCIÓS TERVEZÉSE

THE DESIGN OF A HYDRAULIC PROFILE OPENING TOOL

Kőhegyi Zsolt,[1] Ravai-Nagy Sándor,[2] Szigeti Ferenc[3]

[1] *Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, zsoltkohegyi03@gmail.com*

[2] *Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, nagy.sandor@nye.hu*

[3] *Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, szigeti.ferenc@nye.hu*

Abstract

The topic of this publication is the design of a hydraulically operated manual profile opening tool that enables the precise and repeatable opening of extruded aluminum profiles used in bus bellow manufacturing. The necessity of the development was justified by the difficult handling and inaccurate operation of the currently used equipment. The paper presents the different structural designs and operating principles examined during the design process and provides a detailed justification for the application of hydraulic actuation. The main structural elements of the equipment are introduced, as well as the structure and operating principle of the hydraulic system. During the design process, special attention was given to ergonomic aspects, ease of operation, and workplace safety. The structural strength verification was carried out exclusively using the finite element method, which confirmed the adequate stiffness and operational reliability of the construction. Compared to the previously used equipment, the presented solution enables higher accuracy, better repeatability, and a more efficient manufacturing process, while reducing the number of errors and the proportion of nonproductive time. The longterm objective of the development is to ensure the flexible applicability of the tool for different profile sizes.

Keywords*: hand tool design, cold forming, finite element analysis.*

Összefoglalás

A publikációm témája egy hidraulikus működtetésű kézi profilnyitó szerszám tervezése, amely buszharmonika-gyártás során alkalmazott, extrudált alumíniumprofilok pontos és ismételhető nyitását teszi lehetővé. A fejlesztés szükségességét a jelenleg alkalmazott berendezések nehézkes kezelhetősége és pontatlan működése indokolta. A cikk ismerteti a tervezés során vizsgált különböző konstrukciós kialakításokat és működési elveket, majd részletes indoklást ad a hidraulikus működtetés alkalmazása mellett. Bemutatásra kerülnek a berendezés fő szerkezeti elemei, valamint a hidraulikus rendszer felépítése és működési elve. A tervezési folyamat során kiemelt figyelmet kaptak az ergonómiai, kezelhetőségi és munkabiztonsági szempontok. A szerkezet szilárdsági ellenőrzése kizárólag végeselemmódszerrel történt, amely igazolta a konstrukció megfelelő merevségét és üzembiztonságát. A bemutatott megoldás a korábbi berendezésekhez képest nagyobb pontosságot, jobb ismételhetőséget és hatékonyabb gyártási folyamatot tesz lehetővé, miközben csökkenti a hibák számát és az improduktív idők arányát. A fejlesztés hosszú távú célja a szerszám többféle profilméretehez történő rugalmas alkalmazhatóságának megvalósítása.

Kulcsszavak*: kéziszerszám-tervezés, hidegalakítás, végeselem-vizsgálat.*

1. Bevezetés

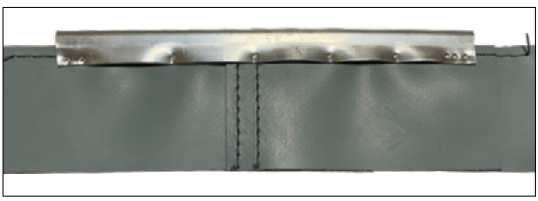
A közösségi közlekedésben használt csuklós autóbuszok, trolibuszok és sínen futó járművek gyártásában fontos szerepet játszanak a járműharmonikák, amelyek biztosítják az átjárást a járműegységek között. A harmonikák gyártása alapvetően két fő részből áll: a szövet előkészítéséből és az alumíniumprofilok megmunkálásából [1].

A projekt az alumíniumhajlítás területén használt profilnyitó berendezés fejlesztésére irányul. Az alumíniumhajlítás során extrudáltprofil-szálanyagokat dolgoznak fel, amelyekből különböző szerkezeti elemek készülnek, például harmonikakeretek, korlátok és tetőszerkezetek. A gyártás során a profilokat méretre vágják, hajlítják, valamint elvégzik az összeállításhoz szükséges előkészítő műveleteket, például furatok készítését és illesztések kialakítását.

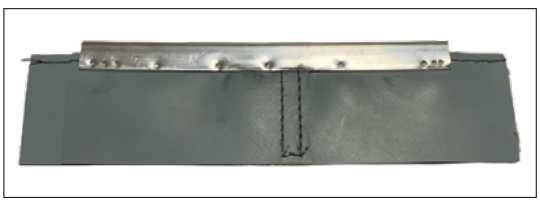
A gyártási folyamat egyik fontos lépése a profilok és a szövet kapcsolatának kialakítása. Ennek során az alumíniumprofilokat rároppantják (1. ábra), majd rákalapálják (2. ábra) az előre varrott szövethullámokra. A probléma ott jelentkezik, hogy a szövetdarabok összevarrásánál, a csatlakozási pontokon három réteg szövet kerül egymásra, ami jelentősen megnöveli a vastagságot. Ez a megnövekedett vastagság már nem fér bele a profil eredeti keresztmetszetébe, ezért ezeken a pontokon szükséges a profil kinyitása (3. ábra), hogy a szövet megfelelően behelyezhető legyen.

Jelenleg a cég egy 100 mm-es dugattyú-átmérőjű pneumatikus munkahengerrel működtetett nyitóberendezést használ. Ennek két változata van: egy szimpla munkahengeres és egy tandem-munkahengeres kivitel (4. ábra), amelyet vastagabb profilok esetén alkalmaznak. A berendezés működése során egy ékszerű pofát préselnek a profil belsejébe, amellyel a profilt V alakba nyitják.

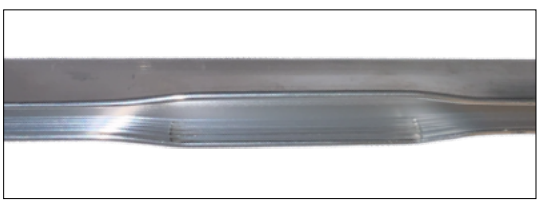
A projekt során egy 8,5 × 18 mm-es keresztmetszetű profil (5. ábra) vizsgálata történt meg, amely a gyártási tapasztalatok alapján a legtöbb problémát okozza a nyitás során. A profil vastag tőkeresztmetszete miatt csak iker-munkahengeres berendezéssel nyitható. Bár a szükséges nyitás elérhető, a gyakorlatban több probléma is jelentkezik, amelyek indokolják a berendezés konstrukciós fejlesztését.



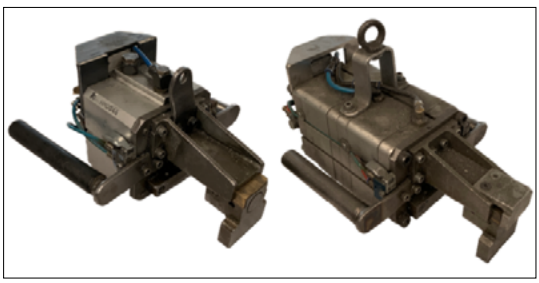
1. ábra. *Szövetre roppantott profilmintadarab*



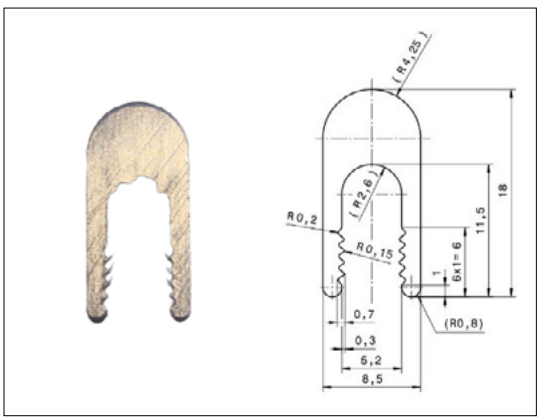
2. ábra. *Szövetre kalapált profilmintadarab*



3. ábra. *Nyitottprofil-minta*



4. ábra. *A Hübner-H Kft. által használt nyitóberendezés*



5. ábra. *A 8,5 mm x 18 mm-es profil*

2. A jelenlegi nyitási technológia ismertetése

A nyitás során a profil keresztmetszete V alakban deformálódik, lehetővé téve a megnövekedett vastagságú szövet behelyezését.

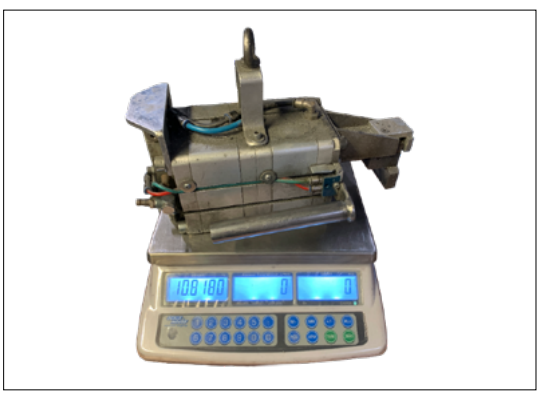
A működési elv egyszerűsége ellenére a technológia alkalmazása során több probléma is jelentkezik. Gyakori eset, hogy a kezelő a szükségesnél nagyobb mértékben nyitja ki a profilt, ami a későbbi szerelési műveleteket megnehezíti. Ilyenkor a roppantógép és a roppantókalapács már nem illeszthető megfelelően, ezért utólagos igazításra van szükség.

További problémát jelent, hogy a berendezés nem a profil tőrészénél hozza létre a nyitást, ezért a szövet nem minden esetben illeszthető be megfelelően. Ennek korrigálására a dolgozók a profil széleit kézi szerszámmal faragják le, ami időigényes, és növeli a selejt kialakulásának kockázatát.

A vastagabb profilok esetében a szükséges nyitás sokszor nem érhető el egyetlen művelettel, ezért a nyitást több lépésben kell elvégezni. Ez növeli a ciklusidőt és a kezelő terhelését. Az eszköz jelentős tömege (**6. ábra**) miatt a kezelése különösen nehézkes, főként olyan esetekben, amikor a teljes kerület mentén kell nyitást végezni.

A működés során a nyitó pofák folyamatos kenést igényelnek, amelyet jelenleg kézi olajozással biztosítanak. Ez egyrészt lassítja a folyamatot, másrészt szennyezi a profilt, ami a későbbi ragasztási műveleteket hátrányosan befolyásolja. Emiatt a felesleges kenőanyagot a nyitás után el kell távolítani.

A felsorolt jelenségek alapján megállapítható, hogy a jelenlegi technológia működőképes, azonban több szempontból is fejlesztésre szorul, különösen a pontosság, az ergonómia és a folyamat hatékonysága terén.



6. ábra. *A tandemnyitógép a mérlegen*

3. A fejlesztési feladat és követelmények

A korábban bemutatott problémák egyértelműen indokolják egy új profilnyitó berendezés fejlesztését. A jelenleg alkalmazott eszközök nem biztosítanak stabil működést, a nyitási erő korlátozott, és kezelhetőségük sem megfelelő az ergonómiai és termelékenységi szempontok alapján. A fejlesztés célja ezért egy könnyen kezelhető, megbízható és stabil berendezés megtervezése, amely lehetővé teszi a profilok pontos és ismételhető nyitását, csökkenti a hibalehetőségeket és a gyártás során keletkező improduktív időt. Emellett a konstrukció biztosítja a dolgozók számára az ergonomikus és biztonságos munkavégzést, miközben növeli a gyártási folyamat hatékonyságát és minőségét.

A tervezett berendezés alapvető feladata a profilok kinyitása a kívánt erővel, stabil rögzítés mellett, miközben egy munkahenger biztosítja az erőátvitelt. A kezelő védelme és a túlterhelés elleni biztonság szintén kiemelt követelmény, ezért az indítás kétkezes vezérléssel történik, a nyitópofa pedig fokozatosan szétfeszíti a profilt, majd a művelet után visszahúzódik, lehetővé téve a profil eltávolítását. A berendezésnek képesnek kell lennie napi három műszak, összesen körülbelül húsz óra folyamatos működésre, egy nyitási ciklus időtartama körülbelül két másodperc, és egy műszakban körülbelül 500 nyitást kell végrehajtania. A nyitópofák felülete nagy igénybevételnek van kitéve, ezért nagy szilárdságú acélból vagy edzett anyagból célszerű készíteni őket, szükség esetén megfelelő felületkezeléssel a kopás csökkentésére. A pofa és a profil közötti kenés csökkenti a súrlódást; alternatívaként alacsony súrlódású bevonat is alkalmazható, a kenőanyag pedig könnyen eltávolítható legyen, hogy ne akadályozza a további munkafolyamatokat.

A berendezés tömegét úgy kell kialakítani, hogy könnyen kezelhető és mobil legyen, ugyanakkor biztosítsa a szükséges nyitóerőt. A szerkezet legyen könnyen szerelhető és karbantartható, a mozgó elemek kenhetők és cserélhetők, a nyitópofa és az ellendarab cseréje gyorsan elvégezhető. Az alkatrészek gyárthatósága is fontos, hagyományos forgácsolással vagy 3D-nyomtatással, az anyagválasztás pedig biztosítsa a szilárdság, tömeg és költség optimális arányát.

Összességében a fejlesztési feladat célja egy megbízható, pontos, ergonomikus és gazdaságosan gyártható profilnyitó berendezés létrehozása, amely hosszú távon növeli a gyártás hatékonyságát, csökkenti a hibák számát, és javítja a dolgozók munkakörülményeit.

4. Koncepciók és megoldási lehetőségek vázolása

A profilnyitó berendezés fejlesztésének kezdetén több konstrukciós lehetőséget vizsgáltam. Az első elképzelés egy párhuzamos nyitó mechanizmus (7. ábra) volt, pneumatikus működtetéssel és mechanikai áttétellel. A szűk belső profilkeresztmetszet miatt a nyitópofák vastagsága mindössze 2,5 mm lehetett, ami a szükséges nyitóerőt anyagtechnológiai szempontból megvalósíthatatlanná tette. Bár elméletben működhetett volna, a gyakorlati kivitelezés nem volt lehetséges, így a koncepció nem alkalmazható.

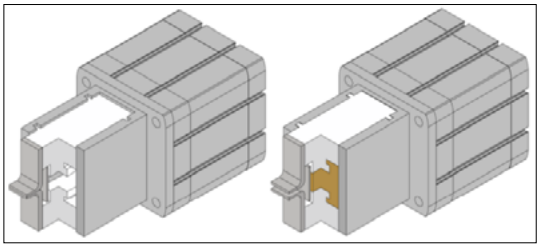
Ezt követően egy aszimmetrikus párhuzamos nyitót (8. ábra) is vizsgáltam, amely lehetővé tette vastagabb, akár 5 mm-es pofák használatát. A számítások szerint ez működőképes lett volna, azonban a profil szétfeszítése közben elmozdulás léphetett fel, és hátsó megtámasztásra lett volna szükség, ami megnövelte volna a berendezés tömegét és bonyolultságát. Ez a megoldás sem felelt meg az egyszerű, biztonságos és ismételhető működés követelményeinek.

A harmadik koncepció egy pneumatikus, erőkaros áttétellel működő nyitómechanizmus (9. ábra) volt, amely kisebb hengerrel biztosította volna a nyitóerőt. Bár működőképes lett volna, a szerkezet bonyolultsága és a hosszabb löketű henger miatt nem jelentett valódi tömegcsökkentést, ezért ezt a megoldást sem választottam.

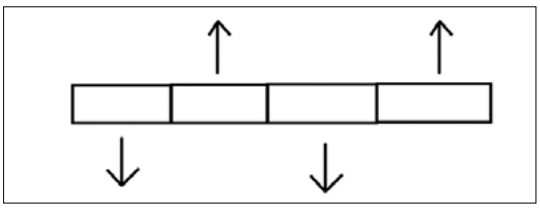
Végül a hidraulikus éknyitó (10. ábra) konstrukció bizonyult a legmegfelelőbbnek. A hidraulikus rendszer nagy nyomást biztosít kis munkahenger mellett, a nyitópofa és a henger egy tengelyen futnak, csökkentve a lehajlást, és az ellendarab segítségével a nyitás szabályozott és ismételhető. A rendszer kompakt, stabil és pontos, és lehetővé teszi különböző profilméretek kezelését ugyanazzal a berendezéssel, ezért a további fejezetekben ennek a konstrukciónak a kidolgozására összpontosítok.

5. Vizsgálatok és mérések

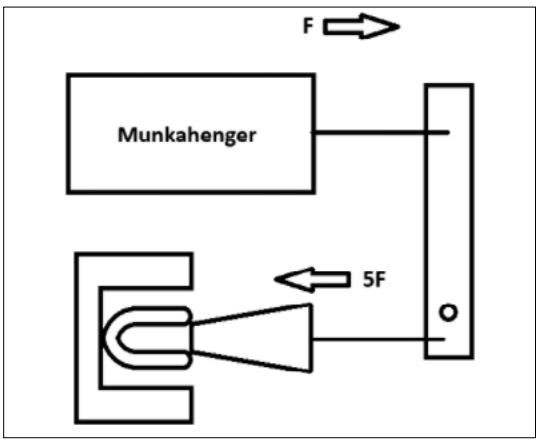
A szükséges profilnyitó erőt elsőként ANSYS végeselemes szoftverben határoztam meg. A szimuláció célja az volt, hogy megállapítsam, mekkora erő szükséges a vizsgált alumíniumprofil kinyitásához, és hogy vizsgáljam a nyitás során fellépő feszültségeloszlást és alakváltozást. A profil 3D-modellje importálásra került az ANSYS környezetébe, majd statikus szerkezeti vizsgálatot végeztem (11. ábra).



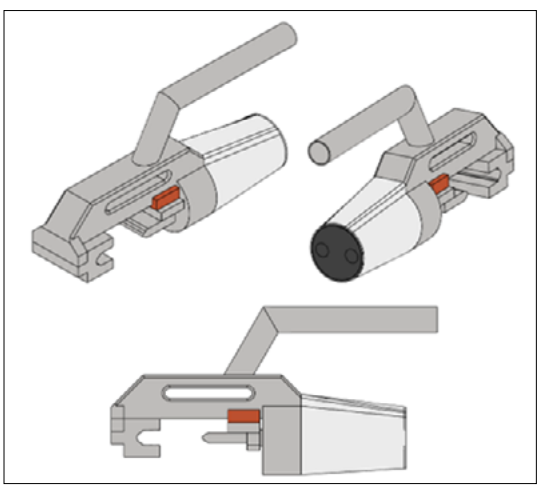
7. ábra. *Párhuzamos nyitóberendezés vázlata*



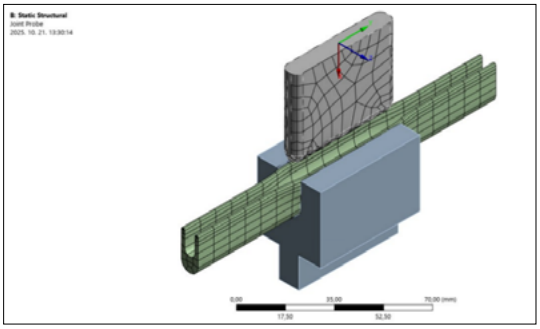
8. ábra. *Aszimmetrikus párhuzamos nyitó*



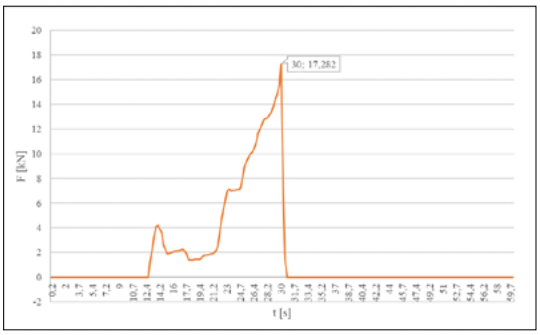
9. ábra. *Erőkar-mechanizmusú nyitógép*



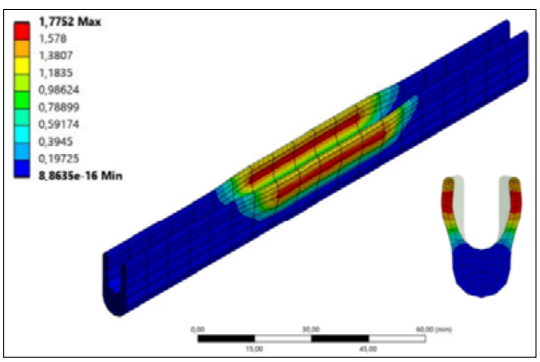
10. ábra. *Hidraulikusék-nyitó vázlat*



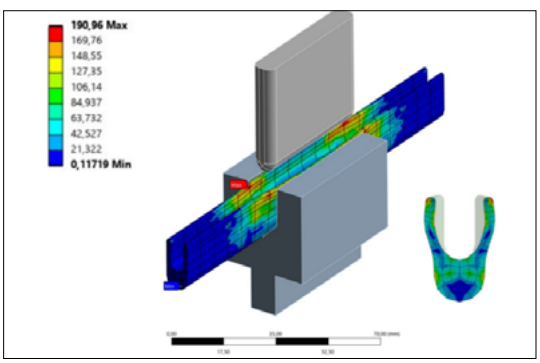
11. ábra. *A szimulált nyitásteszt*



12. ábra. *A fellépő nyitóerő F-t grafikonja*



13. ábra. *A profil deformációja*



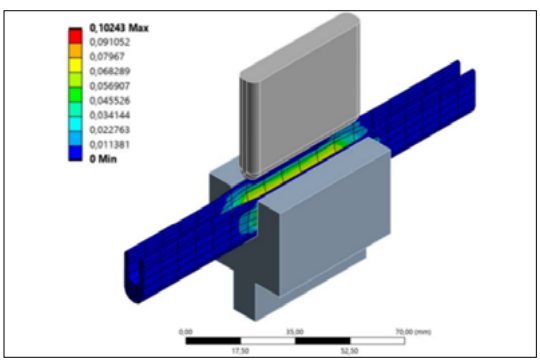
14. ábra. *A profilban fellépő feszültség képlékeny alakítás után*

A vizsgálat során a profil anyagát az alumínium 6060 T66 jellemzőivel modelleztem, figyelembe véve a rugalmas moduluszt, Poisson-tényezőt, folyáshatárt, szakítószilárdságot és szakadási nyúlást. A peremfeltételek között rögzítettem az ellendarabot, a nyitópofa mozgását pedig csúszó kötésként adtam meg, míg a profil és nyitóbetét között súrlódó kontaktot definiáltam. A szimulációban a profil deformációját vizsgáltam, a többi testet merevnek tekintve.

A ponthálós modell és a 60 szegmensre bontott mozgás segítségével meghatároztam a szükséges nyitóerőt, amely az ék előtolása során fellépő ellenállás alapján 17,28 kN-nak adódott (**12. ábra**). Ez nagyobb érték, mint a régi berendezés nyitóereje, mivel a konstrukcióban az ellendarab révén tompább nyitóbetétszöget lehetett kialakítani, ami a profil belső keresztmetszetének növekedésével nagyobb ellenállást eredményezett.

A képlékeny alakítás során a profilban a maximális maradandó deformáció 1,78 mm volt (**13. ábra**), a fellépő Von Mises feszültség 190,96 MPa (**14. ábra**), ami nem haladta meg az anyag szakítószilárdságát. A képlékeny tartományban a feszültség és az alakváltozás arányossága megszűnik, ezért az anyagtörést az ekvivalens képlékeny alakváltozás alapján értékeltem. Az eredmények szerint a maximális képlékeny alakváltozás 10% volt (**15. ábra**), ami az anyag 15%-os határértéke alatt maradt, így a profil hidegalakítás közben nem szakad el.

A szimulációt kiegészítve, a nyitási elvet valós körülmények között is teszteltem. A régi nyitógépet átalakítva, a pofák szélességének csökkentésével a profil problémamentesen nyílt szét, maradandó alakváltozással, törés nélkül. Több ékszögű nyitóbetétet is kipróbáltam, és a 70°-os kialakítás bizonyult a legstabilabbnak és legjobban ismételhetőnek.



15. ábra. *A profilban fellépő képlékeny alakváltozás mértéke*

A tesztek során azt is ellenőriztem, hogy az új elven készült profil megfelelően illeszthető-e a szövethez. A próbák alapján az összevarrott szövet a faragás nélküli profilba is könnyen behelyezhető volt, így a fejlesztett berendezés nyitási elve a gyakorlatban is hatékonyan alkalmazható.

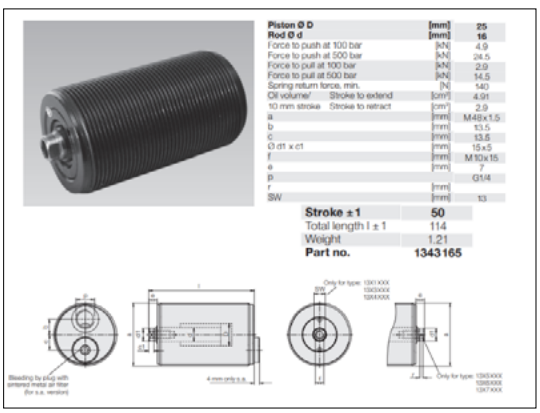
6. A konstrukció tervezése

A szimulációk alapján kapott ~17,3 kN nyitóerőre egy legalább 20 kN erőt biztosító, könnyen szerelhető és kis tömegű munkahengert választottam: a ROEMHELD B1.309-1343165 modellt (**16. ábra**). A henger kiválasztásakor a beépítési méretek, a lökethossz és a könnyű kezelhetőség voltak a fő szempontok.

A munkahengerhez igazodva elkészítettem a nyitógép vázlatát (**17. ábra**), ahol a legnagyobb profilméretek nyithatósága, a szerelhetőség és a karbantarthatóság volt elsődleges szempont **[2]**.

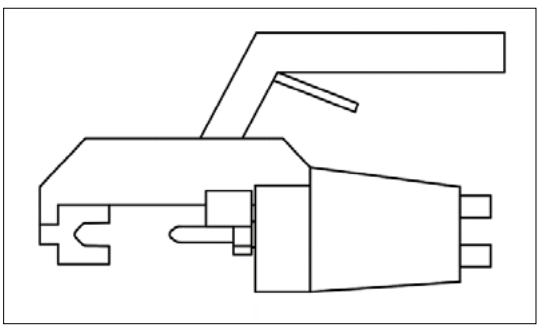
A gépváz és az ellendarab méretezését az ANSYS Discovery generatív design moduljával optimalizáltam (**18. ábra**), a merevség jelentős csökkenése nélkül a tömeg felére csökkent. Bár a program által generált modellt fémporos 3D-nyomtatással is lehetne gyártani, én a költséghatékonyság és a könnyű megmunkálhatóság miatt egy egyszerűsített kialakítást alkalmaztam **[3]**.

Az ellendarabot (**19. ábra**) szerelhetőre terveztem, és a profil felületének védelmét 3D-nyomtatott műanyag betéttel oldottam meg. A betét belsejében a kopás mértékét jelző réteg is található, ami a megelőző karbantartást segíti. A 70°-os ékszögű nyitóbetét befogása (**20. ábra**) gyors cserét tesz lehetővé más profilokra, három M8-as hernyócsavarral rögzítve, míg a munkahenger biztosítását egy DIN1804 csapágyanya biztosítja.

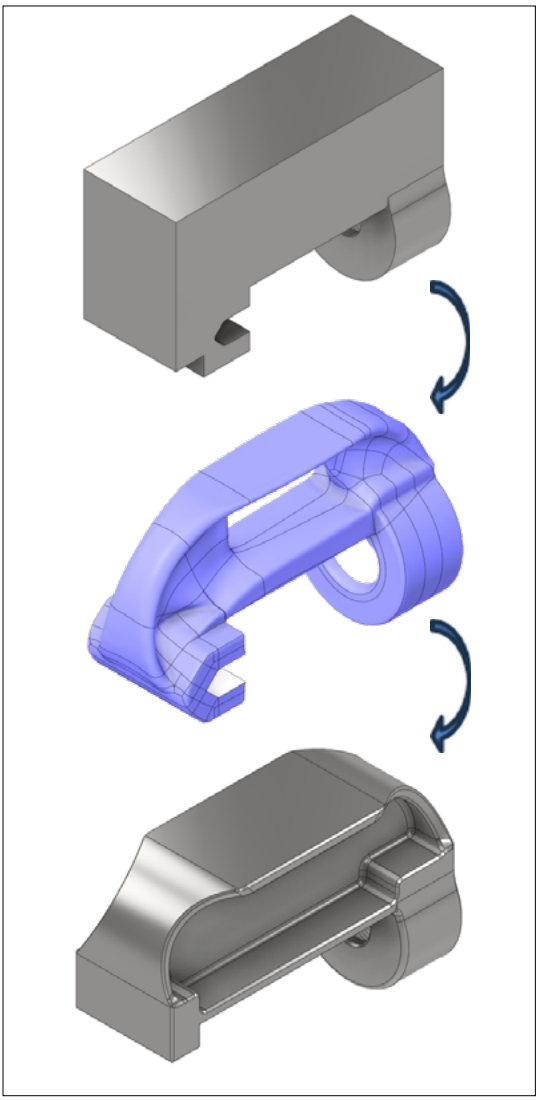


Piston Ø D	[mm]	25
Rod Ø d	[mm]	16
Force to push at 100 bar	[kN]	4.9
Force to push at 500 bar	[kN]	24.5
Force to pull at 100 bar	[kN]	2.9
Force to pull at 500 bar	[kN]	14.5
Spring return force, min.	[N]	140
Oil volume/ Stroke to extend	[cm³]	4.91
10 mm stroke Stroke to retract	[cm³]	2.9
a	[mm]	M48x1.5
b	[mm]	13.5
c	[mm]	13.5
Ø d1 x d1	[mm]	15x5
f	[mm]	M10x15
e	[mm]	7
p		G1/4
r	[mm]	
SW	[mm]	13
Stroke ±1		**50**
Total length l ± 1		114
Weight		1.21
Part no.		**1343165**

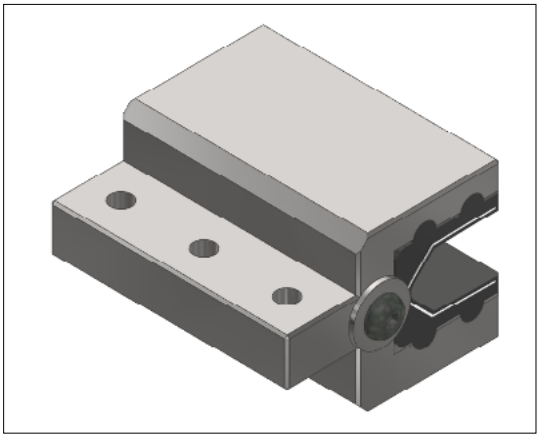
16. ábra. *ROEMHELD B1.309-1343165 munkahenger [Forrás: https://ws.roemheld.de/en/products/threaded-body-universal-cylinder~psnY7PGzvOQX]*



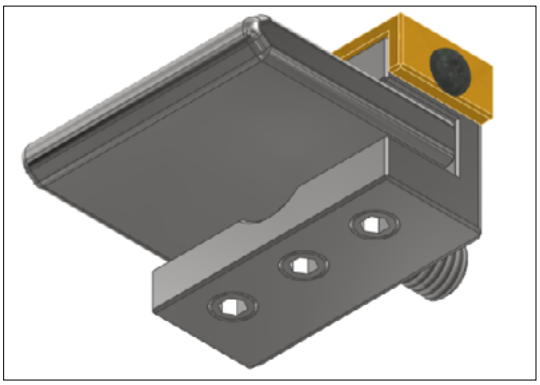
17. ábra. *A nyitógép vázlata*



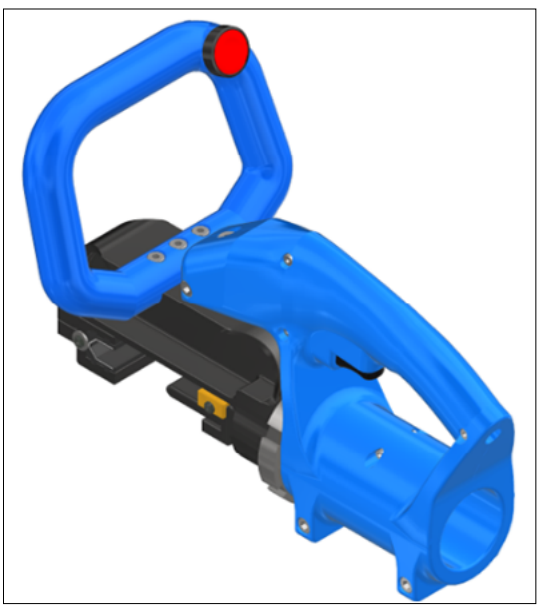
18. ábra. *A gépváz topológiai tömegoptimalizálása*



19. ábra. *Az ellendarab kialakítása*



20. ábra. *A nyitóbetét-befogó kialakítása*



21. ábra. *Ergonomikus markolat*

A párhuzamosságot és az egyenletes mozgást bronz siklócsapágy garantálja, csökkentve a súrlódást és növelve a precizitást [4].

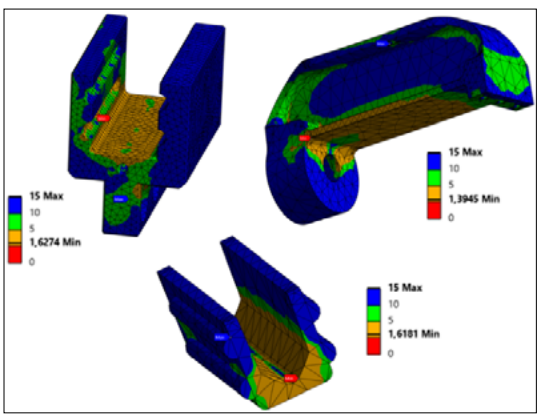
Az ergonómiai szabványok alapján tervezett kezelőszerv (21. ábra) biztosítja, hogy a henger csak a gomb és a ravasz együttes lenyomásával működjön, bármelyik elengedésekor visszatér alaphelyzetbe. A konstrukció így egyszerre kompakt, stabil, ergonomikus és univerzálisan használható minden profiltípushoz [5, 6].

7. Szilárdságtani elemzés és anyagválasztás

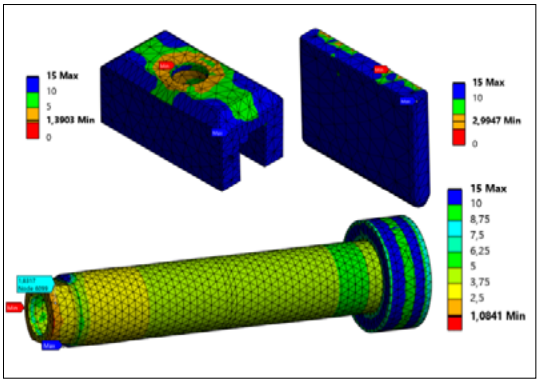
A gép kritikus szerkezeti elemeinek szilárdsági ellenőrzését ANSYS-ban végeztem el [7]. A vizsgálat célja az volt, hogy a legnagyobb igénybevételnek kitett alkatrészek viselkedését, valamint az anyagválasztás megfelelőségét értékeljem. A szimuláció során a közvetlenül érintkező alkatrészeket elemeztem egyben, így a számítás gyors és a kritikus pontokra fókuszált volt, miközben a valós terhelési állapotot hűen tükrözte.

A gépváz és az ellendarab vizsgálatakor a munkahenger befogását rögzítettem, majd a nyitóerő maximális értékére, 20 kN-ra terheltem a szerkezetet. A kapott Von Mises feszültségek alapján a gépváz és az ellendarab acélelemeihez S355JR szerkezeti acélt választottam. Ez az anyag gazdaságos, könnyen megmunkálható, jól hegeszthető, és a szükséges szilárdsági követelményeknek megfelel. A korrózió elleni védelem érdekében vegyi barnítást alkalmaztam [8], míg a műanyag betéthez POM-ot (polioximetilént) választottam a jó kopásállóság és vegyszerállóság miatt.

A kiválasztott anyagok mechanikai tulajdonságai alapján ellenőriztem a biztonsági tényezőket, amelyek megfelelő értékeket mutattak a váz és ellendarab esetében (22. ábra).



22. ábra. *A gépváz alkatrészeinek biztonsági tényezője*



23. ábra. *A nyitóbetét és befogásának biztonsági tényezője*

24. ábra. *Az elkészült nyitógép prototípusa*

A nyitóbetét és befogó vizsgálatakor szintén a 20 kN nyitóerőt alkalmaztam. A befogó és a váz acélelemeihez S355JR-t rendeltem, a nyitóbetéthez 42CrMo4 ötvözött acélt, mely edzéssel és megeresztéssel nagy kopásállóságot és szívósságot biztosít. A nyitóbetét felületét DLC-bevonattal láttam el a kopás csökkentésére és a súrlódási tényező minimalizálására **[9]**. A siklócsapágy anyaga CuSn7Pb15 bronz, mely jó kenést biztosít száraz és szennyezett körülmények között **[10]**.

A munkahenger gyártója nem adta meg a rúd anyagát, ezért ipari standardként C45 nemesített acéllal számoltam. A szimulációk alapján az alkatrészek biztonsági tényezői megfelelőek: a nyitóbetét és befogó a terhelések alatt biztonságosan működik, a helyi feszültségcsúcsok az éles geometriai átmenetek miatt jelentkeztek, valós körülmények között lekerekítés alkalmazásával ezek a feszültségek lényegesen kisebbek (**23. ábra**).

Összességében a szimulációk és az anyagválasztás igazolták, hogy a gép fő elemei a tervezett nyitóerő mellett biztonságosan, a kívánt funkcionalitásnak megfelelően működnek.

8. Következtetések

A kutatás és tervezési munka eredményeként egy hidraulikus működtetésű kézi profilnyitó szerszám került kialakításra (**24. ábra**), amely alkalmas az extrudált alumíniumprofilok pontos és ismételhető nyitására.

A hidraulikus működtetés alkalmazása lehetővé teszi a szükséges erő biztosítását, miközben a berendezés kompakt és könnyen kezelhető marad. A végeselem-vizsgálatok igazolták, hogy a szerkezet szilárdsága és merevsége megfelel a tervezési követelményeknek.

A fejlesztett berendezés a korábban alkalmazott eszközökhöz képest javítja a gyártási pontosságot és csökkenti a hibák számát. A jövőbeni fejlesztési irányok közé tartozik a szerszám adaptálása különböző profilméretekhez, valamint a gyártási folyamat további optimalizálása.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa támogatta.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] HÜBNER Group, „HÜBNER Group – Mobility,” 15 03 2025. [Online]. Available: https://www.hubner-group.com/hu/mobility.

[2] Á. Zsáry, Gépelemek 2., Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó, 2008.

[3] M. Ramasamy, A. Slíva, P. Govindaraj, A. Nag: *Topology Optimization and Testing of Connecting Rod Based on Static and Dynamic Analyses*. Applied Sciences, 15/4. (2025) 2081.

[4] G. Pahl, W. Beitz: *A géptervezés elmélete és gyakorlata*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1981.

[5] C. Berlin, C. Adams: *Production Ergonomics: Designing Work Systems to Support Optimal Human Performance*. Ubiquity Press Ltd., London, 2017.

[6] G. Becker, G. Kaucsek: *Termékergonómia és termékpszichológia*, Tölgyfa kiadó, Budapest, 1998.

[7] S. Moaveni: *Finite Element Analysis: Theory and Application with ANSYS*. Pearson Education Limited, Harlow, 2015.

[8] S. Sild: *Black Oxide Coating – How It Works, Benefits & Types*. Factory, 19 11 2025. [Online]. Available: https://fractory.com/black-oxide-coating-explained.

[9] S. Bhowmick, A. Banerji, A. T. Alpas: *Tribological Behaviour of W-DLC against an Aluminium Alloy Subjected to Lubricated Sliding*. Tribology in Industry, 2015, 277–28 .

[10] R. G. Budynas, J. K. Nisbett: *Shigley's Mechanical Engineering Design*. 11th edition, McGraw-Hill Education, New York, 2019.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 72–78.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.08
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.08

A WATCH+ PÁLYAORIENTÁCIÓS PROGRAM BEMUTATÁSA ÉS TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

PRESENTATION OF THE WATCH+ CAREER ORIENTATION PROGRAM AND OPPORTUNITIES FOR FURTHER DEVELOPMENT

Kulcsár Kira,[1] Sarvajcz Kornél[2]

[1] *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék. Debrecen, Magyarország, kulcsar.kira02@gmail.com*

[2] *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék. Debrecen, Magyarország, sarvajcz@eng.unideb.hu*

Abstract

The underrepresentation of women in STEM fields remains a global problem today, necessitating the creation of numerous programs. In this thesis, in addition to analyzing statistical data, international and domestic initiatives are presented, with a particular focus on WATCH (Women at Tech), launched by the Agóra Tudományos Élményközpont. Within the alumni program of this initiative, WATCH+, the program is further developed by designing and leading an electronics project-building activity, utilizing the opportunities provided by the Electrical Engineer and Mechatronics Department at the University of Debrecen.

Keywords*: STEM, career orientation, electronics, WATCH program.*

Összefoglalás

A nők STEM-területeken való alulreprezentáltsága napjainkban is világszintű probléma, amely számos program létrehozását teszi szükségessé. Dolgozatomban a statisztikai adatok elemzése mellett nemzetközi és hazai kezdeményezéseket mutatok be, különös tekintettel az Agóra Tudományos Élményközpont által indított WATCH-ra (Women at Tech). Ezen program alumniprogramját, a WATCH+-ot a Debreceni Egyetem Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszék adta lehetőségekkel egy általam kidolgozott és vezetett elektronikai projektépítéssel fejlesztettem tovább.

Kulcsszavak*: STEM, pályaorientáció, elektronika, WATCH program.*

1. Bevezetés

A tudományos és technológiai területeken a nemek közti egyensúly megteremtése napjaink egyik fontos társadalmi és szakmai kihívása. Bár a nők világszerte többséget alkotnak a felsőoktatásban, a STEM-területeken továbbra is jelentős alulreprezentáltságuk figyelhető meg. A mérnöki és technológiai pályákon tapasztalható különbségek a bérezésben és az előmeneteli lehetőségekben is megmutatkoznak: a nők kevesebb fizetést kapnak, és arányosan kevesebben töltenek be magasabb pozíciókat.

Számos kutatás rámutat arra, hogy a pályaválasztást nemcsak az érdeklődés és a képességek befolyásolják, hanem a társadalmi és kulturális hatások, sztereotípiák, a példaképek hiánya, valamint a műszaki területekhez kapcsolódó korlátozott tapasztalatok mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a lányok kisebb arányban tanulnak tovább STEM-területeken.

A probléma kezelésének egyik fő eszköze a pályaorientáció, különösen olyan programok formájában, amelyek lehetőséget biztosítanak a műszaki területek gyakorlati megismerésére. A projektalapú foglalkozások lehetőséget nyújtanak,

hogy a résztvevők valós problémákon keresztül tapasztalják meg a mérnöki gondolkodás és problémamegoldás folyamatát.

Magyarország egyik ilyen kezdeményezése az Agóra Tudományos Élményközpont által indított WATCH (Women at Tech), amely a középiskolás lányok számára kínál lehetőséget, hogy megismerkedjenek többek között a 3D-tervezés, a programozás és az elektronika alapjaival. A résztvevők saját projektet valósítanak meg mentorok segítségével, amelyet év végén egy zárórendezvény keretében mutatnak be. A program továbbfejlesztett változata, a WATCH+, a korábbi résztvevők számára nyújt lehetőséget tudásuk elmélyítésére.

Ezen kutatás célja a WATCH+ program keretében kidolgozott RGB LED-es projekt bemutatása, melynek során a résztvevők egy egyszerű áramkör megtervezésén és megvalósításán keresztül ismerkedhettek meg az elektronika alapjaival.

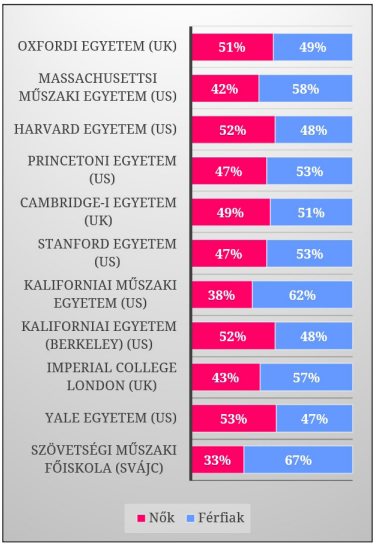
2. A felsőoktatásban tapasztalható nemi arányok és tendenciák

A nők STEM-területeken való részvételének kérdése az elmúlt években a kutatások egyik fontos témájává vált. Habár a felsőoktatásban már évek óta többségben vannak a nők, mérnöki és tudományos területeken jelentős alulreprezentáltság figyelhető meg továbbra is.

Európában a felsőoktatásban részt vevő nők aránya az elmúlt években folyamatosan növekedett. 2013 és 2018 között 25 ország adatai alapján a nők és férfiak beiratkozási aránya átlagosan 1,4:1 volt, ami jól mutatja, hogy a nők jelenléte a felsőoktatásban egyre meghatározóbb [1].

Hasonló tendencia figyelhető meg az Egyesült Államokban is, ahol 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 meghaladta a férfiakét (61,3%) [2].

A világ vezető egyetemein 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, műszaki egyetemeken pedig a férfiak kétharmados többsége is előfordul, amint az az 1. ábrán látható [3].



1. ábra. *Nemek eloszlása a világ vezető egyetemein a 2024/25-ös tanévben [3] alapján*

A képzési területek szerinti vizsgálat árnyaltabb képet ad a felsőoktatásban tapasztalható nemi megoszlásról. A 2023-as európai uniós statisztikák alapján világosan kirajzolódik, hogy az egyes tudományterületek között jelentős eltérések vannak. Az 1. táblázat szerint míg a pedagógusképzés, a művészeti ágak, bölcsészettudományok és 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].

1. táblázat. *A hallgatók nemi megoszlása képzési területenként (EU, 2023) [4] alapján*

Képzés	Nők	Férfiak
Pedagógia/oktatás	1 105 278	295 356
Művészetek, és bölcsészettudományok	1 369 897	736 422
Társadalomtudományok, újságírás	1 229 786	630 496
Gazdaságtudományok, közigazgatás és jog	2 265 148	1 873 770
Természettudományok, matematika és statisztika	656 053	617 325
Informatika, és kommunikációs technológiák	209 193	818 794
Mérnöki tudományok és építészet	765 538	1 996 793
Mezőgazdaság, erdészet, halászat és állatorvos-tudomány	194 076	209 709
Egészségügy és jóléti szolgáltatások	1 967 170	748 623
Szolgáltatások	421 437	478 427

Nemcsak a felsőoktatásban, hanem a munkaerőpiacon is jelentős eltérések figyelhetőek meg. Egy 2021-es európai uniós jelentés szerint a technológiai szektorban dolgozók mindössze 19%-a, míg a STEM-diplomások körülbelül egyharmada nő, valamint ezen területeken a férfiak átlagosan mintegy 19%-kal keresnek többet női kollégáiknál. E téren alig tapasztalható előrelépés, az utóbbi években ezek az arányok nem változtak számottevően. A pályakezdő pozíciókban a nők aránya 29,4%, ám ez drasztikusan visszaesik felsővezetői szinteken 12,4–17,8% közé. A 2023-as Világgazdasági Fórum Globális Nemi Egyenlőségi Jelentése szerint 132 évre lenne szükség a teljes egyenlőség eléréséhez [5].

3. Nemzetközi kutatások áttekintése

Ebben a fejezetben különböző nemzetközi kutatásokat tekintek át, amelyek a nők STEM-területeken való részvételét vizsgálják. A tanulmányok eltérő aspektusokból közelítik meg a kérdést: egyesek a kulturális és oktatási tényezőkre, mások a munkahelyi környezetre vagy a pszichológiai hatásokra fókuszálnak.

Shapiro és Sax tanulmánya áttekinti azokat a tényezőket, amelyek befolyásolják a nők STEM-szak-választását és a képzésekben való bennmaradását. A szerzők kiemelik a korai tapasztalatok, az önbizalom, a támogató környezet és mentorálás szerepét. A kutatás hangsúlyozza, hogy az intézményeknek aktívan kell kutatniuk és kezelniük a nemi különbségekhez vezető tényezőket saját környezetükben [6].

Blackburn a 200—2017 közötti szakirodalmat elemzi, a nők STEM-területeken betöltött szerepére összpontosítva. A kutatás fő témái a toborzás, a megtartás, az akadályok és az oktatói tapasztalatok. Kiemeli a sztereotípiák, az előítéletek és az intézményi kultúra hatását a nők tanulmányi és szakmai előrehaladására, valamint hangsúlyozza az identitás és a közösségi hovatartozás fontosságát [7].

García-Holgado és munkatársai a W-STEM projekt keretében a nők alacsony STEM-részvételét vizsgálják Latin-Amerikában, ahol a nemi egyenlőtlenségeket tovább súlyosbítják a kulturális normák és a társadalmi előítéletek. Bár a felsőoktatásban általánosan magas a női hallgatók aránya, a STEM-területeken továbbra is jelentős kisebbséget alkotnak. Céljuk a női példaképeket bemutató, motiváló eszközök és programok fejlesztése [8].

Beede és társai tanulmánya az amerikai STEM-munkaerőpiacon tapasztalható nemi különbségeket elemzi. Bár a nők a munkaerő közel felét teszik ki, a STEM-állásoknak csupán negyedét töltik be. A STEM-pályákon dolgozó nők átlagosan 33%-kal többet keresnek, mint akik nem ilyen területen helyezkednek el, így a bérszakadék is kisebb. A szerzők szerint a női példaképek hiánya, a sztereotípiák és a rugalmatlan munkakörnyezet gátolják a nők részvételét, ezért a támogatás és bevonás erősítését sürgetik [9].

Cimpian és kollégái az Egyesült Államokban vizsgálják a nemi arányokat a STEM-szakokon, és rámutatnak, hogy a férfiak aránya továbbra is jóval magasabb, különösen az alacsonyabb teljesítményű hallgatók körében. Az eredmények szerint a magasabb teljesítményű nőket hatékonyan lehet ösztönözni példaképek és célzott programok segítségével, míg a nemi különbségek mélyebb okai – például a kulturális normák és sztereotípiák – főként a férfiak felülreprezentáltságát erősítik a területen [10].

Bloodhart és társai kutatása kimutatta, hogy a női hallgatók mind a természettudományi, mind az élettudományi alapszakokon jobban teljesítenek férfi társaiknál, mégis kevésbé tehetségesnek ítélik meg őket. Ez az eltorzult észlelés az egyetemi közegben tovább erősíti a nemi sztereotípiákat, csökkenti a nők önbizalmát, és hozzájárul a lemorzsolódáshoz. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a nők teljesítményének elismerése kulcsfontosságú a STEM-pályákon való megtartásuk szempontjából [11].

Kahn és Ginther azt vizsgálják, miért maradnak alulreprezentáltak a nők a matematikaigényes STEM-területeken. A szerzők hangsúlyozzák a környezeti és társadalmi tényezők szerepét: a nemi sztereotípiák, kulturális elvárások és az érdeklődési minták már gyermekkorban formálódnak, és végigkísérik a nőket az iskolai pályafutáson át a munkaerőpiacig. Elemzésük szerint ezek a hatások együtt magyarázzák a nemek közti eltérést a STEM-területeken, ahol a preferenciákra és pszichológiai különbségekre épülő megközelítések különösen hangsúlyosak [12].

Diekman és társai azt vizsgálják, miért maradnak a nők továbbra is alulreprezentáltak a STEM-szakmákban annak ellenére, hogy a nemek közötti teljesítménykülönbségek csökkentek. A szerzőknek az a véleménye, hogy a nők motivációját gyakran befolyásolják a társas és családi tényezők, valamint a STEM-pályákra jellemző sztereotípiák. A tanulmány gyakorlati javaslatokat is megfogalmaz a nők bevonásának és pályán tartásának elősegítésére, például a támogató

munkahelyi kultúra és a rugalmas munkafeltételek erősítésével [13].

Avolio és munkatársai 470 tanulmány átfogó elemzése alapján vizsgálják, milyen tényezők befolyásolják a nők tudományos karrierben való részvételét és előmenetelét. Ötféle tényezőcsoportot azonosítanak: egyéni, családi, társadalmi, oktatási és munkaerőpiaci-gazdasági hatásokat. Rámutatnak arra, hogy ezek a tényezők egymással összefonódva hatnak, ezért a probléma rendszerszintű megközelítést igényel [14].

Morganson és szerzőtársai a nők STEM-területeken való alulreprezentáltságát a társas megküzdés (social coping) szerepén keresztül vizsgálják. Eredményeik szerint a nők gyakrabban támaszkodnak társas támogatásra, ami erősíti elköteleződésüket a szakjuk iránt, és csökkenti a lemorzsolódást. A férfiaknál ezzel szemben a társas megküzdés gyengébb kapcsolatban állt az eredményességgel. A tanulmány szerint a támogató közösségi kapcsolatok kulcsfontosságúak a nők STEM-pályán maradásában [15].

4. Programok a nők támogatására a STEM-pályákon

4.1. OxWEST

Az OxWEST (Oxford Women in Engineering, Science, and Technology) az Oxfordi Egyetem egyik legnagyobb hallgatói szervezete, amely a nők tudományos, technológiai, mérnöki és matematikai pályán való érvényesülését támogatja. Workshopokat, közösségi eseményeket és mentorprogramokat szerveznek, ahol a hallgatók kapcsolatba léphetnek szponzorokkal és szakmai közösségekkel. Emellett évente konferenciákat rendeznek, amelyek célja a tehetséges fiatal nők bemutatása és támogatása a mérnöki karrier elindításában [16].

4.2. WTP

Az MIT Women's Technology Programja (WTP) egy négyhetes, bentlakásos nyári kurzus középiskolás lányok számára, akik érdeklődnek a matematika és természettudományok iránt, de még nem rendelkeznek mérnöki tapasztalattal. A program célja, hogy gyakorlati órák, laborfeladatok és csapatprojektek segítségével betekintést nyújtsanak a mérnöki tudományok világába, ezáltal ösztönözve a résztvevőket a STEM-területeken való továbbtanulásra [17].

4.3. WiSTEM

A WiSTEM (Women in Science, Technology, Engineering, and Mathematics) célja, hogy mentorálás révén támogassa a Harvard Egyetemen tanuló nőket a STEM-területeken való érvényesülésben. A program összekapcsolja az alapképzésben részt vevő hallgatókat a posztgraduális tanulmányokat folytató nőkkel, akik szakmai támogatást és inspirációt nyújtanak számukra. Hosszú távú célja a befogadó közösség megerősítése és a nők szélesebb körű képviseletének elősegítése volt a STEM-karrierekben, azonban a program 2025. július 10-én archiválásra került [18].

4.4. Lányok napja

A Lányok napja egy magyarországi, országos szintű, STEM-területekhez közel álló szakmákat népszerűsítő pályaorientációs nap felsőtagozatos és középiskolás diáklányok részére a Nők a Tudományban Egyesület szervezésében. Ezen a napon az ország számos vállalata, egyeteme és kutatóintézete szervez interaktív programokat, hogy a lányok gyakorló szakemberek által ismerhessék meg a tudományok világát [19].

4.5. A WATCH program

A WATCH (Women at Tech) program a debreceni Agóra Tudományos Élményközpont szervezésében, az Emerson | NI stratégiai partner támogatásával 2021-ben indult útjára. Az elmúlt évek során Magyarország egyik legsikeresebb, kifejezetten középiskolás lányokat célzó pályaorientációs programjává vált.

A WATCH program célja, hogy a középiskolás lányok számára élményszerű formában mutassa be a mérnöki és technológiai pályák sokszínűségét. A kezdeményezés alapját egy tanéven át tartó, gyakorlati szemléletű projektmunka adja, amely során a résztvevők kis létszámú (3–5 fős) csapatokban dolgoznak mentoraik támogatásával.

A program egy alapozóképzéssel kezdődik, ahol a lányok tíz héten keresztül, heti két óra keretében ismerkedhetnek meg a 3D-modellezés, a programozás, a robotika és az elektrotechnika alapjaival, valamint fejleszthetik előadói és prezentációs készségeiket is. Az így megszerzett tudást saját projektjük kidolgozásában kamatoztatják, amelyet a nagyközönség előtt is bemutatnak – többek között a tanév végén az Agóra Tudományos Élményközpontban, a WATCH zárórendezvényén, valamint a Campus Fesztiválon és a Kutatók Éjszakáján [20].

A program szerves része a pályaorientáció: a résztvevők személyesen is találkozhatnak női mérnökökkel, látogatást tehetnek egyetemeken és ipari vállalatoknál. A kezdeményezést stratégiai partnerként az EMERSON | NI támogatja, emel-

lett évről évre egyre több önkéntes csatlakozik mentorként – nemcsak tőlük, hanem a Sensirion Hungary Kft. és a Diehl Aviation Hungary Kft. munkatársai közül is [20].

2023-tól a program WATCH+ néven tovább bővült, amely lehetőséget biztosít a korábbi résztvevőknek tudásuk elmélyítésére újabb projektmunkákon keresztül. A nagy érdeklődésre való tekintettel 2026-tól a program a fiúk számára is megnyílt, új néven, Welcome All to Tech formában, miközben eredeti célkitűzései – a fiatalok STEM-pályák iránti érdeklődésének felkeltése és támogatása – változatlanok maradtak [20].

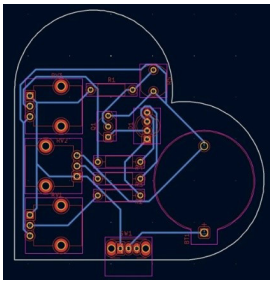
A Debreceni Egyetem mechatronikai mérnök szakos hallgatójaként és a program nagykövetéként igyekszem hozzájárulni a tanszék adta lehetőségekkel a WATCH további szakmai fejlődéséhez. Célunk, hogy a kezdeményezés a jövőben még több fiatal számára nyisson utat a technológiai és mérnöki pályák felé, miközben megőrzi a közösség inspiráló és támogató jellegét.

5. Elektronikai projekt fejlesztése a WATCH+ program számára

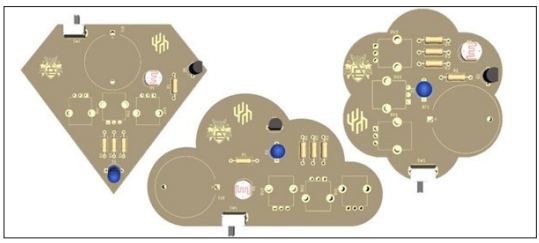
A WATCH+ program egyetemi bővítésének részeként egy olyan foglalkozást terveztünk, amely során a résztvevők egy RGB LED-alapú, potenciométerekkel szabályozható színhőmérsékletű, sötétben világító elektronikai eszközt tervezhetnek, majd alkothatnak meg, amelyet a foglalkozás végén haza is vihetnek magukkal emlékbe. A projekt célja, hogy a lányok a tervezéstől a gyártásig megismerjék a műszaki fejlesztési folyamat főbb lépéseit. A foglalkozás során egy egyszerű LED-es áramkört tervezhetnek meg és szabhatnak személyre a KiCad szoftverben, majd az elkészült NYÁK-ok a Debreceni Egyetem Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszékén található LPKF ProtoLaser H4 lézeres NYÁK-marógép segítségével készülhetnek el.

A foglalkozás fejlesztése során fontos szempont volt, hogy a résztvevők kreatívan alakíthassák a végső eszköz megjelenését, ezért lehetőséget biztosítottunk egyedi formájú NYÁK-ok tervezésére. Az alapforrmákat AutoCAD-ben készítettünk el, majd azokat a KiCad-be importáltuk, ahol az áramkör huzalozása is elkészült. A 2. ábrán az első prototípus, egy szív alakú NYÁK terve látható.

Többféle formát is megterveztünk, amelyek inspirációként szolgáltak a résztvevők számára. A NYÁK-ok motívumokkal és feliratokkal is személyre szabhatóak, ami növeli a projekt motivációs és élményalapú jellegét. Az elkészült tervek a program 3D-nézetében is megtekinthetőek, így a résztvevők már a legyártás előtt megtekinthetik az eszközük várható megjelenését. Az elkészült látványtervek a 3. ábrán láthatóak.



2. ábra. *A NYÁK huzalozás utáni állapota*



3. ábra. *Gyémánt, felhő és virág alakú látványtervek*

5.1. Alkatrészek méretezése

Az áramkör egy RGB LED köré épül, amelynek megfelelő működéséhez az előtét-ellenállásokat számítással határoztuk meg, a LED nyitófeszültsége és a kívánt áramerősség alapján. A stabil működés biztosítása érdekében az áramkört két sorba kötött gombelemmel tápláljuk, így a rendszer 6 V feszültségről üzemel. Az RGB LED színhőmérsékletének szabályozását potenciométerek biztosítják, míg a sötétben történő működést egy fotoellenállás és tranzisztor alkotta vezérlő áramkör teszi lehetővé, melyet feszültségosztóval úgy állítottunk be, hogy a kapcsolási küszöb 10 lux fényerőnél legyen. Fontos szempont volt továbbá az egyszerű kézi beforrasztás, így furatszerelt alkatrészeket választottunk.

5.2. A prototípus elkészítése

A véglegesített áramköri terv alapján elkészült a projekt prototípusa, amelynek célja az áramkör működésének ellenőrzése, valamint a gyártási és szerelési folyamatok tesztelése volt. A NYÁK legyártása az említett LPKF ProtoLaser H4 lézeres NYÁK-marógéppel történt. A szív alakú kontúr pontos marását követően a lap éleit megtisztítottuk, majd a felületet portalanítottuk és előkészítettük a beültetéshez.

A szükséges alkatrészek beforrasztása kézi eljárással történt. A forrasztások befejezése után a NYÁK hátoldalát, tisztítást követően, átlátszó védőlakkal kezeltük a korrózió és szennyeződés elleni védelem érdekében.

A kész áramkör működése megfelelt az elvárásoknak: világos környezetben a fotoellenállás hatására a LED nem világított, sötétben azonban bekapcsolt, mint ahogy a **4.** és **5. ábrá**kon látszik. A három potenciométer segítségével az RGB LED színei széles tartományban, fokozatmentesen állíthatók. A prototípus így stabil működést mutatott, és esztétikai szempontból is megfelelőnek bizonyult a további oktatási felhasználásra.

A próbagyártás igazolta, hogy a tervezett kapcsolás és NYÁK-elrendezés megfelelő, a kiválasztott alkatrészek pedig jól illeszkednek a konstrukcióhoz. A tapasztalatok alapján a sorozatgyártásra és a résztvevőkkel megvalósítandó projektépítésre alkalmasnak bizonyult.

5.3. A projektépítés megvalósítása

A projektépítés 2025. november 18-án került megrendezésre a Debreceni Egyetem Villamosmérnöki és Mechatronikai Tanszékén. A foglalkozáson a WATCH+ programban részt vevő középiskolás lányok saját NYÁK-lapjaikat készíthették el, a korábban bemutatott tervek és áramkör alapján.

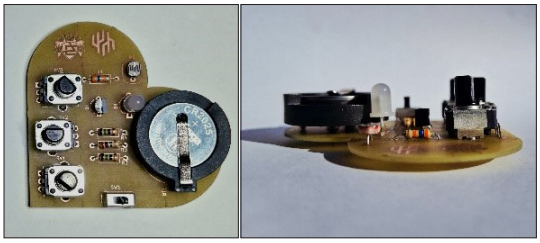
A foglalkozás során a diákok kis létszámú csoportokban, oktatói és hallgatói mentorálás mellett dolgoztak, így mindenki személyre szabott segítséget kaphatott. A projektépítés végén a résztvevők hazavihették a saját, egyedi kialakítású áramkörüket, amely emlékként és motivációs eszközként is szolgálhat számukra a műszaki pálya felé vezető úton (**6. ábra**).

6. Következtetések

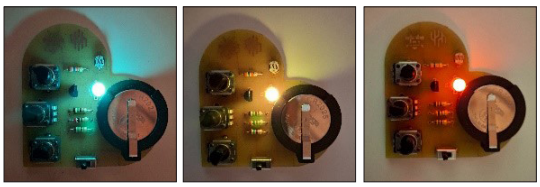
A kutatómunka során a WATCH+ program keretében egy új, oktatási célú projektépítési lehetőség került kidolgozásra, amelynek célja, hogy a részt vevő lányok számára gyakorlati tapasztalatot biztosítson a mechatronika és az elektronika alapjaiban. A fejlesztés középpontjában egy egyszerű, szemléletesen bemutatható elektronikai rendszer állt, amely a fényérzékelés és a LED-vezérlés kapcsolatát demonstrálja. A koncepció kialakításakor fontos szempont volt, hogy a projekt élményszerűen közvetítse a STEM-területekhez kapcsolódó alapfogalmakat, és elősegítse a műszaki gondolkodás, valamint az alkotó szemlélet fejlődését.

A projektépítési alkalom 2025. november 18-án került megrendezésre a tanszéken, a WATCH+ program keretében. A foglalkozásra a meghirdetést követően a férőhelyek azonnal beteltek, a szükséges oktatási anyagok és eszközök előkészítése pedig a megvalósítást megelőzően megtörtént. Az esemény során a részt vevő lányok gyakorlati formában ismerkedtek meg az elektronikai alapokkal, miközben megépítették saját működő áramkörüket. A foglalkozás célja az volt, hogy kézzelfogható élményt nyújtson a műszaki alkotás folyamatáról, és ezzel erősítse a STEM-pályák iránti érdeklődésüket.

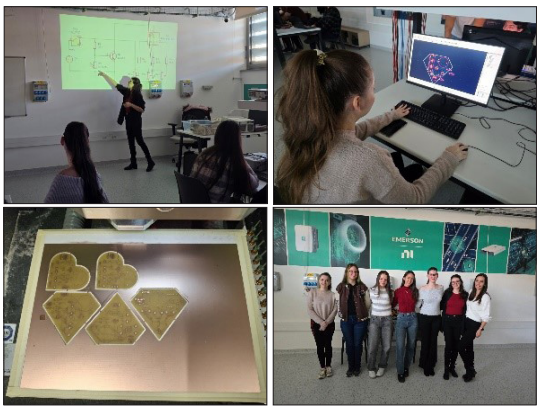
Az alkalom a terveknek megfelelően sikeresen zajlott le, a részt vevő lányok visszajelzései rendkívül pozitívak voltak. Már az is jelentős eredménynek tekinthető, ha néhányuk a tapasztalat hatására mérnöki pályát választ, így a jövőben a WATCH és WATCH+ programoknak köszönhetően egyre több női mérnök kerülhet az iparba.



4. ábra. *Az eszköz világosban, a LED nem világít*



5. ábra. *Az eszköz sötétben, 3 különböző színhőmérséklet-beállítással*



6. ábra. *A projektépítés*

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a konzulensemnek, dr. Sarvajcz Kornél tanár úrnak a szakmai iránymutatásért, a támogatásért és a hasznos tanácsokért, amelyek nagyban hozzájárultak a dolgozat elkészítéséhez és a projekt sikeres megvalósításához.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Megalokonomou R., Vidal-Fernandez M., Yengin D.: *Underrepresentation of Women in Undergraduate Economics Degrees in Europe: a Comparison with STEM and Business*. IZA Policy Papers, 175 (2021) 7.

[2] Forbes, Women Continue To Outpace Men In College Enrollment And Graduation. 2024. https://www.forbes.com/sites/michaeltnietzel/2024/08/07/women-continue-to-outpace-men-in-college-enrollment-and-graduation/ (letöltve: 2025. 11.01.).

[3] Statista, Gender Distribution at the World's Leading Universities in the Academic Year 2024/2025. 2025. (letöltve: 2025. 11.01.) https://www.statista.com/statistics/1345939/gender-distribution-world-leading-universities

[4] Eurostat, Students Enrolled in Tertiary Education by Dducation Level, Programme Orientation, Sex and Field of Education. 2023.(letöltve: 2025. 11.01.) https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/educ_uoe_enrt03__custom_13164948/bookmark/table?lang=en&bookmarkId=50c16ded-963e-4867-80cd-708aaffd705f

[5] Merayo N., Ayuso A.: *Identifying Beliefs about the Gender Gap in Engineering Professions among University Students Using Community Detection Algorithms and Statistical Analysis*. Computer Applications in Engineering Education. Wiley 32/4. (2024) e22751. 2. https://doi.org/10.1002/cae.22751

[6] Shapiro C. A., Sax L. J.: *Major Selection and Persistence for Women in STEM*. New Directions for Institutional Research, 152. (2011) 5–18. https://doi.org/10.1002/ir.404

[7] Blackburn H.: *The Status of Women in STEM in Higher Education: A Review of the Literature 2007–2017*. Science & Technology Libraries, 36/3. (2017) 235–273. https://doi.org/10.1080/0194262X.2017.1371658

[8] García-Holgado A., Díaz A. C., García-Peñalvo F. J.: *Engaging Women into STEM in Latin America: W-STEM project*. Proceedings of the Seventh International Conference on Technological Ecosystems for Enhancing Multiculturality, 232–239. (2019) https://doi.org/10.1145/3362789.3362902

[9] Beede D. N., et al.: *Women in STEM: A Gender Gap to Innovation.* Economics and statistics administration issue brief, 2011. 04–11. https://doi.org/10.2139/ssrn.1964782

[10] Cimpian J. R., Kim T. H., McDermott Z. T.: *Understanding Persistent Gender Gaps in STEM.* Science, 368/6497. (2020) 1317–1319. https://doi.org/10.1126/science.aba7377

[11] Bloodhart B., et al.: *Outperforming yet Undervalued: Undergraduate Women in STEM.* Plos one, 15/6. (2020) e0234685. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0234685

[12] Kahn S., Ginther D.: *Women and STEM*. National Bureau of Economic Research, (2017) https://doi.org/10.3386/w23525

[13] Diekman A. B., Weisgram E. S., Belanger A. L.: *New Routes to Recruiting and Retaining Women in STEM: Policy Implications of a Communal Goal Congruity Perspective*. Social Issues and Policy Review, 9/1. (2015) 52–88. https://doi.org/10.1111/sipr.12010

[14] Avolio B., Chávez J., Vílchez-Román C.: *Factors That Contribute to the Underrepresentation of Women in Science Careers Worldwide: A Literature Review.* Social Psychology of Education, 23/3. (2020) 773–794. https://doi.org/ 10.1007/s11218-020-09558-y

[15] Morganson V. J., Jones M. P., Major D. A.: *Understanding Women's Underrepresentation in Science, Technology, Engineering, and Mathematics: The Role of Social Coping*. The Career Development Quarterly, 59/2. (2010) 169–179. https://doi.org/10.1002/j.2161-0045.2010.tb00060.x

[16] OxWEST. http://www.ox-west.org/ (letöltve: 2025. 11.01.).

[17] WTP. https://wtp.mit.edu/ (letöltve: 2025. 11.01.).

[18] WiSTEM. https://harvard.chronus.com/p/p2/ (letöltve: 2025. 11.01.).

[19] Lányok Napja. https://lanyoknapja.hu/rolunk/ (letöltve: 2025. 11.01.).

[20] Agóra – Tudományos Élményközpont. WATCH. https://www.agoradebrecen.hu/hirek/2/watch-women-at-tech?fbclid=IwY2xjawKjHm9leHRuA2FlbQIxMABicmlkETFUSVRZUFpobTVwelJldmRa-AR71384U2kxUb21MARjdPtsgg-MYoyeJ1JeEMaweu4cmZynqaodKGzLxdiwbfiQ_aem_rO9ykafQOD064FPQUD45sg (letöltve: 2025. 11.01.).

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 79–82.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.09
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.09

A BOLYAI MÚZEUMBAN TALÁLHATÓ OSZLOPKEMENCE TANULMÁNYOZÁSA

STUDY OF THE COLUMN STOVE LOCATED IN THE BOLYAI MUSEUM

Libik András,[1] Pásztor Judit[2]

[1] *Fót, Magyarország, libik.andras@gmail.com*

[2] *Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, pjudit@ms.sapientia.ro*

Abstract

Bolyai Farkas is best known as a mathematician, yet his interests also extended to the design and construction of stoves and furnaces. The main goal of his research was to develop a heating system that could operate economically. As a result, the stoves later known as Bolyai stoves were created, spreading throughout Transylvania in the early nineteenth century, particularly in the region of Târgu Mureș. These stoves were not only technological innovations but also improved everyday comfort and energy efficiency. Two original examples of the stoves designed by Bolyai can still be seen today in the collection of the Teleki-Bolyai Library in Târgu Mureș. In our study, we examined the green tile stove, identified its type, and conducted thermal analysis.

Keywords*: tile stove, column stove, efficiency, Farkas Bolyai.*

Összefoglalás

Bolyai Farkas neve leginkább matematikusként ismert, ám érdeklődése a kályhák és kemencék tervezésére és építésére is kiterjedt. Kutatásainak fő célja egy gazdaságosan üzemelő kemencerendszer létrehozása volt. Ennek eredményeként születtek meg a később Bolyai-kemencékként ismert kályhák, amelyek az 1800-as évek elején Erdély-szerte, különösen Marosvásárhely vidékén terjedtek el. Ezek a kályhák nem csupán technikai újításnak számítottak, hanem a mindennapi élet komfortját és az energiafelhasználás hatékonyságát is növelték. A Bolyai által tervezett kályhák két eredeti példánya ma is megtekinthető a marosvásárhelyi Teleki–Bolyai Könyvtár gyűjteményében. Tanulmányunkban a zöld színű cserépkályhát vizsgáltuk, meghatároztuk a típusát, valamint elvégeztük a hőtechnikai elemzését.

Kulcsszavak*: cserépkályha, oszlopkályha, hatásfok, Bolyai Farkas.*

1. Bevezetés

Marosvásárhelyen, a Teleki–Bolyai Könyvtár-épületében lévő Bolyai Múzeumban kiállított, a két Bolyai életéből napjainkig fennmaradt tárgyi relikviák egy képzeletbeli dolgozószobát jelenítenek meg. Ennek a sarkában két különleges, szokatlan szerkezetű kályha áll. Az egyiket kívülről zöld színű, zománcozott cserép borítja, és a zöld oszlopkemence néven vált közismertté [1]. Ezt vagy maga Bolyai Farkas, vagy az ő tervei alapján valamelyik vásárhelyi fazekasmester rakta.

A kályha eredeti helye nem ismert, lehet, hogy az egykori Református Kollégium egyik terméből vagy egy magánszemélytől került a Bolyai Múzeumba.

Bolyai a Kemence-tan kéziratban a tüzelőberendezéseket kemencének nevezte, a pontosítást a hozzáfűzött jelzők segítségével oldotta meg. A kahle cserép, csempelap szó átalakulásával a

mindennapi szóhasználatban a cserépkemence szót felváltotta a cserépkályha szó [1, 2].

A zöld cserépkályha külső felépítése az 1. ábrán követhető.

A cserépkályha belső szerkezete sajnálatos módon hiányzik, pedig ez lehetett az újdonsága. A dolgozatunkban a belső felépítést szeretnénk megfejteni, modellezni és vizsgálni.

A mai korszerű fűtőrendszerek kialakítása és működése szorosan kapcsolódik a matematikai modellezéshez és mérések sorozatához [3, 4]. Ezen elvek és eszközök együttes alkalmazása lehetővé teszi energiahatékony és optimalizált rendszerek létrehozását [5, 6], vagy már meglévő fűtőberendezések műszaki jellemzését, értékelését.

2. A Bolyai Múzeumban található oszlopkályha vizsgálata

Jelen esetben ellenőrizni, vizsgálni tudjuk a Bolyai Farkas által tervezett kályhát, [6].

A vizsgálat módszere:

- a kályha típusának meghatározása, alkotórészek méreteinek felmérése;
- a kályha belső felépítésének megfejtése, műszaki rajzának elkészítése;
- a kályha hőtani vizsgálata: a tűztér vizsgálata; a füstjárathossz számítása, vizsgálata; a kályha hatásfokának meghatározása; a kályha teljesítményének számítása.

2.1. A kályha típusának meghatározása

A Bolyai múzeumban található zöld oszlopkályha szilárd tüzelésű, helyi fűtésre alkalmas tüzelőberendezés.

A helyszínen elemekből idomokból építették, abban a helyiségben adta le a hőt, amelyben a külső felülete található. A hasábfa tüzelésre alkalmas. A tüzelés során a benne termelődött hő tárolására képes.

Tüzelési ideje és fűtési ideje lényegesen eltér egymástól. A tárolt hőt döntően sugárzással adta le. A hőtároló szerkezeti rész közvetlenül a forró füstgázoktól belső hőátadással vette át a hőt. [6]

A cserépkályha alsó része 2,5 × 2,5, a felső része 2 × 2 csempelap szélességgel kialakított, négyzet alapú. Ez kis keresztmetszetet jelent. A kályha alsó része maga a tűztér. A tűztér mellett nincsenek füstjáratok, a tűztér ún. zsáktűztér. A kályha magasságát 7 cserépsor adja.

Így a tanulmányozott tüzelőberendezés oszlopkályhának tekinthető. Kialakítását tekintve középpárkányos, nyitott fülkés oszlopkályha (1. ábra) [6].

1. ábra. *Bolyai Múzeum oszlopkályhája*

A kályha építésében használt csempelapok mérete 205 × 235 mm.

A kályha 62 csempelappal van borítva, ebből 52 darab képezi a fűtőfelületet, ez 2,5 m^2-t jelent.

A kályha ajtaja 240 × 115 mm, az alsó szellőztető- tisztító nyílás ajtaja 150 × 130 mm.

2.2. A kályha belső felépítése

A füstjárat vízszintes járattal lett kialakítva, amelyre a kályha bal oldalán található két darab tisztítónyílás enged következtetni, 1. ábra.

A kályha belsejébe a kályharakó szakmai gyakorlat, tapasztalat alapján öt sorban vízszintes, ellentétes sodrású járatokat rajzoltunk.

Bolyai korában a kályha jó hőleadása volt a cél, ezért légforgató csövet is épített, tervezett a kályháiba. Ez a járatok közepén felvezetett cső, amelyben a levegő felmelegedett, és a helységbe áramlott [1, 6]. A múzeumi tárgyon semmi nem utal a középen vezetett légforgató csőre, de mivel ennél a kályhánál az beépíthető lenne, Bolyai elképzelése szerint berajzoltuk, 2. ábra.

2.3. Az oszlopkályha hőtani vizsgálata

A tüzelőberendezésben a felfűtés és a lehűlés időszakában instacioner folyamatok zajlanak. Ezeket figyelmen kívül hagyjuk, mert a névleges teljesítményt állandósult állapotban adja le. Ennek megfelelően a névleges teljesítmény értékét stacioner állapotban vagy annak feltételezésével határoztuk meg [6].

A teljesítményadatok meghatározását az MSZ EN 15544 szabvány alapján végeztük.

2.3.1. A tűztér vizsgálata, a famennyiség meghatározása

A kályha műszaki paraméterei meghatározásához elsőként lemértük a tűztér szélességét, mélységét és magasságát.

Tűztér mérete: 45 × 45 × 30 cm.

Ennek ismeretében meghatározható a maximálisan berakható fa mennyisége:

$$m = \frac{2\,A_t + K \cdot h}{900} \quad \text{[kg]}, \qquad (1)$$

ahol: A_t a tűztér területe, [cm²];
K a tűztér alapkerülete, [cm];
h a tűztér magassága [cm].

Számolt érték: 10,5 kg.

Elsőre berakható famennyiség a számolt érték fele, vagyis m = 5 kg.

Utánrakás: m = 2,5 kg.

2.3.2. A füstjárathossz számítása, vizsgálata

Az MSZ EN 15544 szabvány alapján a kályha 78%-os hatásfokú működéséhez minimális füstjárathosszat határoznak meg. Ennek megfelelően a tűztérkilépésnél feltételezett füst hőmérséklete 550 °C-ról a minimális járathossz végére 240 °C lesz.

A minimális füstjárathossz egyhéjú, légrés nélküli, soros járatú kályha esetén a következő empirikus összefüggéssel számolható [6]:

$$L_{jmin} = 1{,}3\sqrt{m} \quad \text{[m]}, \qquad (2)$$

ahol: m a tűztérbe betehető famennyiség [kg].

Számolt értéke: L_{jmin} = 2,91 m, ha m = 5 kg.

Megrajzoltuk és építési tapasztalataink alapján megbecsültük a járatok hosszát. A füstjárat kialakítása a 3. ábrán figyelhető meg.

A füstjárati nyomvonal hosszának számítása az 1. táblázat alapján történt.

A megfejtett kialakítás szerint a füstjárat hossza 3,85 m.

A becsült járathossz nagyobb, mint az elvárt minimális járathossz.

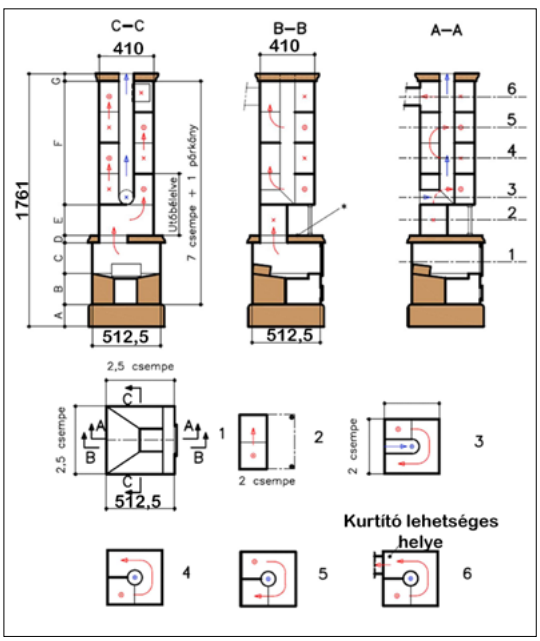
2.3.3. A kályha hatásfokának számítása

A kályha hatásfokának számításához szükséges a füstjárat mentén bekövetkező hőmérséklet-csökkenés. Ez az alábbi összefüggéssel számolható [6]:

$$t_k = 550\, e^{-\frac{0{,}83\, L_j}{L_{jmin}}} \quad [°\text{C}]\,, \qquad (3)$$

ahol: L_j a számolt járathossz [m].

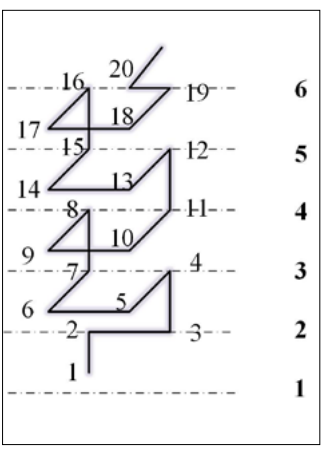
A kilépő füstgáz hőmérséklete: 183 °C.



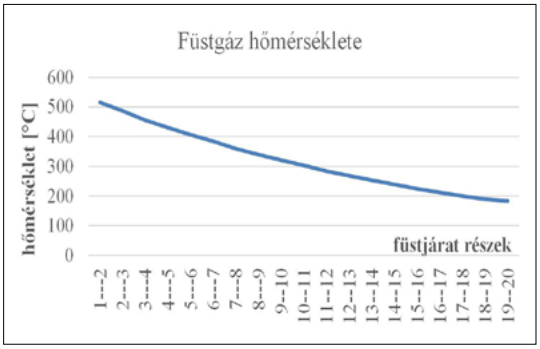
2. ábra. *Az oszlopkályha műszaki rajza. A talapzat; B szélkamra; C tűztér; D középpárkány; E nyitott fülke; F vízszintes járatok helye, a kályhatest; G felső párkány.*

1. táblázat. *Járathossz meghatározása*

Füstjáratrészek	Becsült értékeik [m]
függőleges	5·0,230 = 1,15
vízszintes	4·0,6 + 0,2 + 0,2/2 = 2,7
összesen, L_j	3,85



3. ábra. *Az oszlopkályha feltételezett füstjárata*



4. ábra. *A füstgáz hőmérséklete a füstjárat mentén*

A füstgáz hőmérsékletének változása a **4. ábrán** követhető.

A hatásfok számítására az alábbi empirikus képlet használatos, **[6, 7]**:

$$\eta = 101{,}09 - 0{,}0941\, t_k - 6{,}275 \cdot 10^{-6}\, t_k^2 - 3{,}173 \cdot 10^{-9}\, t_k^3 \ [\%], \qquad (4)$$

ahol: t_k a kályha füstjáratából kilépő füstgáz hőmérséklete, [°C].

A hatásfok számolt értéke: $\eta = 84$ %.

2.3.4. Az oszlopkályha teljesítményének számítása

A kályhák névleges teljesítményének meghatározására az MSZEN 15544 szabvány az alábbi összefüggést adja meg:

$$P_n = 3{,}25 \cdot m_{be} \,/\, t_{fűtés} \ [\text{kW}], \qquad (5)$$

ahol: m_{be} a kályhába beteendő famennyiség [kg]; $t_{fűtés}$ a névleges fűtés ideje [óra].

A névleges teljesítmény számolt értéke, 8 órás névleges fűtési idővel: P = 2,03 kW.

3. Következtetések

A vizsgált oszlopkályháról kijelenhető, hogy a hatásfoka jó, azonban a füstgáz kilépő hőmérséklete a javasolt 240 °C alatti, emiatt a kéményben kátrányosodás jelentkezhetett.

A névleges teljesítménye alapján egy kisebb szoba fűtésére lehetett elegendő.

Bolyai korában a teljesítményadatok ismertetése nem volt fontos, ha egy kályha megfelelően működött, és képes volt az elvárt szobahőmérséklet biztosítására, jellemzőinek ismerete nélkül is jónak tartották **[1]**. Véleményünk szerint a zöld oszlopkemence rendkívül csinos, érdemes lenne a mai elvárásoknak megfelelő belső kialakításán gondolkozni, megépíteni.

Köszönetnyilvánítás

Tisztelettel megköszönjük a Teleki–Bolyai Könyvtár munkaközösségének, hogy lehetővé tették a zöld oszlopkályha vizsgálatát.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Oláh A.: B*olyai Farkas hőtani elméletei, kemencerakó, -öntő tapasztalatai*. L'Harmattan Kiadó, Budapest, 2015.

[2] Gazda I.: *Egy halhatatlan erdélyi tudós, Bolyai Farkas.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 2002. 569–592.

[3] Sánta R., Fürstner I.: *Investigation of the Pressure Drop in the Shell Side of the Evaporator*. Acta Polytechnica Hungarica, 19/9. (2022) 239–249.

[4] Mladen Bošnjakoví c M., Santa R., Crnac Z., Bošnjakovi´c T.: *Environmental Impact of PV Power Systems*. Sustainability, 15(15):11888. (2023) 2–6. https://doi.org/10.3390/su151511888.

[5] Yaheliuk S., Didukh V., Busnyuk V., Boyko G., Shubalyi O.: *Optimization on Efficient Combus-tion Process of Small-Sized Fuel Rolls Made of Oleaginous Flax Residues*. INMATEH Agricultural Engineering, Volume 62 No.3. (2020) 361-368. https://doi.org/10.35633/inmateh-62-38.

[6] Libik A.: *Fatüzelésű épített kályhák*. Terc Kft Kiadó, Budapest, 2013.

[7] Harangus K., Kakucs A.: *Valószínűségszámítás és statisztika a mérnöki gyakorlatban.* EME Kiadó, Kolozsvár, 2021.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 83–89.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.10
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.10

DIGITÁLIS IKER LÉTREHOZÁSA ÉPÍTMÉNYINFORMÁCIÓS MODELLEZÉSSEL ÉS IOT-SZENZORHÁLÓZAT-INTEGRÁCIÓVAL

DEVELOPMENT OF A DIGITAL TWIN USING BUILDING INFORMATION MODELING AND IOT SENSOR NETWORK INTEGRATION

Máder Patrik Márk,[1] Bakai Nándor,[2] Jászberényi Tünde,[3] Simon Dóra Erika,[4] Rák Olivér,[5] Etlinger József,[6] Zagorácz Márk Balázs[7]

Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék, BIM Skills lab kutatócsoport, Breuer Marcel Doktori Iskola, Pécs, Magyarország

[1]mader.patrik@mik.pte.hu; [2]bakai.nandor@mik.pte.hu; [3]jaszberenyi.tunde@mik.pte.hu

[4]simon.dora@mik.pte.hu; [5]rak.oliver@mik.pte.hu; [5]etlinger.jozsef@mik.pte.hu; [7] agoracz.mark@mik.pte.hu

Abstract

The construction industry has been undergoing significant transformation in recent years, largely driven by the rapid advancement and widespread adoption of Building Information Modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) technologies. BIM encompasses intelligent 3D modeling methods and management processes that enable the comprehensive planning, documentation, and management of buildings throughout their entire lifecycle. IoT technologies, through the deployment of sensor networks, allow for real-time monitoring, data collection, and analysis of buildings and their environments. A high-level integration of Building Information Modeling (BIM) and Internet of Things (IoT) technologies can be achieved through the implementation of a Digital Twin framework.

Keywords*: digital twin, Building Information Modelling (BIM), Internet of Things (IoT), ESP32, MQTT.*

Összefoglalás

Az építőipar digitalizációja jelentős átalakuláson megy keresztül az utóbbi években az építményinformációs modellezés (BIM) és a „dolgok internete” (IoT)-technológiák gyors ütemű fejlődésének és elterjedésének köszönhetően is. A BIM olyan intelligens, 3D-modellezési, módszertani és menedzsmenteljárásokat tartalmaz, amelyek lehetővé teszik az épületek teljes életciklusának részletes tervezését, dokumentálását és kezelését. Az IoT-technológia pedig különböző érzékelők és szenzorok hálózatának létrehozásával lehetőséget ad az épületek és azok környezete valós idejű monitorozására, adatgyűjtésére és elemzésére. A két terület integrációja magas szinten valósítható meg a digitális iker koncepcióján keresztül.

Kulcsszavak*: digitális iker, építményinformációs modellezés (BIM), dolgok internete (IoT), EPS32, MQTT.*

1. Bevezetés

A BIM és az IoT integrációja lehetőséget teremt arra, hogy az épületek tervezése, kivitelezése és üzemeltetése során valós idejű adatokat használjunk fel a modellalapú döntéshozatalok során, és akár valós időben követhessük az épületek működését. Ezzel növelhető az épületek hatékonysága, biztonsága, fenntarthatósága, valamint kiszámíthatóbbá, átláthatóbbá és kalkulálhatóbbá tehetők az épület építésének, üzemelésének és üzemeltetésének költségei. A két technológia együttes alkalmazásaként a digital twin új lehetőségeket nyit a létesítményüzemeltetés területén.

1.1. Célok

A kutatásfejlesztési és innovációs projekt fő célja, hogy a BIM- (a projekt jelenlegi fázisában elsődlegesen „Closed BIM”) és IoT-technológiák előnyeit építőipari szemléletmód alapján egyesítse, és létjogosultságát, használhatóságát alátámassza a digital twin lehetőségeit figyelembe véve.

Számos esetben törekvés a „Closed BIM”-rendszerek teljes életciklusban való alkalmazása [1, 2, 3], azonban tényleges megvalósítása jelenleg kompromisszumokhoz kötött [4]. Az állományok hosszú távú tárolásának és hozzáférhetőségének kérdésében is jelentkezhetnek problémák [5]. Az IoT-eszközökkel történő összekapcsolás és monitorozás pedig ezekben a zárt környezetekben még több kérdést és áthidalandó technikai nehézséget vet fel [6, 7, 8]. Viszont ezek ellenére az alkalmazási lehetőségek szerteágazóak lehetnek, főleg a korszerű technológiák alkalmazása mellett [9].

Ezért a projekt egy olyan integrált módszertan és rendszer lehetőségének vizsgálatára, valamint kialakítására fókuszál, amely az elérhető megoldásoktól és kutatásoktól eltérően a BIM-modellt nem csupán monitoring és vizualizáció céljára használja. A megközelítés az Autodesk Revit szoftverrel létrehozott BIM-modellelemek és az IoT-szenzorok valós idejű adatainak egyesítésére, irányítására épül, egy központi digitális iker modell keretei között. A cél egy olyan megoldás koncepciójának kialakítása és tesztelése, amely lehetővé teszi a valós objektumok és a digitális modellek logikai összekapcsolását, ezáltal valós idejű információkat biztosítva az épületek működéséről és állapotáról a natív modellekben.

1.2 MQTT-szabvány és -protokoll

Fontos kiemelni a projekt kulcsfontosságú pontját, amely a helyes adattovábbítási, kommunikációs metódus alkalmazása. Ennek alapját az MQTT- (Message Queuing Telemetry Transport) protokoll jelenti. Az MQTT egy kliens-szerver architektúrára épülő, közzététel-feliratkozás elvű üzenetküldési protokoll, amelyet kifejezetten alacsony erőforrás-igényű és korlátozott hálózati környezetekre terveztek. Minimális adatforgalma és könnyű implementálhatósága miatt különösen alkalmas gépek közötti kommunikációra (M2M) és az IoT-rendszerekben való alkalmazásra [10].

A protokoll megbízható, sorrendtartó és kétirányú kapcsolatot biztosító szállítási rétegre épül (tipikusan TCP/IP). Továbbá független az átvitt üzenetek tartalmától, ezért rugalmasan alkalmazható különböző adattípusok továbbítására is. A közzététel-feliratkozás kommunikációs modell lehetővé teszi az egységek könnyű csatolását, és jól skálázható rendszerek kialakítását támogatja. A protokoll tervezése során kiemelt szempontként tekintettek a hálózati forgalom minimalizálására is [10].

Az IoT-alapú épületüzemeltetési rendszerekben az MQTT-protokoll különösen előnyös kommunikációs megoldást kínál, mivel számos különféle szenzort és beavatkozóeszközt szükséges egy rendszerbe integrálni. Az ilyen rendszerekben jellemzően folyamatos adatgyűjtés történik például hőmérséklet-, páratartalom-, levegőminőség-, energiafogyasztás- vagy jelenlétértékek formájában, amelyek továbbítása gyakran alacsony sávszélességű, időszakosan instabil hálózatokon valósul meg. Az MQTT-protokoll lehetővé teszi, hogy az adatátvitel minimális hálózati és energiaigény mellett is megbízhatóan működjön [11, 12].

A közzététel-feliratkozás modell az épületüzemeltetés szempontjából különösen kedvező, mivel lehetővé teszi az adatforrások (szenzorok) és az adatfeldolgozók (például felügyeleti rendszerek, digitális ikrek, BIM-alapú vizualizációk, automatizált szabályozó algoritmusok) funkcionális szétválasztását. Ez elősegíti a rendszer modularitását, skálázhatóságát és hosszú távú bővíthetőségét, ami mindig kritikus szempont komplex épületüzemeltetési környezetekben [13].

Összességében az MQTT jól illeszkedik az okosépületek és komplex szenzorhálózatok architekturális követelményeihez. Támogatja a valós idejű adatáramlást, a megbízható eszköz-felhő-eszköz kommunikációt, valamint az üzemeltetési döntéstámogató rendszerek hatékony kiszolgálását.

2. Koncepció, kialakítás, felépítés

Az előbbieket és az előzetes kutatásfejlesztési eredményeinket figyelembe véve az alábbi főbb területek kerültek azonosításra jelenlegi és jövőbeli fejlesztési célterületekként:

- Valós idejű adatgyűjtés, monitorozás: Az ESP32-modulok alkalmazásával IoT-szenzorok adatainak gyűjtése, majd azok natív Autodesk Revit [14] (későbbek során Graphisoft ArchiCAD [15]) BIM-modellbe és WEB-es környezetbe történő integrálása;
- Vezérlés, irányítás: A beérkező adatok függvényében automatizált vagy azoktól függetlenül manuális beavatkozás mellett műveltek végrehajtása;
- Karbantartási előrejelzések: A gyűjtött adatok elemzése által a karbantartások előrejelzése,

költségek csökkentése, komolyabb meghibásodások megelőzése;
– Energiahatékonyság-optimalizálás: Az adatok felhasználásával feltételezhetően az épület energiahatékonyságának javítása;
– Biztonság, értékvédelem fejlesztése: Az épületbiztonság növelésének megvalósítása az IoT-adatok analízésének segítségével;
– IFC-modellek használata: A „Closed BIM”-módszertanú megközelítés mellett a BIM-modellek IFC-formátumú felhasználása;
– Mesterséges intelligencia implementálása: A nagynyelvi modellek (LLM) és az egyedi utasításkészletek összekapcsolása.

Hosszú távon a cél a szoftveres és hardveres környezet lehetőségeinek kiterjesztése és a legtöbb szoftveres együttműködés megteremtése, valamint ezek egységes, modularizálható keretrendszerbe integrálása. Rövid távon a fókusz a módszertani alapelvek kidolgozásán, a szoftverkörnyezet előkészítésén és stabil működésének biztosításán, a hardverelemek összekapcsolásán, valamint a teljes koncepció hatékonyságának igazolásán van.

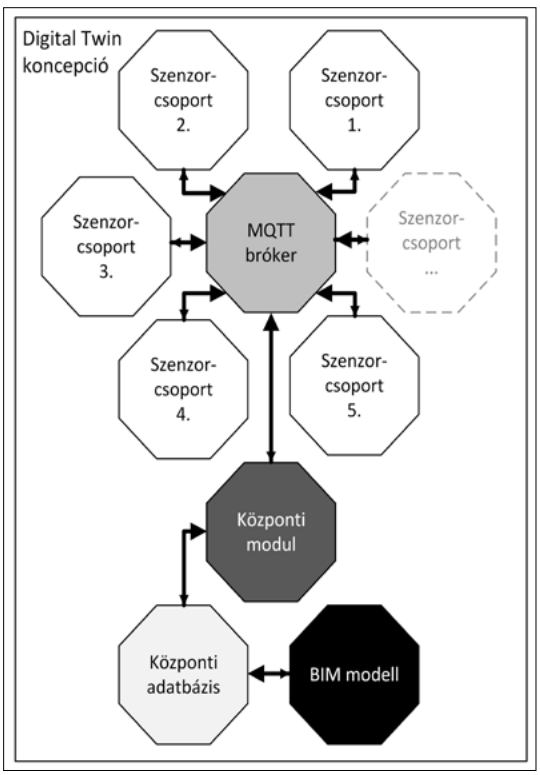
2.1. Kialakítás és felépítés

A folyamatok egyik első lépése, a szakirodalmi és a szakmai háttérkutatást követően, az elvárt működést kiszolgáló hardverfelépítési koncepció alapelveinek megfogalmazása, valamint ennek megfelelően a szükséges szenzorcsoport és fogadó környezet kiválasztása, kialakítása (1. ábra).

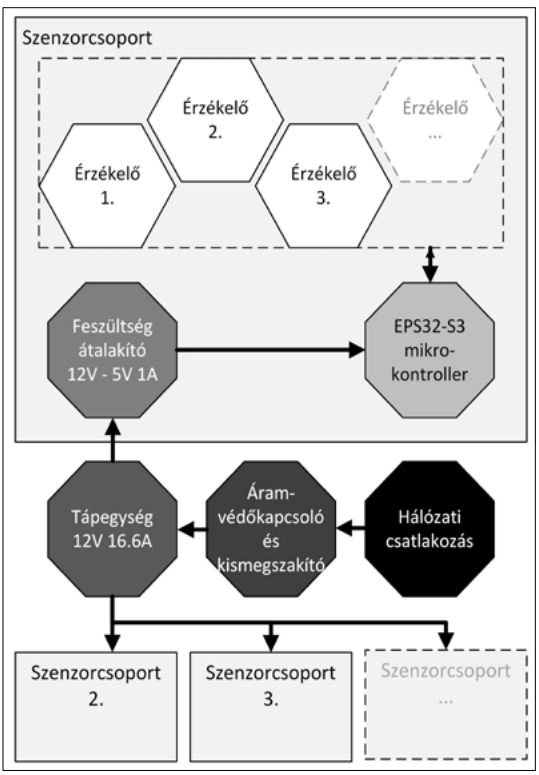
A felépítés összeállítása során elsődleges szempont volt, hogy ne egymástól független szenzorok kerüljenek elhelyezésre az épület tereinek különböző pontjain, hanem csoportokba foglalt komplex csomópontok alakuljanak ki, modularizálható formában. Ez a fejlesztés egyik fő irányaként is azonosítható, amely teszteléséhez megfelelő környezetet teremtett a kutatócsoportunk irodatere, amelyben bontás nélküli, utólagos beépítéssel volt megvalósítható az üzembe helyezés.

Ennek megfelelően, ahogyan az 1. ábrán is látható, egy szenzorcsoport számos szenzort foglal magába, és úgynevezett csomópontot alkot (2. ábra).

A csomópont központi egysége egy ESP32-S3-mikrokontroller [16], amely a szenzorokból érkező és az azok számára továbbítandó információkat



1. ábra. *A kommunikációs és adatáramlási rendszer fő felépítése*



2. ábra. *A felépítés főbb logikai elve*

kezeli, valamint megvalósítja az MQTT-brókerrel történő folyamatos adatcserét. A csomópontot alkotó szenzorok a következők:

– belsőhőmérséklet- és páratartalom-érzékelő;
– külsőhőmérséklet- és páratartalom-érzékelő;
– jelenlét-érzékelő;
– hanggenerátor;
– hangérzékelő mikrofon;
– fényérzékelő;
– fényerősség-érzékelő;
– levegőminőség-érzékelő;
– gázérzékelő;
– füstérzékelő;
– esőérzékelő;
– nyitásérzékelő;
– infravörös adó.

Ezeken felül a hardveres kialakítás további kulcseleme egy központi egység, amelynek dedikált feladata a csomópontok MQTT-brókerhez küldött adatcsomagjainak feldolgozása, egységesítése, majd egy központi adatbázisba történő továbbítása. A központi egység feldolgozó összetevője a csomóponthoz hasonlóan egy ESP32-S3-mikrokontroller, amely nem rendelkezik közvetlen szenzorkapcsolattal.

Az egységek tápellátása hálózati áramforrásból történik.

3.Működési mechanizmus

A projekt keretében megvalósított rendszer egy többrétegű, eseményvezérelt és digitálisiker-központú épületüzemeltetési infrastruktúra, amely a fizikai szenzorhálózatot közvetlenül integrálja natív BIM-alapú környezetbe. A rendszer megtervezése során kiemelt figyelmet kapott, hogy az egyes komponensek önállóan is működhessenek, ne blokkolják egymást, nagy mennyiségű adatot és információt is képesek legyenek stabilan kezelni, valós idejű, visszacsatolt, kétirányú kapcsolatot teremtsenek a natív BIM és a fizikai infrastruktúra között, valamint, hogy minden esemény visszakövethető legyen.

A fizikai rétegben található mikrovezérlő-alapú csomópont különböző környezeti és üzemeltetési paramétereket mér (3. ábra).

Az adatgyűjtés lokális előfeldolgozással párosul, ugyanis a csomóponti eszközön a mért értékek időbélyeget kapnak, strukturált JSON-adatformátumba konvertálódnak, valamint hálózati kiesés esetére átmeneti pufferelési megoldást alkalmaznak.

Az adatpublikálás az MQTT közzététel-feliratkozás modell szerint zajlik, amelyben a csomópontok nem közvetlenül a központi egységnek küldenek adatot, hanem tematikus topikokra publikálnak. Így a rendszer központi kommunikációs eleme egy brókeralapú infrastruktúra, amely biztosítja az üzenetek topik szerinti szétválasztását, a jogosultsági szintek szerinti kézbesítés megvalósítását, valamint a TLS-alapú titkosított adatátvitelt.

A brókerhez kapcsolódó központi egység kettős szerepet tölt be: egyrészt MQTT-feliratkozóként gyűjti és validálja a releváns topikokról érkező adatokat, másrészt pedig interfészt biztosít az adattárolási réteg irányába. Utóbbi esetén az adatok, ellenőrzést követően, REST-alapú API-hívásokon keresztül kerülnek továbbításra a központi adatbázisba (4. ábra).

A központi egység így egyben vezérlési csomópontként is működik, mivel az adatbázisban generált parancsokat MQTT-üzenetként továbbítja a megfelelő alrendszer felé.

Az adatperzisztencia relációs adatbázis-környezetben valósul meg (PostgreSQL-alapú infrastruktúrként), amely időalapú adattárolást, szenzor- és csomópontazonosító szerinti indexelést, valamint a vezérlési képességek kezelését biztosítja. A hoz-

```
[12:01] T=26.30°C, RH=44.60%, Hőérzet=26.57°C
[FILTER] Nincs lényeges változás, nem küldünk.
[TEMT-ADC] raw=0 V=0.000
[LAMP][REQ] lux frissült
[TEMT] lux=0.0 (nincs lényeges változás)
[DS18B20] T=8.2°C
[PM] Nincs lenyeges valtozas, nem kuldunk.
[STATE] presence=NINCS | door=ZARVA | ldr=SOTET | lamp(obs=OFF, asm=ON,
MISMATCH) | mq4=OK(f=2337 b=2343)
[RAIN] Nincs lényeges változás, nem küldünk. state=NINCS
[MQ4] Nincs lényeges változás, nem küldünk. state=OK filt=2332 base=2337
[PRESENCE] VAN
[LAMP][REQ] presence változás
[LAMP][EVAL] lux=0.0 (LOW) | ldr=SOTET | pres=VAN | lamp=ON | wantOn=TRUE
wantOff=false
[IR] NEC SEND: ON | reason=LAMP ON feltétel | code=0x00FFD827
[LAMP][ACTION] ON parancs elküldve -> assumed=ON
[LAMP][RETRY] ON próbálkozás: 1/3 az ablakban
[LDR] Változás: sötét -> világos
[LAMP][RETRY] Reset: observed=ON (sikeres felkapcsolás)
[LAMP][OBS] LDR most: VILAGOS | observed=ON | assumed=ON
[LAMP][REQ] LDR változás
[LAMP][RETRY] Reset ON retry: wantOn megszűnt
[LAMP][EVAL] lux=0.0 (LOW) | ldr=VILAGOS | pres=VAN | lamp=ON |
wantOn=false wantOff=false
```

3. ábra. *Csomóponti egységek adatlogmintája*

```
[DATA] POST indítása...
[DATA] Küldött JSON: {"node_id":"node_01","sensor":"presence","value":1}
[DATA] HTTP kód: 201
[DATA] Sikeres beszúrás
[DATA] POST indítása...
[DATA] Küldött JSON:
{"node_id":"node_01","sensor":"light","value":1,"ts_utc":"2026-02-
22T12:01:35Z"}
[DATA] HTTP kód: 201
[DATA] Sikeres beszúrás
[DATA] POST indítása...
[DATA] Küldött JSON:
{"node_id":"node_01","sensor":"co2_state","value":1,"unit":"lvl","ts_utc":"
2026-02-22T12:02:27Z"}
[DATA] HTTP kód: 201
[DATA] Sikeres beszúrás
[DATA] POST indítása...
[DATA] Küldött JSON:
{"node_id":"node_01","sensor":"sound_event","value":10624,"ts_utc":"2026-
02-22T12:03:13Z"}
[DATA] HTTP kód: 201
[DATA] Sikeres beszúrás
[DATA] POST indítása...
[DATA] Küldött JSON:
{"node_id":"node_01","sensor":"temperature","value":26.5,"unit":"C","ts_utc
":"2026-02-22T12:07:00Z"}
[CMD] PATCH 46b70940-51b7-465b-b576-933cae94025e -> sent code=200
resp=[{"id":"46b70940-51b7-465b-b576-
```

4. ábra. *Központi egységek adatlogmintája*

zákapcsolódó jogosultságkezelés pedig lehetővé teszi a többfelhasználós, differenciált hozzáférési modell alkalmazását. Így az adatbázis nem csupán tárolási funkciót lát el, hanem a digitális iker állapottáraként, utasításkezelőjeként is működik. Ebből a felsőbb rétegek, köztük a natív BIM-környezet, strukturált lekérdezésekkel nyernek ki információt.

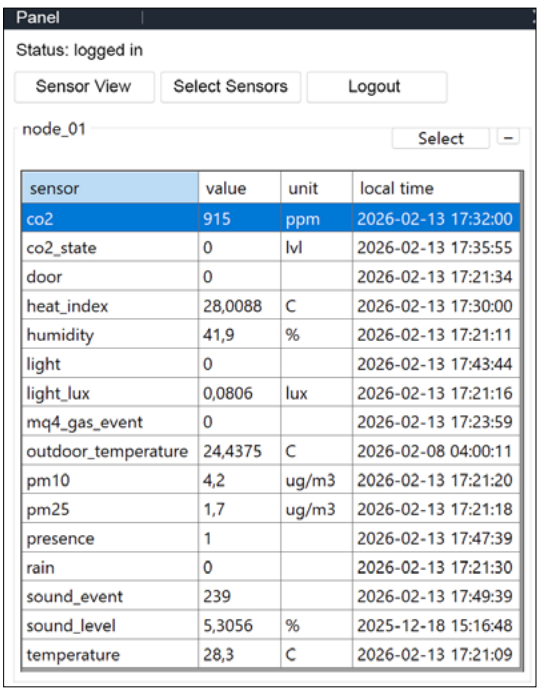
A rendszer legfelső szintjén a natív BIM-alapú digitális iker réteg helyezkedik el, amely jelenleg az Autodesk Revit platformon fejlesztett egyedi, komplex add-in segítségével kapcsolódik az adatbázishoz (5. ábra).

A modellben szereplő objektumok (6. ábra) egyedi azonosító paraméterek segítségével kerülnek összekötésre a fizikai szenzorhálózattal.

Az add-in API-n keresztül kommunikál, lekérdezi az aktuális szenzoradatokat, majd azokat paraméter-kezelési és vizualizációs szinten integrálja a modellbe. Ennek eredményeként a natív BIM-modell dinamikus állapotreprezentációvá alakul. Ennek keretei között a geometriai entitások nem csupán statikus tervezési vagy kivitelezési objektumok lesznek, hanem valós idejű működési adatokkal rendelkező digitális entitások.

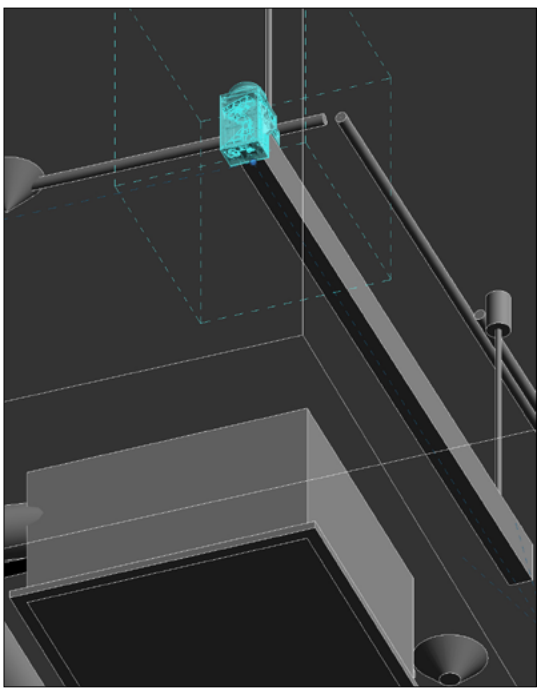
A rendszer egyik meghatározó sajátossága a zárt rendszerű vezérlés megvalósítása. A felhasználó a natív BIM-környezetben és majd a fejlesztés következő fázisában egy kapcsolódó webes felületen keresztül vezérlési utasításokat generálhat, amelyek az adatbázisban strukturált parancsrekordokként kerülnek rögzítésre. A központi egység ezt az információt MQTT-üzenet formájában továbbítja a megfelelő topikra, amelyet az érintett csomópontok is feliratkozóként figyelnek. A végrehajtást követően a rendszer státuszüzenetet és frissített szenzoradatot generál, amely ismételten bekerül az adatfolyamba, így a digitális ikerben az állapotváltozás is megjelenik. Ez a mechanizmus biztosítja a fizikai infrastruktúra és a virtuális modell közötti konzisztens, auditálható és valós idejű visszacsatolást.

Összefoglalva, a projektben kialakított architektúra nem egyirányú, lineáris adatfeldolgozási láncként értelmezendő, hanem eseményvezérelt, MQTT-bróker-alapú, szabályozott állapottárral rendelkező, kétirányú kommunikációs rendszerként. A fizikai szenzorhálózat, az üzenetközvetítő réteg, az adatbázis és a natív BIM-modell-alapú digitális iker integrációja egy olyan komplex információs ökoszisztémát eredményez, amely alkalmas valós idejű monitorozásra, prediktív elemzésre és aktív beavatkozásra egyaránt, amelyekkel megalapozza az intelligens épületüzemeltetés magasabb szintű megvalósítását.



sensor	value	unit	local time
co2	915	ppm	2026-02-13 17:32:00
co2_state	0	lvl	2026-02-13 17:35:55
door	0		2026-02-13 17:21:34
heat_index	28,0088	C	2026-02-13 17:30:00
humidity	41,9	%	2026-02-13 17:21:11
light	0		2026-02-13 17:43:44
light_lux	0,0806	lux	2026-02-13 17:21:16
mq4_gas_event	0		2026-02-13 17:23:59
outdoor_temperature	24,4375	C	2026-02-08 04:00:11
pm10	4,2	ug/m3	2026-02-13 17:21:20
pm25	1,7	ug/m3	2026-02-13 17:21:18
presence	1		2026-02-13 17:47:39
rain	0		2026-02-13 17:21:30
sound_event	239		2026-02-13 17:49:39
sound_level	5,3056	%	2025-12-18 15:16:48
temperature	28,3	C	2026-02-13 17:21:09

5. ábra. *Revit szenzoradat-megjelenítő Add-in*

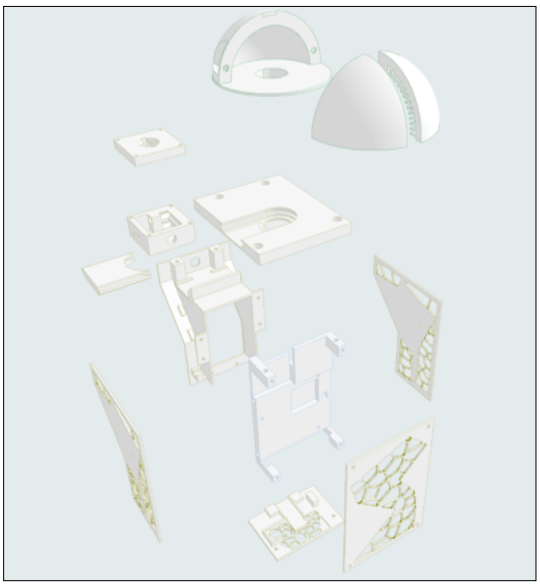


6. ábra. *BIM-modell csomóponti elemmel*

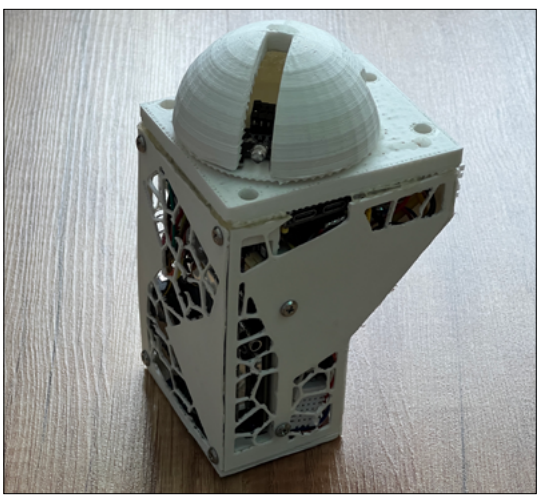
4. Eszközváz

Mivel a projektben komplex szenzorcsomópont készül, és a modularitás elsődleges szempont, egyedileg megtervezett vázra van szükség (7. ábra).

Az eszközváz prototípusa 3D-nyomtató segítségével került előállításra. A nyomtatáshoz mivel komolyabb leesés, leejtés elleni védelemre ez esetben nincs szükség, fehér színű, 1,75 mm átmérőjű Polylactic Acid (PLA)-nyomtatószál került felhasználásra (8. ábra).



7. ábra. *A megtervezett eszközváz szétrobbantott 3D-modellje*



8. ábra. *A prototípus nyomtatott, összeszerelt modellje*

Jelenleg a prototípus a konkrét tesztkörnyezet adottságait figyelembe véve készült el, de a jövőben sokkal általánosabban alkalmazható verziók megtervezése is cél. Belső szerkezetét tekintve, minden szenzor egyedileg tervezett fogadófelületre és dedikált pozícióba került. A megvalósított konstrukció nem csupán alapvető védelmet nyújt a szenzorok számára, hanem biztosítja a roncsolásmentes egyszerű felszerelhetőséget, hozzáférhetőséget és karbantarthatóságot (9. ábra).

5. Következtetések

A bemutatott rendszerarchitektúra egy integrált, kétirányú kommunikációt megvalósító, digitálisiker-alapú épületüzemeltetési infrastruktúra első működő prototípusát reprezentálja. A rendszer képes valós idejű állapotmonitorozásra és vezérlés-visszacsatolásra is, amely a natív digitális modell és a fizikai infrastruktúra közötti kapcsolatot biztosítja. Ugyanakkor hangsúlyozandó, hogy a kutatásfejlesztési és innovációs folyamat jelenleg még a kezdeti fázisban tart. A jelenlegi implementáció koncepcióbizonyítás-jellegű, amely elsősorban a felépítés- és az összeállítás-validációra, a kommunikációs megbízhatóság vizsgálatára, valamint a natív BIM-alapú integráció működőképességének igazolására fókuszált. A rendszerben rejlő potenciál ugyanakkor jelentős, különösen a skálázhatóság, az automatizált döntéstámogatás és a prediktív üzemeltetési modellek irányában. A további fejlesztési irányok több dimenzióban

9. ábra. *A felszerelt eszköz*

értelmezhetők, és a 2. fejezetben célterületként azonosított alkalmazási és kutatási irányokon túl a projekt további innovációs potenciált hordoz. Az eddig nem említettek közül elsőként kiemelendő az egyéb helyre, pozícióba helyezhető, azonos összetételű, de más formájú modulok készítése, a webes hozzáférés teljes körű implementálása és a rendszer saját szerveren történő futtatása. További stratégiai irány a szenzorozottság növelése, a rendszer pilotkörnyezetben történő kiterjesztése, az IT biztonsági szint emelése. Emellett a fejlesztés kiváló keretet biztosíthat a jövőben hallgatók bevonására kutatócsoporti munkába, valamint hazai és nemzetközi pályázati projektek előkészítésére.

Összességében megállapítható, hogy a projekt keretében létrehozott rendszer jelenlegi állapotában egy olyan, skálázható digitálisiker-platform alapja, amely megfelelő továbbfejlesztéssel képes lehet az intelligens épületüzemeltetés, az adatvezérelt döntéstámogatás és a valós idejű infrastruktúra-irányítás integrált megvalósítására. A jelenlegi eredmények alapot képeznek a következő fejlesztési fázis számára, amelyben a rendszer ipari validációja, biztonsági megerősítése és tudományos elmélyítése egyaránt meg fog valósulni.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapjából finanszírozott Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának szakmai támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Alecrim I., Carvalho J. P., Bragança I., Mateus R.: *Using BIM for Assessing Buildings Life Cycle Impacts.* Journal of Cleaner Production, 265. (2020) https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121705

[2] Santos R., Costa A. A., Silvestre J. D., Py L.: *Development of a BIM-based Environmental and Economic Life Cycle Assessment Tool.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 503. (2020). https://doi.org/10.1088/1755-1315/503/1/012005.

[3] Akbarieh, A., Jayasinghe, L. B., Waldmann, D., Teferle, F. N.: *BIM-Based End-of-Lifecycle Decision Making and Digital Deconstruction: Literature Review.* Sustainability, 12/7. (2020) 2670. https://doi.org/10.3390/su12072670

[4] Thabet W., Lucas J., Srinivasan S.: *Linking Life Cycle BIM Data to a Facility Management System Using Revit Dynamo.* Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal. 14. (2022) 2539–2558. https://doi.org/10.2478/otmcj-2022-0001

[5] Beetz J., Dietze S., Berndt R., Tamke M.: *Towards The Long-Term Preservation of Building Information Models.* In: Proceedings of CIB W78, 2013: 30th International Conference on Applications of IT in the AEC Industry (2013) Tsinghua University, 209–217. http://2013cibw78.civil.tsinghua.edu.cn/

[6] Desogus G., Quaquero E., Rubiu G., Gatto G., Perra C.: *BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings.* Sustainability, 13/8. (2021). https://doi.org/10.3390/su13084496

[7] Scianna A., Gaglio G. F., La Guardia M.: *Structure Monitoring with BIM and IoT: The Case Study of a Bridge Beam Model.* ISPRS International Journal of Geo-Information, 11/3. (2022). https://doi.org/10.3390/ijgi11030173

[8] Iqbal F., Ahmed S., Tariq M., Waqas H., Al-Ammar E., Wabaidur S., Fawad M.: *BIM-IoT Integration for Remote Real-Time Concrete Compressive Strength Monitoring.* Ain Shams Engineering Journal, 15/7. (2024). https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102863

[9] Borghoff U. M., Pfeiffer E., Rodig P.: *Design of a Representation Information Repository for the Long-Term Usability of Digital Building Documents.* Journal of Information Technology in Construction (ITcon), 29. (2024) 596–611. https://doi.org/10.48550/arXiv.2404.19337

[10] MQTT Version 5.0 – OASIS Standard 07 March 2019. (letöltve: 2026. február 17.). https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html

[11] Amirkhanova G., Ismailov S., Amirkhanov A., Adilzhanova S., Zhasuzakova M., Chen, S.: *A Lightweight, End-to-End Encrypted Data Pipeline for IIoT: An AES-GCM Implementation for ESP32, MQTT, and Raspberry Pi.* Information, 17/1. (2026) https://doi.org/10.3390/info17010033

[12] Kim H. J., Lee, M. H.: *A Comparative Performance Study of Parallel MQTT and RS485 Communication Architectures for High-Frequency IoT Sensing*. Electronics, 15/4. (2026) https://doi.org/10.3390/electronics15040760

[13] Chien CM., Trung N. T. H., Cheng CY., Chen CS., Yeh D., Wang RZ.: *Leveraging 5D Platform and Facilities Management and Control Systems for Smart Disaster Response in Manufacturing: a Case Study in Thailand's Coastal Industries*. J Ambient Intell Human Comput, 17. (2026) 63–76. https://doi.org/10.1007/s12652-025-05019-6

[14] Autodesk Revit (letöltve: 2026. február 17.). https://www.autodesk.com/hu/products/revit/overview

[15] Graphisoft Archicad (letöltve: 2026. február 17.). https://www.graphisoft.com/hu-hu/plans-and-products/archicad

[16] Arduino Nano ESP32-S3 (letöltve: 2026. február 17.). https://docs.arduino.cc/hardware/nano-esp32/

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 90–93.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.11
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.11

STICK-SLIP LABORATÓRIUMI MÉRŐKÉSZÜLÉK SEGÍTSÉGÉVEL KAPOTT SÚRLÓDÁSI TÉNYEZŐK ADATFELDOLGOZÁSA ÉS KIÉRTÉKELÉSE

DATA PROCESSING AND EVALUATION OF FRICTION FACTORS OBTAINED USING A STICK-SLIP LABORATORY MEASURING DEVICE

Popa-Müller Izolda,[1] Deák Szabolcs[2]

[1] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, ipmuller@ms.sapientia.ro*

[2] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, deaksz94@yahoo.com*

Abstract

The aim of the study was to determine the frictional properties of different material pairs using a stick-slip laboratory measuring device. During the measurements the contact of aluminum, steel, tin, copper, brass with a polymer conveyor belt was analyzed. By processing the experimental data, the static anf kinetic friction coefficients were determined and compared with values recommended in the litarature. For more accurate evaluation, correction procedures were applied in the determination of the friction coefficients.

Keywords: *stick-slip phenomenon, coefficient of friction, data processing, evaluation.*

Összefoglalás

A vizsgálat célja különböző anyagpárok súrlódási tulajdonságainak meghatározása stick-slip laboratóriumi mérőkészülék segítségével. A méréseknél elemeztük az alumínium, acél ón, vörös- és sárgaréz érintkezését polimer futószalagon. A kísérleti adatok feldolgozásával meghatároztuk a statikus és csúszó súrlódási együtthatókat, majd az eredményeket összehasonlítottuk a szakirodalomban található értékekkel. A pontosabb értékelés érdekében korrekciós eljárást alkalmaztunk a súrlódási együtthatók meghatározásában.

Kulcsszavak: *stick-slip jelenség, súrlódási együttható, adatfeldolgozás, kiértékelés.*

1. Bevezetés

A súrlódás a gépészeti rendszerek egyik alapvető fizikai jelensége, amely jelentős hatással van az alkatrészek működésére és élettartamára.

Kis elmozdulási sebességnél 0.18–180 [mm/min] száraz, határ- és vegyes súrlódási feltételeknél, a súrlódási csuklók felületeinek mozgását a szakaszos jelenség (stick-slip) követi.

A stick-slip jelenség megmagyarázható a tapadási jelenség és a hegedési pontok létrehozásával [1, 2, 3, 4].

A stick-slip jelenség különösen fontos szerepet játszik a mozgó felületek közötti dinamikus súrlódási folyamatok megértésében [5, 6, 7].

Ez a jelenség a tapadás és a csúszás periodikus váltakozásából adódik, amely rezgéseket és egyenetlen mozgást eredményezhet. A jelenség vizsgálata hozzájárul a különböző ipari berendezések működésének optimalizálásához.

A laboratóriumi stick-slip mérőberendezés alkalmazható különböző anyagpárok vizsgálatára.

A mérések lehetőséget biztosítanak a statikus és a csúszó súrlódási együtthatók meghatározására.

Az eredmények összehasonlíthatók a szakirodalomban található adatokkal, amely segíti a mérési módszerek validálását.

A vizsgálatok hozzájárulnak a súrlódási folyamatok mélyebb megértéséhez és a tribológiai rendszerek fejlesztéséhez.

1.1. Berendezés tervezése

A berendezés egy Dörner márkájú kisebb futószalagból áll, amelyet egy villanymotor hajt meg.

A futószalag egy PVC-bevonatú szövet, hossza 610 [mm], szélessége pedig 155 mm, amelynek maximális teherbírása 36 kg.

A futószalag vázára egy erőmérő cellát rögzítünk, amelyhez egy rugó csatlakozik, és ennek a végére helyezzük el a próbatestet.

Az erőmérő cella csatlakoztatva van egy mérő áramkörhöz és egy mérést végző Arduino-kártyához. Az erőmérő modul rögzítve van a futószalag vázához.

A próbatest egy téglalap formájú, 313 gramm tömegű fa, amelynek az aljára elhelyezzük az 0.5 mm vastagságú fémlemezt, amely a PVC-futószalaggal érintkezik.

A berendezés vázát Bosch-típusú, 45 × 45 alumíniumprofil alkotja. Ezen a vázon helyezkedik el a futószalag (**1.ábra**).

A tapadási állapot feltétele (**2. ábra**) alapján:

$$F_r \leq \mu_S \cdot N, \qquad (1)$$

ahol: F_r - rugóerő;
N - normálerő;
μ_S- statikus súrlódási együttható.

F_S statikus súrlódási erő összefüggése:

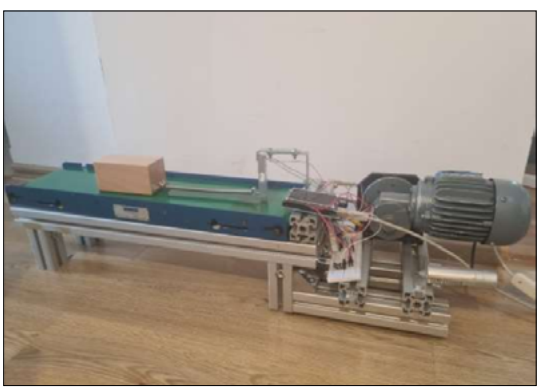
$$F_S = \mu_S \cdot N \qquad (2)$$

A csúszás egyenlete (**3. ábra**) alapján:

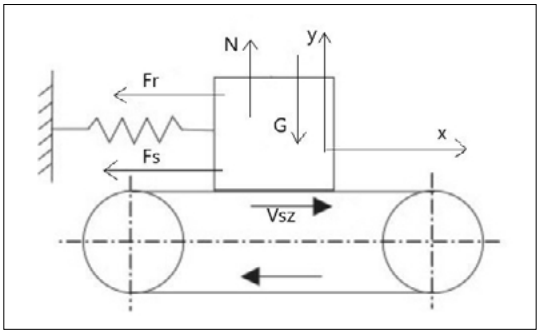
$$F_{cs} - F_r = m \cdot a \qquad (3)$$

$$F_{cs} = \mu_k \cdot N, \qquad (4)$$

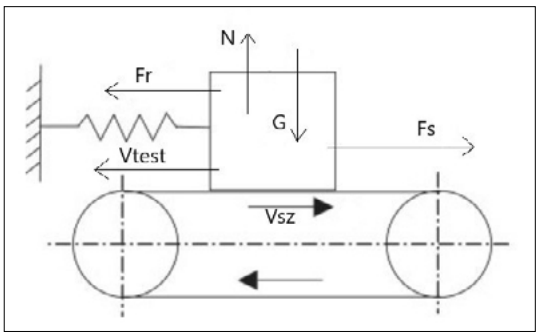
ahol: F_{cs} csúszó súrlódási erő,
m - próbatest tömege,
μ_k - kinetikus súrlódási együttható.



1. ábra. *A tervezett berendezés*



2. ábra. *Az erők hatása tapadás esetén*



3. ábra. *Az erők hatása csúszás esetén*

2. A súrlódási tényező meghatározása

A mérési folyamat során folyamatosan rögzítettük a súrlódási erő változását, amelyből meghatározható volt a tapadási és csúszási állapothoz tartozó erő. A műanyag felületén a CuZn-, Cu-, Al-, Sn- és FeC-anyagok stick-slip tapadási és csúszási súrlódási együtthatóját határoztuk meg.

A szakaszos csúszás feltétele:

$$\mu_S / \mu_k \geq 1 \qquad (5).$$

A statikus súrlódási együttható meghatározásában a maximális erőt használjuk közvetlenül a csúszás előtt (**1.táblázat**).

A kinetikus súrlódási együttható esetében az átlagolt erőt használjuk csúszás közben (**1. táblázat**).

A mért maximális erőértékek felhasználásával meghatároztuk a statikus és a kinematikus súrlódási együtthatókat. A súrlódási tényezők számítására felhasználtuk az (1...5) egyenleteket.

2.1. Kísérleti eredmények

A szakaszos csúszás feltétele teljesül, **2. táblázat.**

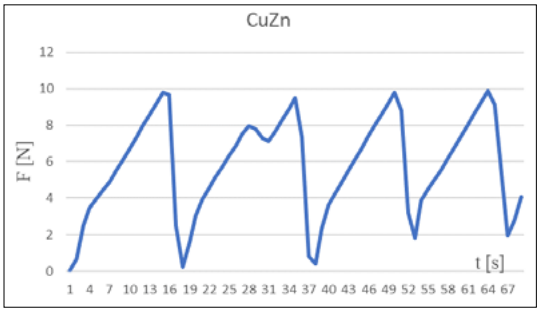
A mérések során az erő időbeli változása (**4.**, **5.**, **6.**, **7.**, **8. ábra**), látható különböző anyagpárok érintkezésénél.

1. táblázat. *A mért erők értékei*

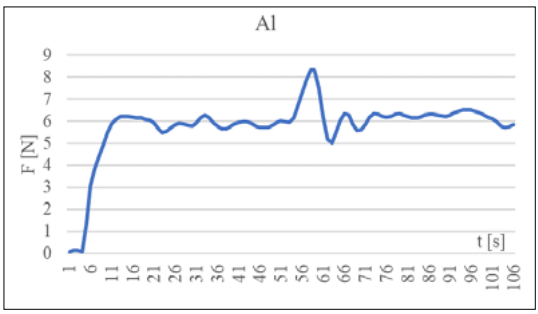
Mért erő [N]				
CuZn	Cu	Al	Sn	FeC
0.01	0.22	0.07	0.13	0.3
0.64	1.8	0.13	1.02	0.41
2.49	3.21	0.13	2.69	0.12
3.45	3.85	**0.06**	3.51	0.08
3.94	4.47	1.42	4.11	0.1
4.43	5.09	3.06	4.73	0.93
4.92	5.71	3.86	5.35	2.42
5.5	6.33	4.4	5.95	3.07
6.1	6.94	4.96	6.54	3.6
6.71	7.53	5.46	7.14	4.11
7.32	7.85	5.87	7.75	4.35
7.94	7.28	6.1	8.35	4.37
8.55	6.06	6.21	8.94	4.11
9.17	5.07	6.22	9.14	3.62
9.8	4.97	6.22	8.26	3.31
9.67	5.5	6.18	6.62	3.43
2.49	6.12	6.16	5.21	3.8
0.25	6.73	6.14	4.89	4.1
1.57	7.33	6.09	5.37	4.25
3.04	7.95	6.04	5.99	4.22

2. táblázat. *A súrlódási tényezők átlagértékei*

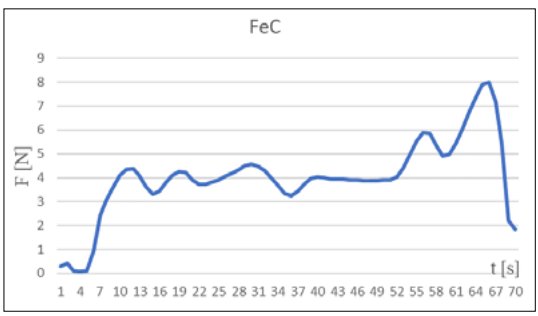
Anyag	CuZn	Cu	Al	Sn	FeC
tömeg [kg]	0.43	0.45	0.43	0.43	0.47
μstatikus 1	2.30	1.65	1.49	2.19	0.96
μ kinetikus1	**0.97**	**1.21**	**1.43**	**1.45**	**0.80**
μstatikus 2	1.86	1.96	1.42	1.92	0.93
μ kinetikus2	**1.74**	**1.35**	**1.40**	**1.23**	**0.85**
μstatikus 3	2.23	2.14	1.50	2.08	1.00
μ kinetikus3	**0.67**	**1.35**	**1.40**	**2.02**	**0.84**
pálca tapadás	**2.13**	**1.92**	**1.47**	**2.06**	**0.96**
pálca csúszás	***1.13***	***1.30***	***1.41***	***1.57***	***0.83***
arány	***1.89***	***1.47***	***1.05***	***1.32***	***1.16***



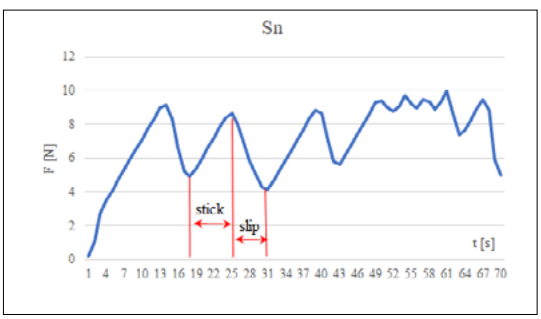
5. ábra. *A CuZn-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül*



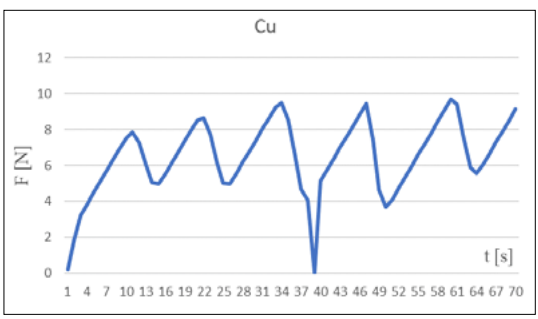
6. ábra. *Az Al-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül*



7. ábra. *A FeC-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül*



4. ábra. *Az Sn-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül*



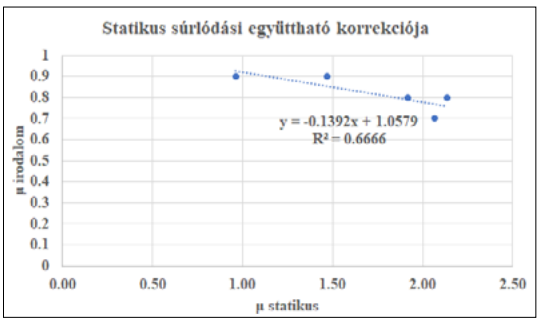
8. ábra. *A Cu-PVC esetében az erő változása az idő függvényében, kenőanyag nélkül*

3. táblázat. *Összehasonlítás a mért és az irodalomban használt tapadási súrlódási tényezők között*

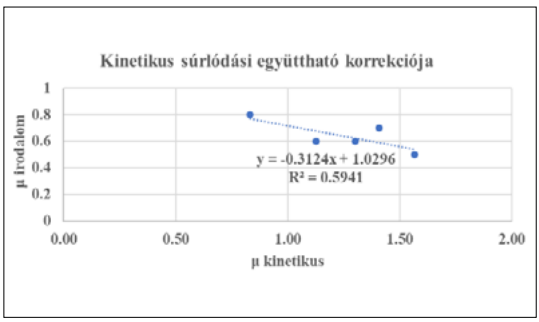
	átlag tapadás	irodalmi adat	
CuZn	2.13	0.8	r
Cu	1.92	0.8	0.8161
Al	1.47	0.9	
Sn	2.06	0.7	
FeC	0.96	0.9	

4. táblázat. *Összehasonlítás a mért és az irodalomban használt csúszási súrlódási tényezők között*

	átlag csúszás	irodalomi adat	
CuZn	1.13	0.6	r
CuZn	1.30	0.6	0.7708
Al	1.41	0.7	
Sn	1.57	0.5	
FeC	0.83	0.8	



9. ábra. *Tapadási súrlódási együttható korrekciója*



10.ábra. *Kinetikus súrlódási együttható korrekciója*

A grafikonokon periodikus erőingadozás figyelhető meg, amely a tapadás- és csúszásjelenség jelenlétére utal. Egyes anyagok esetén az erőcsúcsok és a minimumok különböző amplitúdóval jelentkeznek, ami az eltérő súrlódási tulajdonságokra utal. Az szelenium esetében az erőingadozás viszonylag egyenletes, míg a CuZn-nél nagyobb amplitúdójú kilengések figyelhetők meg. Az alumíniumnál az erőváltozás kisebb ingadozást mutat, ami stabilabb csúszási viselkedést jelez. A statikus súrlódási erő nagyobb, mint a csúszó súrlódási erő, ezért a rendszer periodikusan tapadási és csúszási fázisok között váltakozik. Az acél esetében az erő változása egyenletesebb, kisebb amplitúdójú ingadozások figyelhetők meg, ami stabilabb csúszási folyamatot és kisebb stick-slip hatást jelez. A réz esetében az erő fokozatos növekedését a tapadási szakaszban figyelhetjük meg, majd hirtelen lecsökken a megcsúszás során, ami nagyobb súrlódási ingadozásra utal.

2.2. Az adatok feldolgozása

A kísérleti eredményeket összevetettük az irodalomban ajánlott súrlódásitényező-értékekkel. Az eltérések vizsgálata érdekében korrekciós görbéket állítottunk fel a statikus és kinematikus súrlódási együtthatók esetében. A lineáris regressziós elemzés segítségével meghatároztuk a mért és az irodalmi értékek közti kapcsolatot, (**9.ábra**), (**10. ábra**), amely lehetővé tette a mérési eredmények pontosítását.

3. Következtetések

A berendezés lehetővé tette, hogy különböző anyagpárok között jelentős eltéréseket figyeljünk meg a súrlódási viselkedés tekintetében.

A vizsgálatok igazolták, hogy a berendezés alkalmas a stick-slip súrlódási tényezők és folyamatok elemzésére.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Kozma M.: *Tribológia*. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2001.
[2] Pavelescu D., Mușat M., Tudor A.: *Tribologie*. Ed. Didactică și pedagogică, 1977.
[3] Kozma M.: *Gépelemek 9. Tribológia, siklócsapágyak*. Budapesti Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kar, Műegyetemi Kiadó, 1995.
[4] Valasek I.: *Tribológiai kézikönyv*. Tribotechnik Kft., Budapest, 1996.
[5] Zsidai L., Keresztes R. A: *„Stick-slip" jelentősége és tribológiai vizsgálatának lehetséges irányvonalai a polimer alkalmazásokhoz*. Polimerek, 1/4. (2015) 102–110.
[6] Neale M. J.: *Tribology Handbook*. Londra, 1973.
[7] Vámos E.: *Tribológiai kézikönyv. Gépek és gépelemek súrlódása, kopása, kenése*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1983.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 94–100.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.12
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.12

MESTERSÉGESINTELLIGENCIA-ALAPÚ ÉPÍTÉSHELYI MINŐSÉGELLENŐRZÉS: AZ MI-TANÍTÁS TAPASZTALATAI ÉPÍTŐIPAR-SPECIFIKUS FELHASZNÁLÁSRA

AI-BASED ON-SITE CONSTRUCTION QUALITY CONTROL: EXPERIENCES IN TRAINING AI FOR CONSTRUCTION-SPECIFIC APPLICATIONS

Rák Olivér,[1] Bakai Nándor,[2] Máder Patrik Márk,[3] Etlinger József,[4] Simon Dóra Erika,[5] Jászberényi Tünde,[6] Zagorácz Márk Balázs[7]

Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, Mérnöki Ismeretek Tanszék, BIM Skills lab kutatócsoport/ Breuer Marcel Doktori Iskola, Pécs, Magyarország.
[1]rak.oliver@mik.pte.hu; [2]bakai.nandor@mik.pte.hu; [3]mader.patrik@mik.pte.hu; [4]etlinger.jozsef@mik.pte.hu
[5]simon.dora@mik.pte.hu; [6]jaszberenyi.tunde@mik.pte.hu; [7]zagoracz.mark@mik.pte.hu

Abstract

This study investigates the applicability of artificial intelligence in the construction industry, specifically focusing on the automation of on-site quality control through the training and fine-tuning of a YOLO-based segmentation model. The research presents the process of creating custom, construction-specific datasets within a Docker-based CVAT environment, highlighting the significance of the Human-in-the-Loop (HITL) methodology. To minimize human annotation time and prevent faulty feedback loops, the workflow was optimized using a custom Python script. By integrating the Douglas-Peucker algorithm and IoU-based filtering, this solution automatically smooths the fragmentation of AI-predicted polygons and eliminates duplicates. The results demonstrate that combining algorithmic cleaning of raw detection data with expert supervision is essential for developing reliable, industrial-grade AI solutions in the construction sector.

Keywords: *computer vision, construction quality control, YOLO segmentation, Human-in-the-Loop (HITL).*

Összefoglalás

Jelen tanulmány a mesterséges intelligencia építőipari alkalmazhatóságát, ezen belül az építéshelyi minőség-ellenőrzés automatizálását vizsgálja egy YOLO-alapú szegmentációs modell betanításán és finomhangolásán keresztül. A kutatás bemutatja az egyedi, falazásra fókuszált adathalmazok létrehozásának folyamatát egy Docker-alapú CVAT-környezetben, kiemelve a Human-in-the-Loop (HITL)metódus jelentőségét. Az emberi annotációs idő és a modell hibás visszacsatolásainak minimalizálása érdekében a munkafolyamatot egy egyedi Python-szkripttel optimalizáltuk. Ez a megoldás a Douglas–Peucker-algoritmus és az IoU-alapú szűrés integrálásával automatikusan simítja az AI által prediktált poligonok töredezettségét, és távolítja el a duplikátumokat. Az eredmények igazolják, hogy a nyers detektálási adatok algoritmikus tisztítása és a szakértői felügyelet kombinációja elengedhetetlen a megbízható, ipari minőségű MI-megoldások fejlesztéséhez az építőiparban.

Kulcsszavak: *gépi látás, YOLO-szegmentáció, építéshelyi minőség-ellenőrzés.*

1. Bevezetés

Az építőipar globális szinten az egyik legnagyobb gazdasági ágazat, ugyanakkor a digitalizáció és az automatizáció terén lemaradásban van más iparágakhoz – például a feldolgozóiparhoz vagy az autóiparhoz – képest. A modern építőipari projektek komplexitásának növekedésével, valamint a szigorodó minőségi és biztonsági köve-

telményekkel párhuzamosan azonban az Ipar 4.0 technológiák integrációja elkerülhetetlenné vált. A mesterséges intelligencia (MI) és különösen a számítógépes látáshoz kapcsolódó (Computer Vision – CV) algoritmusok áttörést hoztak az építéshelyi folyamatok monitorozásában, a munkabiztonság növelésében és a minőség-ellenőrzésben. Az építéshelyi minőség-ellenőrzés klasszikus, manuális módszerei rendkívül idő- és erőforrás-igényesek, továbbá erősen függnek az ellenőrzést végző szakember szubjektív megítélésétől és pillanatnyi döntéshozatalától.

A gépi tanulásra (Machine Learning – ML) és mélytanulásra (Deep Learning – DL) épülő rendszerek képessé váltak arra, hogy az építési helyszínen rögzített vizuális adatokból (képekből, videókból, pontfelhőkből) valós időben azonosítsák az eltéréseket, hibákat és a biztonsági kockázatokat. Ugyanakkor ezen modellek – mint amilyenek a YOLO (You Only Look Once) objektumdetektáló architektúrák is – hatékonysága és ipari alkalmazhatósága egyenes arányban áll a betanításukhoz (training) használt adathalmazok minőségével és méretével. Különösen igaz ez a specifikus, magas komplexitású feladatoknál, mint amilyen a falazott szerkezetek minőség-ellenőrzése és szegmentációja. Az építőipari adatok gyakran strukturálatlanok, zajosak, és a megfelelő minőségű, kellő elemszámú (felcímkézett) tanító adatbázisok létrehozása jelentős akadályt képez az MI gyakorlati bevezetése előtt.

Jelen tanulmány célja a mesterséges intelligencia építőipari alkalmazhatóságának, ezen belül az építéshelyi minőség-ellenőrzés automatizálásának vizsgálata egy YOLO-alapú szegmentációs modell betanításán és finomhangolásán keresztül. A kutatás fókuszában a falazási munkálatokra specializált adathalmazok előállítása áll. A munkafolyamat egy Docker-alapú CVAT- (Computer Vision Annotation Tool) környezetben valósult meg, kiemelt figyelmet fordítva a Human-in-the-Loop (HITL)-metódusra. Mivel a kézi annotáció drága és lassú, a kutatás egy olyan optimalizált, Python-szkript-alapú megoldást mutat be, amely a Douglas–Peucker-algoritmus [1] és az Intersection over Union (IoU)-alapú szűrés integrálásával automatikusan simítja az MI által generált poligonok töredezettségét, valamint eltávolítja a redundáns duplikátumokat. A cikk azt a hipotézist vizsgálja és igazolja, hogy a nyers detektálási adatok algoritmikus tisztítása és a szakértői emberi felügyelet (HITL) megfelelő kombinációja elengedhetetlen a megbízható, ipari szintű minőség-ellenőrző MI-rendszerek kifejlesztéséhez.

2. Irodalmi áttekintés

A mesterséges intelligencia és a számítógépes látás építőipari alkalmazásának szakirodalma az elmúlt évtizedben exponenciális növekedést mutatott. A kutatások fókuszpontjai a biztonságtechnikai ellenőrzéstől az automatizált állapotfelmérésen át egészen a projektmenedzsment-rendszerekkel történő integrációig terjednek.

2.1. A mesterséges intelligencia és a BIM integrációja az építőiparban

Az építőipari MI-alkalmazások jelentős része az építményinformációs modellezés (Building Information Modeling – BIM) keretrendszeréhez kapcsolódik. Pan és Zhang [2] átfogó tanulmányukban rámutatnak, hogy a BIM és az MI integrációja kritikus a jövőbeli építési folyamatok automatizálásában, ahol az MI-alapú adatfeldolgozás kiegészíti a BIM statikus geometriai és szemantikai adatait. Ehhez hasonlóan, Zheng és munkatársai [3] a mélytanulási neurális hálózatok és a BIM integrációját vizsgálták a meglévő épületek állapotfelmérésének jövőbeni generációjában, bebizonyítva, hogy a vizuális adatok MI-vel történő feldolgozása nagymértékben növeli a felmérések pontosságát. A földalatti építkezések (alagútépítés) speciális, zárt és kockázatos környezetében Ninic et al. [4] vizsgálták a gépi tanulás és a számítógépes látás BIM-mel való szinergiáit, kiemelve a valós idejű monitorozás jelentőségét. Egy innovatív, játékosított megközelítést alkalmazva Boton et al. [5] egy olyan hibrid alkalmazást fejlesztettek ki, amely az építési projektek „on-demand”-felügyeletét teszi lehetővé a BIM és a gépi tanulás ötvözésével, ezáltal javítva a projektvezetők és a helyszíni folyamatok közötti információáramlást.

2.2. Adaptáció és implementációs kihívások az iparban

Bár a technológiai háttér adott, az ipari bevezetés (adoption) számos akadályba ütközik. Elghaish és társai [6] iparági szemszögből vizsgálták az MI-eszközök jelenlegi és jövőbeni alkalmazhatóságát, hangsúlyozva, hogy a tudáshiány és az adatkezelési protokollok hiánya a legfőbb gátló tényezők. A megelőző intézkedések és a munkabiztonság terén Muñoz-La Rivera et al. [7] elemezték az új technológiák (köztük az MI) bevezetésének megvalósíthatóságát. A bevezetés ösztönzőit tesztelve egy „light” deep learning-megközelítéssel, Abioye et al. [8] arra a következtetésre jutottak, hogy a számítási kapacitást kevésbé terhelő, optimalizált modellek elősegíthetik a technológia

szélesebb körű elterjedését a kivitelező cégek körében. Ezt a problémakört érinti Zhong et al. [9] kutatása is, akik az úgynevezett „kis mintás” (small samples) tanítási keretrendszereket vizsgálták építőipari baleseti jelentések információkinyerésére, rámutatva, hogy az adathiányos környezetben az adatok intelligens előkészítése és kiegészítése elengedhetetlen.

2.3. Mélytanulás a hiba- és hiányosságdetektálásban

Az építéshelyi minőség-ellenőrzés leggyakoribb MI-alkalmazása a hibadetektálás. Li et al. [10] egy szabályalapú deep learning-módszert fejlesztettek ki a homlokzati hibák kiértékelés-orientált detektálására, amely objektív mérőszámokat biztosít a javítási munkálatokhoz. A fókusz egyre inkább az előregyártott elemek (Off-Site Construction – OSC) felé is eltolódik: Kim és mtsai. [11] mélytanulás alapú képfelismerést alkalmaztak előregyártott vasbeton (PC) elemek repedéseinek detektálására és minőségvizsgálatára, jelentősen csökkentve az emberi ellenőrzés szükségességét. A minőség mellett a biztonság is kritikus: Wang et al. [12] a mélytanulást kiterjesztett valósággal (Augmented Reality – AR) kombinálták, hogy azonosítsák az állványzatok összeszerelési hiányosságait a helyszínen.

2.4. A YOLO-architektúra működési elve és fejlődése

A konvolúciós neurális hálózatok (CNN) között az objektumdetektálás egyik legjelentősebb mérföldkövét a 2016-ban bemutatott YOLO- (You Only Look Once) [13] architektúra jelentette. A hagyományos, kétfázisú régiójavaslat-alapú (region proposal) módszerekkel szemben a YOLO az objektumdetektálást egyetlen integrált regressziós problémaként fogja fel. A hálózat a teljes bemeneti képet egy fázisban, egyetlen kiértékeléssel vizsgálja, felosztva azt egy rácsra (grid), majd ebből párhuzamosan prediktálja a befoglaló dobozokat (bounding boxes) és a hozzájuk tartozó osztály-valószínűségeket. Ennek az "egytekintetű" elvnek köszönhetően a YOLO kiemelkedő sebességgel (akár valós időben) képes működni, ami az építőipari gépi látás esetén kiemelten fontos.

Az elmúlt években az architektúra jelentős evolúción ment keresztül az építőipari alkalmazásokban. A legújabb kutatások [14] az épületek felületi hibáinak detektálására a YOLO korábbi, v8-as iterációit alkalmazták, normalizációalapú figyelemmechanizmussal kiegészítve. A folyamatos fejlesztések eredményeként az Ultralytics bemutatta az architektúra legújabb generációját, a jelen kutatásban is alkalmazott YOLO26-modellt [15]. A korábbi verziók (pl. v8, v11) esetében a hálózat gyakran rengeteg egymást átfedő keretet prediktált, amelyeket egy számításigényes utófeldolgozó algoritmussal, a Non-Maximum Suppression (NMS)-lépéssel kellett kiszűrni. A YOLO26 fő technológiai innovációja az „End-to-End” működési logika, amely teljesen kiiktatja az NMS-fázist, és közvetlenül a végleges detekciókat, valamint a szegmentációs maszkokat adja ki. Ez az architektúra drasztikusan felgyorsítja a modell futtatását, és növeli a pixelpontos maszkolási precizitást [15], ami kritikus előfeltétele a jelen vizsgálat fókuszát képező, nagyszámú és sűrűn elhelyezkedő falazóelem (tégla) robusztus szegmentációjának.

2.5. Kutatási hiányosság és a jelen vizsgálat relevanciája

Bár a szakirodalom kiterjedt figyelmet szentel a YOLO-alapú detektálásnak és a deep learning-modellek építőipari alkalmazásának, a tanulmányok többsége a kész modellek pontosságára fókuszál (bounding-box-alapú detektálás), és kevesebb figyelmet fordít az adat-előkészítés, a pixelpontos szegmentáció, valamint a betanítási fázis operatív kihívásaira. Az építéshelyi minőség-ellenőrzésnél – például a falazás fugáinak, tégláinak és esetleges kivitelezési pontatlanságainak ellenőrzésekor – nem elegendő egy befoglaló doboz (bounding box) megadása; precíz maszkolásra és szegmentációra van szükség. A szegmentációs adathalmazok generálása jelentős emberi erőforrást (annotációs időt) emészt fel.

A szakirodalomban azonosítható hiányosság egy olyan optimalizált, ipari gyakorlatba ültethető keretrendszer hiánya, amely a nyers mesterséges intelligencia által generált predikciókat (szegmentációs poligonokat) algoritmikusan finomítja, mielőtt azokat emberi szakértő elé tárná jóváhagyásra. Jelen kutatás ezt az űrt kívánja kitölteni azáltal, hogy a YOLO-alapú szegmentációt a Human-in-the-Loop (HITL)-módszertannal, valamint geometriai simító algoritmusokkal (Douglas–Peucker) és IoU-alapú tisztítással ötvözi, kifejezetten a falazási munkafolyamatok minőség-ellenőrzésére optimalizálva.

3. Kutatásmódszertan és iteratív modellfejlesztés

3.1. Problémafelvetés és a kutatás célja

A falazott szerkezetek minőség-ellenőrzésének távlati célja a téglakötések helyességének és a

falazat geometriai pontosságának automatizált, valós idejű vizsgálata. Jelen kutatás ezen átfogó rendszer első és legkritikusabb lépcsőfokát valósítja meg: egy mesterségesintelligencia- (MI) alapú számítógépeslátás-modell kifejlesztését, amely képes minden egyes beépített téglát nagy megbízhatósággal, pixelpontos szegmentációval detektálni a megfelelő térbeli pozíciójában. A feladat komplexitását az adja, hogy a téglák textúrája homogén, sűrűségük magas, ami jelentős kihívás elé állítja az objektumdetektáló algoritmusokat.

3.2. Adatgyűjtés és elsődleges annotáció (1. kör)

Az első lépés a nyers képi adatok rögzítése és a kiinduló adathalmaz létrehozása volt. Az adatok felcímkézése (annotálása) egy izolált, Docker-konténerben futtatott CVAT- (Computer Vision Annotation Tool) környezetben valósult meg (**1. ábra**). A kezdeti tanító adathalmaz létrehozása szigorúan manuális poligonannotációval történt. Az így kapott – viszonylag alacsony elemszámú – adathalmazon elvégeztük a YOLO- (You Only Look Once) architektúrára épülő szegmentációs modell elsődleges alapbetanítását.

A kezdeti eredmények és a validációs adatok rámutattak a hagyományos betanítás korlátaira: bár a modell képes volt detektálni a falazóelemek egy részét, jelentős anomáliák léptek fel. Számos téglát nem azonosított, a prediktált szegmentációs nyomvonalak túlzottan töredezettek (cikcakkosak) voltak, illetve a sűrű elhelyezkedés miatt gyakori volt az átfedés és a duplikáció ugyanazon a felületen.

3.3. Algoritmikus optimalizáció és a Human-in-the-Loop (HITL)-metódus

A modell által generált hibás és zajos kimenetek visszatanításának elkerülése érdekében egy egyedi, Human-in-the-Loop (HITL) visszacsatolási hurkot és egy algoritmikus tisztító eljárást dolgoztunk ki. Az 1. körös modell által generált nyers predikciókat (pre-labeling) a CVAT-felületre történő visszatöltés előtt egy egyedi fejlesztésű Python-szkripttel dolgoztuk fel, amely két kritikus problémát orvosolt (**2. ábra**):

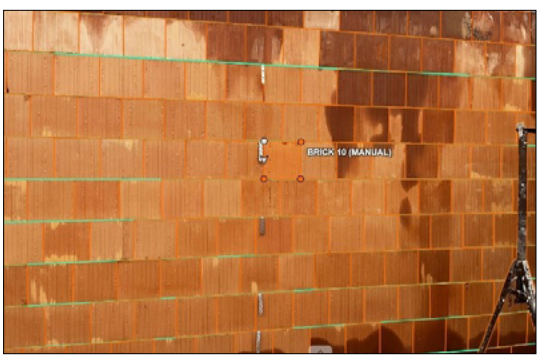
- Töredezettség csökkentése (Douglas–Peucker-algoritmus): A modell által generált, túlzottan sok pontból álló poligonokat a szkript a Douglas–Peucker-algoritmus segítségével algoritmikusan kisimította. A rendszer dinamikusan növelte az egyszerűsítés (epsilon) mértékét, amíg a poligonok pontszáma egy előre meghatározott, optimális maximum (pl. 10 pont/tégla) alá nem csökkent. Ezt kiegészítette a YOLO-modell nagy felbontású maszkgeneráló (retina_masks=True) funkciója.
- Duplikációk és átfedések szűrése (IoU-metszetvizsgálat): A hamis predikciók eltávolítására a szkript a Shapely geometriai könyvtárral kiszámította a poligonok közötti átfedést (Intersection over Union – IoU). A kritikus küszöbértéket meghaladó átfedések esetén az algoritmus a kisebb megbízhatóságú duplikátumot automatikusan elvetette.

Ezt a megtisztított adathalmazt töltöttük be a CVAT-ba, ahol a szakértői emberi felügyelet már csak a kimaradt téglák pótlására és minimális eligazításra korlátozódott, jelentősen felgyorsítva az annotációs folyamatot (méréseink alapján kb. 40%-os hatékonyságnövekedést értünk el).

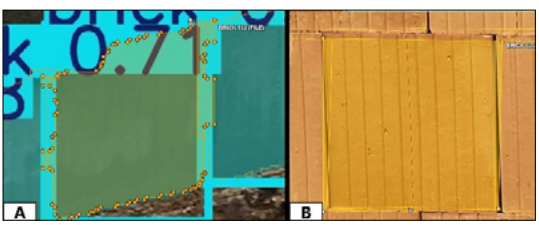
3.4. Iteratív finomhangolás és a végleges modell

A kutatás során az adatok tisztítását és a modell továbbítását iteratív módon, a folyamatos minőségjavulás érdekében több (eddig összesen négy) körben végeztük el.

A köztes betanítási körök során a modell már megkapta a Douglas–Peucker- és IoU-algoritmusokkal tisztított, majd manuálisan felülvizsgált



1. ábra. *CVAT-környezetben végzett felcímkézett fotó*



2. ábra. *HITL-metódust szemléltető ábra. „A” szkript futtátása előtti állapot, „B” szkript futtását követő állapot*

adatokat. A modell itt nem a saját korábbi hibáit (a töredezett poligonokat) tanulta vissza, hanem fokozatosan stabilizálta a geometriai határokat.

A negyedik, végső finomhangolási körnél értük el azt a stabil működést, amely a sűrű falazati struktúrában is képes volt a duplikációk kiküszöbölésére és a téglák egyértelmű szegmentációjára.

A többlépcsős iteráció igazolta, hogy a sorozatos algoritmikus szűrés, kombinálva a HITL-módszertannal, alacsony induló képszám mellett is képes finomítani a modellt és garantálni azt a pixelpontos szegmentációt, amely elengedhetetlen a későbbi falazati minőség-ellenőrzési algoritmusok futtatásához.

4. Eredmények és értékelés

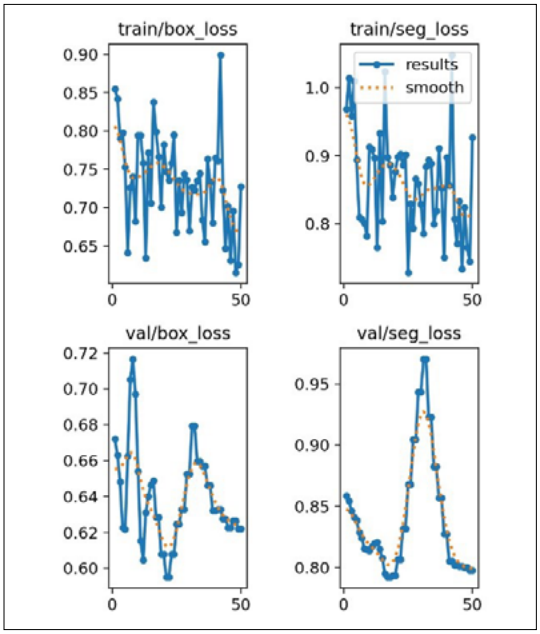
A kutatás során bemutatott iteratív, Human-in-the-Loop (HITL)-alapú adatoptimalizáció hatékonyságát az ismételt betanítási körök kimeneti metrikái és vizuális predikciói igazolják. Az eredmények egyértelműen rámutatnak a Douglas–Peucker- és az IoU-alapú szűrés létjogosultságára a falazati szegmentáció során.

4.1. A modell tanulási dinamikája és konvergenciája

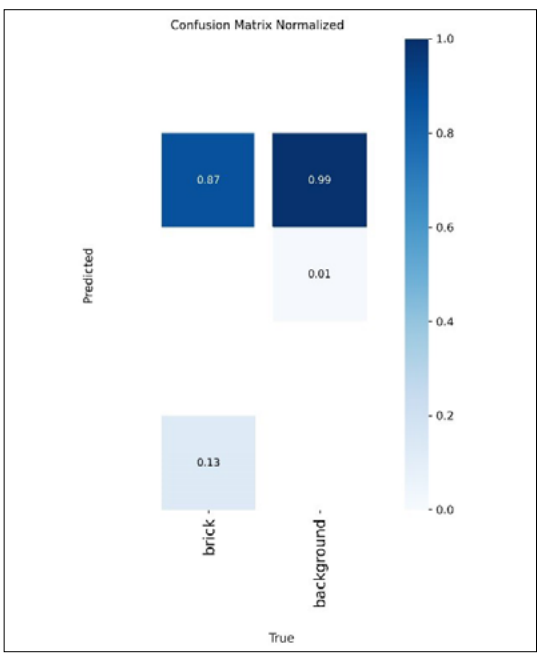
A többlépcsős finomhangolási folyamat stabilitását a tanulási görbék validálják. A betanítási (train) és validációs (val) veszteségfüggvények analízise alapján megállapítható, hogy a modell mentes a túlilleszkedéstől. A befoglaló dobozok helyzetét értékelő veszteség (box_loss), valamint a pixelpontos maszkolást mérő veszteség (seg_loss) a betanítási ciklusok előrehaladtával meredeken csökkent (**3. ábra**). Ez azt jelenti, hogy az előkészített, töredezettségtől és duplikációktól mentes adathalmazzal a neurális hálózat redundáns információ nélkül, optimális gradienszereszkedéssel tudta elsajátítani a téglák geometriai jellemzőit.

4.2. Osztályozási pontosság és a tévesztési mátrix elemzése

A modell osztályozási megbízhatóságát a normalizált tévesztési mátrix (**4. ábra**) (Confusion Matrix) értékeli ki a legrészletesebben. A vizsgálat a háttér (background) és a célobjektum (tégla) elkülönítésére fókuszált. A mátrix adatai alapján a modell működőképes, 87%-os arányban (True Positive) azonosította helyesen a falazóelemeket. A háttér tévesztési aránya minimálisra csökkent, ami igazolja, hogy a falazat mögötti vizuális zaj, az esetleges habarcsmaradványok vagy az állványzat elemei csak részben zavarják meg a detektálást.



3. ábra. *A YOLO szegmentációs modell betanítási (train) és validációs (val) veszteséggörbéi a 4. iteráció során. A grafikonok a befoglaló dobozok lokalizációs hibájának (box_loss), valamint a pixelpontos maszkolás veszteségének (seg_loss) egyenletes csökkenését és konvergenciáját mutatják, ami igazolja a stabil tanulási dinamikát és a túlilleszkedés (overfitting) elkerülését.*



4. ábra. *Normalizált tévesztési mátrix*

4.3. Szegmentációs metrikák (mAP)

A finomhangolt hálózat végső teljesítményét a Mean Average Precision (mAP)-mutatók számszerűsítik. A negyedik iterációs kör végére a modell a szegmentációs maszkok tekintetében 60,3%-os mAP50 (0.603) pontosságot ért el. Ami ipari szempontból még relevánsabb: a rendkívül szigorú, a pixelpontos illeszkedést mérő mAP50-95 mutató 42,6%-ra (0.426) emelkedett. Bár a sűrű, homogén textúrájú építőanyagok felismerése általában véve is kihívást jelent a gépi látás számára, ez a drasztikus növekedés a nyers, első körös modell eredményeihez képest (ahol az érték mindösszsze ~32-36% körül stagnált) közvetlenül az algoritmikus élsimításnak (Douglas–Peucker) és a HITL-módszertannak köszönhető.

4.4. Vizuális predikciók és ipari alkalmazhatóság

A számszerű eredményeket a validációs adathalmazon lefuttatott vizuális tesztek is alátámasztják. A predikciós kimenetek elemzése során megállapítható, hogy a modell sikeresen azonosítja a falazóelemeket. Kiemelendő, hogy az előfeldolgozás során beállított szigorú IoU-szűrés eredményeként a sűrű falazati struktúrában megszűntek a duplikált maszkok. A prediktált poligonok élei egyenesek, és a lehetőségekhez mérten pontosan illeszkednek a téglák fizikai határaihoz.

5. Összegzés és konklúzió

Jelen tanulmány az építőipari gépi látás egyik feladatát, a falazott szerkezetek minőség-ellenőrzéséhez szükséges, mesterségesintelligencia-alapú tégladetektálást és szegmentációt vizsgálta. A kutatás rávilágított arra a technológiai problémára, hogy a nyers, dobozos YOLO szegmentációs modellek az építőipar homogén, textúrákban gazdag és sűrű környezetében nem képesek azonnali, ipari szintű megbízhatóságot nyújtani. A tisztítatlan adatokon végzett tanítás töredezett poligonokat és duplikált felismeréseket eredményez, ami a modell finomhangolása során csak a meglévő hibák konzerválódásához vezet.

A kutatás fő tudományos és gyakorlati hozzájárulása egy optimalizált Human-in-the-Loop (HITL)-munkafolyamat kidolgozása és validálása volt. Bizonyítást nyert, hogy a nyers MI-predikciók automatizált Python-szkriptekkel történő tisztítása – a Douglas–Peucker-algoritmussal történő poligonél-simítás és az IoU-alapú duplikátumszűrés – jelentősen felgyorsítja a CVAT környezetben végzett manuális annotációs munkát. A megtisztított adatokon végzett iteratív betanítások eredményeként a modell felismerési pontossága szignifikánsan növekedett, a maszkokra vonatkozó mAP50 érték meghaladta a 60%-ot, miközben az annotálásra fordított emberi erőforrás a töredékére csökkent.

Összességében a bemutatott, adatközpontú MI-megközelítés ígéretes alapot szolgáltat az építőipari automatizáció számára. A jövőbeli kutatási irányok a jelenleg kifejlesztett, stabil detektálási modellre épülnek majd: a szegmentált poligonok geometriai elemzésével lehetővé válik a téglakötések szabályosságának, a falazat síkpontosságának, valamint a fugavastagságoknak a teljesen automatizált, valós idejű szoftveres ellenőrzése az építési helyszíneken, akár laikus megrendelők által is.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium, Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapjából finanszírozott Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Programjának szakmai támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] D. H. Douglas, T. K. Peucker: *Algorithms for the Reduction of the Number of Points Required to Represent a Digitized Line or Its Caricature*. Cartographica, 10/2. (1973) 112–122. https://doi.org/10.3138/FM57-6770-U75U-7727

[2] Y. Pan, L. Zhang: *Integrating BIM and AI for Smart Construction Management: Current Status and Future Directions*. Arch. Comput. Methods Eng., 30/2. (2023) 1081–1110,. https://doi.org/10.1007/s11831-022-09830-8

[3] Mani Amrouni Hosseini, Mehdi Ravanshadnia, Majid Rahimzadegan, Saeed Ramezan: *Next-Generation Building Condition Assessment: BIM and Neural Network Integration*. Journal of Performance of Constructed Facilities, 38/6. (2024) https://doi.org/10.1061/JPCFEV.CFENG-4828

[4] M. Q. Huang, J. Ninić, Q. B. Zhang: *BIM, Machine Learning and Computer Vision Techniques in Underground Construction: Current Status and Future Perspectives*. Tunnelling and Underground Space Technology, 108. (2021) 103677. https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103677

[5] F. Pour Rahimian, S. Seyedzadeh, S. Oliver, S. Rodriguez, N. Dawood: *On-Demand Monitoring of Construction Projects through a Game-Like Hybrid Application of BIM and Machine Learning*. Automation in Construction, 110. (2020) 103012. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.103012

[6] F. Salih and I. El-adaway: *Current and Future Adoption of Artificial Intelligence Tools and Applications in Construction Projects: An Industry-Based Perspective*. In: Proceedings of the Canadian Society for Civil Engineering Annual

Conference 2023, 5. (2024) 349–363.
https://doi.org/10.1007/978-3-031-61503-0_26

[7] M. del R. Merino, M. S. Cañamares, M. Z. Calleja, A. R. Serrano, R. A. H. Morante: *Feasibility of Using New Technologies and Artificial Intelligence in Preventive Measures in Building Works*. Buildings, 15/12. (2025) 2132.
https://doi.org/10.3390/buildings15122132

[8] M. Watfa, A. Bykovski, K. Jafar: *Testing Automation Adoption Influencers in Construction Using Light Deep Learning*. Automation in Construction, 141. (2022) 104448p.
https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104448

[9] D. Feng, H. Chen: *A Small Samples Training Framework for Deep Learning-Based Automatic Information Extraction: Case Study of Construction Accident News Reports Analysis*. Advanced Engineering Informatics, 47. (2021) 101256.
https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101256

[10] J. Guo, Q. Wang, Y. Li: *Evaluation-Oriented Façade Defects Detection Using Rule-Based Deep Learning method*. Automation in Construction, 131. (2021) 103910.
https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103910

[11] S. Lee, M. Jeong, C.-S. Cho, J. Park, S. Kwon: *Deep Learning-Based PC Member Crack Detection and Quality Inspection Support Technology for the Precise Construction of OSC Projects*. Applied Sciences, 12/19. (2022) 9810.
https://doi.org/10.3390/app12199810

[12] R.-J. Dzeng, C.-W. Cheng, C.-Y. Cheng: *A Scaffolding Assembly Deficiency Detection System with Deep Learning and Augmented Reality*. Buildings, 14/2. (2024) 385.
https://doi.org/10.3390/buildings14020385

[13] J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi: *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. In: 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Jun. 2016, 779–788.
https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.91

[14] X. Lin et al.: *Building Surface Defect Detection Based on Improved YOLOv8*. Buildings, 15/11. (2025).
https://doi.org/10.3390/buildings15111865

[15] J. Glenn, Q. Jing: *Ultralytics YOLO26*. Accessed: Mar. 14, 2026.
https://github.com/ultralytics/ultralytics

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 101–111.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.13
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.13

VALIDÁCIÓ ÉS AKKREDITÁCIÓ AZ ÉPÍTÉSZETI OKTATÁSBAN: AZ ADMINISZTRATÍV RACIONALITÁSTÓL A TERVEZÉSI TUDÁS INTÉZMÉNYES ELISMERÉSÉIG

VALIDATION VS ACCREDITATION IN ARCHITECTURAL EDUCATION: FROM ADMINISTRATIVE RATIONALITY TO THE INSTITUTIONAL RECOGNITION OF DESIGN KNOWLEDGE

Rétfalvi Donát,[1] Varjú Kata,[2] Heidecker Adél[3]

[1] *Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Építész Szakmai Intézet, Pécs, Magyarország retfalvi.donat@mik.pte.hu*

[2] *Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Építész Szakmai Intézet, Breuer Marcell Doktori Iskola, Pécs, Magyarország, varju.kata@mik.pte.hu*

[3] *Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Építész Szakmai Intézet, Pécs, Magyarország, heidecker.adel@mik.pte.hu*

Abstract

The aim of this paper is to clarify the distinction between accreditation and validation in the context of architectural education and to demonstrate that these mechanisms rest on different conceptions of quality. The analysis shows that European higher education quality assurance systems—particularly ESG-based accreditation—primarily interpret quality in terms of structural compliance, documented procedures, and measurable learning outcomes. This approach ensures institutional stability and legal legitimacy. However, architectural education is based on a specific form of knowledge. Design knowledge is integrative, context-dependent, and partly implicit, emerging through reflective and iterative processes within studio-based learning environments. These characteristics limit the applicability of purely compliance-based quality frameworks. The paper argues that validation—especially within the UNESCO–UIA framework—represents a different institutional logic. While accreditation focuses on operational conditions, validation addresses pedagogical coherence and professional orientation through peer review processes. As a result, the paper proposes a layered model of quality in architectural education, distinguishing structural, pedagogical, and professional dimensions. Within this framework, accreditation and validation are not alternatives but complementary mechanisms.

Keywords*: administrative rationality; design knowledge; architectural epistemology; studio-based pedagogy; validation; accreditation; quality assurance; peer review; institutional logics; professional legitimacy; architectural education; UNESCO–UIA; ESG.*

Összefoglalás

A tanulmány célja az akkreditáció és a validáció közötti különbség tisztázása az építészeti oktatás kontextusában, valamint annak bemutatása, hogy e két mechanizmus eltérő minőségértelmezéshez kapcsolódik. Az elemzés rámutat, hogy az európai felsőoktatási minőségbiztosítási rendszerek – különösen az ESG-alapú akkreditáció – a minőséget elsősorban strukturális megfelelésként, dokumentált eljárásokon és mérhető tanulási eredményeken keresztül értelmezik. Ez a megközelítés biztosítja az intézményi működés stabilitását és jogi legitimitását. Az építészeti oktatás ugyanakkor sajátos tudásformára épül. A tervezési tudás integratív, kontextusfüggő és részben implicit jellegű, amely a stúdióalapú oktatás keretében, reflektív és iteratív folyamatokban alakul ki. E sajátosságok korlátozzák a kizárólag megfelelésalapú minőségértelmezés alkal-

mazhatóságát. A tanulmány amellett érvel, hogy a validáció – különösen az UNESCO–UIA keretrendszerében – eltérő intézményi logikát képvisel. Míg az akkreditáció a működés feltételeit vizsgálja, a validáció a képzés pedagógiai és oktatásmódszertani koherenciájára és szakmai orientációjára irányul, szakmai értékelés (peer review) keretében. Az elemzés eredményeként a tanulmány az építészeti oktatás minőségének rétegzett modelljét javasolja, amely strukturális, pedagógiai, oktatásmódszertani és szakmai dimenziókat különböztet meg. Ebben a keretben az akkreditáció és a validáció nem egymás alternatívái, hanem egymást kiegészítő mechanizmusok.

Kulcsszavak*: adminisztratív racionalitás; tervezési tudás; építészeti episztemológia; stúdióalapú oktatás; validáció; akkreditáció; minőségbiztosítás; peer review; intézményi logikák; UNESCO–UIA; szakmai legitimitás; építészeti oktatás; ESG.*

1. Bevezetés : a minőség fogalmának átalakulása

A felsőoktatás minőségfogalma az elmúlt évtizedekben alapvető átalakuláson ment keresztül. A korábban implicit, szakmai reputáción és akadémiai autonómián alapuló minőségértelmezést fokozatosan felváltotta a formalizált, dokumentálható és auditálható minőségbiztosítási logika. A Bologna-folyamat és az Európai Felsőoktatási Térség (EHEA - European Higher Education Area) létrejötte a minőség fogalmát fokozatosan intézményesítette és szabályozott keretek közé helyezte. Az Európai Felsőoktatási Térség (EHEA) által elfogadott ESG (Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area) keretrendszere a minőséget egyre inkább strukturális megfelelésként, dokumentált eljárásokként és mérhető tanulási eredményekhez kötött megfelelésként értelmezi [1].

Az építészeti oktatásban ez különös jelentőséggel bír, mivel a képzés minősége nem merül ki a strukturális megfelelésben: a tervezési tudás jelentős része implicit, integratív és reflexív jellegű. Ez felveti annak kérdését, hogy a minőség értelmezése korlátozódhat-e pusztán adminisztratív és megfelelésalapú keretekre.

A minőség fogalmának átalakulása kettős következménnyel jár az építészeti oktatásban. Egyrészt az akkreditáció biztosítja a működés stabilitását és legitimációját. Másrészt hangsúlyozza annak szükségességét, hogy a minőség értelmezési kerete ne korlátozódjon kizárólag a megfelelésre, hanem lehetőséget teremtsen a tervezési tudás sajátos jellegének intézményes megjelenítésére is.

Ebben az összefüggésben a tanulmány az akkreditáció és a validáció kapcsolatát vizsgálja, és amellett érvel, hogy a minőség jelenlegi, adminisztratív racionalitásra épülő értelmezése mellett elengedhetetlen olyan normatív és szakmai keretek kialakítása, amelyek elősegítik a tervezési tudás intézményes elismerését.

2. Az adminisztratív racionalitás és az akkreditáció intézményi logikája

2.1. A minőség formalizálódása az ESG keretében

A Bologna-folyamat és az Európai Felsőoktatási Térség (EHEA) létrejötte a minőséget fokozatosan szabályozott, dokumentált és auditálható kategóriává alakította. Ennek központi referenciakerete az ESG, amelyet az EHEA miniszteri konferenciái fogadtak el, és rendszeresen felülvizsgálnak [1].

Az ESG célja kettős: egyrészt biztosítja, hogy a felsőoktatási intézmények működése átlátható, ellenőrizhető és szakmailag megbízható legyen, másrészt elősegíti az európai felsőoktatási rendszerek összehasonlíthatóságát és a képesítések kölcsönös elismerését. Az ESG három fő terület mentén strukturálja a felsőoktatási minőségbiztosítást: egyrészt az intézmények belső minőségbiztosítási rendszereit, amelyek magukban foglalják a tantervek kialakítását és fejlesztését, a tanulási eredmények meghatározását, a hallgatói visszajelzések gyűjtését, valamint az értékelési és vizsgarendszerek működtetését; másrészt a külső minőségértékelési eljárásokat, ideértve a szak- és intézményi akkreditációt, valamint a minőségbiztosítási auditokat; harmadrészt pedig a minőségbiztosítási és akkreditációs szervezetek működésének szabályozását, amely meghatározza e szervezetek működési elveit, függetlenségének és hitelességének biztosítását. Ez a struktúra a minőséget formalizált eljárásokhoz, dokumentált adatokhoz, eljárásokhoz és auditálható folyamatokhoz kapcsolja. A formalizáció ennek megfelelően standardizált referenciakeretet hoz létre, erősíti a dokumentálhatóságot, valamint központi elvvé teszi az auditálhatóságot, amelynek során külső

szakértők vizsgálják a működés megfelelését az előírt standardoknak. A minőség így egyre inkább az explicit módon meghatározott, mérhető és auditálható tanulási eredményekhez kötődik.

2.2. Az adminisztratív racionalitás elméleti háttere

Ez az átalakulás egy tágabb racionalizációs folyamatba illeszkedik, amelynek klasszikus elemzését Max Weber a modern szervezeti működések egyik alapvető jellemzőjeként írt le: a tevékenységek egyre inkább szabályozott, formalizált és ellenőrizhető keretek között zajlanak [2], így a minőség nem elsősorban értelmezési, hanem igazolási kérdéssé, tehát adminisztratív kategóriává válik. Ez az adminisztratív racionalitás jelenik meg az ESG-alapú akkreditációs rendszerekben. Az adminisztratív racionalitás nemcsak technikai eljárásrend, hanem a modern intézményi működés sajátos formája, amelynek célja, hogy a döntések ne személyes preferenciákon, hanem általános szabályokon alapuljanak. A felsőoktatás minőségbiztosítási rendszerei ennek a logikának a megnyilvánulásai. Az ESG-alapú akkreditáció előre meghatározott standardok szerint értékel, dokumentált tanulási eredményeket követel meg, külső szakértői audit révén ellenőrzi az intézmények működését, és ciklikus felülvizsgálati rendszerben működik.

Weber ugyanakkor figyelmeztetett a racionalizáció korlátjára, „vasketrecére” (iron cage): a formalizált racionalitás hajlamos arra, hogy a célokat eszközökké redukálja, és a működés formai megfelelését a tartalmi értékek elé helyezze [2]. Ebben az értelemben a minőség fogalmának formalizálása nem tekinthető teljesen értéksemleges folyamatnak. Az akkreditáció strukturális és eljárási kategóriák mentén értelmezi a minőséget. Ezek a mechanizmusok nélkülözhetetlenek a jogi legitimitás, az intézményi hitelesség és a nemzetközi kompatibilitás biztosításához. A strukturális megfelelésre és mérhető tanulási eredményekre épülő rendszerek ezért hajlamosak a minőséget indikátorokra redukálni, a komplex szakmai ítéletalkotást pedig formális kritériumokkal helyettesíteni. Ez különösen ott válik problematikussá, ahol a tudás implicit, integratív és kontextusfüggő jellegű – ilyen az építészeti tervezés és a stúdióalapú pedagógia –, mivel ezek a tudásformák a megfelelésalapú minőségbiztosítás keretei között nehezebben jeleníthetők meg.

A jelen tanulmány érvelése szerint az akkreditáció azon racionalitás keretében működik, ahol nem feladata a szakmai tudás teljes körű értelmezése, hanem kizárólag a működés strukturális feltételeinek biztosítása. A probléma nem az adminisztratív racionalitás létezése, hanem az, ha azt a minőség egyetlen érvényes értelmezésének tekintjük. Ez a felismerés vezet el annak vizsgálatához, hogy a validáció miként képvisel eltérő intézményi logikát: olyat, amely nem a megfelelésre, hanem a szakmai orientációra és a tudásformák artikulációjára helyezi a hangsúlyt.

2.3. Az akkreditáció funkciója

Az adminisztratív racionalitás elméleti hátterének tisztázása után érdemes pontosan meghatározni az akkreditáció funkcionális szerepét a felsőoktatási rendszerben. Az akkreditáció nem pusztán értékelési eljárás, hanem olyan intézményi mechanizmus, amelynek elsődleges szerepe a felsőoktatási képzések jogi és intézményi legitimitásának és működési stabilitásának biztosítása. Az ESG-hez igazodó nemzeti minőségbiztosítási rendszerekben egy képzési program csak akkor működhet, ha megfelel a meghatározott strukturális és minőségi követelményeknek [1]. Az akkreditáció engedélyezi a képzés indítását és fenntartását, biztosítja a végzettség hivatalos elismerhetőségét. E funkció nélkül a felsőoktatási rendszer működése instabillá és kiszámíthatatlanná válna, ezért az akkreditáció az intézményi legitimitás egyik alapvető eszköze.

Ebben az esetben a minőségbiztosítás célja, hogy a felsőoktatási intézmények működése átlátható és ellenőrizhető legyen, és hogy a hallgatók, a munkaerőpiac és a társadalom számára megbízható képzési minőséget tükrözzenek a kiadott végzettségek. Az akkreditáció ennek érdekében transzparens értékelési eljárásokat alkalmaz, külső szakértőket von be és ciklikus felülvizsgálati rendszerben vizsgálja az intézmények működését. A minőség ebben a keretben elsősorban auditált megfelelésként jelenik meg.

Az akkreditáció egyik legfontosabb feladata a minimumstandardok biztosítása. A felsőoktatási rendszer sokfélesége mellett szükséges olyan alapkövetelmények meghatározása, amelyek garantálják a képzések szakmai és szervezeti megalapozottságát. Az akkreditáció ezért jellemzően vizsgálja a tanterv koherenciáját, az oktatói kompetenciákat, az infrastruktúra megfelelőségét és a belső minőségbiztosítás működését.

Az akkreditáció emellett hozzájárul a végzettségek nemzetközi összehasonlíthatóságához is. Az Európai Felsőoktatási Térségben (EHEA) az egységes minőségbiztosítási keret elősegíti a képesítések kölcsönös elismerését és a hallgatói

mobilitást, ami különösen fontos a szabályozott szakmák – például az építészet – esetében. Azonban megállapítható, hogy az akkreditáció hatóköre alapvetően strukturális dimenziókra korlátozódik: nem a szakmai gondolkodás minőségét vagy a pedagógiai kultúra mélységét értelmezi, hanem a működés feltételeit vizsgálja. Az adminisztratív racionalitás keretében működő akkreditáció ezért nélkülözhetetlen, de nem teljes körű minőségértelmezést kínál. Ez a felismerés vezet el annak kérdéséhez, hogy milyen mechanizmus képes a tervezési tudás integratív jellegének kifejezésére és intézményes elismerésére – vagyis a validáció intézményéhez.

3. A tervezési tudás mint sajátos tudásforma

3.1. A reflektív gyakorlat

Az építészeti oktatás minőségének értelmezése nem választható el attól a kérdéstől, hogy milyen tudásformát közvetít. A tervezési tudás nem redukálható deklaratív ismeretek halmazára, hanem sajátos megismerési mód, amelyben a gondolkodás, a cselekvés és a döntéshozatal egymást alakító folyamatban jelenik meg. A jelenség klasszikus elemzését Donald A. Schön adta *The Reflective Practitioner* című munkájában. Schön a szakmai gyakorlat hagyományos, technikai racionalitásnak nevezett modelljét kritizálja [3], mely szerint a szakember előre definiált problémákra alkalmazza az elméleti tudást és a megfelelő módszereket. Schön azonban rámutat, hogy a komplex szakmákban – így az építészetben is – a problémák nem előre adottak, hanem a tervezési folyamat során alakulnak ki. A tervező nemcsak megold egy problémát, hanem értelmezi és újrakeretezi azt.

A reflektív gyakorlat központi fogalma a reflection-in-action [3]: a szakmai döntések a cselekvés közben zajló gondolkodási folyamat eredményeként születnek. A tervező kipróbál, értelmez, visszacsatol és módosít; a problémák és a megoldások kölcsönösen alakítják egymást. Ez az iteratív folyamat az építészeti stúdióban jól megfigyelhető, ahol a hallgatók a kritikák és újraértelmezések révén fejlesztik terveiket.

Schön arra is rámutat, hogy a szakmai tudás jelentős része implicit (hallgatólagos, tacit) tudás [3, 4]. A tervezők gyakran tapasztalati minták és precedensek alapján döntenek, amelyek nem teljesen formalizálhatók. Az építészeti oktatásban ezért a tudás nem csupán információátadás, hanem tervezési gondolkodás és ítélőképesség kialakulása.

Ebből következik, hogy a minőség nem csupán a végtermékben, hanem a reflexív tervezési folyamatban ragadható meg. A megfelelésalapú minőségbiztosítás képes vizsgálni a struktúrákat és eljárásokat, de nehezebben értelmezi a reflexív döntéshozatal minőségét. A reflektív gyakorlat elmélete így arra mutat rá, hogy a tervezési tudás nem redukálható teljes mértékben formalizált struktúrákra és megfelelési kritériumokra.

3.2. Designerly Ways of Knowing

A reflektív gyakorlat elmélete rámutat arra, hogy a tervezés túlmutat a technikai problémamegoldáson, ezért interpretatív és iteratív gondolkodási folyamat. E gondolatot Nigel Cross *Designerly Ways of Knowing* című munkája mélyíti tovább, amely a tervezést sajátos megismerési módként értelmezi [5]. Cross szerint a tervezés nem sorolható sem a tudományos, sem a humanisztikus megismerés kategóriái közé, hanem önálló megismerési módot képvisel.

Cross egyik központi tézise szerint a tervezés a tudományos és a humanisztikus megismerés mellett egy sajátos, „harmadik” megismerési módot képvisel, amely sajátos gondolkodási és problémamegoldási logikával rendelkezik. Míg a tudomány a világ leírására és magyarázatára törekszik, a tervezés a lehetséges jövők létrehozásával foglalkozik. A tervező ezért nemcsak a meglévő állapotokat elemzi, hanem a lehetséges jövőbeli konfigurációkat is vizsgálja. A tervezési gondolkodás így generatív és projektív jellegű.

Cross hangsúlyozza, hogy a tervezés egyik legfontosabb sajátossága a problémakeretezés (problem framing). A tervező nem előre definiált problémákra keres optimális megoldást, hanem maga alakítja ki a probléma értelmezési keretét. Ez a jelenség összecseng a reflektív gyakorlat elméletével: a tervezési folyamat során a gondolkodás és a cselekvés folyamatos párbeszédben áll egymással. A probléma meghatározása önmagában a tervezési aktus.

A *Designerly Ways of Knowing* vagyis a tervezés sajátos megismerési módjainak másik meghatározó eleme a vizuális és térbeli gondolkodás. A rajzok, modellek és diagramok nemcsak kommunikációs eszközök, hanem a gondolkodás médiumai. A tervező a rajzon és a modellen keresztül próbál ki alternatívákat, módosít és újrakeretez döntéseket. A tervezési tudás jelentős része precedensek és analógiák használatán alapul, amelyek inspirációs és strukturáló szerepet töltenek be.

A tervezés egyik alapvető sajátossága a többértelműség elfogadása. A tudományos racionalitás gyakran a bizonytalanság csökkentésére törekszik, míg a tervezés a bizonytalanság produktív kezelését igényli. Egy tervezési probléma ritkán vezet egyetlen objektíven optimális megoldáshoz. Ez a nyitottság az értékelés kérdését is bonyolultabbá teszi. A tervezési minőség nem redukálható egyetlen indikátorra vagy mérőszámra. Az értékelés mindig interpretatív dimenziót is tartalmaz.

Ezek a sajátosságok azt jelzik, hogy a tervezési tudás intézményi értelmezése meghaladja a strukturális megfelelés logikájára szűkített értelmezést.

3.3. Wicked problems és komplexitás

A tervezési gondolkodás sajátosságainak megértéséhez kulcsfontosságú a komplex problémák természetének vizsgálata. A designelmélet egyik meghatározó fogalma a *wicked problems* (rosszul strukturált problémák). Ezt Richard Buchanan tette a dizájndiskurzus központi elemévé a *Wicked Problems in Design Thinking* című tanulmányában, amely Rittel és Webber várostervezési elemzésére épül [6]. A *wicked problems* alapvetően eltérnek a jól strukturált problémáktól: nem egyértelműen definiáltak, többféle értelmezést engednek meg, és nem rendelkeznek egyetlen végleges megoldással.

Az építészeti tervezés tipikusan ilyen problémákkal dolgozik. Egy épület vagy városi beavatkozás esetében technológiai, társadalmi, esztétikai és gazdasági szempontok összetett rendszere jelenik meg. A tervezési folyamat során a probléma meghatározása maga is a megoldási folyamat része.

A probléma és a megoldás kölcsönös alakulása a tervezési gondolkodás egyik alapvető sajátossága. A tervező a folyamat során újradefiniálja a helyzetet, különböző értelmezési kereteket vizsgál, és ezek mentén alakítja ki a lehetséges megoldásokat. A komplexitás ezért nem csupán a tényezők számát jelenti, hanem az értelmezési horizont nyitottságát is.

Az épített környezet komplex adaptív rendszerként értelmezhető, amelyben a társadalmi, technológiai és környezeti tényezők dinamikus kölcsönhatásban állnak. Egy tervezési döntés hatásai gyakran hosszú távon és nem lineáris módon jelennek meg. A megoldások ezért nem egyszerűen „igazak” vagy „hamisak”, hanem adott kontextusban többé-kevésbé adekvátak.

Ebből következik, hogy a minőség az építészeti tervezésben relációs kategória: annak függvénye, hogy a terv mennyire képes integrálni a különböző szempontokat és koherens rendszerré szervezni azokat. Ez a dimenzió nehezen ragadható meg kizárólag indikátorokra és strukturális megfelelésre épülő minőségbiztosítási rendszerekben.

3.4. A stúdió mint integratív tudásképző közeg

A tervezési tudás sajátosságai az építészeti oktatásban elsősorban a tervezőstúdió működésében jelennek meg. A stúdióalapú, tervezésközpontú képzés során a hallgatók nem kizárólag előre meghatározott problémákra keresnek megoldásokat, hanem komplex, többdimenziós helyzeteket értelmeznek és formálnak. A tervezési folyamatban a technológiai, esztétikai, társadalmi és etikai szempontok integrációja valósul meg. A legtöbb építészeti képzésben a stúdió a tanterv központi eleme. Projektalapú, hosszabb időtartamú és iteratív munkafolyamatokra épül, amelyet rendszeres kritikák és visszacsatolások kísérnek. A tanulás így nem lineáris előadás–vizsga modellben, hanem ciklikus tervezési folyamatban történik.

A stúdió működésének egyik kulcseleme az integráció. A tervezési feladat során szerkezeti, környezeti, technológiai, esztétikai és társadalmi szempontok kapcsolódnak össze egyetlen koherens rendszerben. A minőség ebben az értelemben az integráció mélységében és a döntések koherenciájában jelenik meg.

A stúdió pedagógiájának fontos eleme a kritika. A hallgatók munkáikat rendszeresen bemutatják, amelyre az oktatók és a csoport reflektálnak. Ez a dialogikus folyamat nem pusztán értékelési gyakorlat, hanem tudásképző mechanizmus: a hallgatók megtanulják artikulálni döntéseiket és reflektálni saját tervezési folyamatukra.

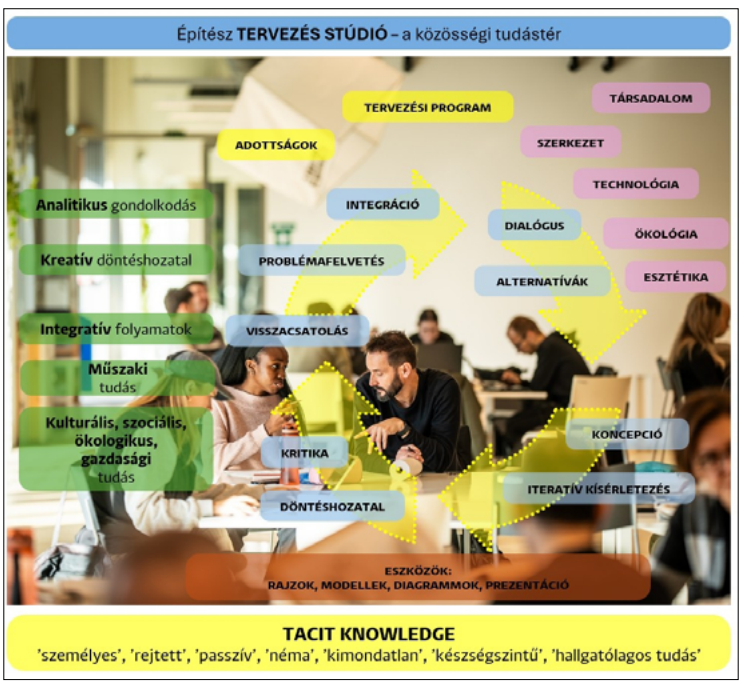
Az iteratív kísérletezés – vázlatok, modellek, alternatívák vizsgálata – a designerly gondolkodás gyakorlati megvalósulása. A stúdió egyben közösségi tanulási tér is, ahol a hallgatók egymás munkájából tanulnak, és a tudás kollektív dimenziót kap.

Az akkreditáció képes vizsgálni a stúdió strukturális elemeit – például az óraszámot, a kreditértéket vagy az oktató-hallgató arányt –, azonban a stúdió integratív és reflexív pedagógiai kultúráját csak korlátozottan tudja megragadni. Ez a különbség rávilágít arra, hogy az építészeti oktatás minősége túlmutat a strukturális megfelelésen, így integrációként és reflexív kompetenciaként értelmezhető.

3.5. A tervezési stúdió mint implicit platform a validációs rendszerekben

Mielőtt az akkreditáció és a validáció közötti különbségek részletes összehasonlítására kerülne sor, szükséges tisztázni azt a köztes szintet, amely e rendszerek működését ténylegesen hordozza: az építészeti tervezési stúdió szerepét. A kortárs szakmai validációs keretrendszerekben – különösen a Royal Institute of British Architects (RIBA) [7] gyakorlatában – a stúdió strukturálisan központi, ugyanakkor elméletileg alulreflektált pozíciót foglal el. Bár a szakmapolitikai dokumentumok és validációs kritériumok nem nevezik meg explicit módon a stúdiót mint tudásképző közeget, működésük mégis erre a közegre épül [7].

A RIBA validációs rendszerében – valamint az ehhez kapcsolódó oktatási diskurzusban – a hangsúly elsősorban a tanulási eredményeken, a végzett hallgatók kompetenciáin és a szakmai alkalmasságon van. Ezek között kiemelt szerepet kap az adaptivitás, az együttműködési képesség, valamint a komplex, valós problémák kezelésének képessége [8]. Ugyanakkor az a tanulási környezet, amelyben ezek a kompetenciák ténylegesen kialakulnak, nem kerül expliciten elméleti értelmezésre; implicit módon a stúdióalapú oktatás struktúrájában jelenik meg. Ebben az értelemben a tervezési stúdió integratív platformként működik. Egyesíti a különböző tudásterületeket – a tervezési gondolkodást, a műszaki és szerkezeti ismereteket, a környezeti és társadalmi kontextus értelmezését – egy projektalapú, iteratív tanulási folyamatban. Ez az integratív jelleg összhangban áll az építészeti tudás sajátos természetére vonatkozó elméletekkel. Különösen a „designerly ways of knowing" fogalmával [5], valamint a reflektív gyakorlatként értelmezett tervezési folyamattal [3]. A stúdió egyben a teljesítmény és az értékelés helyszíne is. A validációs folyamatok döntően olyan kimenetekre támaszkodnak, mint a portfóliók, tervek és projektmunkák, amelyek természetüknél fogva stúdióalapúak. Ily módon a stúdió válik azzá a térré, ahol a tanulási eredmények nemcsak létrejönnek, hanem láthatóvá és értékelhetővé is válnak. Az absztrakt kompetenciák itt fordítódnak le konkrét építészeti javaslatokká. Továbbá a stúdió értelmezhető a szakmai gyakorlat szimulált környezeteként is. A közös munka, a kritikai diskurzus, valamint a komplex tervezési feladatokkal való foglalkozás révén a stúdió számos tekintetben leképezi az építészeti praxis működését. Ez összhangban áll azokkal a validációs elvárásokkal, amelyek a szakmai felkészültséget és a gyakorlati alkalmazhatóságot helyezik előtérbe. Mindezek ellenére egy lényegi hiány azonosítható. A stúdió nem jelenik meg expliciten mint önálló tudásképző rendszer. A hallgatólagos tudás



1. ábra. *A tervezési stúdió mint integratív tudásképző közeg az építészeti oktatásban*

[4], a reflektív gyakorlat (2), valamint a közösségi tanulás és a gyakorlatalapú közösségek (communities of practice) elmélete [9] jórészt hiányoznak a validációs diskurzusból. A stúdió tudáselméleti természete így rejtve marad, miközben a validációs rendszerek működése alapvetően erre épül. Ez egy alapvető feszültségre mutat rá. A szakmai validációs keretrendszerek a tervezési stúdióra támaszkodnak, mint a kompetenciák kialakulásának és értékelésének elsődleges médiumára, ugyanakkor azt elsősorban oktatásszervezési és értékelési platformként értelmezik, nem pedig tudást létrehozó rendszerként. E hiány áthidalása kulcsfontosságú az építészeti oktatás minőségének mélyebb megértéséhez, mivel nem csupán azt kell vizsgálni, hogy mi mérhető, hanem azt is, hogy miként jön létre maga az építészeti tudás. A validációs rendszerek működésükben a tervezési stúdióra épülnek, ugyanakkor annak tudásképző természetét nem teszik explicitté.

4. A validáció mint normatív és szakmai értelmezési keret

4.1. Az UNESCO–UIA charta

Az előző fejezetekben amellett érveltünk, hogy az építészeti oktatás minősége nem merül ki a strukturális megfelelésben. A tervezési tudás integratív, reflexív és komplexitáskezelő jellegéből következik, hogy a minőség értelmezése normatív és szakmai dimenziót is igényel. E ponton válik relevánssá a validáció intézménye, amely eltérő intézményi logika mentén működik, mint az adminisztratív racionalitásra épülő akkreditáció.

A nemzetközi építészeti oktatás egyik meghatározó referenciakerete az UNESCO–UIA által kidolgozott *Charter for Architectural Education* [10]. A charta nem jogszabály, nem akkreditációs standardgyűjtemény, hanem normatív dokumentum, amely az építészeti képzés alapelveit fogalmazza meg globális szakmai konszenzus alapján.

Az UNESCO–UIA charta az építészeti oktatás alapvető értékeit és orientációját fogalmazza meg. A dokumentum nem nemzeti jogrendszerekhez kötött, és nem kötelező erejű szabályozás, hanem szakmai irányelv. Ez alapvetően különbözik az ESG-alapú akkreditációtól: míg az akkreditáció a működés strukturális feltételeit vizsgálja, a charta az építészeti képzés célját és ethoszát artikulálja.

A charta központi elve az integráció. Az építészeti képzésben a tervezés, a technológia, az elméleti tudás és a szakmai felelősség nem különálló elemek, hanem egymással összefüggő rendszerként jelennek meg. A charta hangsúlyozza a tervezési gondolkodás központi szerepét, a műszaki és környezeti szempontok integrációját, valamint az építész társadalmi felelősségét az épített környezet alakításában.

Az UNESCO–UIA-validáció e normatív keretre épül. Nem jogi engedélyezési mechanizmus, hanem szakmai értelmezési folyamat, amely azt vizsgálja, hogy a képzési program mennyiben koherens, integrált és szakmailag orientált. A szakmai értékelés, bírálat (peer review) során nem csupán dokumentumok ellenőrzése történik, hanem a képzés pedagógiai koncepciójának és szakmai irányultságának értelmezése.

Így a validáció nemcsak a működési megfelelést erősíti meg, hanem az építészeti képzés értékeinek intézményes elismerését is szolgálja. Míg az akkreditáció a standardok teljesítésére kérdez rá, a validáció azt vizsgálja, hogy a program menynyiben felel meg az építészeti oktatás nemzetközi szakmai elveinek. A két mechanizmus ezért nem egymás alternatívái, hanem eltérő funkciójú minőségi dimenziók.

4.2. Peer review és szakmai horizont

Az UNESCO–UIA-validáció egyik meghatározó sajátossága, hogy működése a peer review, vagyis szakmai értékelés elvére épül. Ez olyan kollegiális értékelési mechanizmus, amelyben az adott diszciplína aktív szereplői (gyakorló építészek, építészoktatók és nemzetközi tapasztalattal rendelkező szakértők) vizsgálják és értelmezik a program szakmai minőségét. Ez a mechanizmus eltér az adminisztratív audit logikájától: míg az audit a standardoknak való megfelelést ellenőrzi, a peer review a program egészének szakmai értelmezésére épül.

A validáció során nem csupán azt vizsgálják, hogy teljesülnek-e a formális követelmények, hanem azt is, hogy milyen pedagógiai koncepció szervezi a képzést, miként integrálódnak a különböző tudásterületek, és hogyan jelenik meg a szakmai felelősség a tanterv egészében. Az értékelés így interpretatív jellegű: elismeri, hogy az építészeti oktatás minősége nem kizárólag mérhető indikátorokkal ragadható meg.

A szakmai értékelés egyben a nemzetközi szakmai horizonthoz viszonyítja a programot. A validáció nem egységes formát vagy stílust vár el, hanem azt vizsgálja, hogy a képzés koherensen illeszkedik-e az építészeti diszciplína aktuális szakmai diskurzusába. Az értékelés ezért alapvetően szakmai párbeszédre épülő, diskurzív jellegű: prezentációk, kérdések és kritikai párbeszéd révén alakul ki.

Ebben az értelemben a validáció nem pusztán minősítési eljárás, hanem intézményes elismerés és szakmai pozicionálás. Míg az akkreditáció a minimumstandardok teljesítésére irányul, a validáció a képzés szakmai orientációját és koherenciáját értelmezi, így a minőség normatív és diskurzív dimenzióját is láthatóvá teszi.

4.3. Intézményi legitimitáció

A validáció kapcsán az intézményi legitimitáció fogalma központi jelentőségű. Nem pusztán adminisztratív státuszt jelent, hanem azt a folyamatot, amely során egy tudásforma – jelen esetben a tervezési tudás – legitim helyet kap az intézményi struktúrákban és a szakmai diskurzusban. Míg az akkreditáció a működés jogi és szervezeti legitimitását biztosítja, a validáció a tervezési tudás szakmai státuszának intézményes megerősítéséhez járul hozzá.

A tervezési tudás sajátos jellegéből fakadóan csak korlátozott mértékben ragadható meg megfelelésalapú indikátorokkal. Amennyiben a minőséget kizárólag az adminisztratív racionalitás keretében értelmezzük, fennáll a veszélye annak, hogy e tudásforma lényegi dimenziói háttérbe szorulnak.

Ebben az értelemben az UNESCO–UIA-validáció olyan mechanizmusként értelmezhető, amely a tervezési tudást nemzetközi szakmai horizonton teszi láthatóvá. A program pedagógiai koncepciója, az integráció és a szakmai orientáció a validáció során reflexív értelmezés tárgyává válik, és a képzés értelmezhetővé válik a nemzetközi szakmai diskurzusban.

Az intézményes elismerés így nem statikus minősítés, hanem szakmai horizontképzés és pozicionálás. Míg az akkreditáció a működés jogi legitimitását biztosítja, a validáció a tervezési tudás szakmai legitimitását teszi láthatóvá. A két mechanizmus ezért nem egymás alternatívája, hanem eltérő minőségi dimenziókat képvisel az építészeti oktatás értelmezésében.

Ez a felismerés alkotja a tanulmány központi állítását: az akkreditáció és a validáció eltérő intézményi logikák szerint működnek, és a tervezési tudás intézményes elismerése olyan minőségi dimenziót jelent, amely az adminisztratív racionalitás keretein túl válik értelmezhetővé.

5. Európai és közép-kelet-európai kontextus

Az akkreditáció és validáció közötti különbség nem csupán elméleti kérdés, hanem intézményi és kulturális kontextusban értelmezhető. Az EHEA minőségbiztosítási struktúrái viszonylag homogén keretrendszert biztosítanak az ESG révén [1], ugyanakkor az egyes országok minőségkultúrája történeti és intézményi okokból jelentősen eltérő.

Az ESG bevezetésével Európában olyan többszintű minőségbiztosítási rendszer alakult ki, amely nemzeti akkreditációs szervezetekre épül, ugyanakkor transznacionális összehasonlíthatóságot és kölcsönös elismerést is biztosít. A rendszer a felsőoktatási intézmények belső minőségirányítását is strukturálja. Az európai modell sajátossága, hogy nem teljesen centralizált: az ESG közös iránymutatást ad, de a megvalósítás nemzeti szinten történik. Ennek következtében az akkreditáció minden országban jelen van, de eltérő hangsúlyokkal működik. Egyes rendszerekben az intézményi önértékelés dominál, máshol a külső audit szerepe erősebb.

Az építészeti oktatás esetében az európai minőségbiztosítási rendszer a szakmai szabályozás dimenziójával is összekapcsolódik. Az építészi jogosultság nem csupán felsőoktatási, hanem szakmai kamarai kérdés is, ezért az akkreditáció a szakmai legitimitás egyik alapfeltétele.

A közép- és kelet-európai felsőoktatási rendszerek történetileg erősen államközpontú modellekből fejlődtek ki. A centralizált oktatási struktúrák öröksége a rendszerváltás után is érezhető maradt, ami a minőségbiztosítás működésében is megjelenik. Ebben a régióban az akkreditáció általában jogilag szigorúan szabályozott, központi hatáskörbe tartozó döntéshozatali mechanizmus, amely gyakran a működés elsődleges legitimációs forrása. A minőségfelfogás ezért sok esetben megfelelésalapú: a hangsúly a dokumentálás, a formai követelmények és a szervezeti struktúrák ellenőrzésén van. Magyarországon például az ESG-hez igazodó nemzeti akkreditációs rendszert a Magyar Felsőoktatási Akkreditációs Bizottság (MAB) működteti [11], amely biztosítja az európai kompatibilitást és a jogi stabilitást, ugyanakkor a minőség értelmezésében elsősorban a strukturális megfelelés dominál.

Ebben az erősen szabályozott környezetben az UNESCO–UIA-validáció sajátos szerepet kap. Mivel nem jogi akkreditációs mechanizmus, hanem normatív szakmai keret, nem verseng az állami akkreditációval, hanem más dimenzióban működik. A validáció lehetőséget teremt arra, hogy a képzési program ne csupán nemzeti standardokhoz, hanem nemzetközi szakmai diskurzushoz viszonyuljon. Emellett erősíti az intézményi önreflexiót, mivel a pedagógiai koncepció és a

képzés integrációja értelmezési fókuszba kerül. A folyamat az intézményi identitás formálásában is szerepet játszik, hiszen a képzés nem pusztán megfelelési egységként jelenik meg, hanem saját szakmai profiljával pozicionálja magát.

Az európai és közép-kelet-európai kontextus elemzése alapján a minőségbiztosítás rétegzett rendszerként értelmezhető. Az első réteg az adminisztratív racionalitás logikájához kapcsolódik, amely a jogi megfelelést, a szervezeti stabilitást és a standardizált struktúrákat biztosítja. A második réteg a szakmai-normatív dimenzió, amely a pedagógiai koherenciára, az integrációra és a szakmai felelősségre irányul. E két réteg nem egymást kizáró, hanem egymást kiegészítő dimenziót alkot. A közép-kelet-európai rendszerekben azonban az első réteg dominanciája gyakran elfedi a második jelentőségét. Ebben a kontextusban a validáció olyan kiegészítő mechanizmus, amely a tervezési tudás intézményi elismerését és szakmai artikulációját teszi lehetővé az akkreditáció mellett.

6. A minőség rétegzett modellje

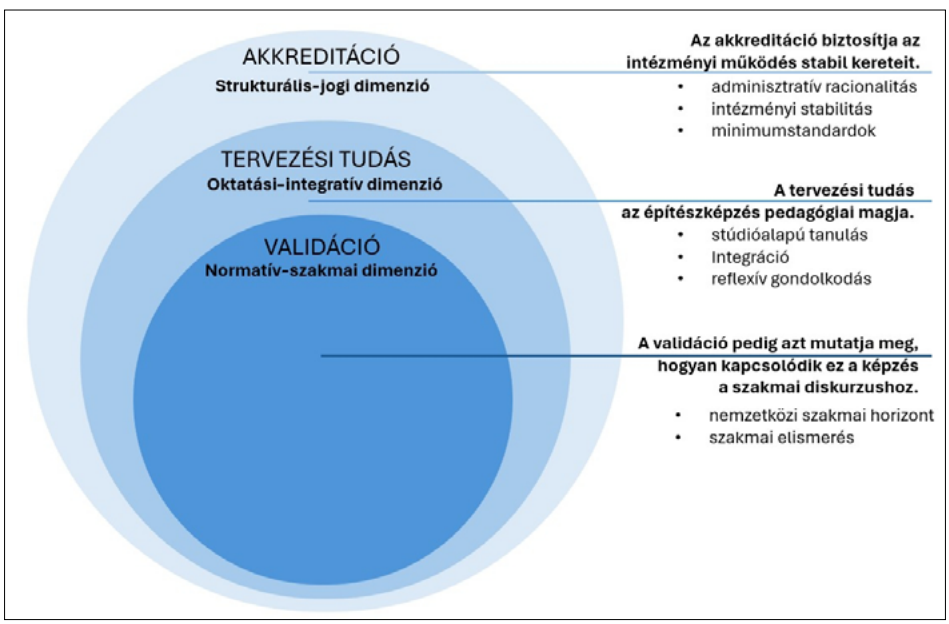
A tanulmány eddigi fejezetei amellett érveltek, hogy az építészeti oktatás minősége nem értelmezhető egyetlen intézményi logika alapján. Az adminisztratív racionalitásra épülő akkreditáció és a normatív-szakmai horizontot képviselő validáció eltérő funkciókat töltenek be. Ez a különbség nem versengésként, hanem rétegzettségként értelmezendő. A következőkben ezt a felismerést modell formájában foglaljuk össze.

6.1. A minőség három rétege

Az építészeti oktatás minősége legalább három egymásra épülő, de eltérő logika mentén működő rétegben értelmezhető.

Az első strukturális-jogi réteg az adminisztratív racionalitás dimenziójához kapcsolódik. Ez biztosítja a felsőoktatási intézmények működésének alapfeltételeit: a jogi megfelelést, a szervezeti stabilitást, a dokumentált eljárásokat és a minimumstandardok teljesítését. E dimenzió elsődleges intézményi eszköze az akkreditáció. Funkciója nélkülözhetetlen, mivel garantálja az átláthatóságot, a közbizalmat és a nemzetközi kompatibilitást. Hatóköre azonban alapvetően strukturális dimenziókra korlátozódik.

A második, pedagógiai-integratív réteg a képzés belső működésére és koherenciájára vonatkozik. Itt a minőség a tervezési tudás működésében jelenik meg: a stúdió központi szerepében, a technológiai, elméleti és társadalmi dimenziók integrációjában, valamint a reflektív döntéshozatal és a komplex problémakezelés gyakorlatában. *A designerly ways of knowing* logikája és a wicked problems kezelése ebben a rétegben válik pedagógiai valósággá. A minőség így nem csupán megfelelés, hanem a tervezési gondolkodás gyakorlata.



2. ábra. *Az építészképzés minőségének rétegzett modellje*

A harmadik, normatív-szakmai réteg a képzés szakmai horizontját és identitását jelenti. Idetartozik a nemzetközi szakmai diskurzusba való beágyazottság, a szakmai felelősségvállalás, valamint a pedagógiai koncepció koherens artikulációja. Ebben a dimenzióban válik explicitté a tervezési tudás mint sajátos szakmai tudásforma. E réteg intézményi mechanizmusa a validáció, amely nem jogi legitimitást biztosít, hanem szakmai pozicionálást.

6.2. A rétegek viszonya

A három réteg nem hierarchikus, hanem komplementer kapcsolatban áll egymással.

Az első réteg nélkül a rendszer instabillá válna; a második réteg nélkül a képzés pedagógiai tartalma kiüresedne; a harmadik réteg nélkül pedig a tervezési tudás implicit és nehezen artikulálható maradna.

Ha a minőség kizárólag a strukturális dimenzióban jelenik meg, a tervezés sajátos tudásformája háttérbe szorul. Ha viszont csak pedagógiai vagy normatív dimenzióban értelmezzük, hiányzik az intézményi stabilitás és az elszámoltathatóság kerete. A rétegzett modell lényege éppen az, hogy e dimenziók együtt alkotják a minőség átfogó értelmezését az építészképzésekben.

6.3. Adminisztratív racionalitás és design knowledge

A tanulmány címében megfogalmazott ív – az adminisztratív racionalitástól a tervezési tudás intézményi elismeréséig – nem elutasítást, hanem kiegészítő viszonyt jelent.

Az adminisztratív racionalitás stabilitást biztosít, standardizál és auditálhatóvá teszi a működést. A tervezési tudás intézményi elismerése ezzel szemben szakmai horizontot és diskurzust teremt, és explicitté teszi a tervezési gondolkodás értékét. A két logika együtt teszi lehetővé, hogy az építészeti oktatás minőségének különböző dimenziói adekvát módon megragadhatók legyenek.

6.4. Közép-kelet-európai implikációk

A közép-kelet-európai felsőoktatási rendszerekben a minőségkultúra hagyományosan erősen formalizált jellegű, és elsősorban a megfelelés logikájára épül. Ebben a kontextusban a rétegzett modell különös jelentőséggel bír, mert rámutat arra, hogy a strukturális megfelelés nem azonos a szakmai minőséggel.

A modell lehetőséget teremt az intézményi önreflexióra, és legitim módon láthatóvá teszi a tervezési tudás sajátos jellegét. A validáció ebben az értelemben nem az akkreditáció versenytársa, hanem olyan kiegészítő mechanizmus, amely szélesebb szakmai horizontot nyit meg.

6.5. Záró megállapítás

Az építészeti oktatás minősége kizárólag akkor értelmezhető megfelelően, ha a tervezési tudás sajátos természetét is figyelembe vesszük. Az adminisztratív racionalitás ugyan szükséges, de önmagában nem elegendő feltétele a minőségnek.

A javasolt modell szerint a minőségbiztosítás nem egyetlen logika mentén működik, hanem strukturális, pedagógiai és normatív dimenziók együttes működéseként. Az akkreditáció biztosítja a működés feltételeit, míg a validáció láthatóvá és artikulálttá teszi a tervezési tudást. A két mechanizmus együtt alkotja az építészeti oktatás teljes minőségi horizontját.

7. Következtetések

A tanulmány célja az volt, hogy fogalmilag tisztázza az akkreditáció és a validáció közötti különbséget az építészeti oktatás kontextusában, és megmutassa, hogy e két mechanizmus eltérő intézményi logikák mentén működik. Az elemzés rámutatott, hogy az európai felsőoktatási minőségbiztosítási rendszerek – különösen az ESG-alapú akkreditáció – az adminisztratív racionalitás keretében értelmezik a minőséget. Ez a megközelítés a strukturális megfelelésre, dokumentálhatóságra és auditálhatóságra épül, és alapvető szerepet játszik az intézményi stabilitás és jogi legitimitás biztosításában.

Az építészeti oktatás azonban sajátos tudásformára épül. A reflektív gyakorlat, a *Designerly Ways of Knowing* és a komplex, úgynevezett *wicked problems* kezelése olyan minőségi dimenziókat jelenít meg, amelyek nem redukálhatók pusztán megfelelési indikátorokra. A tervezési tudás integratív, kontextusfüggő és normatív jellegű, a stúdió pedig nem kizárólag oktatási forma, hanem a tudásképzés integrációs tere.

Ezen felismerés alapján a tanulmány amellett érvelt, hogy az UNESCO–UIA-validáció nem az akkreditáció alternatívája, hanem eltérő minőségi dimenziót képvisel. Míg az akkreditáció a működés feltételeit vizsgálja, addig a validáció a pedagógiai koherencia és a szakmai orientáció értelmezésére irányul. A *peer review* diskurzív jellege lehetővé teszi a tervezési tudás intézményi elismerését, vagyis annak explicitté és reflektálttá tételét.

A tanulmány ezért a minőség rétegzett modelljét javasolja, amely három dimenziót különböztet

meg: a strukturális-jogi, a pedagógiai-integratív és a normatív-szakmai réteget. Ebben a keretben az akkreditáció és a validáció nem egymás alternatívái, hanem egymást kiegészítő mechanizmusok. Ez a megközelítés különösen releváns a közép- és kelet-európai kontextusban, ahol a minőségkultúra hagyományosan erősen formalizált, és a megfelelés logikája domináns szerepet játszik.

A tanulmány egyik legfontosabb megállapítása, hogy az építészeti oktatás minősége nem értelmezhető a tervezési tudás sajátos jellegének figyelembevétele nélkül. Az adminisztratív racionalitás szükséges, de nem elegendő feltétele a minőségnek; a tervezési tudás intézményi elismerése olyan szakmai horizontot igényel, amely túlmutat a strukturális megfelelésen.

A vizsgálat további kutatási irányokat is kijelöl. Indokolt lenne részletesebben feltárni, hogy a validáció miként befolyásolja a pedagógiai gyakorlatot és az intézményi önértelmezést, valamint, hogy a tervezési tudás dimenziói miként jelenhetnek meg explicitebben a minőségbiztosítási diskurzusban. A tervezési tudás (*Design Knowledge*) intézményi elismerésének kérdése nemcsak az építészeti oktatás számára lehet releváns, hanem más tervezésalapú diszciplínák számára is értelmezési keretet kínál.

Összegzésként megállapítható, hogy az akkreditáció és a validáció közötti különbség nem csupán eljárási, hanem a minőség fogalmának eltérő értelmezését is tükrözi. Az adminisztratív racionalitást kiegészítő normatív dimenzió teszi lehetővé, hogy az építészeti oktatás minősége ne csupán megfelelésként, hanem szakmai és pedagógiai értékként is megjelenjen az európai felsőoktatási térben.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] European Association for Quality Assurance in Higher Education (ENQA). Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area (ESG). Brussels, 2015.

[2] Weber M.: *Economy and Society.* University of California Press, 1978.

[3] Schön D. A.: *The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action*. Basic Books, 1983.

[4] Polanyi M.: *The Tacit Dimension.* Routledge, London, 1966.

[5] Cross N.: *Designerly Ways of Knowing*. Springer, 2006.

[6] Buchanan R.: *Wicked Problems in Design Thinking.* Design Issues, 8/2. (1992).

[7] Royal Institute of British Architects (RIBA): *Procedures for Validation and Validation Criteria.* RIBA, London, 2023.

[8] Architects Registration Board (ARB): *Competency Outcomes for Architects*. ARB, London, 2022.

[9] Wenger E.: *Communities of Practice. Learning, Meaning, and Identity.* Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

[10] UNESCO–UIA. C*harter for Architectural Education.* Latest revised edition.

[11] Magyar Akkreditációs Bizottság (MAB). ESG-alapú akkreditációs dokumentumok és eljárásrend.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 112–118.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.14
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.14

R290 ÉS R32 HŰTŐKÖZEGGEL ÜZEMELŐ HŐSZIVATTYÚK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF HEAT PUMPS OPERATING WITH R290 AND R32 REFRIGERANTS

Székely Ágoston,[1] L. Szabó Gábor[2]

[1] *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország, agostonszekely1217@gmail.com*

[2] *Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország, l.szabo.gabor@eng.unideb.hu*

Abstract

From the perspective of sustainable energy management, heat pump technology holds significant importance, as efficient conversion of heat extracted from the environment contributes to reduction of fossil energy demand and carbon dioxide emissions. [1] The operational efficiency of such systems is strongly influenced by the selected refrigerant, where favourable thermodynamic properties, environmental compatibility, and safety requirements all play a decisive role. [2] The present study aims to provide a comparative analysis of a heat pump operating with two different refrigerants (R-290 and R-32). The physical and chemical properties of the investigated fluids are presented, and analysis of experimental results enables determination of the energy efficiency of systems operating with the different refrigerants. [3]

Keywords: *R290, R32, COP.*

Összefoglalás

A fenntartható energiagazdálkodás szempontjából a hőszivattyús technológia kiemelt jelentőséggel bír, mivel a környezetből kinyerhető hőenergia hatékony átalakításával hozzájárul a fosszilis energiahordozók iránti igény és a szén-dioxid-kibocsátás csökkentéséhez.[1] A rendszerek működési hatékonyságát nagymértékben befolyásolja az alkalmazott hűtőközeg megválasztása, amely során a kedvező termodinamikai tulajdonságok mellett a környezetvédelmi megfelelőség és a biztonságtechnikai követelmények is meghatározóak. Jelen cikk két eltérő hűtőközeggel (R-290 és R-32) üzemelő hőszivattyú összehasonlító vizsgálatát tűzi ki célul. [2] A kutatás keretében bemutatásra kerülnek a vizsgált közegek fizikai és kémiai sajátosságai, továbbá kísérleti eredmények elemzése révén kerül meghatározásra a különböző hűtőközegekkel működő berendezések energetikai hatékonysága.[3]

Kulcsszavak: *hőszivattyú, R290, R32, COP.*

1. Bevezetés

Az Európai Unió a globális felmelegedés mérséklése érdekében az elmúlt évtizedben jelentősen szigorította a hűtőközegekre vonatkozó előírásokat. A 2014-es 517/2014/EU rendelet, [4] majd a 2024-es 2024/573/EU rendelet [5] tovább erősítette a magas GWP értékű F gázok alkalmazásának visszaszorítását. Utóbbi 2030-ra mintegy 80%-os HFC felhasználás csökkentést ír elő, ami a gyártókat alacsonyabb GWP jű alternatívák (például R32, HFO keverékek és természetes közegek, elsősorban R290) felé tereli. [3, 6]

A szabályozás a töltetmennyiséghez kötött ellenőrzési kötelezettségeket CO_2 ekvivalens alapon határozza meg, így az R32 esetében már viszonylag kis töltet felett szükséges időszakos szivárgásvizsgálat. A természetes hűtőközegeknél (mint

az R290) a korlátozás alapja nem a GWP, hanem az A3 éghetőségi besorolás, amely a megengedett töltetmennyiséget az EN 378 és a telepítési környezet alapján korlátozza. Beltéri alkalmazásnál jellemzően kis töltet engedélyezett, míg kültéri monoblokkrendszereknél nagyobb mennyiség is biztonságosan alkalmazható. A gyártók ezért R290 esetén jellemzően hermetikusan zárt, kis töltetű monoblokk-kialakítást alkalmaznak, amely megfelel a biztonsági és szabványi követelményeknek, miközben minimalizálja a beltéri kockázatokat.[3]

A jelenlegi szabályozási környezet egyértelműen az alacsony GWP-értékű és természetes hűtőközegek irányába tereli a fejlesztéseket, és előtérbe helyezi az alacsony töltetű, nagy hatékonyságú hőszivattyús rendszereket, amelyek között jelenleg az R290 et alkalmazó monoblokkmegoldások kiemelt szerepet kapnak.[3, 6]

2. Elméleti áttekintés

2.1. A hűtőközegekkel szembeni elvárások

A korszerű hűtőközegekkel szemben napjainkban számos környezetvédelmi és üzemeltetési követelmény merül fel. Az egyik legfontosabb elvárás az alacsony GWP-érték, azaz, hogy a közeg a lehető legkisebb mértékben járuljon hozzá a globális felmelegedéshez, valamint a zérus ózonlebontó potenciál (ODP), hogy ne károsítsa az ózonréteget.[7] Emellett kiemelt szempont a biztonságos alkalmazhatóság, amely magában foglalja az alacsony gyúlékonyságot, a megfelelő tűzvédelmi intézkedések megvalósíthatóságát, valamint azt is, hogy a hűtőközeg ne legyen mérgező, és szivárgás esetén se jelentsen komoly egészségügyi kockázatot. A gyakorlati felhasználás szempontjából továbbá fontos a jó kezelhetőség, amely kiterjed a könnyű szerelhetőségre, a karbantarthatóságra, valamint arra, hogy a közeg a meglévő rendszerekhez is megfelelően illeszthető legyen.[7]

Az R32 egy részlegesen fluorozott szénhidrogén (HFC), amely ~675 ös GWP értékével jóval kedvezőbb (a belőle kikevert) korábbi R410A nál, és hatékony hőszállítási tulajdonságokkal rendelkezik. Mérsékelten éghető (A2L), ezért biztonságosabban kezelhető, de szivárgásérzékelés és megfelelő szellőzés szükséges. Üzemi paraméterei miatt lakossági és kereskedelmi hőszivattyúkban is elterjedt, egyszerű molekulaszerkezete pedig könnyebb újrahasznosítást tesz lehetővé.[7, 8]

Az R290 természetes propán, rendkívül alacsony (~2) GWP értékkel, így környezetterhelése minimális. Hőtechnikai tulajdonságai az R32 nél kedvezőbbek. Ugyanakkor fokozottan tűzveszélyes (A3), ezért szigorúbb biztonsági előírásokat, megfelelő szellőzést és szivárgásvédelmet igényel. A szükséges óvintézkedések mellett lakossági és ipari rendszerekben is biztonságosan alkalmazható.[7, 8]

2.2. Mennyiségi és minőségi jellemzés

2.2.1. A hűtőközegek mennyiségi értékelése

Elsőnek írjuk fel a gép által biztosított teljesítményt, mely az előremenő és a visszatérő vezeték energiatartalmának különbsége, ez a vizsgált rendszerünkben a következő: [9, 10]

$$\dot{Q}_0 = c \cdot \dot{m}_{hűtés} \cdot \left(T_{c,2} - T_{c,1}\right) \tag{1}$$

$$\dot{Q}_C = c \cdot \dot{m}_{fűtés} \cdot \left(T_{h,1} - T_{h,2}\right) \tag{2}$$

ahol:

- $\dot{Q}_0$ a hűtendő tértől időegység alatt elvont hő, hűtőkapacitás [W];
- c hűtött/fűtött közeg fajhője [J·kg^{-1}·K^{-1}];
- $\dot{m}_{hűtés}$ a hűtési rendszer tömegárama [kg·s^{-1}];
- $T_{c,2}$ a hűtési visszatérő vízhőmérséklet [K];
- $T_{c,1}$ a hűtési előremenő vízhőmérséklet [K];
- $\dot{Q}_C$ a fűtendő térnek időegység alatt leadott hő, fűtőteljesítmény [W];
- $\dot{m}_{fűtés}$ a fűtési rendszer tömegárama [kg·s^{-1}];
- $T_{h,1}$ a fűtési előremenő vízhőmérséklet [K];
- $T_{h,2}$ a fűtési visszatérő vízhőmérséklet [K].

Két mennyiségi jelzőszámot tudunk megadni hűtésnél és fűtésnél is. Az első, melynél a hasznos teljesítményt osztjuk az előállításhoz szükséges villamos teljesítménnyel. Ennek több elnevezése és jelölése is használatos a gyakorlatban, külön hűtésre, külön fűtésre.[11]

$$COP_R = \frac{\dot{Q}_0}{P_K} = \varepsilon_C = COP_{hűtés} = EER \tag{3}$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_C}{P_K} = \varepsilon_H = COP_{fűtés} \tag{4}$$

ahol:

- COP_R a fajlagos hűtőteljesítmény [-];
- P_K a kompresszor időegység alatti villamosenergia-igénye, teljesítménye [W];
- COP a fajlagos fűtőteljesítmény [-].

A gép hatásfoka a felépítéstől, a hűtőközegtől, a külső hőmérséklettől és a fűtési/hűtési rendszer vízhőmérséklet igényétől függ. Hidegben nagyobb hőmérséklet különbséget kell áthidalnia, ezért a fűtési *COP* csökken; hűtési üzemben ennek fordítottja történik. A legjobb hatásfokot általában átmeneti időszakban éri el, amikor a külső és a belső tér között a legkisebb a hőmérséklet-különbség.[9, 12]

A *COP* definíciója általában a klasszikus hatásfok definíciója, de mivel az 1-nél, vagyis 100%-nál is több lehetne, így szükséges egy klasszikusnak kinéző hatásfok. Ez a másik mennyiségi jelzőszám, a jósági fok, mely egy arány, amely a legideálisabb esetet (fordított Carnot-körfolyamat) hasonlítja össze egy adott esettel: [10]

$$\eta_C = \frac{COP_R}{COP_{R,C}} = COP_R \cdot \frac{T_C - T_0}{T_0} \tag{5}$$

$$\eta_H = \frac{COP}{COP_C} = COP \cdot \frac{T_C - T_0}{T_C} \tag{6}$$

ahol:

η_C a hűtési jósági fok [%];
$COP_{R,C}$ az elméleti maximális fajlagos hűtőteljesítmény [-];
T_C a kondenzációs hőmérséklet [K];
T_0 az elpárolgási hőmérséklet [K];
η_H a fűtési jósági fok [%];
COP_C az elméleti maximális fajlagos fűtőteljesítmény [-].

2.2.2. A hűtőközegek minőségi értékelése

A minőségi értékelés a mennyiségi értékeléssel szemben nem az energiamennyiséget, hanem az energia minőségét és hasznosíthatóságát vizsgálja. Az energia két fő részre osztható: anenergiára és exergiára. Az anenergia az a hányad, amely nem alakítható át más energiaformává, míg az exergia a hasznosítható, átalakítható rész. Minél nagyobb az exergiatartalom, annál értékesebb az energia.[9] A villamos energia teljes egészében exergiának tekinthető, hőenergia esetén azonban az úgynevezett Carnot-hatásfokkal kell szorozni az energia mennyiségét az exergiatartalom meghatározásához. Két minőségi jelzőszámot fogunk vizsgálni: az exergetikai és teljes exergetikai rendszer hatásfokát. Az első a hűtőközeg, a második a közvetítő közeg szempontjából értékeli a rendszer minőségét.[10]

Exergetikai hatásfok

Ennek meghatározásánál a hűtőközeg által, a kompresszorban felvett energiaáram exergiatartalmával osztjuk vagy az elpárologtatóban elvont, vagy a kondenzátorban leadott hőáram exergiatartalmát. [9]

$$\eta_{Ex,C} = \frac{Ex_0}{Ex_K} = \frac{\dot{Q}_0 \cdot \left(\frac{T_x - T_0}{T_0}\right)}{P_K} = COP_R \frac{T_x - T_0}{T_0} \tag{7}$$

$$\eta_{Ex,H} = \frac{Ex_C}{Ex_K} = \frac{\dot{Q}_C \cdot \left(\frac{T_C - T_x}{T_C}\right)}{P_K} = COP \cdot \frac{T_C - T_X}{T_C} \tag{8}$$

ahol:

$\eta_{Ex,C}$ a hűtési exergetikai hatásfok [%];
Ex_0 a hűtési hőáram exergiatartalma [W];
Ex_K a kompresszorban felvett energiáram exergiatartalma [W];
T_x a referencia-hőmérséklet [K];
$\eta_{Ex,H}$ a hűtési exergetikai hatásfok [%];
Ex_C a fűtési hőáram exergiatartalma [W].

A COP és az exergetikai hatásfok között egyenes arányosság van, magas *COP* magas exergetikai hatásfokot eredményez, alacsony *COP* esetén pedig a berendezés nem tud elég hőt felvenni vagy leadni, így az exergiatartalom és az exergetikai hatásfok is csökken. A képlet is mutatja, hogy kisebb exergiatartalom mindig kisebb exergetikai hatásfokot eredményez, ezért az alacsony *COP* szükségszerűen alacsony exergetikai hatásfokkal jár. [10, 11]

Teljes exergetikai rendszerhatásfok

A hőszivattyúkat működtető energiaáram szükséges exergiatartalmával osztjuk a működtetett hűtési/fűtési rendszer energiaáram-igényének exergiatartalmát: [13]

$$\eta_{sys,C} = \frac{\Delta Ex_{sec,C}}{\Delta Ex_r} = COP_R \cdot \left(\frac{T_{K,2} \cdot T_X}{T_{c,1} \cdot T_{c,2}} - 1\right) \tag{9}$$

$$\eta_{sys,H} = \frac{\Delta Ex_{sec,H}}{\Delta Ex_r} = COP \cdot \left(1 - \frac{T_{K,2} \cdot T_X}{T_{h,1} \cdot T_{h,2}}\right) \tag{10}$$

ahol:

$\eta_{sys,C}$ a teljes hűtési exergetikai hatásfok [%];
$\Delta Ex_{sec,C}$ a hűtési rendszer szükséges exergiaigénye [W];
ΔEx_r a működtető energiaáram szükséges exergiatartalma [W];
$T_{K,2}$ a környezeti hőmérséklet [K];
$\eta_{sys,H}$ a teljes fűtési exergetikai hatásfok [%];
$\Delta Ex_{sec,H}$ a fűtési rendszer szükséges exergiaigénye [W].

A teljes exergetikai rendszerhatásfok szemben a sima exergetikai hatásfokkal nemcsak a gépet magában vizsgálja, hanem figyelembe veszi a csatlakozó szekunder rendszerek hőtechnikai jellemzőit is. [9] A 9. és a 10. egyenletben beépítésre került a hőszivattyú hűtési (11. egyenlet) és fűtési (12. egyenlet) rendszerének exergiatartalma is, amely a következő: [10, 13]

$$\Delta Ex_{sec,C} = \dot{Q}_0 \cdot \left(\frac{T_{K,2} \cdot T_X}{T_{c,1} \cdot T_{c,2}} - 1\right) \tag{11}$$

$$\Delta Ex_{sec,H} = \dot{Q}_C \cdot \left(1 - \frac{T_{K,2} \cdot T_X}{T_{h,1} \cdot T_{h,2}}\right) \tag{12}$$

A η_{sys} szemben a sima exergetikai hatásfokkal nemcsak a gépet magában vizsgálja, hanem figye-

lembe veszi a csatlakozó szekunder rendszerek hőtechnikai jellemzőit is. Ezáltal a teljes rendszer hatékonyságáról ad egy átfogó képet, lehetővé téve a hőszivattyú és a hozzá kapcsolódó fűtési/hűtési rendszerek működésének értékét. Ez alapján a hűtési/fűtési rendszer optimalizálható lesz az adott hőszivattyútípushoz. [9, 13]

3. A mérés anyag- és módszertana

A vizsgálatok célja két eltérő hűtőközeggel (R290 és R32) üzemelő, monoblokk-hőszivattyú energetikai és exergetikai teljesítményének összehasonlító elemzése volt. A mérések a HAJDU Hajdúsági Ipari Zrt. minősített laboratóriumában, szabványosított körülmények között zajlottak. A vizsgált berendezések egy R32 hűtőközeggel működő, 9 kW névleges teljesítményű (Hajdú HPAW-10), valamint egy R290 hűtőközeggel működő, 10 kW névleges teljesítményű hőszivattyú (Hajdú V10W D2N7-E30) voltak. Mindkét berendezés esetében gyári katalógusadatok és kísérleti mérési adatok is rendelkezésre álltak, amelyek lehetővé tették a névleges és valós üzemi paraméterek összevetését. A vizsgálatok két fő részre bonthatók: funkcionális ellenőrzésekre és kvantitatív teljesítménymérésekre.

A funkcionális tesztek során ellenőriztük a berendezések megfelelő működését fűtési, hűtési és használatimelegvíz- (HMV) üzemmódban, beleértve a különböző hőleadó rendszerekhez (radiátor, felületfűtés, fan-coil) való illeszkedést. Ezen vizsgálatok célja a rendszerek üzembiztonságának és működési stabilitásának igazolása volt.

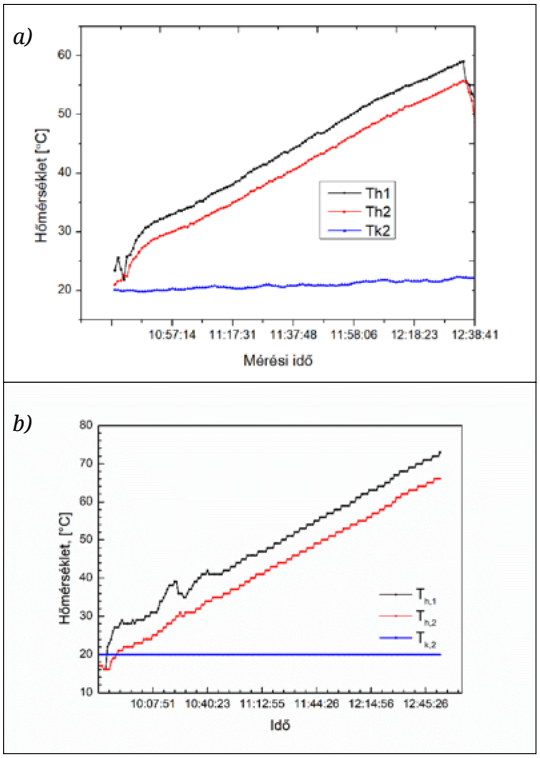
A kvantitatív mérések során a primer (kalorikus) és szekunder (hidraulikus) körök üzemi paramétereit folyamatos adatgyűjtéssel rögzítettük. A primer oldalon a kompresszor villamos jellemzőit (feszültség, áramerősség, felvett teljesítmény) beépített mérőrendszer szolgáltatta. A kompresszor működését frekvenciaváltó szabályozta, amely az egyfázisú betáplálást háromfázisúvá alakítva biztosította a fordulatszám és ezáltal a teljesítmény precíz szabályozását. A kalorikus oldalon a hűtőközeg állapotjellemzőit digitális nyomásérzékelők és nagy pontosságú NTC-hőmérséklet-érzékelők segítségével határoztuk meg. A szívó- és nyomóoldali nyomás, valamint hőmérséklet mérése lehetővé tette a hűtőkör termodinamikai állapotainak meghatározását, beleértve a túlhevülés és az utóhűtés értékeit. A kondenzációs és elpárolgási középállapotok a mért nyomásértékekhez tartozó telítési hőmérsékletek alapján kerültek meghatározásra. A szekunder oldalon az előremenő és visszatérő vízhőmérsékleteket hőelemes mérési módszerrel határoztuk meg, míg a térfogatáramot a berendezésbe integrált, spirálcsigás elven működő térfogatáram-mérő segítségével mértük. Az adatokat Modbus kommunikációs protokollon keresztül gyűjtöttük és rögzítettük. A mért paraméterekből meghatározható volt a tömegáram, valamint a hőszivattyú által leadott, illetve felvett hőteljesítmény.

A mérési adatok alapján számítottuk a berendezések energetikai mutatóit, elsősorban a fűtési teljesítményt, a hűtőkapacitást, valamint a jósági fokokat (COP, EER). Ezek meghatározása a szekunder oldali hőmérséklet-különbségek és tömegáram, illetve a kompresszor villamos teljesítményének ismeretében történt. Az így kapott eredmények lehetővé tették a rendszerek összehasonlító energetikai értékelését. A mérések szabványos előírásoknak megfelelően, kontrollált laboratóriumi környezetben zajlottak, ahol a környezeti feltételek, a beépítési mód, valamint a mérőeszközök pontossága és hitelesítése biztosította az eredmények reprodukálhatóságát és megbízhatóságát.

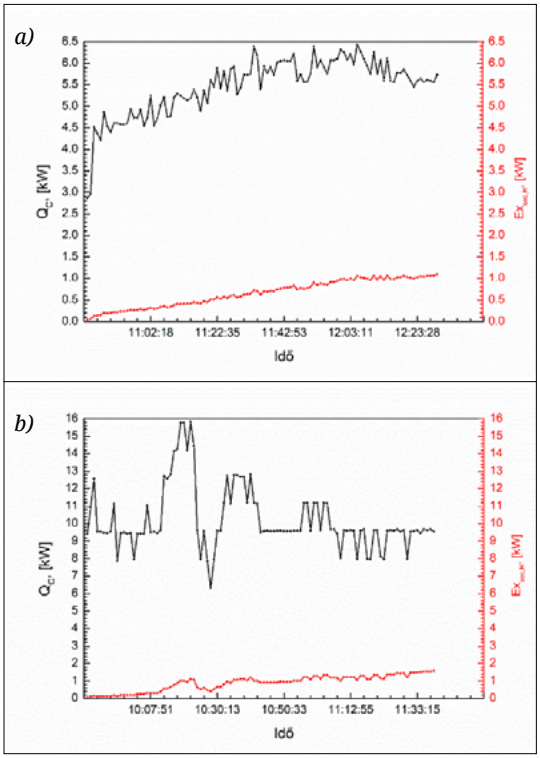
4. Mérési eredmények

A mérés során a környezeti hőmérséklet mellett rögzítésre került az előremenő és a visszatérő csőkígyó hőmérséklete is (1. ábra). A vizsgálatok mindkét berendezés esetében 20 °C-os környezeti hőmérsékleten zajlottak, amely a hőszivattyúk működése szempontjából az egyik legkedvezőbb üzemállapotnak tekinthető. Ezen körülmények között biztosítható a rendszer stabil és egyenletes működése, valamint a hőcserélők optimális hőátadása. A mérések célja az volt, hogy ezen ideális feltételek mellett értékelhetővé váljon a két hűtőközeggel üzemelő berendezések teljesítménye és hőtechnikai viselkedése.

Az 1. ábra a két rendszer vízhőmérséklet-különbségeit mutatja, amely jellemzően 3-4 °C volt. A bekapcsoláskor a csőrendszerben mért vízhőmérséklet az R32-es gépnél 22 °C, az R290-esnél 15 °C volt. Az előremenő ágban a hőszivattyúk ezt 60 °C-ra, illetve 70 °C-ra melegítették, a maximális visszatérő hőmérséklet pedig 55 °C, illetve 65 °C volt. A két gép között tehát 10 °C hőmérséklet-különbség mutatkozik. Az R290-es készülék az elvárásoknak megfelelően kedvezőbb hőtechnikai tulajdonságai következtében magasabb előremenő vízhőmérsékletet biztosít, amely révén alkalmasabb olyan szekunder fűtési rendszerek



1. ábra. *a) Az R32 közeggel működő gép által előállított közeghőmérsékletek és környezeti hőmérséklet. b) Az R290 közeggel működő gép által előállított közeghőmérsékletek és környezeti hőmérséklet.*



2. ábra. *a) Az R32 közeggel működő gép által előállított fűtőteljesítmény ($\dot{Q}_C$) és annak exergiatartalma ($Ex_{sec,H}$), kW-ban. b) Az R290 közeggel működő gép által előállított fűtőteljesítmény ($\dot{Q}_C$) és annak exergiatartalma ($Ex_{sec,H}$), kW-ban.*

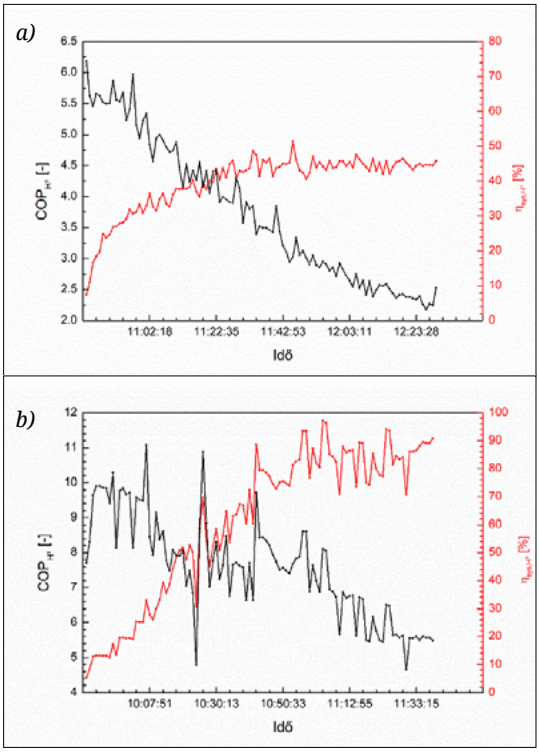
üzemeltetéséhez, amelyek 50 °C körüli előremenő vízhőmérsékletet igényelnek.

A mérési adatsor alapján meghatározható a szekunder rendszer pillanatnyi fűtőteljesítménye, valamint az exergiatartalom alakulása is. A **2. ábra** szemlélteti az időbeli eloszlását.

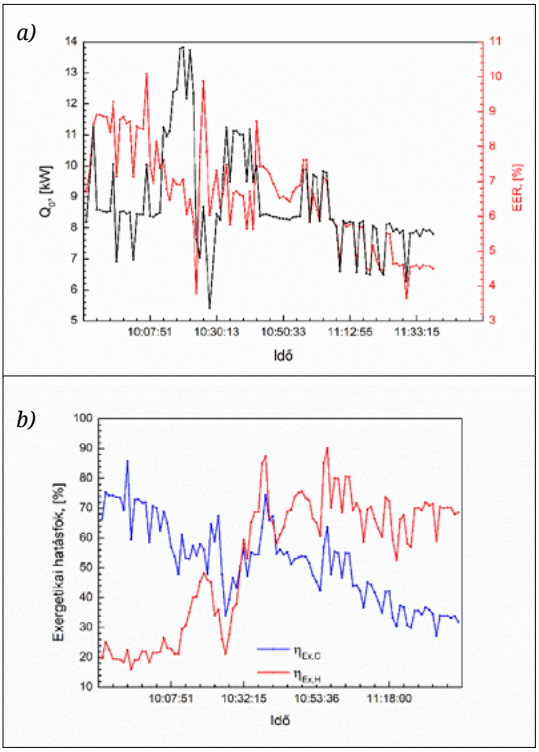
A fekete görbe szemlélteti a fűtőteljesítményt. Mindkét hőszivattyú esetén a névleges fűtőteljesítmény-érték 10kW volt. Az R290 töltetű hőszivattyú ezt az értéket tartotta, bizonyos hullámzások függvényében. Ezzel szemben az R32 töltetű hőszivattyú átlagban csak 5,5kW fűtőteljesítményt tudott leadni. Ez a csatlakozó primer, illetve szekunder rendszer áramlástechnikai paramétereinek volt köszönhető. Az alacsony áramlási sebesség nem tett lehetővé akkora hőátvitelt a kalorikus oldal részéről.

Továbbá az ábra pirossal szemlélteti a fűtésiexergia-tartalmat is. A mérés során az R32-es berendezés által előállított exergiamennyiség meghaladta az 1kW-ot, az R290 esetében a 1,5kw-ot. Ez 500W differencia, ami azt jelenti, hogy az R290 által előállított hőenergia nagyobb mennyiségben képes hasznos munkavégzésre, ezáltal energetikailag értékesebb. Ellenben, ha azt figyelembe vesszük, hogy az R32 5,5kW-ban érte el ezt a mennyiséget, amit az R290 10kW-ban, akkor egy kedvezőbb exergiaarányt kapunk az R32 részéről. Ez számszerűsítve az R290-nél átlagosan 8,3%, az R32-nél 11,9%. Ezek az értékek hőszivattyús viszonylatban megfelelőnek, általános viszonylatban nem kiemelkedőnek számítanak. Az adatsorból kiszámítható még a fűtési rendszer *COP*-, illetve η_{sys}-értéke. Ezt mutatja a **3. ábra**.

A mérés elején mindkét készülék *COP* ja magasabb, mert a kompresszor villamos fogyasztása ekkor még alacsony. Ahogy nő a termelt fűtővíz mennyisége, a fogyasztás is emelkedik, ami a *COP* romlását okozza, miközben a rendszer jósági indexe növekszik. A hőszivattyúk hatékonysága főként a 35–45 °C-os előremenő tartományban értékelhető, mivel üzemidejük nagy részét itt töl-



3. ábra. *a) Az R32 közeggel működő gép által elért COP_H és teljes exergetikai rendszerhatásfok ($\eta_{sys,H}$), fűtési üzemben b) Az R290 közeggel működő gép által elért COP_H és teljes exergetikai rendszerhatásfok ($\eta_{sys,H}$), fűtési üzemben*



4. ábra. *Az R290 a) $\dot{Q}_0$- és EER- (COPR) értéke; b) A hűtési és a fűtési exergetikai hatásfok értékei*

tik. Ebben a tartományban az R32 átlagos *COP*ja 4,5 kW, az R290-é 8 kW, ami a magas külső hőmérsékletnek és az R290 jobb hőátadási tulajdonságainak köszönhető. Az ηsys azt mutatja, mennyire hatékony a hőszivattyú kalorikus oldalának együttműködése a primer és szekunder hidraulikai körrel.

Az R32-es rendszereknél jelentkező áramlástani problémák ezen a mutatón is megjelennek, míg az R290 esetében a megfelelő vízoldali kialakítás egyértelműen jobb rendszerhatékonyságot eredményez. A rendelkezésre álló mérési adatsor alapján lehetőség nyílt az R290-es hőszivattyú-hűtőkapacitás és COP_R értékének meghatározására is (**4a. ábra**), valamint a fűtési és hűtési üzemmódja exergetikai hatásfokának időbeli vizsgálatára is. (**4b. ábra**).

A hűtőkapacitás a mérés során egy gyors felfutást követően fokozatosan visszarendeződik, és végül 9 kW-os átlagérték körül stabilizálódik. Ezzel párhuzamosan az EER (COP_{RR}) a kezdeti, részterheléshez tartozó kedvezőbb tartományból folyamatos csökkenést mutat, és a teljes mérési szakaszra vetítve átlagosan mintegy 6 körül alakul. (Ez a hűtési hatékonyság hőszivattyús viszonylatban magasnak tekinthető, bár nem éri el a fűtési üzem magasabb hatékonyságát.) Ez a jellegzetes viselkedés a növekvő kompresszióviszony és a nagyobb hűtőteljesítményhez kapcsolódó termodinamikai veszteségek természetes következménye.

A 4b. diagram a hűtési és a fűtési exergetikai hatásfok időbeli alakulását mutatja. A két görbe ellentétes irányú változása jól szemlélteti, hogy a kompresszor teljesítménye a fűtési oldalon hasznos exergiává alakul, míg hűtési üzemmódban ugyanez a teljesítmény a hűtési exergiával szemben dolgozik. Ennek eredményeként a fűtési hatásfok fokozatosan javul, míg a hűtési hatásfok csökken, és a mérés során egy ponton a fűtési exergia-hatásfok átveszi a dominanciát. Mindez összességében azt eredményezi, hogy a berendezés fűtési üzemben lényegesen kedvezőbb exergetikai hatásfokot ér el.

5. Következtetés

A vizsgálat során az R290 és R32 hűtőközegek energetikai, környezetvédelmi és biztonságtechnikai jellemzőit hasonlítottuk össze, valamint értékeltük a laboratóriumi mérések eredményeit. Környezeti szempontból az R290 kedvezőbb választás, mivel természetes eredetű és lényegesen alacsonyabb GWP-értékkel rendelkezik, így jobban megfelel a szigorodó klímapolitikai előírásoknak. Mindkét hűtőközeg stabil, üzemi körülmények között nem bomlik, és kompatibilis a kenőanyagokkal, ami megbízható működést biztosít. Biztonságtechnikai szempontból ugyan megfelelnek az alapkövetelményeknek, azonban eltérő gyúlékonysági besorolásuk miatt az R290 alkalmazása fokozott tűz- és robbanásvédelmi intézkedéseket igényel. Ez a kockázat monoblokkos rendszerekben jól kezelhető, különösen csökkentett töltet alkalmazásával, ugyanakkor a gyártási és logisztikai folyamatokra többletterhet róhat.

A laboratóriumi mérések alapján a *COP* és az exergetikai rendszerhatásfok értékei az R290 esetében magasabbnak bizonyultak. Ez arra utal, hogy az R290 közeggel működő rendszer hatékonyabban hasznosítja az energiát adott körülmények között. Ugyanakkor nem állítható egyértelműen, hogy az R32 hőtechnikailag gyengébb lenne, mivel a teljesítmény számos tényezőtől függ. Ilyen tényezők például a külső hőmérséklet, a berendezés elhelyezése, valamint a hűtőközeg töltetmennyisége.

Összegzésként megállapítható, hogy amennyiben a klímavédelmi szabályozások korlátozzák az R32 alkalmazhatóságát, az R290 – megfelelő biztonsági intézkedések mellett – hatékony alternatívát jelenthet a jövő hőszivattyús rendszereiben.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Körös Campus Alapítvány támogatásával valósult meg.
Ezen az úton szeretnék köszönetet nyilvánítani a HAJDU Hajdusági Ipari Zrt.-nek a támogatásukért.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Kalmár T., Bodó B., Kalmár F.: *Comparative Analysis of Energy Demand at an Equal Operative Temperature in the Case of Radiator and Low-Temperature Radiant Heating.* Journal of Building Engineering, 100. (2025) 2352-7102. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2025.111792

[2] Kalmár T., Bodó B., Kalmár F.: *Heat Losses of Low-Temperature Radiant Heating Systems.* Energy Reports, 10. (2023) 1982–1995. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.08.090

[3] Jakab Z.: *Kompresszoros hűtés I.* Budapest, Magyar Mediprint Szakkiadó KFT, 2006.

[4] 517/2014/EU F gáz rendelet, 2014.

[5] EU 2024/573 rendelet, 2024.

[6] Jakab Z.: *Kompresszoros hűtés II.* Budapest: Magyar Mediprint Szakkiadó KFT., 2006.

[7] Takács I.: *Hűtőközegek kezelése, ózonvédelem a hűtő és klímatechnikában.* HKVSz, 2004.

[8] Kalmár F., Bodó B., Kalmár T.: *Comparison of Energy Demand for Heating and CO2 Emissions in Urban and Rural Areas, the Case of Hajdú-Bihar County, Hungary.* Buildings, 15/10. (2025) 1625. https://doi.org/10.3390/buildings15101625?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle

[9] Szabó G. L.: *Épületek sugárzó hűtési rendszereinek energetikai és exergetikai vizsgálata*. 2019.

[10] Szabó G. L., Kalmár F.: *Investigation of Energy and Exergy Performances of Radiant Cooling Systems in Buildings – A Design Approach*. In: Energy 185. (2019) 449–462. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.067

[11] Kalmár T., Halász E.: *Különböző hőtermelővel ellátott fűtési rendszerek exergetikai összehasonlítása: I. rész*, Magyar épületgépészet, 56/12. (2007) 3–7.

[12] Kalmár F.: *Központi fűtési rendszerek exergetikai elemzése*. Tudományos Közlemények, Debreceni Egyetem, Műszaki Főiskolai Kar, ISSN: 1587-9801, 2006.

[13] Bodó B., Józsa Sz, Szabó G. L.: *Realising Hidden Exergetic Potencial in a Gas Engine-Driven Polyvalent Absorption Heat pPmp via Temperature Sensitivity Mapping: a Case Study.* Applied Thermal Engineering, 286. (2026) 129303. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.129303

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 119–127.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.15
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.15

ACÉLGERENDA ÉS BETONOSZLOP KÖZÖTTI KAPCSOLAT ELEMZÉSE

ANALYSIS OF STEEL BEAM-TO-CONCRETE COLUMN CONNECTION

Török István,[1] Lőrincz Barnabás-Attila,[2] Sütő Abigail-Bethsabé,[3] Urszuly Nóra,[4] Nagy Zsolt[5]

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia
[1]torok.an.istvan@student.utcluj.ro, [2]barnabas.lorincz@campus.utcluj.ro,
[3]suto.at.abigail@student.utcluj.ro, [4]urszuly.sz.nora@student.utcluj.ro, [5]zsolt.nagy@dst.utcluj.ro

Abstract

This study investigates the load-bearing capacity of an external steel beam–to–concrete column connection formed with post-installed anchorage systems, derived from the connection presented in reference [1]. Two connection types are analysed: chemical and mechanical anchor solutions. Both analytical and numerical methods were applied in the investigation. The analytical calculations were carried out based on the European standard EN 1992-4:2018 [2], while the numerical analyses were performed using the Hilti PROFIS Engineering software. The aim of the study is to determine the ultimate moment capacity of the examined connections, identify the governing failure component, and compare the analytical and software-based results. A parametric study was also conducted to evaluate the influence of the anchor embedment depth on the load-bearing capacity of the connection. The comparison of the obtained results with previous studies [1, 3] on steel and composite connections contributes to a deeper understanding of the behaviour of post-installed anchorage systems in steel-to-concrete joints.

Keywords*: steel beam–to–concrete column connection, post-installed anchorage system, chemical anchor, mechanical anchor.*

Összefoglalás

Ez a tanulmány egy külső, acélgerenda és betonoszlop közötti, utólagos rögzítésekkel kialakított kapcsolat teherbírását vizsgálja, amely az [1] hivatkozásban bemutatott kísérleti konfigurációkból lett elkülönítve. A kutatás két kapcsolattípus viselkedésének elemzésére fókuszál: a ragasztott dübeles, illetve a mechanikus dübeles megoldásra. A vizsgálatok során analitikus és szoftveres módszerek voltak alkalmazva. Az analitikus számítások az EN 1992-4:2018 szabvány [2] alapján készültek, míg a szoftveres vizsgálatok a Hilti PROFIS Engineering szoftverrel valósultak meg. A kutatás célja a vizsgált kapcsolatok végső nyomatéki teherbírásának meghatározása, a tönkremenetelt meghatározó komponens azonosítása, valamint az analitikus és szoftveres eredmények összevetése. Emellett parametrikus vizsgálatok is megvalósultak a dübelek befogási mélységének függvényében. Ezek az elemzések eredményei rámutatnak arra, hogyan változik a kapcsolat teherbírása a vizsgált paraméter hatására. Az eredmények összehasonlítása korábbi acél- és öszvérkapcsolatokra vonatkozó kutatásokkal [1, 3] hozzájárul az utólagos rögzítéses kapcsolatok viselkedésének mélyebb megértéséhez.

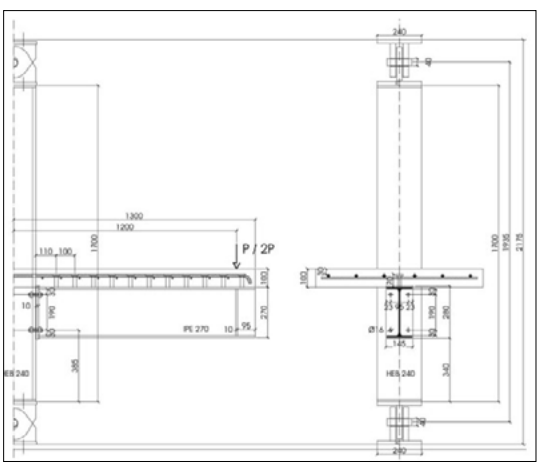
Kulcsszavak*: acélgerenda-betonoszlop kapcsolat, utólagos rögzítési rendszer, ragasztott dübel, mechanikus dübel.*

1. Bevezetés

A kapcsolatok viselkedése alapvetően meghatározza az épületek szerkezetének globális teherbírását és merevségét. Számos kutatás foglalkozott az acél- és öszvérkapcsolatok teherbírásának és merevségének vizsgálatával, kísérleti és numerikus módszerekkel egyaránt. A jelen tanulmányban vizsgált utólagos rögzítési megoldások – amelyek acélgerenda és betonoszlop közötti kapcsolatok kialakítására vonatkoznak – az [1] hivatkozásban bemutatott, acéloszlop és öszvérgerenda közötti kapcsolati konfigurációkra épülnek.

Az [1] hivatkozásban vizsgált kísérleti konfigurációkat az 1. ábra szemlélteti. A szerzők alternatív kapcsolati kialakításokat vizsgáltak, amelyek között egy belső (T1) és két külső (T2, T3) kapcsolat szerepelt. A külső kapcsolati kialakításra tett javaslat különös jelentőséggel bír, hiszen hagyományos kialakításuk gyakran igényel egy kisebb konzolt a vasalás megfelelő lehorgonyzási hosszának biztosítására, ami sok esetben építészeti korlátokat eredményez. Ennek elkerülése érdekében az [1] kísérleti program egyik kiemelt célja az volt, hogy megvizsgálja a konzol elhagyásának lehetőségét félmerev külső kapcsolatok esetén. A javasolt megoldás szerint a vasalást az acéloszlop övein keresztül vezették át, majd a külső övhöz csavarmenettel kialakított véggel vagy fejképzéssel rögzítették.

A vizsgált külső kapcsolati konfigurációk egy 1,30 m hosszú, konzolban álló IPE270 öszvérgerenda és egy, a két végén csuklósan megtámasztott HEB240 acéloszlop találkozásánál kialakított kapcsolatokból álltak. Az IPE270 acélgerendához egy 10 cm vastag, 1 m széles vasbeton lemez csatlakozott 19 mm átmérőjű, 75 mm magas nyírócsapok alkalmazásával. A vasbeton lemez összesen 11 nyírócsappal került rögzítésre az acélgerendához 10 cm-es kiosztással. A gerenda szabad végénél elhelyezett terhelési pont 1,20 m távolságban helyezkedett el az acéloszlop tengelyétől. A gerenda vége egy 10 mm vastag színelő homloklemezzel zárult, amelyet négy darab M16-os, 10.9 szilárdsági osztályú csavar rögzített az oszlophoz. Az oszlop és a gerenda S275 minőségű acélból készült.



1. ábra. *Az [1] kísérleti program keretében vizsgált konfigurációk geometriai kialakítása*

Az [1] hivatkozásban bemutatott külső öszvérkapcsolatok (T2, T3) nyomatéki teherbírására (Mj. Rd) vonatkozó eredményeit az 1. táblázat foglalja össze. Az említett hivatkozásban bemutatott kísérleti eredményekre építve a [3] tanulmány az ott ismertetett konfigurációkból elkülönített acélgerenda és acéloszlop közötti kapcsolatokat vizsgálta analitikus és numerikus módszerekkel. Ezen elemzések elsősorban a kapcsolat merevségének, teherbírásának és komponenseinek paraméteres analízisére fókuszált. A [3] tanulmányban vizsgált 10 mm vastag homloklemezű (P10mm) acélkapcsolat nyomatéki teherbírására vonatkozó eredmények a 2. táblázatban figyelhetőek meg.

A jelen tanulmány az előző kutatások folytatásaként egy módosított kapcsolati kialakítást vizsgál, amelyben az acéloszlopot betonoszlop váltja fel, miközben az acélgerenda, a kapcsolódó homloklemez geometriája és a csavarok pozíciója változatlan marad. A kapcsolat kialakításához utólagos rögzítési módszer került alkalmazásra, amely ragasztott vagy mechanikus dübelekkel valósítható meg. Az ilyen típusú kapcsolatok a modern építési gyakorlatban egyre szélesebb körben alkalmazottak, mivel kivitelezésük több szempontból előnyös, ugyanakkor a teherátadási mechanizmusuk összetett, és viselkedésük pontos jellemzése további vizsgálatokat igényel.

1. táblázat. *A T2, T3 öszvérkapcsolatok nyomatéki teherbírása [1]*

Kapcsolat	$M_{j.Rd}$ [kNm]
T2	147,4
T3	163,1

2. táblázat. *A 10 mm homloklemezű acélkapcsolat (P10mm) nyomatéki teherbírása [3]*

Kapcsolat	$M_{j.Rd}$ [kNm]		
	Analitikus számolás	Consteel	Idea StatiCa
P10mm	34,28	34,00	31,02

Az utólagos rögzítésekkel kialakított kapcsolatok nyomatéki teherbírását számos tényező befolyásolja, többek között a dübelek befogási mélysége, a beton szilárdsága, a vasalás elrendezése, a dübelek távolsága az összekapcsolt elemek szélétől, valamint az acéllemez merevsége. E kapcsolatok teherbírásának pontos ismerete elengedhetetlen a biztonságos tervezéshez és a számítási modellek validálásához.

A vizsgálatok során analitikus és szoftveres módszerek kerültek alkalmazásra. Az analitikus számítások az EN 1992-4:2018 szabvány [2] előírásai alapján készültek, míg a szoftveres elemzések a Hilti PROFIS Engineering szoftverrel valósultak meg. Az elemzés kizárólag a nyomatéki teherbírásra terjed ki, és egy parametrikus vizsgálattal egészült ki, amely a dübel befogási mélységének hatását értékeli a kapcsolat nyomatéki teherbírására nézve.

2. Analitikus és szoftveres vizsgálatok

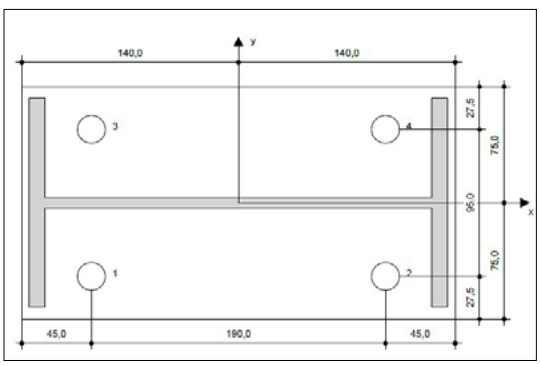
Az elvégzett analitikus vizsgálatok az EN 1992-4: 2018 szabvány [2] előírásain alapulnak. A szabvány négy lehetséges tönkremeneteli módot határoz meg húzott dübelek esetén, amelyek közé tartozik a rögzítő elem acélszárának szakadásából eredő tönkremenetel, a beton szakadó kúpos tönkremenetele, a rögzítő elem kihúzódása a betonelemből, valamint a betonelem felhasadása.

A szoftveres vizsgálatok a Hilti PROFIS Engineering szoftver alkalmazásával készültek. A szoftver számítási eljárása az EN 1992-4:2018 szabvány [2], valamint a különböző bevizsgálási tanúsítványok [4, 5] alapján felépített komponensmodellre épül. A szoftver a kapcsolatot részletes modellként értelmezi, amelyben külön kezeli az acél-, a beton- és a lehorgonyzási rendszer teherátadását, továbbá figyelembe veszi ezek kölcsönhatását. A számítási folyamat során minden egyes dübelre és dübelcsoportra meghatározásra kerülnek a húzási, nyírási és ezek kombinációjából származó igénybevételek, valamint az ezekhez tartozó tönkremeneteli módok. A szoftver által szolgáltatott eredmények tartalmazzák a dübelenkénti igénybevételeket, az egyes komponensek kihasználtságának mértékét, valamint a domináns tönkremeneteli módot. A PROFIS Engineering használatának előnye, hogy a beton repedéseit, a betonkúpok átfedéseit és a vasalás hatását háromdimenziós modell alapján vizsgálja, figyelembe véve a gyártói előírásokat a minimális távolságokra, az elemek széléhez mért elhelyezésére és a befogási mélységre vonatkozóan.

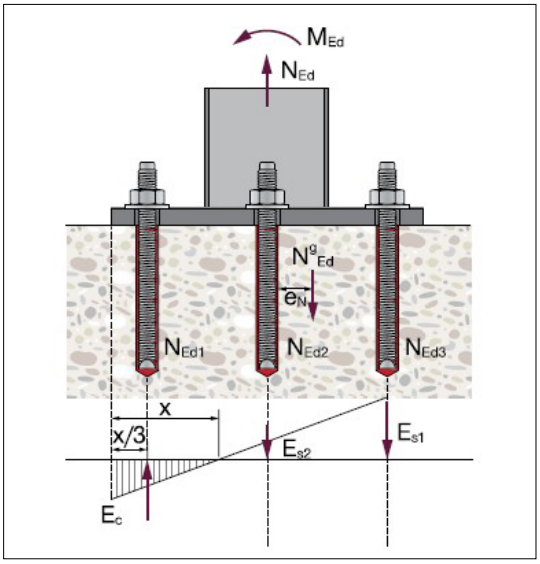
A vizsgálatok során Hilti HIT-RE 500 V4 ragasztott dübel, Hilti HAS-U-típusú, M16-os átmérőjű, 8.8 szilárdsági osztályú menetes szár, valamint Hilti HST3 beütő ék került alkalmazásra. A mechanikus dübeles rögzítések 160 mm-es maximális befogási hosszig voltak vizsgálva, mivel a szoftver a termékkatalógusban elérhető M16 × 260- és M16 × 300-típusok ellenére legfeljebb az M16 × 220 beütő éket engedélyezi. A vizsgálatok C25/30 szilárdsági osztályú betonból készült, 50 × 50 cm keresztmetszetű betonoszlopon történtek, amely a vizsgált kapcsolati konfiguráció alapvető geometriai és anyagi paramétereit adja. Az analitikus és szoftveres vizsgálatok eredményei lényegében megegyeztek, ezért a további számításokhoz elsősorban a szoftveres eljárás került alkalmazásra.

A szoftver a lyuk közepétől a lemez széléig mért minimális távolság meghatározásában eltér az EN 1993-1-8:2005 szabvány [6] előírásától. A PROFIS Engineering a minimális széltávolságot a furatátmérő másfélszeresének, míg a [6] hivatkozás a furatátmérő 1,2-szeresének veszi. Emiatt a homloklemez szélességét a modellben 145 mm-ről 150 mm-re kellett növelni. A 2. ábrán látható a kapcsolat módosított homloklemeze.

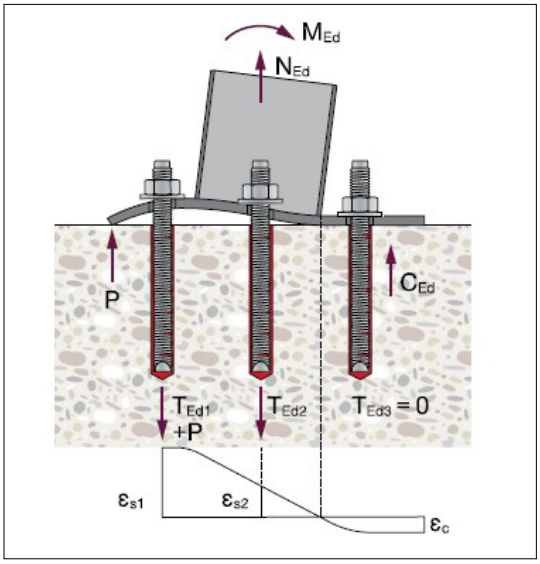
A vizsgálatok során összehasonlításra került a merev és flexibilis lemez viselkedésének hatása. Az acél homloklemez viselkedési módjait a [7] hivatkozás is részletesen ismerteti. A merevlemez viselkedését feltételező modellben a homloklemez nem képes számottevő alakváltozásra, ezért a lehorgonyzó dübelek igénybevételei közel lineárisan oszlanak meg, és a dübelcsoport szélső elemei veszik fel a legnagyobb igénybevételt. A 3. ábra a merevlemez feltételezéséhez tartozó erőeloszlást mutatja, ahol a dübelek húzóerői lineáris jelleggel növekednek. A kapcsolat acélelemeinek méretei és anyagjellemzői megegyeznek a [1] tanulmányban alkalmazottakkal.



2. ábra. *A vizsgált kapcsolat szoftverben módosított homloklemeze*



3. ábra. *Az alakváltozások és erők lineáris eloszlása hajlítónyomaték és normálerő terhelése alatt álló rögzítési rendszerben, merevlemez esetén* [7]



4. ábra. *Az alakváltozások és erők nemlineáris eloszlása hajlítónyomaték és normálerő terhelése alatt álló rögzítési rendszerben, flexibilis lemez esetén* [7]

Ezzel szemben a flexibilis lemez viselkedése jelentős lemezdeformációt tesz lehetővé a terhelés hatására. Ilyenkor a teherátadás nem tekinthető merev elemek közötti teherátvitelnek: az alaplemez deformációja miatt a dübelcsoport elemei között nemlineáris húzóerő-eloszlás alakul ki. A lemez peremén elhelyezkedő dübelekre a lemez lokális alakváltozása miatt nagyobb húzóerők jutnak, míg a belső zónában lévő dübelek kisebb igénybevételt vesznek fel, szélsőséges esetben akár tehermentessé is válhatnak. Jelentősebb mértékű nyomatékok esetén ez a jelenség tovább erősödik, mivel a hajlítónyomaték hatásvonala a lemez külső tartományába koncentrálja a húzóerőket. A **4. ábra** bemutatja a flexibilis lemezre jellemző erőeloszlást, valamint az ezzel összefüggő deformációs képet.

A [2] szabványban ismertetett számítási módszer kizárólag merev homloklemez használata esetén érvényes, amelyben a terhek lineárisan oszlanak meg, és a lemez alakváltozásai elhanyagolhatóak. Ezzel szemben a Hilti PROFIS Engineering szoftver képes a flexibilis lemezek viselkedésének modellezésére is, mivel az igénybevételek meghatározásához végeselem-alapú (VEM) numerikus módszert alkalmaz. Ez a megközelítés lehetővé teszi, hogy a szoftver a vizsgált kapcsolatok valós viselkedését modellezze.

A vizsgált acélgerenda és betonoszlop között kialakított, színelő homloklemezes kapcsolat esetében a hajlítónyomaték hatására a dübeleket döntően húzási igénybevételre kell ellenőrizni. A vizsgált terhelési tartományban a homloklemez alakváltozása elhanyagolható, ezért a lemez deformációja gyakorlatilag nem befolyásolja az igénybevételek eloszlását. Ennek következtében a merev és a flexibilis lemez feltételezésével számított nyomatéki teherbírások között csak csekély eltérés mutatkozik.

Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy a hajlítónyomatékok viszonylag kicsik, így a 10 mm vastagságú homloklemez – amely nagyobb igénybevételek esetén már jelentős alakváltozásra lenne hajlamos – ebben a terhelési tartományban még nem szenved számottevő deformációt. Mivel a lemez alakváltozása nem válik meghatározóvá, a dübelcsoporton belüli erőeloszlás közel azonos marad a merev és a flexibilis lemez modelljében egyaránt.

A **3. táblázat** a merev és flexibilis homloklemezes kapcsolatok nyomatéki teherbírását mutatja be.

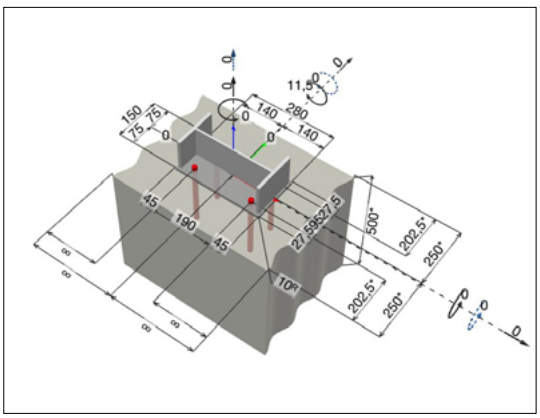
Az acélgerenda és a betonoszlop közötti kapcsolat vizsgálata során összehasonlításra kerültek a ragasztott és a mechanikus dübeles utólagos rögzítési megoldások. A két dübeltípus teherátadási mechanizmusa eltérő, ami különbségeket eredményezhet a nyomatéki teherbírásban. A ragasztott dübelek esetében a húzóerő elsősorban a beton és a ragasztóanyag közötti felületi tapadá-

3. táblázat. *A merev és flexibilis homloklemezes kapcsolatok nyomatéki teherbírásai 100 mm-es befogási mélység esetén*

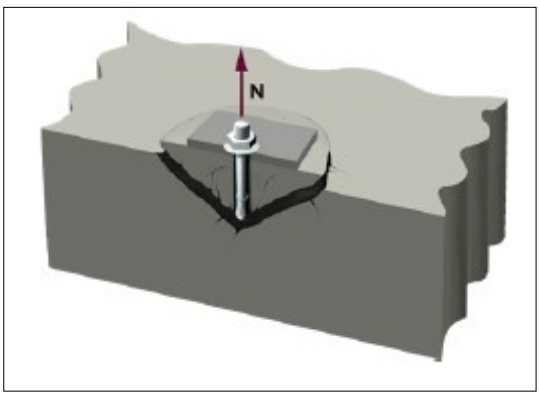
Kapcsolat h_{ef} 100mm	$M_{j.Rd}$ [kNm]		$\Delta M_{j.Rd}$ [%]
	Merev lemez	Flexibilis lemez	
Ragasztott dübel	7,10	6,80	– 4,23
Mechanikus dübel	7,25	7,30	0,69

4. táblázat. *A ragasztott és mechanikus dübeles kapcsolatok nyomatéki teherbírásai 100 mm-es befogási mélység esetén*

Kapcsolat h_{ef} 100mm	$M_{j.Rd}$ [kNm]		$\Delta M_{j.Rd}$ [%]
	Ragasztott dübel	Mechanikus dübel	
Merev lemez	7,10	7,25	2,11
Flexibilis lemez	6,80	7,30	7,35



5. ábra. *A vizsgált kapcsolat szoftveres modellje*



6. ábra. *Szakadó kúpos tönkremeneteli mód az utólagos rögzítéses kapcsolatok esetén* **[8]**

son keresztül adódik át, így a lehorgonyzás teljes hosszában aktiválódik a teherátvétel. Ezzel szemben a mechanikus dübelek expanziós működése a lehorgonyzási zónában koncentráltabb feszültségállapotot hoz létre, amely bizonyos befogási mélységek mellett kedvezőbb teherfelvételt eredményezhet.

Az eredmények azt mutatták a vizsgált kapcsolatok esetén, hogy 100 mm-es befogási mélység esetén a mechanikus dübelek nyomatéki teherbírása valamivel meghaladja a ragasztott dübelekét. A különbség azonban mérsékelt, és nem tekinthető jelentősnek a vizsgált terhelési tartományban.

A **4. táblázat** a ragasztott és mechanikus dübeles kapcsolatok nyomatéki teherbírási értékeit szemlélteti.

A számítások minden esetben kiegészítő vasalás alkalmazása nélkül készültek. Ennek megfelelően a betonoszlopban kizárólag az alapvető szerkezeti vasalás szerepel, de nem kerültek elhelyezésre olyan kiegészítő húzott vasak, amelyek növelnék a kapcsolat teherbírását. Az **5. ábra** a vizsgált kapcsolat Hilti PROFIS Engineering szoftverben létrehozott modelljét szemlélteti.

3. Eredmények tárgyalása

A megfigyelések alapján mind az analitikus, mind a Hilti PROFIS Engineering szoftverrel végzett numerikus vizsgálatok során 100 mm befogási mélység mellett a szakadó kúpos tönkremenetel bizonyult a domináns tönkremeneteli módnak mind a ragasztott, mind a mechanikus dübelek esetében. Mivel a kapcsolat nyomatéki teherbírását ebben az esetben a beton szakadó kúpos kapacitása korlátozza, a parametrikus vizsgálatok középpontjába e tönkremeneteli mód kapacitásnövelési lehetőségei kerültek. A szakadó kúpos tönkremeneteli módot utólagos rögzítéses kapcsolatok esetén a **6. ábra** szemlélteti.

A szakadó kúpos tönkremenetelre több geometriai és anyagjellemző is hatással van. A vizsgált kapcsolati kialakításban azonban számos paraméter – így a dübelektől számított éltávolság és a dübelek közötti távolság – adott, mivel ezek megegyeznek az **[1]** hivatkozásban bemutatott színelő homloklemezes kapcsolat eredeti csavarkiosztásával és a jelen tanulmányban nem kerültek ezek a paraméterek módosításra. Emiatt a nyomatéki

teherbírás reálisan csak a befogási mélység (h_{ef}) növelésével és a beton szilárdságának megváltoztatásával növelhető.

A Hilti PROFIS Engineering szoftverrel végzett parametrikus vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a befogási mélység növelésével mindkét dübeltípus esetén növekedett a kapcsolat nyomatéki teherbírása, azonban eltérő mértékben és eltérő tönkremeneteli módok mellett.

A ragasztott dübeleknél a parametrikus vizsgálat a befogási mélység növelésével fokozatosan emelkedő teherbírási növekedést mutatott. A 100 mm-ről 200 mm-re történő növelés mintegy 66% teherbírási növekedést eredményezett, amely az **5. táblázat** adataiban is megfigyelhető. A befogási mélység növelésével a ragasztott dübeleknél mindvégig a szakadó kúpos tönkremenetel maradt a domináns mód.

A mechanikus dübeleknél a teherbírás növekedése lényegesen mérsékeltebb volt, amit a **6. táblázat** is alátámaszt.

A 120 mm-es befogási mélységnél a nyomatéki teherbírás 19,2%-kal, 140 mm-es mélységnél szintén 19,2%-kal haladta meg a 100 mm-es referenciaértéket. Mindkét tartományban a domináns tönkremeneteli mód a kihúzódásos tönkremenetel volt. Kihúzódás esetén a rögzítő elem az egész befogási zónából kihúzódik anélkül, hogy a betontest jelentősen sérülne. Ezt a tönkremeneteli módot a **7. ábra** szemlélteti.

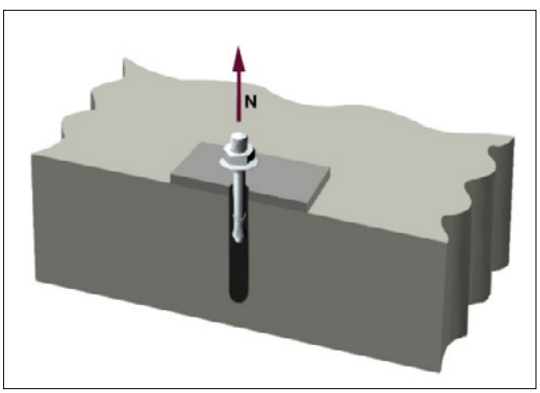
A befogási mélység 160 mm-re történő növelésével azonban a meghatározó tönkremeneteli mód betonfelhasadásra váltott (**8. ábra**). Ennek következtében a teherbírás már nem nőtt tovább, hanem csekély mértékben, 1,37%-kal csökkent a 100 mm-es alapértékhez viszonyítva. A beton felhasadása akkor következik be, amikor a dübel expanziója által létrehozott sugárirányú feszültségek meghaladják a beton húzószilárdságát. A felhasadás tipikus jellegzetessége a dübel tengelyéből kiinduló, többirányú repedéssávok kialakulása.

5. táblázat. *A ragasztott dübeles kapcsolat nyomatéki teherbírása a befogási mélység függvényében flexibilis homloklemez esetén*

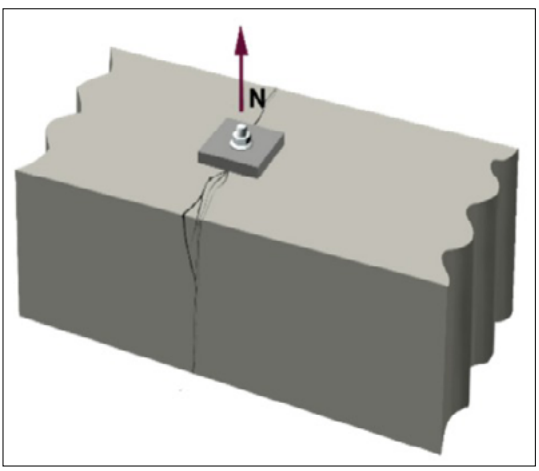
Flexibilis lemez Ragasztott dübel	$M_{j.Rd}$ [kNm]	$\Delta M_{j.Rd}^{100}$ [%]
h_{ef}=100mm	6,80	0
h_{ef}=120mm	8,75	28,68
h_{ef}=140mm	10,30	51,47
h_{ef}=160mm	10,65	56,62
h_{ef}=180mm	10,95	61,03
h_{ef}=200mm	11,30	66,18

6. táblázat. *A mechanikus dübeles kapcsolat nyomatéki teherbírása a befogási mélység függvényében flexibilis homloklemez esetén*

Flexibilis lemez Mechanikus dübel	$M_{j.Rd}$ [kNm]	$\Delta M_{j.Rd}^{100}$ [%]
h_{ef}=100mm	7,30	0
h_{ef}=120mm	8,70	19,18
h_{ef}=140mm	8,70	19,18
h_{ef}=160mm	7,20	-1,37



7. ábra. *Kihúzódásos tönkremeneteli mód az utólagos rögzítéses kapcsolatok esetén* [8]



8. ábra. *A beton felhasadásának tönkremeneteli módja az utólagos rögzítéses kapcsolatok esetén* [8]

A tönkremeneteli módok változását jól magyarázza, hogy a kihúzódásos tönkremenetel elsősorban a dübelek számától, átmérőjétől és a beton szilárdságától függ, míg a beton felhasadásának tönkremeneteli módja érzékeny a dübelek közötti távolságra, a dübelek éltől való távolságára, a beton húzószilárdságára, a beton vastagságára, valamint a befogási mélység növekedésére. A vizsgált kapcsolati kialakításban a dübelszám és -átmérő, az él- és dübeltávolságok rögzítettek és nem módosíthatók, ezért a mechanikus dübelek befogási mélységének növelése egy ponton – megközelítőleg 160 mm körül – eléri azt a tartományt, ahol a beton felhasadásának tönkremeneteli kockázata már dominánsabbá válik, mint a kihúzódási mód. Ennek következtében a teherbírás a nagyobb befogási mélységek esetén már nem nő tovább, hanem csökkenni kezd, ami egyértelműen jelzi a mechanikus dübelek konstrukciós működéséből fakadó lehorgonyzási mélység korlátját.

Következő lépésben a szerzők a beton szilárdsági osztályának hatását értékelték a kapcsolat nyomatéki teherbírására nézve. Ennek vizsgálatához, a befogási mélység elemzéséhez hasonlóan, paraméteres számítások készültek C25/30 és C30/37 betonminőségek alkalmazásával.

A ragasztott dübelek esetében a beton szilárdságának növelése minden vizsgált befogási mélységnél változatlanul a szakadó kúpos tönkremenetelt eredményezte domináns tönkremeneteli módként. A beton szilárdsági osztályának C25/30-ról C30/37-re történő növelésével elért nyomatéki teherbírási változásokat a **7. táblázat** foglalja össze.

A **7. táblázat**ban bemutatott eredmények azt mutatják, hogy a szilárdsági osztály növelése a befogási mélységtől függetlenül megközelítőleg 10% körüli nyomatéki teherbírás-növekedést eredményez. A legnagyobb kapacitás a vizsgált kapcsolatok esetén a 200 milliméteres befogási mélységnél jelentkezett, ahol a kapcsolat teherbírása elérte a 12,45 kNm értéket.

A mechanikus dübelek esetében a beton szilárdságának növelésekor – hasonlóan a befogási mélység hatásának vizsgálatánál tapasztaltakhoz – a tönkremeneteli mód ismét nem maradt egységes, hanem a befogási mélységtől függően változott. A szoftveres eredmények azt mutatták, hogy 100 mm befogás mellett továbbra is a szakadó kúpos tönkremenetel lépett fel, 120 mm és 140 mm esetén már a kihúzódásos tönkremenetel vált meghatározóvá, míg 160 mm befogási mélységnél a felhasadásos tönkremenetel dominált. A **8. táblázat** a megfelelő befogási mélységekhez tartozó nyomatéki teherbírási értékeket foglalja össze.

A teherbírás alakulását tekintve a C25/30-ról C30/37 betonminőségre történő átállás a mechanikus dübelek esetében minden vizsgált befogási mélységnél körülbelül 10%-os nyomatéki teherbírás-növekedést eredményezett. A nyomatéki teherbírás javulása tehát ebben az esetben is egyértelműen megfigyelhető, ugyanakkor a nagyobb befogási mélységeknél jelentkező felhasadásos tönkremenetel miatt a teherbírás további növelésének lehetősége korlátokba ütközik.

A paraméteres vizsgálatok eredményei alapján a ragasztott dübelek esetében a legnagyobb nyomatéki teherbírás a 200 mm befogási mélységű, C30/37 szilárdságú betonba rögzített kapcsolati kialakítással érhető el, amely 12,45 kNm nyomatéki teherbírást biztosított. A mechanikus dübelek esetében a legnagyobb teherbírás a 120–140 mm befogási mélységű, C30/37 betonba ágyazott konfigurációnál jelentkezett, ahol a kapcsolat nyomatéki kapacitása 9,60 kNm volt. A két rögzítési technológia legkedvezőbb kialakításait össze-

7. táblázat. *A ragasztott dübeles kapcsolat nyomatéki teherbírása a befogási mélység függvényében flexibilis homloklemez és C30/37 szilárdságú beton esetén*

Flexibilis lemez Ragasztott dübel	$M_{j.Rd}$ [kNm]		$\Delta M_{j.Rd}^{100}$ [%]
	C25/30	C30/37	
h_{ef} = 100mm	6,80	7,5	10,29
h_{ef} = 120mm	8,75	9,6	9,72
h_{ef} = 140mm	10,30	11,40	10,68
h_{ef} = 160mm	10,65	11,75	10,33
h_{ef} = 180mm	10,95	12,10	10,50
h_{ef} = 200mm	11,30	12,45	10,18

8. táblázat. *A mechanikus dübeles kapcsolat nyomatéki teherbírása a befogási mélység függvényében flexibilis homloklemez és C30/37 szilárdságú beton esetén*

Flexibilis lemez Mechanikus dübel	$M_{j.Rd}$ [kNm]		$\Delta M_{j.Rd}^{100}$ [%]
	C25/30	C30/37	
h_{ef} = 100mm	7,30	8,05	10,27
h_{ef} = 120mm	8,70	9,60	10,34
h_{ef} = 140mm	8,70	9,60	10,34
h_{ef} = 160mm	7,20	7,95	10,42

vetve megállapítható, hogy a ragasztott dübeles kapcsolat mintegy 30%-kal nagyobb nyomatéki teherbírást biztosít, mint a mechanikus megoldás. Ennek megfelelően a vizsgált konfigurációk közül a legnagyobb nyomatéki teherbírást a ragasztott dübeles, 200 mm befogási mélységű, C30/37 betonminőségű oszlopba ágyazott kapcsolat adta.

A **9. táblázat** a különböző gerenda-oszlop kapcsolatok nyomatéki teherbírását foglalja össze, amely kísérleti úton meghatározott, numerikusan számított és szabványos tervezési eljárással becsült eredményeket egyaránt tartalmaz. A táblázat első két konfigurációja (T2 és T3) az **[1]** hivatkozásban bemutatott öszvérkapcsolatokra vonatkozik, és laboratóriumi kísérletekben mért teherbírási értékeket mutat. Mivel ezek valós mérési eredmények, a későbbi összehasonlítások során referenciaértékként szolgálnak.

A **[3]** hivatkozásban szereplő NI és NC jelölésű kapcsolatok acélgerenda és acéloszlop közötti kapcsolatokra vonatkoznak, amelyek teherbírását numerikus úton határozták meg. Az NC jelölés a Consteel szoftver komponens módszeren alapuló számításait takarja, míg az NI az Idea StatiCa program CBFEM-eljárással (Component-Based Finite Element Method) készített végeselemes modelljeit jelöli. E numerikus módszerek különböző biztonsági tényezőket és idealizált anyagmodelleket alkalmaznak, ami miatt a számított teherbírás jellemzően konzervatív; a tényleges, kísérletileg mérhető teherbírás ennél magasabb is lehet.

A táblázat utolsó két sora az ebben a tanulmányban vizsgált utólagos rögzítésű, acélgerenda-betonoszlop kapcsolatok eredményeit mutatja. A CA jelölés a ragasztott, míg az MA a mechanikus dübelekkel kialakított kapcsolatot jelenti. A p10mm a 10 mm vastag színelő homloklemezt jelöli, a hef pedig az alkalmazott befogási mélységet. Ezeknek a konfigurációknak a nyomatéki teherbírása a Hilti PROFIS Engineering által alkalmazott, az EN 1992-4:2018 **[2]** szabvány szerinti részletes ellenőrzési eljárásból származik, amely több biztonsági tényezőt is tartalmaz. Emiatt a számított teherbírás jellemzően alulbecsüli a valóságban elérhető kísérleti kapacitást.

9. táblázat. *Az öszvérgerenda-acéloszlop* **[1]**, *acélgerenda-acéloszlop* **[3]**, *illetve az acélgerenda és betonoszlop közötti kapcsolatok teherbírási értékei és összehasonlítása*

Kapcsolat	$M_{j.Rd}$ [kNm]	$\Delta M_{j.Rd}^{-T3}$ [%]
T3 [1]	163,10	0
T2 [1]	147,40	−9,62
NC-p10mm [3]	34,00	−79,15
NI-p10mm [3]	31,02	−80,98
CA-p10mm- h_{ef} 200mm-C30/37	12,45	−92,37
MA-p10mm- h_{ef} 140mm-C30/37	9,60	−94,11

A **9. táblázat**ból jól látható, hogy a T3-konfiguráció az abszolút referenciaérték (163,10 kNm). Ehhez viszonyítva az acéloszlop-acélgerenda kapcsolatok nyomatéki teherbírási értékei (NC- és NI-modellek) mintegy 80%-kal kisebbek. Az utólagos rögzítésű kapcsolatok teherbírása pedig további csökkenést mutat: a ragasztott dübeles, 200 mm befogási mélységű konfiguráció 12,45 kNm teherbírást ért el, a mechanikus dübeles megoldás pedig 9,60 kNm-t. Ezek az értékek a referencia T3 kísérleti kapacitáshoz viszonyítva rendre mintegy 92% és 94% mértékű csökkenést jelentenek.

A táblázat eredményei így rámutatnak arra, hogy bár a vizsgált dübeles kapcsolatok megfelelő nyomatékátadási képességgel rendelkeznek, teherbírásuk nagyságrendekkel elmarad az acél- vagy öszvérkapcsolatokétól. A Hilti PROFIS Engineering számításaiban alkalmazott biztonsági tényezők miatt ezek az értékek várhatóan konzervatívak, így a tényleges viselkedés a kísérletekben kedvezőbb is lehetne – ahogy azt a T2 és T3 csomópontok mérései is illusztrálják.

4. Következtetések

A tanulmány célja az acélgerenda és vasbeton oszlop közötti, utólagos rögzítésekkel kialakított színelő homloklemezes kapcsolat nyomatéki teherbírásának vizsgálata volt. A vizsgálat az EN 1992-4:2018 **[2]** szabvány előírásaira épülő analitikus számítások és a Hilti PROFIS Engineering szoftver numerikus eredményeinek összevetésével valósult meg. A két módszer jó egyezést mutatott, ami megerősíti, hogy a szoftver helyesen implementálja a szabvány szerinti ellenőrzéseket, és alkalmas a vizsgált kapcsolati konfigurációk teherbírásának megbízható becslésére.

A parametrikus vizsgálatok rámutattak, hogy a vizsgált kapcsolat nyomatéki teherbírását elsősorban két tényező befolyásolja: a dübelek befogási mélysége és a beton szilárdsági osztálya. A geometriai korlátok (éltávolság, csavarkiosztás) miatt más paraméterek nem voltak módosíthatók.

A ragasztott dübeles kapcsolatok a befogási mélység növelésére érzékenyen reagáltak: a te-

herbírás 100 mm-ről 200 mm-re növelt lehorgonyzási hossz mellett mintegy 66%-kal emelkedett, miközben a tönkremeneteli mód végig szakadó kúpos maradt. A beton szilárdságának C25/30-ról C30/37-re történő növelése további, közel 10%-os kapacitásjavulást eredményezett minden vizsgált mélységnél. A legnagyobb teherbírás 12,45 kNm értékkel a 200 mm befogási mélységű, C30/37 szilárdságú betonra rögzített ragasztott dübeles kapcsolat esetében jelentkezett.

A mechanikus dübelek viselkedése a lehorgonyzási mechanizmus sajátosságai miatt eltérően alakult. Bár 120–140 mm befogási mélységig mintegy 19% teherbírás-növekedés volt tapasztalható, 160 mm-es lehorgonyzásnál a felhasadásos tönkremenetel vált meghatározóvá, ami a teherbírás csökkenését eredményezte. A beton szilárdságának növelése itt is közel 10%-os teherbírás-javulást eredményezett, de a mechanikus rögzítések esetében a korlátot a felhasadás kockázata szabja meg, ami a nagyobb befogási mélységek alkalmazhatóságát korlátozza. A legnagyobb elért kapacitás 9,60 kNm volt ennél a megoldásnál.

A különböző kapcsolattípusok összehasonlítása azt mutatja, hogy a vizsgált utólagos rögzítéssel kialakított beton-acél kapcsolatok teherbírása jelentősen elmarad mind a kísérletileg vizsgált öszvérkapcsolatok (T2, T3), mind a numerikusan elemzett acél-acélkapcsolatok teherbírásától. Ennek oka egyrészt a dübeles kapcsolatok korlátozott teherátadási képessége, másrészt az EN 1992-4:2018 **[2]** szerinti ellenőrzésekben alkalmazott biztonsági tényezők konzervativizmusa, amely a tényleges viselkedést várhatóan alulbecsüli.

Összességében megállapítható, hogy az utólagos rögzítésekkel kialakított acélgerenda és vasbeton oszlop közötti kapcsolatok alkalmasak a nyomatékátadás biztosítására, azonban kapacitásuk a hagyományos acél-acél vagy kompozitkapcsolatokhoz képest lényegesen kisebb. A vizsgálatok ugyanakkor rávilágítanak arra, hogy megfelelő paraméter-választással a kapcsolat teljesítménye optimalizálható, és a rendszer bizonyos mérnöki alkalmazásokban életképes alternatívát kínálhat.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek e külső kutatási projekt keretében nyújtott támogatásáért.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Gil B., Bayo E.: *An Alternative Design for Internal and External Semi-Rigid Composite Joints. Part I: Experimental Research.* Engineering Structures, 2008/30. 218–231. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2007.03.009

[2] EN 1992-4:2018: Design of Concrete Structures-Part 4: Design of Fastenings for Use in Concrete, 2018.

[3] Sütő A. B., Urszuly N., Lőrincz B. A., Nagy Zs., Buru M. Ș.: *Acéloszlop és acélgerenda közötti homloklemezes kapcsolatok viselkedésének analitikus és numerikus vizsgálata.* In: Műszaki Tudományos Közlemények, 22. (2025) 106–109. https://doi.org/10.33895/mtk-2025.22.18

[4] ETA-20/0541: Hilti HIT-RE 500 V4 Injection mortar, 2025.

[5] ETA-98/0001: Hilti HST3 Expansion Anchor, 2023.

[6] EN 1993-1-8:2005: Design of Steel Structures-Part 1-8: Design of joints, 2005.

[7] Das A., Genesio G.: *Steel-to-Concrete Connections Using Post-Installed Systems.* Ver 1.0. Hilti Aktiengesellschaft, Schaan, 2025.

[8] Gubskly A., Figoli R.: *Anchor Fastening Technology Manual.* Hilti Aktiengesellschaft, Schaan, 2023.

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 128–136.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.16
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.16

ÉPÜLETEK ENERGETIKAI TELJESÍTMÉNYE ÉS A HELYI TÜZELŐANYAG-ELLÁTÁS INTEGRÁLT ÉRTÉKELÉSE A HÁTRÁNYOS HELYZETŰ TELEPÜLÉSEK FENNTARTHATÓ FEJLŐDÉSÉBEN

INTEGRATED ASSESSMENT OF BUILDING ENERGY PERFORMANCE AND LOCAL FUEL SUPPLY IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF DEPRIVED RURAL SETTLEMENTS

Varjú Kata,[1] Zilahi Péter[2]

[1] *Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Breuer Marcell Doktori Iskola/ EnergiaDesign Épülettechnológiák Kutatócsoport. Pécs, Magyarország, varju.kata@mik.pte.hu*

[2] *Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Szolidáris Építészet Kutatócsoport. Pécs, Magyarország, zilahi.peter@mik.pte.hu*

Abstract

The energy transition of disadvantaged rural settlements requires cost-effective development approaches based on local resources. This study examines the combined role of energy self-sufficiency and cost-optimal building energy retrofits in sustainable development in 24 settlements in Southern Transdanubia, Hungary. The analysis evaluates a development model that considers the energy performance of the building stock, the fuel demand of households dependent on solid fuels, and the energy supply potential of municipal land across three development scenarios. Results show that local biomass production can supply about 14% of heating demand, while integrating heating system upgrades and building retrofits can increase average self-sufficiency to 73%. Potential municipal CO_2 emission reductions are estimated at 56–81 percentage points.

Keywords*: rural energy transition, energy self-sufficiency, building energy efficiency, biomass energy, short rotation coppice, rural energy poverty, sustainable rural development, building retrofit .*

Összefoglalás

A hátrányos helyzetű vidéki települések energiaátmenete helyi erőforrásokra épülő, költséghatékony fejlesztési megközelítéseket igényel. Jelen tanulmány 24 dél-dunántúli település példáján vizsgálja az energia-önellátás és a költségoptimalizált épületenergetikai korszerűsítés kombinált alkalmazásának potenciálját a fenntartható fejlődésben. A kutatás a települési ingatlanállomány energetikai paramétereire, a fával fűtő háztartások tüzelőanyag-igényére, valamint az önkormányzati zöldfelületek energetikai hasznosítására épülő modellt értékelte három fejlesztési szcenárió mentén. Az eredmények szerint a zöldfelületek energetikai hasznosítása önmagában átlagosan 14%-os energiaellátást biztosít, míg a fűtési rendszerek és épületenergetikai fejlesztések integrálása esetén a települések energia-önellátási potenciálja 73%-ra növelhető. A fejlesztések vonatkozásában a települési CO_2-megtakarítás 56–81 százalékpontban realizálható.

Kulcsszavak*: vidéki energetikai átállás, energia-önellátás, épületek energiahatékonysága, vidéki energiaszegénység, fenntartható vidékfejlesztés, épületállomány-felújítás.*

1. Bevezetés

Az Európai Zöld Megállapodás célkitűzése az európai kontinens klímasemlegességének elérése 2050-ig, mely valamennyi szektorra és ágazatra kiterjedő stratégiai intézkedéseket követel meg. Az Európai Unióban (EU) a lakossági szektor a teljes energiafogyasztás 40%-áért, az üvegházhatású gázok kibocsátásának 36%-áért felelős, melyek mértéke elsősorban a korszerűtlen és energetikailag nem hatékony ingatlanállományhoz vezethető vissza [1]. Az épületállomány energiahatékonyságáról szóló 2024/1275/EU-direktíva [2] előírja a tagállamok számára, hogy nemzeti épületfelújítási stratégiát hozzon létre, melyben definiálja a szükséges intézkedéseket a lakossági dekarbonizáció 2050-ig történő elérése érdekében. A jogszabályi környezet integritása céljából a 2018/1999 kormányzati EU-rendelet [3] előírta, hogy a tagállamok a felújítási stratégiák tartalmát integrálják a Nemzeti Energia- és Klímatervükbe, definiálják azokat a veszélyeztetett csoportokat, akik leginkább kitettek a klímaváltozás hatásainak, és dolgozzanak ki dedikált intézkedéseket az energiakitettség csökkentésére és az ingatlanok energetikai teljesítményének növelésére. Nemrégiben elvégzett tanulmányok megerősítették, hogy ezen kitettség nemzeten belül egyenlőtlenül oszlik el, és jellemzően a vidéki területeken koncentrálódik [4], mely felhívja a figyelmet a nemzeten belüli diverzifikált szakpolitikai döntéshozatal szükségességére. Ezzel szemben egy másik tanulmány rávilágított arra, hogy a marginalizált vidéki régiók – azon belül is a fával fűtő háztartások – a jelenlegi szakpolitikai környezetben erősen alulreprezentáltak, és a fejlesztési prioritásból kirekesztettek [5]. Ezen régiók jellemzően erősen forráshiányosak települési és háztartási szinten is, ebből adódóan a fenntarthatóság felé való elmozdulás szükségszerűen alacsony költségigényű, hosszú távú megoldást kínál, csökkenti a települési CO_2-kibocsátás mértékét, és javítja az életminőséget.

Ezek alapján jelen dolgozat egy adatvezérelt településfejlesztési modell keretében vizsgálja az energia-önellátás és a racionalizált épületenergetikai fejlesztések hatékonyságát a fenntartható fejlődés felé történő elmozdulásban, különös tekintettel a fával fűtő háztartásokra. A tanulmány egyrészről reprezentatív adathalmazok alapján definiálta az ingatlanállomány energetikai teljesítményét, annak körülményeit és éves energiaszükségletét 24 dél-dunántúli hátrányos helyzetű településre vonatkozóan. Másrészről három fejlesztési szcenárió esetében vizsgálta a települési zöldfelületek energetikai célú hasznosításával realizálható emissziócsökkenési, energiahatékonysági és gazdasági teljesítményt.

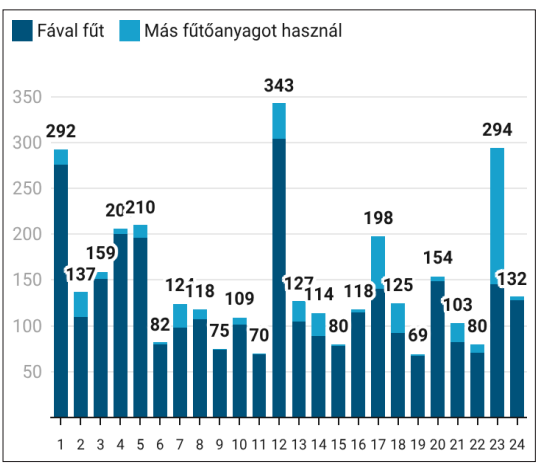
2. Eredmények

2.1. Az ingatlanállomány energetikai paraméterei és becsült éves tüzelőanyagszükséglete

Jelen fejezet az adaptív energia-önellátást célzó fejlesztési modell integrációjának és hatékonyságának alapvető körülményeit tárgyalja, beleértve a települési fejlesztési potenciál mértékét, az ingatlanállomány energetikai teljesítményét és energiaszükségletét. A vizsgálatban részt vevő települések teljes ingatlanállománya 3621 háztartást foglal magában. A legkisebb település 69, a legnagyobb 360 háztartással jellemezhető, átlagosan településenként 126 háztartás jellemzi a mintát. A lakott háztartások aránya a teljes ingatlanállomány vonatkozásában 89%.

A vizsgálati paraméterek szerint jelen kutatás a lakott háztartások közül a fával fűtő háztartásokat vette figyelembe, melyek aránya településtől függően 49–99%, a teljes épületállomány vonatkozásában 84%, az 1. ábrán összegzettek szerint.

A 2. ábra a vizsgált ingatlanállomány építési kor szerinti megoszlását mutatja a nemzeti ingatlanállomány vonatkozásában. Az ingatlanállomány közel 43%-a 80 évvel ezelőtt, vagy korábban épült. Az épületek átlagéletkora 65 év, mely 12 évvel haladja meg a nemzeti ingatlanállomány átla-



1.ábra. *Háztartások száma és a fával fűtő háztartások aránya településenként. Forrás: A szerzők saját szerkesztése KSH-adatok alapján (referenciaév: 2022)* [6].

géletkorát. A települések hátrányos helyzete és az adatbázisok által közölt társadalmi-gazdasági adatok azt sugallják, hogy az épületek korszerűsítése nem vagy csak részlegesen valósult meg, és jellemzően a belső komfortfeltételek javítását célozta (fürdőszoba, mosdó és konyha kiépítése). Ezt alátámasztja a dél-dunántúli régióra vonatkozó energetikai tanúsítványok átlagteljesítménye, mely az észak-magyarországi régióhoz hasonlóan a legkedvezőtlenebb háztartási energetikai teljesítményt deklarálja, éves szinten 251,6 kWh/m² átlagos elsődleges energiaigénnyel [7].

A vizsgált ingatlanállomány átlagos alapterülete 84 m², mely 5 százalékponttal meghaladja a magyarországi lakóépületek átlagos alapterületét. Településtől függetlenül az ingatlanállományt elsődlegesen a 60–99 m² alapterületű ingatlanok, másodlagosan a 100 m²-t meghaladó lakóépületek dominálják a 3. ábrán összegzettek szerint. Az épületek teljes energiaszükségletét tehát egyaránt befolyásolja az ingatlanállomány elavult hőtechnikai teljesítménye és a megnövekedett alapterületből származó többletenergia-szükséglet.

A mintában vizsgált épületek tüzelőanyag-szükségletének súly szerinti becsült mennyisége az épületre vonatkozó energiaszükséglet [7] és a tűzifára vonatkozó egységnyi fűtőérték [8] hányadosával került meghatározásra az alábbi egyenlet szerint:

$$M_F = \frac{A_{AV} \times ePED}{uNCV_{wood}} \tag{1}$$

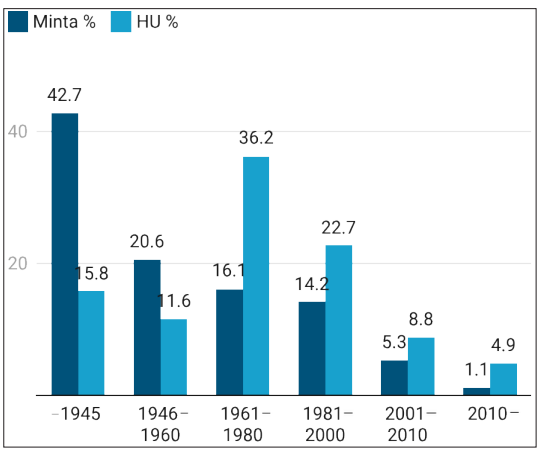
A háztartások átlagos tüzelőanyag-szükségletének térfogat szerinti becsült mennyisége a súly szerinti tüzelőanyag-szükséglet és a tűzifára vonatkozó egységnyi térfogatsűrűségi együttható [9] által került meghatározásra az alábbi egyenlet szerint:

$$V_F = \frac{M_F}{\rho b_{wood}} \tag{2}$$

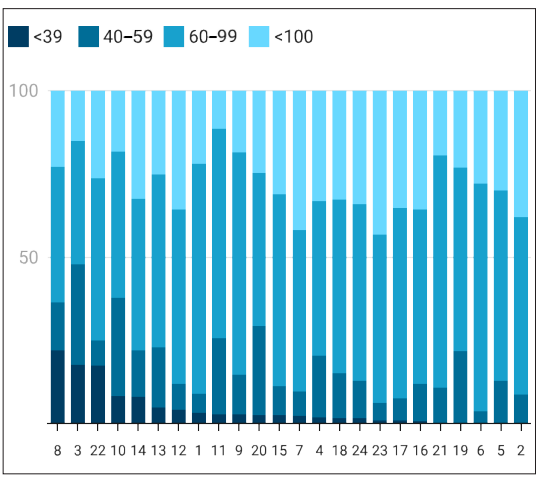
Az (1) és (2) képlet szerint a mintabéli fával fűtő háztartások egy évre vonatkozó tüzelőanyag-szükséglete 4,6 tonna, mely 9,6 m³ térfogatmennyiségben számszerűsíthető. Jelenleg az 57/2013 számú kormányrendelet szerint [10] a hátrányos helyzetű települések fával fűtő háztartásai évenként 1 m³ tűzifa-támogatásra jogosultak az Otthon Melege program keretében, mely eredményeink szerint a háztartások szezonális tüzelőanyag-szükségletének megközelítőleg 10%-át fedezi.

2.2. Az energetikai fejlesztés paraméterei, energetikai kapacitása és körülményei településenként

Az energetikai önellátás és annak kapacitásának vizsgálata a rövid rotációs idejű sarjerdő (RRS) (Short Rotation Coppice Plantation) koncepcióját integrálta. Az RRS jellemzője a gyorsan növő cserje- vagy fafajok (jellemzően nyárfa és fűzfa) sűrű telepítése, melyeket rövid betakarítási ciklusokban, talajszinten vágnak vissza 2–8 évenként [11]. A sarjaztatásos eljárásnak köszönhetően az



2. ábra. *A vizsgált ingatlanállomány építési idő szerinti eloszlása a nemzeti ingatlanállomány vonatkozásában. Forrás: A szerzők saját szerkesztése KSH-adatok alapján (referenciaév: 2022)* [6].



3. ábra. *A vizsgált ingatlanállomány alapterület szerinti eloszlása településenként. Forrás: A szerzők saját szerkesztése a KSH Népszámlálási adatbázis alapján (referenciaév: 2022)* [6].

ültetvények élettartama 25–30 év [11]. A vizsgálati kontextusban az energetikai önellátásból következő illegális tüzelőanyagok használatának potenciális visszaszorításán felül az RRS további, a települési fenntartható fejlődést támogató hozzájárulással jellemezhető: a természetes élőhelyek létrehozásán és azok heterogenitásának és biodiverzitásának növelésén [12] felül az RRS intenzív CO2-megkötési potenciállal és kedvező energiamérleggel jellemezhető [13, 14].

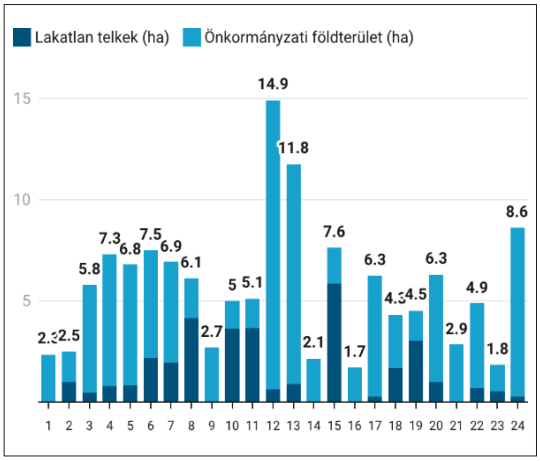
Az RRS-ültetvények fenntartható fejlődésben történő pozicionálása az alacsony mezőgazdasági kapacitású földterületek használatát irányozza elő, mely támogatja az egyensúly fenntartását a környezeti fenntarthatóság, az élelmiszer-ellátás és az energiatermelés között [15, 16, 17]. Ezekkel összhangban a koncepcióba épített önkormányzati marginális földterületek hasznosítása kielégíti a fenntartható területhasználat kritériumait. Ezen területek mértékét, típusait és megoszlásukat településenként a 4. ábra összegzi.

A vizsgálat egyaránt figyelembe vette az önkormányzati tulajdonú zöldfelületek mértékét és a lakatlan ingatlanokhoz tartozó földterületek összességét. A települések hasznosítható zöldfelületeinek mennyiségében jelentős szórás tapasztalható, az átlagos fejlesztésbe bevonható infrastruktúra mértéke 5,7 hektár településenként.

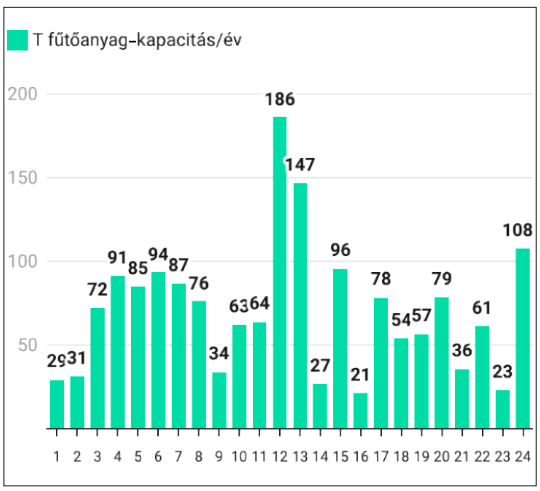
Az RRS-ültetvények hozamát – a többéves rotációs betakarítás ellenére – tonna/ha/év mértékegységgel határozzák meg. A hozam mértékét egyaránt befolyásolják a klimatikus körülmények, a talaj minősége, a csapadékmennyiség és a szakszerű ültetvénygondozás [19]. Körülményektől függően a várható hozam 5–27 tonna/ha/év intervallumban becsülhető 12,5 t/ha/év átlagértékkel. Ezek alapján a települési zöld-infrastruktúra tüzelőanyag-ellátási kapacitása a 5. ábrán összegzettek szerint becsülhető, átlagosan 70,7 tonna évenkénti települési tüzelőanyag-mennyiséggel.

2.3. Vizsgált fejlesztési szcenáriók és hatékonyságuk az energiaönellátásban

Az energia-önellátási potenciál vizsgálata 3 fejlesztési szcenáriómodell alapján valósult meg. A modellek különböző, az épületállomány energetikai teljesítményére és a használt épületgépészeti rendszerre vonatkozó fejlesztéseket foglaltak magukban az 1. táblázatban összegzettek szerint. Az S1 szcenárió az alulhasznosított önkormányzati területek energiakapacitását vette figyelembe. Az S2 szcenárió a lokális energiatermelés mellett integrálta a fával fűtő háztartások tüzelőberendezéseinek korszerűsítését a tü-



4. ábra. *A fejlesztésbe integrált települési zöldfelületek típusai településenként. Forrás: A szerzők saját szerkesztése a KSH Népszámlálási adatbázis alapján (2022) [6] és az Országos Területfejlesztési és Területrendezési Információs Rendszer (TEIR) adatbázis szerint (2021) [18].*



5. ábra. *A fejlesztésbe integrált zöldfelületek energetikai kapacitása településenként tonna mértékegységben kifejezve*

1. táblázat. *A vizsgált szcenáriók integrált fejlesztési paraméterei*

Integrált fejlesztési komponens	S1	S2	S3
Energia-önellátás	x	x	x
Tüzelőberendezés korszerűsítése (modern kályha)	n.a.	x	x
Költségoptimalizált épület- energetikai fejlesztés	n.a.	n.a.	x

zelőanyagmennyiség-felhasználás optimalizálása érdekében. Egy korábbi hatástanulmány szerint [20] a korszerűtlen háztartási fűtőberendezések 36%-os hatásfokával szemben a modern technológiai hátterű vagy eco-design kályhaberendezések 82%-os hatásfokkal írhatóak le, mely 56%-os relatív tüzelőanyag-megtakarításban számszerűsíthető.

Az S3 szcenárió az előző esetekhez képest kiegészül az épületenergetikai teljesítmény költségoptimalizált fejlesztésével. A jelenlegi épületállomány megközelítőleg 251 kWh/m²/év regionális energetikai átlagteljesítménye „G” kategóriába sorolt energetikai tanúsítványnak feleltethető meg [21]. Az S3 szcenárió esetében 110 kWh/m²/év mértékű épületenergetikai teljesítmény figyelembevétele valósult meg, mely egy közepes teljesítményű, „C” besorolású épületenergetikai teljesítményt foglal magában. A gyakorlatban egy ilyen teljesítményű épület korszerűsített nyílászárókkal és közepesen korszerű hőszigeteléssel jellemezhető [2].

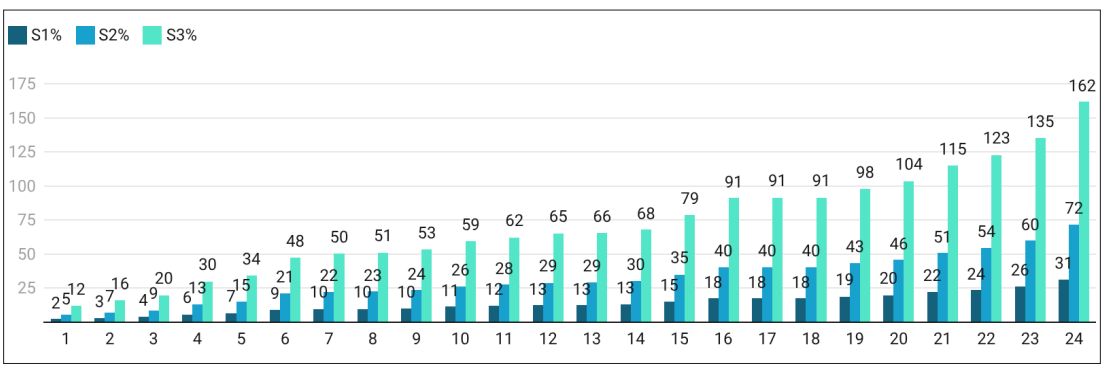
Figyelembe véve az épületek energiaszükségletéből következő tüzelőanyag-szükséglet változó mértékét és a települési energia-önellátási potenciál konstans értékét, meghatározásra került a tüzelőanyag-önellátás részaránya a teljes tüzelőanyag-szükséglet vonatkozásában az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{S1}^{S3} SS\,\boldsymbol{e}\% = \frac{M_F \times \Sigma_n H}{FC_{LAND}} \qquad (3),$$

ahol M_F jelöli a tüzelőanyag-szükséglet súly szerinti egységnyi mennyiségét, $\Sigma_n H$ a háztartások számát, FC_{LAND} pedig a földterületek súly szerinti tüzelőanyag-kapacitását.

A 6. ábra összegzi az S1–S3 szcenáriókra vonatkozó tüzelőanyag-önellátás teljesülésének részarányát településenként. Eredményeink szerint az önkormányzati alulhasznosított zöldfelületek és lakatlan települési ingatlanok energetikai célú hasznosítása önmagában a települési energiaszükséglet töredékét képes fedezni. Annak ellenére, hogy a hasznosításra alkalmas földterületek léptékében jelentős eltérés tapasztalható, ezek energetikai kapacitása a teljes tüzelőanyag-szükséglet vonatkozásában kisebb szórást mutatott. Ezen hasznosítási modell vizsgált településtől függően az energiaszükséglet 2–31%-át képes fedezni, átlagosan a települések energiaszükségletének 14%-át.

Az S2 szcenárió esetében a korszerű tüzelőberendezésből következő tüzelőanyagszükséglet-csökkenés közel 45 százalékponttal növelte a települések energia-önellátásikapacitását az S1 opcióhoz viszonyítva. Az S3 szcenárió esetében vizsgált hőtechnikai és épületenergetikai kombinált fejlesztés 9 település esetében 60% feletti önellátási arányt eredményezett, 1 település esetében pedig meghaladta a település teljes energiaszükségletének kielégítését. Az ezen településekhez tartozó 5–11 hektáros földterületek átlagosan 1,5 hektárral haladják meg a települések átlagos zöld-infrastruktúrájának mértékét. A jól teljesítő települések további sajátossága az ingatlanok alacsony száma, mely településtől függően 69–105 háztartásban mérhető. Ezekkel ellentétben a magas ingatlanszámmal és/vagy alacsony hasznosítható zöldfelülettel rendelkező települések energia-önellátása egyik szcenárió esetében sem biztosítható jelentős mértékben, a vizsgálatba integrált feltételek mentén. Mindazonáltal a legjobb esetű szcenáriómodell szerint a települések átlagosan 73%-os energia-önellátási potenciállal jellemezhetők.



6. ábra. *Az adaptív energia-önellátást célzó fejlesztési modell teljesítményének részaránya a teljes települési tüzelőanyag-szükséglet vonatkozásában az S1–S3 szcenáriókra vonatkozóan*

2.4. Finanszírozási sémák, gazdasági megtérülés és a regionális fejlesztési modell teljesítése a fenntartható településfejlesztésben

A vizsgált integrált településfejlesztési modell gazdasági életképességének és a fenntartható településfejlesztéshez való hozzájárulásának vizsgálata a meglévő finanszírozási séma és az energetikai önellátást célzó településfejlesztési modell költségeinek összehasonlításával valósult meg. A gazdasági megtérülés becslése a 25 évre vonatkozó összköltség összehasonlítását foglalta magában. A meglévő séma esetében a fával fűtő háztartások 1 m³ tűzifasegély ekvivalens költségét, az adaptív modell esetében pedig az RRS telepítési, fenntartási, betakarítási és infrastrukturális költségeit vettük figyelembe a **2. táblázat** szerint. Az RRS létesítési és fenntartási költségei a helyi termelésből és területhasználati sajátosságokból adódóan nem vették figyelembe a fejlesztés földbérleti díját és a tüzelőanyag szállítási költségét. A betakarítás utáni szárításra és feldolgozásra vonatkozó munkafolyamatok infrastrukturális háttereként a meglévő lakatlan ingatlanállomány részleges hasznosítását feltételeztük.

A meglévő szociális finanszírozási séma esetében a teljes költségbecslés az 1 m³ tüzelőanyag-költség és a támogatott háztartások számának szorzatát alkalmaztuk 25 évre vonatkozóan, az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{1}^{n} \bar{C}_{EFS} = uC_{FUEL} \times \Sigma_n H \qquad (4)$$

ahol uC_{FUEL} jelöli az egységnyi tüzelőanyag-költséget, $\Sigma_n H$ pedig a támogatott háztartások számát.

A vizsgált adaptív energia-önellátást célzó fejlesztési modell esetében a **2. táblázat**ban rögzített költségkomponensek szerint valósult meg, figyelembe véve azok gyakoriságát a vizsgálati időhorizont vonatkozásában, az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{1}^{n} \bar{C}_{AEM} = \bar{C}_{ES} + \bar{C}_{R} + \bar{C}_{Y} \qquad (5)$$

ahol $\bar{C}_{ES}$ jelzi a létesítés egyszeri költségét, $\bar{C}_{R}$ jelöli a rotációnként figyelembe vett költségeket (2 évente), C_{Y} pedig az évenkénti költségeket.

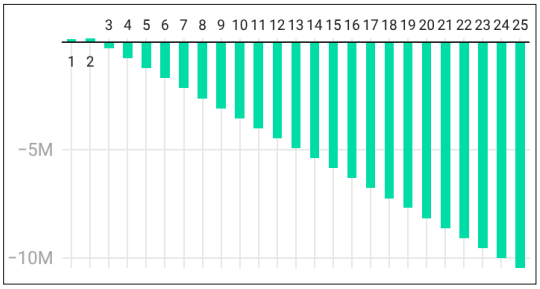
A megtérülési időszak meghatározása a meglévő finanszírozási séma és az adaptív energiamodell különbözete alapján történt. Az eredmények

2. táblázat. *A vizsgált finanszírozási sémák egységnyi költségei. Forrás: A szerzők saját szerkesztése referenciák alapján* **[11, 22]**.

Típus	Egység	Gyakoriság	Költség
Rövid rotációs idejű sarjerdő (RRS) – vizsgált séma			
Teljes létesítési költség			
Helyszíni ellenőrzés	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	42,9
Tervezés		létesítéskor (1 alk.)	42,9
Talaj-előkészítés	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	128,6
Szaporítóanyag	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	256
Ültetés	euró/ha	létesítéskor (1 alk.)	256
Teljes fenntartási költség			
Gyomirtás	euró/ha	évente	100
Növényvédelem	euró/ha	évente	28,6
Tápanyagellátás	euró/ha	évente	114,3
Teljes betakarítási költség			
Vágás	euró/tonna (száraz)	rotációnként	5,7
Szállítás	euró/tonna (száraz)	n.a.	n.a.
Likvidációs költség	euró/ha	rotációnként	257,1
Teljes általános költségek			
Földbérleti díj	euró/ha	n.a.	n.a.
Technikai tanácsadás	euró/ha	évente	28,6
Szociális tűzifa-támogatás – jelenlegi séma			
Teljes beszerzési költség			
Tűzifa	euró/háztartás	évente	168

25 éves időhorizont vonatkozásában, évenkénti bontásban vették figyelembe a teljes bekerülési költséget. A költségbecslés különbözeti eredményeit a (4) és (5) képletek figyelembevételével a **7. ábra** összegzi.

Mivel az adaptív modell a telepítést követően a 3. évben biztosít először tüzelőanyagot, az első két évben a létesítési költségeken felül a meglévő séma folytatólagosságát is figyelembe vettük. Ezek alapján a költségmegtérülés a meglévő sémához viszonyítva a 3. évben teljesül. A rövid



7. ábra. *Az adaptív energia-önellátást célzó települési fejlesztési modell relatív költségmegtérülése a 25 éves vizsgálati ciklusban. Az X tengely jelöli az éves ciklusokat, a – tengely az adaptív modell relatív költségét a meglévő finanszírozási sémához viszonyítva*

távú költségmegtérülés azt is sugallja, hogy a költségkeret optimalizált átcsoportosításával az épületenergetikai fejlesztések egy meghatározó hányada is többletforrás nélkül integrálható a fejlesztési koncepcióba. A 25 éves időintervallumra vonatkozóan a költségmegtakarítás mértéke jelen számítási komponensek szerint meghaladja a 10 millió eurót. Fontos azonban megjegyezni, hogy a számítások nem vették figyelembe az egyes finanszírozási sémákhoz köthető adminisztrációs és munkadíjakat, valamint a tűzifa szállításának és elosztásának költségeit.

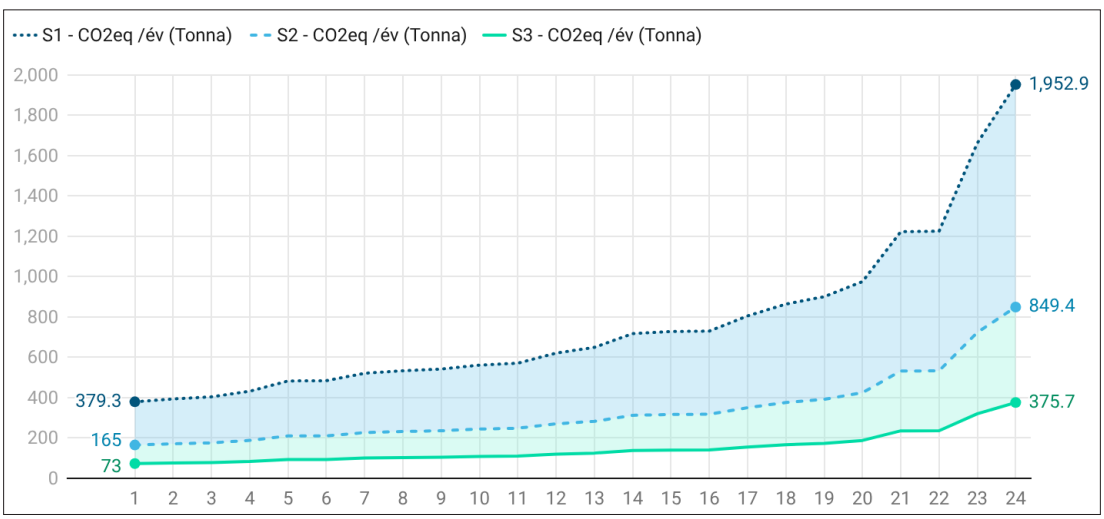
A fenntarthatóság kontextusában a hatástanulmány a gazdasági életképesség elemzésén túl megvizsgálta az S1–S3 fejlesztési szcenáriók CO_2-emisszióra vonatkozó környezeti teljesítményét. A számítás az egyes szcenárióesetekre jellemző települési tüzelőanyag-szükséglet és a tűzifára vonatkozó, égésből származó egységnyi CO2-kibocsátási együttható **[23, 24]** szorzatával került meghatározásra, településenként, az alábbi egyenlet szerint:

$$\sum_{S1}^{S3} Em = M_F \times U_{EM_{wood}}, \tag{6}$$

ahol M_F (kg) jelöli a tüzelőanyag-szükséglet tömegmennyiségét, $U_{EM_{wood}}$ pedig a tűzifa égetéséből származó egységnyi kibocsátási értéket (kg/kg).

A településekre vonatkozó éves CO_2-kibocsátás becsült mértékét a (4) egyenlet szerint a **8. ábra** összegzi.

A becsült fűtésből származó éves háztartási CO_2-kibocsátás eredményeiben nagyságrendi eltérések mutatkoztak a szcenárióesetek függvényében. Az S1 szcenárió kizárólag a tüzelőanyag-önellátást vizsgálta, a tüzelőanyag-szükséglet csökkentése nélkül, ezáltal a becsült kibocsátási érték és a jelenlegi fűtési gyakorlatokból származó emisszió mértéke megegyezik. Az S2-es szcenárió esetében a tüzelőberendezés korszerűsítéséből következő tüzelőanyagszükséglet-csökkenés az éves becsült háztartási kibocsátás átlagosan 56%-os csökkenését eredményezte. Az S3 esetében a racionalizált és optimalizált épületenergetikai korszerűsítésből további 44%-os emissziós csökkenés feltételezhető az S2 szcenárióhoz viszonyítva, 81%-os az S1 szcenárió vonatkozásában.



8. ábra. *Az S1–S3 szcenárióra vonatkozó éves CO_2-kibocsátás becsült mértéke tonna mértékegységben kifejezve, településenként*

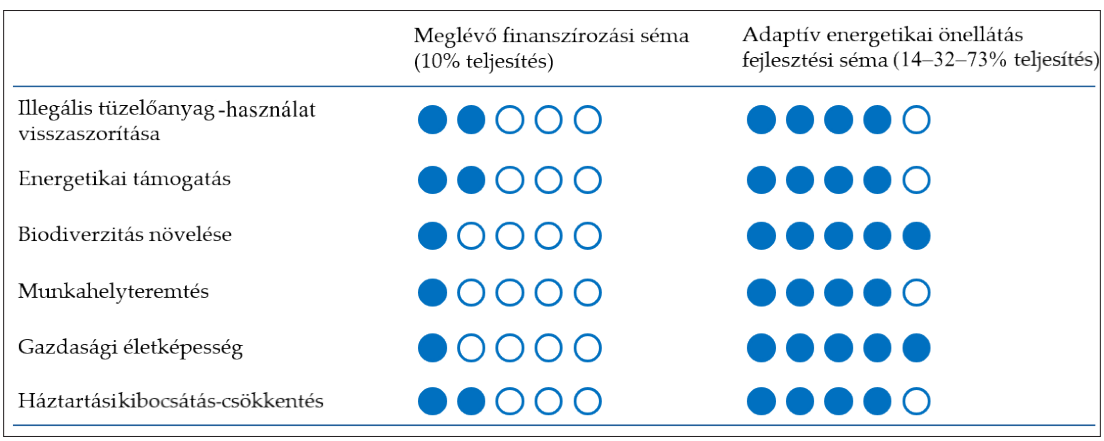
3. Következtetések

A 9. ábrán összegzettek szerint a jelenlegi szociális tüzelőanyag-hozzájárulás sémája elsősorban a háztartások fűtőanyagköltségeinek csökkenését támogatja, ezért alacsony hozzájárulással bír a széles körűbb települési fenntartható fejlődési folyamatokra. Habár a dolgozatban vizsgált fejlesztési modell alapvető célkitűzése a lokális energiaszükségletek kielégítése és a települések energiaszektortól való függőségi helyzetének feloldása, a koncepció több dimenzióban is hatékony eszköze a fenntartható fejlődés felé történő elmozdulásnak. Ezen dimenziók egyaránt érintik a háztartások szocioökonómiai státuszának javítását és a települési energiahasználatból következő környezeti következmények csökkentését.

A szocioökonómiai dimenziók magukban foglalják a háztartási energiaköltségek csökkentését, új munkahelyek létrehozását és az igazodást az igazságos energiaátmenet (Just Transition) szemléletéhez, a helyi erőforrásokra épülő rendszer működtetéséhez köthető 1–3 helyi munkahely létrehozásával. Ezek alapján az alacsony létesítési és fenntartási költség mellett a fejlesztési modell támogatja a háztartások gazdasági stabilitását, hozzájárul az illegális tüzelőanyag-használat visszaszorításához és a települési energiaellátás autonómiájához.

Fontos azonban megkülönböztetni a vizsgálati modell részeként integrált fejlesztési szcenáriók hatékonyságát. A zöldfelületek energiacélú hasznosítása önmagában a decentralizált energiához való hozzáférést és a lakossági energiaköltségek csökkenését támogatja, mely ugyan teljesíti az alapvető fejlesztési célkitűzéseket, de a meglévő szociális energetikai támogatáshoz viszonyítva kismértékben haladja meg annak hatékonyságát a háztartások energiaköltségének csökkentésében. A koncepció környezeti dimenziójának egyik kulcsfontosságú teljesítménymutatója a települési CO_2-kibocsátás csökkentése, melynek elengedhetetlen feltétele az épületállomány energetikai teljesítményének fokozása. Ezen költségoptimalizált fejlesztési komponenseket az S2 és S3 szcenáriók foglalták magukban, melyek által átlagosan 56–81%-os CO_2-emissziócsökkenés becsülhető. Ezen fejlesztések finanszírozása a háztartási és települési szinten is forráshiányos térségekben erősen megkérdőjelezhető. Mindazonáltal, a fejlesztési modell gazdasági életképességre vonatkozó vizsgálatai alátámasztották, hogy a meglévő szociális energiaellátási sémához viszonyítva a 3. évben várható a befektetési megtérülés, ami előirányozza, hogy a jelenlegi költségkeret forrásainak átcsoportosításával az épületenergetikai fejlesztések is többletköltség nélkül integrálhatóak a fejlesztési stratégiába. Azonban ennek költsége és a költségek részaránya a rendelkezésre álló teljes forráskapacitás vonatkozásában további vizsgálatokat igényelnek, melyek túlmutatnak jelen vizsgálat keretrendszerén.

Eredményeink lehetséges szakpolitikai implikációi azt sugallják, hogy a hátrányos helyzetű vidéki térségek energiaátmenetére vonatkozó intézkedések szükségszerűen integrált, települési megközelítést alkalmaznak, és előnyben részesítik a helyi erőforrásokra épülő energiatermelés beágyazását, és egyaránt magukban foglalják a célzott épületenergetikai korszerűsítést és a közösségi finanszírozási mechanizmusokat. Az ilyen, relatív alacsony költségigényű komplex modellek különböző empirikus kontextusokban



9. ábra. *A vizsgált modellek teljesítményértékelése gazdaságosság, környezeti és társadalmi hozzájárulás figyelembevételével*

történő hatékonysága további vizsgálatokat igényel, melyek figyelembe veszik a bontandó és új építésű ingatlanok, valamint a felújítható és felújítandó épületállomány költségigényének települési sajátosságait.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] European Parliament: Energy Efficiency of Buildings: MEPs Adopt Plans to Decarbonise the Sector. 2024. (letöltve: 2025. március 10.) https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20240308IPR19003/energy-efficiency-of-buildings-meps-adopt-plans-to-decarbonise-the-sector

[2] European Parliament, Council of the European Union: Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the Energy Performance of Buildings. 2024.

[3] European Parliament: Regulation on Governance of the Energy Union and Climate Action. 2018.

[4] Bouzarovski S., Tirado Herrero S.: *Geographies of Injustice: the Socio-Spatial Determinants of Energy Poverty in Poland, the Czech Republic and Hungary*. Post-Communist Economies, 29/1. (2017) 27–50. https://doi.org/10.1080/14631377.2016.1242257

[5] Bajomi A. Z., Feldmár N., Tirado-Herrero S.: *Will Plans to Ease Energy Poverty Go up in Smoke? Assessing the Hungarian NECP through the Lens of Solid Fuel Users' Vulnerabilities*. Sustainability, 13/23. (2021) 13047. https://doi.org/10.3390/su132313047

[6] Hungarian Central Statistical Office (HCSO): Census database. 2022. https://nepszamlalas2022.ksh.hu/adatbazis/ (letöltve: 2023. szeptember 15.).

[7] Bene M., Ertl A., Horváth Á., Mónus G., Székely J.: *Estimating the Energy Demand of the Residential Real Estate Stock in Hungary Based on Energy Performance Certificate Data*. Financial and Economic Review, 22/3. (2023) 123–151. https://doi.org/10.33893/FER.22.3.123

[8] Holubčík M., Jandačka J.: *The Effect of Moisture Content of Firewood on the Energy Efficiency of Fireplace Insert and Emission Production in the Combustion Process*. Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 60/2. (2018) 188-196. https://doi.org/10.17423/afx.2018.60.2.18

[9] Cesprini E., Resente G., Causin V., Urso T., Cavalli R., Zanetti M.: *Energy Recovery of Glued Wood Waste – A Review*. Fuel, 262. (2020) 116520. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116520

[10] Decree No. 57/2013 (X. 4.) BM: On Supplementary Support for Local Governments for the Purchase of Fuelwood for Social Purposes. 2013.

[11] Schiberna E., Borovics A., Benke A.: *Economic Modelling of Poplar Short Rotation Coppice Plantations in Hungary*. Forests, 12/5. (2021) 623. https://doi.org/10.3390/f12050623

[12] Riffell S., Verschuyl J., Miller D., Wigley T. B.: *Biofuel Harvests, Coarse Woody Debris, and Biodiversity – A Meta-Analysis*. Forest Ecology and Management, 261/4. (2011) 878–887. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.12.021

[13] Baum S., Bolte A., Weih M.: *Short Rotation Coppice (SRC) Plantations Provide Additional Habitats for Vascular Plant Species in Agricultural Mosaic Landscapes*. BioEnergy Research, 5/3. (2012) 573–583. https://doi.org/10.1007/s12155-012-9195-1

[14] Zitzmann F., Rode M.: *Short-Rotation Coppice Managed According to Ecological Guidelines—What Are the Benefits for Phytodiversity?* Forests, 12/5. (2021) 646. https://doi.org/10.3390/f12050646

[15] Pulighe G. et al.: *Ongoing and Emerging Issues for Sustainable Bioenergy Production on Marginal Lands in the Mediterranean Regions*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 103. (2019) 58–70. https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.043

[16] Mehmood M. A. et al.: *Biomass Production for Bioenergy Using Marginal Lands*. Sustainable Production and Consumption, 9. (2017) 3–21. https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.08.003

[17] Fernández M. J., Barro R., Pérez J., Ciria P.: *Production and Composition of Biomass from Short Rotation Coppice in Marginal Land: A 9-Year Study*. Biomass and Bioenergy, 134. (2020) 105478. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105478

[18] National Regional Development and Spatial Planning Information System (TEIR): Settlement Planning tables. 2021. https://www.oeny.hu/oeny/teir/#/tablo/5 (letöltve: 2022. augusztus 7.).

[19] Alaejos J., Tapias R., López F., Romero D., Ruiz F., Fernández M.: *Biomass Production and Quality of Twelve Fast-Growing Tree Taxa in Short Rotation under Mediterranean Climate*. Forests, 14/6. (2023) 1156. https://doi.org/10.3390/f14061156

[20] Warren M., Jack S.: *Potential Impacts of Bioenergy Policy*. IEA Bioenergy Task 39 Report T39-P3. (2008)

[21] Gali A.: *Energetikai tudástár*. Országos Tanúsító Központ. 2026. https://otk.hu/blog/energetikai-osztaly-g (letöltve: 2026. január 10.).

[22] Mecsekerdő Zrt.: *Faanyag, tűzifa*. https://mecsekerdo.hu/fenntarthato-gazdalkodas/tuzifa/ (letöltve: 2025. november 12.).

[23] Evtyugina M. et al.: *VOC Emissions from Residential Combustion of Southern and Mid-European Woods*. Atmospheric Environment, 83. (2014) 90–98. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.050

[24] Żukowski W., Jankowski D., Wrona J., Berkowicz-Płatek G.: *Combustion Behavior and Pollutant Emission Characteristics of Polymers and Biomass in a Bubbling Fluidized Bed Reactor*. Energy, 263. (2023) 125953. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125953

Műszaki Tudományos Közlemények vol. 24. (2026) 137–150.
DOI: Magyar: https://doi.org/10.33895/mtk-2026.24.17
Angol: https://doi.org/10.33894/mtk-2026.24.17

AZ EME MŰSZAKI TUDOMÁNYOK SZAKOSZTÁLYÁNAK 2025. ÉVI TEVÉKENYSÉGE. ELNÖKI TÁJÉKOZTATÓ

ANNUAL REPORT OF THE TECHNICAL SCIENCES DEPARTMENT OF THE TRANSYLVANIAN MUSEUM SOCIETY – 2025. PRESIDENTIAL SUMMARY

Bitay Enikő

Az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya elnöke, bitay.eniko@eme.ro

**Ezen jelentés elérhető az Erdélyi digitális adattárban (EDA): https://eda.eme.ro/handle/10598/34721*
A hozzá tartozó fényképes bemutató uo. tekinthető meg: https://eda.eme.ro/handle/10598/34720

Abstract

The Department of Technical Sciences of the Transylvanian Museum Society in 2024 continued its mission to integrate research, scientific events, publication, and professional community building. The activities supported or organized by the section reflected the dynamic presence of technical sciences in Transylvania and their evolving directions. Ongoing industrial heritage research, field documentation, and projects involving university students and PhD candidates strengthened the section's engagement with both the academic sphere and the wider public. The year was also marked by productive collaborations and an emphasis on publication, science communication, and support for the next generation of researchers.

Keywords: *technical sciences, scientific events, industrial heritage research, community engagement, publication activities.*

Összefoglalás

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya 2025-ben is törekedett arra, hogy a tudományos élet különböző formáit – kutatás, konferenciaszervezés, publikálás, közösségépítés – egységben képviselje. A szakosztály által kezdeményezett vagy támogatott rendezvények, kutatások és kiadványok átfogó képet adnak a műszaki tudományok erdélyi jelenlétéről és fejlődési irányairól. Az év során folytatódtak a helyi ipartörténeti kutatások, terepi dokumentálások, egyetemi hallgatókat és doktoranduszokat bevonó projektek, és újabb együttműködések erősítették a közösségi és szakmai jelenlétet. A publikációs tevékenység, a tudomány-népszerűsítés, valamint a szakmai utánpótlás támogatása továbbra is kiemelt szerepet kapott.

Kulcsszavak: *műszaki tudományok, tudományos rendezvények, ipartörténeti kutatás, közösségi jelenlét, publikációs tevékenység.*

1. Bevezetés

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya 2025-ben is aktív szerepet vállalt a műszaki tudományos élet szervezésében, a kutatások támogatásában és az eredmények bemutatásában. A szakosztály munkája a tudományos rendezvények megszervezésétől a kutatási programok ösztönzésén és a publikációs tevékenységen át a fiatal kutatók bevonásáig terjedt, miközben tovább erősödtek a Kárpát-medencei szakmai kapcsolatok és együttműködések.

A szakosztály 2025-ben is gazdag szakmai programot valósított meg. Nemzetközi tudományos fórumokat szervezett – köztük a XXX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszakát (FMTÜ) és a XXVI. Műszaki Tudományos Ülésszakot (MTÜ) –, valamint tudomány-népszerűsítő előadásokat és szakmai tábort rendezett. A kutatási eredmények közzététele továbbra is a szakosztály kiadványsorozataiban (MTF, MTK, TTF, IF) és folyóirataiban (AMT) történt, amelyek az EME elektronikus

† *Jancsó Árpád (1954–2025)*

Hollanda Dénes professzor

könyvtárában,[1] az Erdélyi digitális adattárban (EDA)[2], valamint nemzetközi adatbázisokban is hozzáférhetők.

A szakosztály folytatta a Műszakis nagyjaink programot, az ipartörténeti emlékek feltárását és megőrzését célzó kezdeményezéseket, valamint a tudomány- és technikatörténeti kutatásokat. A rendezvényekről készült részletes, fényképes beszámolók az EME intézményi tárában, az EDA felületén érhetők el,[3] illetve a szakosztály YouTube-csatornáján is megtekinthetők.[4]

Tisztelet elődjeink előtt. 2025-ben is búcsút kellett vennünk néhány tagtársunktól és olyan kiváló személyiségektől, akik az elmúlt években aktívan részt vettek szakosztályunk munkájában. Tisztelettel emlékezünk †Jancsó Árpád műszaki szakíróra, egykori kollégánkra, aki 2025. április 15-én távozott közülünk.[5] Az ipartörténeti kutatások és adatgyűjtések elkötelezett támogatójaként munkásságát több kötetben is közreadta a *Tudomány- és Technikatörténeti Füzetek* sorozatban.
Akikre büszkék vagyunk. 2025-ben több, a szakosztályhoz és az EME közösségéhez kötődő kiváló szakember részesült rangos szakmai elismerésben, ami egyúttal visszajelzése a műszaki tudományok terén végzett értékes munkának és közösségépítő tevékenységnek. Elismeréssel emeljük ki, hogy Bernády-emlékplakettel tüntették ki Hollanda Dénes professzort, az Erdélyi Múzeum-Egyesület alapító tagját, több évtizedes mérnöktanári, egyetemszervezői és közösségépítő tevékenységéért.[6]

A szakosztály 2025. évi tevékenységének áttekintése kronológiai sorrendben.

Az év első kiemelkedő eseményére 2025. január 21-én került sor az MTA Könyvtár és Információs Központban, ahol ismertették az Erdélyi Múzeum-Egyesület 2024-ben megjelent kiadványait. A rendezvényen Bitay Enikő bemutatta az Erdélyi Múzeum folyóirat digitalizálásának történetét.[7]

Az MTSZ 2025. évi rendes közgyűlése.[8] A szakosztály 2025. évi rendes közgyűlését január 28-án tartották meg. Az ülésen elfogadták a 2024. évi tevékenységi beszámolót és a 2025-re vonatkozó munkatervet, valamint megválasztották a szakosztály új vezetőségét. A közgyűlés keretében bemutatták a szakosztály gondozásában 2024-ben megjelent könyveket és folyóiratokat is.

A közgyűlést követően bemutatták a *Műszaki Tudományos Füzetek* sorozat legújabb kötetét: Egyed-Faluvégi Erzsébet, Tolvaly-Roșca Ferenc és Hollanda Dénes *Forgácsolás és szerszámgépeken generált felületek alapjai* című munkáját.[9] A kötetet Máté Márton, a szakosztály alelnöke ismertette, kiemelve, hogy a kiadvány a gépészmérnöki képzés alapozó és szaktárgyai közötti kapcsolat

1 https://www.eme.ro/publication-hu/

2 https://eda.eme.ro/handle/10598/58

3 Szakosztályok tára, az V. Műszaki Tudományok Szakosztálya: https://eda.eme.ro/handle/10598/14940

4 https://www.youtube.com/channel/UCmC3XXbKx91_OjUMMuzQ1Aw

5 *Elhunyt Jancsó Árpád.* https://www.eme.ro/hir/elhunyt-jancso-arpad

6 *Dr. Hollanda Dénes Bernády-emlékplakettben részesült.* https://www.eme.ro/hir/dr-hollanda-denes-bernady-emlekplakettben-reszesult

7 Az esemény híre az EME honlapján: https://www.eme.ro/esemeny/az-eme-2024-es-ev-kiadvanyainak-es-a-150-eves-erdelyi-muzeum-digitalizalasanak-bemutatoja

8 Az EME Műszaki Tudományok Szakosztály 2025. évi közgyűlése: https://www.eme.ro/esemeny/az-eme-muszaki-tudomanyok-szakosztaly-2025-evi-kozgyulese

9 A könyvbemutató hirdetése az EME honlapján: https://www.eme.ro/esemeny/konyvbemutato-egyed-faluvegi-erzsebet-tolvaly-rosca-ferenc-es-hollanda-denes-forgacsolas-es

erősítését szolgálja, különös tekintettel a forgácsolási folyamatok elméleti és gyakorlati összefüggéseire.

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület és a Sapientia EMTE közös szervezésében 2025. február 13-án a Sapientia EMTE kolozsvári karának díszteremben bemutatták Miholcsa Gyula *Bolyai Farkas* című filmjét.[10] A vetítés Bolyai Farkas születésének 250. évfordulója alkalmából valósult meg, és az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek a Magyar Tudományos Akadémia fennállásának 200. évfordulójához kapcsolódó rendezvénysorozatának első programja volt, az Erdélyi magyar akadémikusok arcképcsarnoka projekt keretében.

A XXX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka. A szakosztály éves programjának egyik legjelentősebb eseménye a Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, amelyet 2025-ben jubileumi, harmincadik alkalommal rendeztek meg. A három évtizeddel ezelőtt elindított kezdeményezés mára olyan rangos tudományos fórummá vált, amely generációkat kapcsol össze, és fontos szerepet tölt be a fiatal kutatók szakmai bemutatkozásában, valamint a műszaki tudományok eredményeinek közvetítésében.

A XXX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka 2025. március 20–21. között zajlott.[11] A konferenciát az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya, a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Kara és az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész- és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara közösen szervezte.[12] A rendezvény fővédnöke Kollár László Péter akadémikus, az MTA főtitkára volt, örökös tiszteletbeli védnöke pedig a néhai † Gyulai József akadémikus. A tudományos fórumot Bitay Enikő, az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának elnöke, Domokos József, a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Karának dékánja, valamint Györök György egyetemi tanár, az Óbudai Egyetem Alba Regia Karának dékánja nyitotta meg.

Mérnöki Intézetaz Óbudai Egyetem professzora nyitották meg. A megnyitót követően Kollár László Péter akadémikus videóüzenetben köszöntötte a résztvevőket.[13]

A megnyitót követően köszöntőt mondott Dinya Judit, Magyarország Kolozsvári Főkonzulátusának képviseletében, Mihályfalvi Katalin, az RMDSZ oktatásért felelős ügyvezető alelnöke, valamint Nagy-György Tamás, a Temesvári Műszaki Egyetem professzora és Szigeti Ferenc, a Nyíregyházi Egyetem képviselője.

A plenáris ülésen négy neves kutató tartott előadást: Imre Sándor professzor (Magyar Tudományos Akadémia, a Műszaki Tudományok Osztályának elnöke) a kvantumszámítás-technika alapjairól, Györök György professzor, az Óbudai Egyetem Alba Regia Karának dékánja programozható analóg áramkörök alkalmazásáról, Major Zoltán professzor (Johannes Kepler Egyetem, Linz) mik-

10 Miholcsa Gyula: *Bolyai Farkas* – a filmvetítés hirdetése az EME honlapján: https://eme.ro/esemeny/miholcsa-gyula-bolyai-farkas-cimu-filmjenek-vetitese

11 A fórum honlapja: https://www.eme.ro/fmtu/

12 XXX. Jubileumi Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka – felhívása (2025. 01. 28.): https://eme.ro/hir/xxx-jubileumi-fiatal-muszakiak-tudomanyos-ulesszaka-felhivas

13 Kollár László Péter köszöntőbeszéde itt tekinthető meg: https://www.youtube.com/watch?v=iiwz2w0HnZE

rocellás polimeranyagok tervezéséről és vizsgálatáról, valamint Nagy-György Tamás professzor (Temesvári Műszaki Egyetem) kutatási eredmények szerkezettervezésben való felhasználásáról tartott plenáris előadást. A plenáris előadásokat Bitay Enikő és Réger Mihály egyetemi tanárok vezették.

A plenáris előadásokat követően ünnepi díjazásokra került sor. A Fides et Vocatio kitüntetést olyan hazai és külföldi szakemberek kaphatják, akik tudományos munkájukkal és aktív szerepvállalásukkal jelentősen hozzájárulnak az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának célkitűzéseihez, ösztönözve a fiatal műszaki tehetségek bevonását és támogatva a Kárpát-medencei tudományos utánpótlás megerősítését.

Fides et Vocatio kitüntetésben részesült Réger Mihály,[14] az Óbudai Egyetem professzora az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya iránt tanúsított elkötelezettségéért, valamint a Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka szervezésében és a tudományos utánpótlás támogatásában végzett értékteremtő munkájáért. A kitüntetettet Bitay Enikő laudálta.[15]

A Gyenge Csaba-emlékdíjat[16] Gergely Attila Levente kapta kiemelkedő kutatási tevékenysége és a konferencián bemutatott előadása elismeréseként. A díjat Bitay Enikő és Máté Márton adták át, [17]a díjazottat Bitay Enikő laudálta.[18]

A fiatal, 35 év alatti kutatóknak járó Maros Dezső-díjat[19] Sánduly Annabella, a Kolozsvári Műszaki Egyetem építészmérnök-doktoranduszа nyerte el eddigi kimagasló kutatási tevékenységéért. A díjat Bitay Enikő adta át[20], a díjazottat Nagy Zsolt laudálta.[21]

A délutáni program keretében hat párhuzamos szekcióülésre került sor az EME székházában, valamint a Sapientia EMTE Kolozsvári Karának épületében. A szekciók az anyagtudomány, a biztonságtudomány és gépészet, az informatika és technikatörténet, a környezetvédelem, valamint az építészet témaköreit ölelték fel. A konferencia idén is jelentős érdeklődés mellett zajlott: 134 szerző összesen 60 tanulmányban ismertette kutatási eredményeit 15 intézmény képviseletében. A tudományos bizottság által elfogadott, lektorált dolgozatok magyar nyelven nyomtatott és online formában, angolul pedig online felületen jelennek meg a *Műszaki Tudományos Közlemények*[22] és az *Acta Materialia Transylvanica*[23] folyóiratok 2025. évi számaiban. A szekcióülések munkáját hat szekcióban, összesen tizennyolc felkért szekcióelnök irányította.[24]

A jubileumi konferencia ismét bizonyította, hogy a Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka a Kárpát-medencei magyar műszaki kutatások egyik fontos találkozási fóruma, amely évről évre lehetőséget teremt a fiatal kutatók bemutatkozására és a szakmai együttműködések erősítésére.

Erdélyi barangolás. A konferencia második napján a résztvevők az Erdélyi barangolás hagyományos programján vettek részt, amely lehetőséget kínált egy-egy vidék tájainak, építészetének, szokásainak, gasztronómiájának és életformájának közelebbi megismerésére. A körutat Talpas János programvezető szakszerű irányítása tette tartalmassá és élményszerűvé. Az idei útvonal – Kolozsvár → Marosvásárhely → Szováta → Andrástelke → Kolozsvár – ismét nagy érdeklődésnek örvendett. A program ezúttal is jó alkalmat teremtett a résztvevők számára a kötetlen szakmai eszmecserére és a személyes kapcsolatok erősítésére.

A XXX. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka programfüzete[25] és részletes fényképes beszámolója[26] elérhető az Erdélyi digitális adattárban. A beszámolót kiegészítő fotóalbum élethűen idézi fel az esemény legfontosabb pillanatait. A rendez-

14 A díjazásról itt tudósítunk: https://www.eme.ro/hir/fides-et-vocatio-kituntetest-kapott-reger-mihaly-az-obudai-egyetem-professzora

15 Réger Mihály laudációja a Fides et Vocatio kitüntetésre: https://eda.eme.ro/handle/10598/34233

16 Az oklevél itt érhető el: https://eda.eme.ro/handle/10598/34230

17 A díjazásról itt tudósítunk: https://www.eme.ro/hir/dr-gyenge-csaba-emlekdijat-kapott-gergely-attila-levente-egyetemi-docens

18 *Gergely Attila-Levente ajánlása Dr. Gyenge Csaba-emlékdíjra.* https://eda.eme.ro/handle/10598/34229

19 Az oklevél itt érhető el: https://eda.eme.ro/handle/10598/34228

20 A díjazásról itt tudósítunk: https://www.eme.ro/hir/sanduly-annabella-kiemelkedo-kutatasi-tevekenysegeiert-maros-dezso-dijban-reszesult

21 A laudáció itt olvasható: https://eda.eme.ro/handle/10598/34230

22 https://www.eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.htm, https://www.eme.ro/publication/mtk/mtk-main.htm

23 https://www.eme.ro/publication-hu/acta-mat/mat-main.htm, https://www.eme.ro/publication/acta-mat/mat-main.htm

24 Szekcióelnökök névsorba rendezve: Csavdári Alexandra, Darvay Zsolt, Egyed-Faluvégi Erzsébet, Fábián Enikő, Forgó Zoltán, Gergely Attila, Gobesz F.-Zsongor, Gonda Viktor, Horváth Richárd, Jakab-Farkas László, Kakucs András, Kovács Tünde Anna, Máté Márton, Nagy-György Tamás, Réti Tamás, Szigeti Ferenc, Tóth László, Varga Péter.

25 https://eda.eme.ro/handle/10598/33731.2

26 https://eda.eme.ro/handle/10598/34813

vényről kép- és filmfelvétel is készült Tóth Orsolya közreműködésével.[27]

EME-közgyűlés. Március 29-én a Műszaki Tudományok Szakosztálya is részt vett az EME közgyűlésén, ahol az előző évi tevékenységek értékelésére és bemutatására került sor, valamint a további rendezvények és programok szakosztályszintű megbeszélésére is lehetőség nyílt.

Könyvbemutató. Rostás Zoltán háromkötetes, *Beszélő dokumentumok*. Interjúk A *Hét* tudományrovatából című interjúsorozatát 2025. április 9-én mutatták be a Sapientia EMTE Fő téri épületének Kallós Zoltán termében, a Kriterion szervezésében.[28] A több mint 220 interjút és mintegy 1500 oldalt felölelő munka kolozsvári bemutatóján a szerző és beszélgetőtársai idézték fel az interjúk keletkezésének körülményeit és jelentőségét. A kötetek méltatására Bitay Enikőt kérték fel, aki hozzászólásában kiemelte azok történeti, szakmai és etikai értékeit, valamint a műszaki értelmiség munkájának összetettségét és közösségformáló szerepét.[29]

EME-vándorgyűlés. Az Erdélyi Múzeum-Egyesület (EME) idei vándorgyűlését 2025. április 11–12. között tartották meg Sepsiszentgyörgyön, a Fidelitas Szállodában. Az esemény méltó folytatása volt annak a hagyománynak, amelyet az EME 1906 és 1943 között Erdély különböző városaiban szervezett tanácskozásaival alakított ki.[30]

Tehetséghíd konferencia. Szintén 2025. április 11–12. között került megrendezésre a Tehetséghíd konferencia,[31] amelynek fővédnöke Bitay Enikő volt. Köszöntőbeszédében a tehetséggondozás és a fiatal kutatók támogatásának jelentőségét hangsúlyozta, kiemelve a generációk, intézmények és tudományterületek közötti együttműködés fontosságát.[32]

2025. május 12-én ünnepélyes megnyitóval vette kezdetét a **határon túli magyar tudományos intézetek és szervezetek ünnepi hónapja** a Magyar Tudományos Akadémia felolvasótermében.[33] Bitay Enikő, az EME elnöke ismertette az Erdélyi Múzeum-Egyesület és az Akadémia közös múltját, majd szó esett többek között a Jakó Zsigmond Kutatóintézet forráskutatási programjáról, valamint az erdélyi helynévkutatásról. A programot fiatal kutatók kisfilmjei és az EME Kiadó bemutatkozása színesítette, ezt követően több kiemelkedő tudós munkásságát is elismeréssel jutalmazták. A nap folyamán megnyílt az *Erdélyi magyar akadémikusok arcképcsarnoka* című kiállítás, levetítették Miholcsa Gyula *Bolyai Farkas* című filmjét, majd a felújított díszteremben barokk koncertet hallhatott a közönség.[34]

XXVI. Műszaki tudományos diákköri konferencia. Május 16–18. között Temesváron került sor a XXVI. műszaki tudományos diákköri konferenciára, amelyet a Temesvári Magyar Diákszövetség, a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Karának Hallgatói Önkormányzata és az Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Tanács szerve-

27 A rendezvény videófelvételét az MTSZ YouTube-csatornáján utólag is megtekintheti, mely itt lesz elérhető, Tóth Orsolya filmes kolléganő jóvoltából: https://www.youtube.com/channel/UCmC3XXbKx91_OjUMMuzQ1Aw

28 https://eme.ro/hir/rostas-zoltan-interjukotete-it-az-eme-elnoke-is-meltatta,

29 https://eme.ro/sites/default/files/inline-files/2025-04-09-RostásZ-Könyvbemutató-BE-cc_0.pdf

30 https://www.eme.ro/hir/beszamolo-az-erdelyi-muzeum-egyesulet-vandorgyuleserol-sepsiszentgyorgy-2025-aprilis-11-12

31 https://www.eme.ro/esemeny/tehetseghid-konferencia

32 Bitay Enikő: *Köszöntő a IV. Tehetséghíd konferencia résztvevőinek*: https://eme.ro/sites/default/files/inline-files/2025-04-12-IVTehetseghidKonf.Koszonto-BE-EME.pdf

33 Beszámoló a MTA 200 éves évfordulójára szervezett EME rendezvényről: https://www.eme.ro/hir/beszamolo-a-mta-200-eves-evfordulojara-szervezett-eme-rendezvenyrol

34 Az ünnepi megnyitó teljes galériája: https://www.flickr.com/photos/mtasajto/albums/72177720326060555/with/54515684614

zett.[35] A rendezvény célja a hallgatói tudományos tevékenység ösztönzése és a pályamunkák bemutatásának támogatása volt. Az eseményhez támogató partnerként az Erdélyi Múzeum-Egyesület is csatlakozott. A megnyitón Bitay Enikő, az EME elnöke mondott köszöntőt, amelyben a diákköri mozgalom jelentőségét és a fiatal kutatók számára biztosított bemutatkozási lehetőségek fontosságát hangsúlyozta.[36]

Magyar műszakis ballagás. Tizenharmadik alkalommal került sor május 28-án a Magyar műszakis ballagásra[37] Kolozsváron, a Kolozsvári Műszakis Klub (KMK) és az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya szervezésében. A rendezvényen közel ötven magyar végzős hallgató búcsúzott a Kolozsvári Műszaki Egyetem különböző karairól.[38] A végzősökhöz Bitay Enikő, akadémikus biztató szavakkal fordult, hangsúlyozva, hogy bennük rejlik a lehetőség: kitartó munkával, elhivatottsággal és szenvedéllyel a tudomány, a kultúra vagy választott hivatásuk kiemelkedő alakjaivá válhatnak. Sebestyén-Pál György, a Kolozsvári Műszaki Egyetem Automatizálás és Számítástechnika Karának dékánhelyettese immár kollégákként köszöntötte a hallgatókat. Gobesz F. Zsongor, a KME Építőmérnöki Karának professzora arra emlékeztette őket, hogy a tudás hatalom, és ezt a hatalmat már azzal is bizonyították, hogy éveken keresztül a szakmai fejlődés útját választották. A Kolozsvári Magyar Diákszövetség felelős vezetőtanácsának tagja, Ambrus Réka megköszönte a hallgatók aktív részvételét a KMK életében, míg Fekete Mátyás, a KMK elnöke biztató gondolatokkal búcsúzott végzős társaitól.

A meghitt beszédeket követően zenei műsor következett: Nagy Bence, Miklós Botond, Duda Martin és Puskás Gergő kalotaszegi muzsikával ajándékozták meg a közönséget. A rendezvényt Szilágyi Amália saját szerzeményű slam poetryje zárta, amely humorral és érzelemmel idézte fel a közösen eltöltött egyetemi éveket, a mindennapok élményeit és a műszakis lét sajátos világát.

Előadás az MTA Műszaki Tudományok Osztályának ülésén. 2025. június 19-én 14 órakor tartotta ülését a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya az MTA Könyvtár és Információs Központ konferenciatermében. Az eseményen az osztály meghívására Bitay Enikő, az MTA külső tagja tartott előadást *Az Erdélyi Múzeum-Egyesület a tudomány szolgálatában* címmel.[39]

Interjúkészítés, ipartörténeti emlékek gyűjtése. A szakosztály kiemelt figyelmet fordít a műszaki örökség megőrzésére, az ipartörténeti emlékek feltárására és a mérnöki életpályák dokumentálására. Ennek jegyében 2025-ben is folytatódott az interjúkészítés és hagyatékátvétel programja, amelynek során meghatározó mérnöki életutak kerültek rögzítésre. A nyári időszakban a kolozsvári Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalathoz (IEIA) kötődő szakmai emlékek feldolgozására került sor. Július és augusztus folyamán számos egykori munkatárs – tervezőmérnökök, kutatók és gazdasági szakemberek – osztotta meg személyes visszaemlékezéseit, hozzájárulva az intézet ipartörténeti jelentőségének feltárásához.

Július 11-én Veres Károly villamosmérnök, vállalkozó, július 14-én dr. Grünwald Ernő vegyészmérnök kutató volt a vendégem. Július 28-án Szuflárszky Ferenc, egykori üzemvezető mérnök, augusztus 7-én pedig Demeter Miklós részlegvezető osztotta meg emlékeit az Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalatról.

Szeptember 19-én Matzak Edith építészmérnök életinterjúját készítettem Kolozsváron tartózkodása idején (Németországban él), amely során édesapja, Binder Parti Szilárd Titusz, a Tehnofrig

35 *Bitay Enikő elnök képviselte az EME-t a temesvári XXVI. MTDK-n*: https://www.eme.ro/hir/bitay-eniko-elnok-kepviselte-az-eme-t-a-temesvari-xxvi-mtdk

36 Bitay Enikő: *Megnyitóbeszéd a XXVI. Műszaki tudományos diákköri konferencián, Temesvár, 2025. május 17.*: https://www.eme.ro/sites/default/files/inline-files/2025-05-17-26.MTDK-Temesvar-Megnyitobeszed-BE.pdf

37 Az esemény felhívása: https://www.eme.ro/esemeny/xiii-magyar-muszakis-ballagas

38 Az esemény beszámolója: *Útravalóval, tudással a jövőbe - XIII. magyar műszakis ballagás:* https://www.eme.ro/hir/utravaloval-tudassal-a-jovobe-xiii-magyar-muszakis-ballagas

39 Az esemény híre: *Bitay Enikő meghívott előadó az MTA Műszaki Tudományok Osztálya ülésén.* https://www.eme.ro/hir/bitay-eniko-meghivott-eloado-az-mta-muszaki-tudomanyok-osztalya-ulesen

egykori mérnökének életútjába is betekintést nyerhettünk.

Szeptember 28-án Pallós Krisztina, Németországban élő építészmérnök életútját jártuk be; édesanyja, Pallós Jutta születésének 100. évfordulója alkalmából a kolozsvári Művészeti Múzeumban rendezett kiállítás jó alkalmat kínált az interjú elkészítésére. A beszélgetés során édesanyja életéről és munkásságáról is szó esett, miközben felidéződtek édesapja, Pallós István emlékei is, aki nyugdíjazásáig szintén a Tehnofrig mérnökeként dolgozott.

Az elkészült interjúk és összegyűjtött dokumentumok értékes forrásanyagot jelentenek az erdélyi ipar- és technikatörténeti kutatások számára, egyben hozzájárulnak a műszaki örökség feltárásához és a mérnöki életpályák emlékezetének megőrzéséhez.

Kolozsvár XX. századi ipartörténetének emlékei. Az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya tizenhetedik alkalommal szervezte meg a Kolozsvár XX. századi ipartörténetének emlékei című ipartörténeti előadás-sorozatát a 16. Kolozsvári Magyar Napok keretében, augusztus 19-én az EME székházában. Az idei találkozó az Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalat (IEIA) történetét és emlékeit állította a középpontba. A rendezvényt Bitay Enikő, az EME és a szakosztály elnöke nyitotta meg, röviden áttekintve az ipartörténeti kutatások tizenhét éves programját és az összegyűjtött anyagok digitalizálásának folyamatát az Erdélyi digitális adattárban.

Az eseményen Veres Károly Az Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalat tündöklése

és hanyatlása című előadásában a vállalat történetének főbb szakaszait mutatta be, míg dr. Grünwald Ernő A galvántechnika szerepe a volt Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalatnál című előadásában a gyár technológiai hátterét ismertette. A rendezvény alkalmat adott az egykori munkatársak találkozására és személyes visszaemlékezéseinek megosztására is. Szuflárszky Ferenc, Demeter Miklós, Mircea Buzdugan, Zimán Anikó, Koch István és Selinger Sándor felidézték a vállalatnál töltött éveiket, kiemelve a szakmai közösség jelentőségét és az ott szerzett tapasztalatok maradandó hatását. Az eseményről fényképes beszámoló az EME honlapján[40] és a szakosztály közösségi felületén is megtekinthető.

XXIV. technikatörténeti alkotótábor. Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya 2025. augusztus 28–30. között huszonnegyedik alkalommal szervezte meg a technikatörténeti alkotótábort, amelynek ezúttal Óradna és környéke adott otthont.[41] A program célja a vidéken fennmaradt technikatörténeti értékek feltárása, valamint a térség ipari és kulturális örökségének megismerése volt.[42]

A résztvevők augusztus 28-án érkeztek Oláhszentgyörgyre, ahol a HEBE Szállodában szálltak meg. A programot házigazdájuk váratlan halála miatt módosítani kellett, így a helyi bányászmúltat jól ismerő Serkedi Lajos vezette a kutatást. Augusztus 29-én Óradnán interjú készült vele, majd terepbejárás következett az Újradnához tartozó Blazna-völgyben, a Mina Blazna egykori ólom- és cinkbányáinál. A csoport dokumentummaradványokat és ércmintákat gyűjtött, valamint rögzítette a bányabejáratok koordinátáit. A kutatás Borbereken folytatódott, ahol többféle nemes- és színesfémbányászat nyomait térképezték fel.

Augusztus 30-án ismét Óradnán dolgoztak: helyi bányászokkal készítettek interjúkat, relikviákat kutattak fel, és megismerkedtek az 1860 óta működő bányász fúvószenekar többgenerációs hagyományával is. A zenekar jelenlegi karmestere, Szabó Lehel, betekintést nyújtott a zenekar történetébe és működésébe. A tábort a gyűjtött anyagok rendszerezése és archiválása zárta.

A terepmunkában a Kolozsvári Műszaki Egyetem, a Babeș–Bolyai Tudományegyetem, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem és a Széchenyi István Egyetem oktatói, valamint a Kolozsvári Műszaki Egyetem hallgatói vettek részt.

A 24. Magyar Tudomány Napja Erdélyben.[43] November 21-én került sor *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben – 200 év a tudás és a társadalom szolgálatában* című rendezvénysorozat ünnepélyes megnyitójára. A délutáni program keretében Fiatal kutatók a tudomány szolgálatában címmel

40 A Kolozsvár XX. századi ipartörténetének emlékei rendezvény fényképes beszámolója: https://www.eme.ro/esemeny/16-kmn-kolozsvar-xx-szazadi-ipartortenetenek-emlekei-xvii-ipari-elektronikai-es#field_gallery

41 *XXIV. technikatörténeti alkotótábor. Óradna bányái és megmaradt emlékei.* Eseményfelhívás: https://www.eme.ro/esemeny/xxiv-technikatorteneti-alkototabor-oradna-banyai-es-megmaradt-emlekei

42 *Beszámoló: XXIV. technikatörténeti alkotótábor – Óradna bányái és megmaradt emlékei (2025. augusztus 28–30.).* https://www.eme.ro/hir/beszamolo-xxiv-technikatorteneti-alkototabor-oradna-banyai-es-megmaradt-emlekei-2025-augusztus

43 *MTNE 2025 – 200 év a tudás és a társadalom szolgálatában*: https://www.eme.ro/esemeny/mtne-2025-200-ev-tudas-es-tarsadalom-szolgalataba

fórumot tartottak, amelyen a műszaki szakterületet képviselve Fehér Áron[44] villamosmérnök, egyetemi adjunktus tartott előadást Kis késleltetéssel rendelkező lineáris dinamikus rendszerek aszimptotikus jellemzése címmel.

Az idei ünnepi rendezvény három részből állt. November 20-án, csütörtökön 17 órától nyitották meg a *Portrék az Erdélyi Múzeum-Egyesület egykori gyűjteményéből*, valamint az *Erdélyi magyar akadémikusok arcképcsarnoka*[45] című kiállításokat. A két tárlat az erdélyi tudományosság és művelődés kiemelkedő alakjait mutatta be, felidézve az Erdélyi Múzeum-Egyesület múltját és szellemi örökségét.

A rendezvény keretében az Erdélyi Múzeum-Egyesület és a Kolozsvári Művészeti Múzeum több évre visszanyúló együttműködését egy ünnepélyesen aláírt intézményközi megállapodással is megerősítette Bitay Enikő, az EME elnöke és Lucian Nastasă-Kovács, a múzeum igazgatója.[46]

Az Erdélyi magyar akadémikusok arcképcsarnoka projekt keretében szakosztályunk választmányi tagja, Talpas János Szántkirályi Zsigmond bányamérnök életútját dolgozta fel[47] és mutatta be.

XXVI. Műszaki Tudományos Ülésszak.[48] 2025. november 22-én került sor a XXVI. Műszaki Tudományos Ülésszakra,[49] amelyet az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya és a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Marosvásárhelyi Kara szervezett A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében. A fórumon – immár hagyományosan – a Kárpát-medence magyar műszaki tudományos életének fiatal és

tapasztalt képviselői osztották meg kutatási eredményeiket, valamint részt vettek a tudományos előadásokat kísérő, baráti hangulatú szakmai beszélgetésekben.

A rendezvény fővédnöke Kollár László Péter építészmérnök, akadémikus, a Magyar Tudományos Akadémia főtitkára volt. A megnyitón Bitay Enikő, az EME és a Műszaki Tudományok Szakosztályának elnöke, valamint Domokos József, a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Karának dékánja köszöntötte a résztvevőket. Rövid bevezetőjükben a tudományos utánpótlás, a magyar szaknyelvű műszaki diskurzus fenntartásának, valamint az egyetemi és ipari műhelyek közötti párbeszéd fontosságát hangsúlyozták, rámutatva arra, hogy a negyedszázada elindított ülésszak mára a régió egyik meghatározó szakmai fórumává vált.

Ezt követően három plenáris előadás hangzott el. Diószegi Attila, a svédországi Jönköpingi Egyetem professzora az autóipari öntvénygyártás fenntarthatósági kérdéseiről és a környezetkímélő technológiai megoldásokról beszélt. Kovács Tünde Anna, az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar dékánhelyettes professzora a robbantásos plattírozás anyagtudományi hátterét és ipari alkalmazási lehetőségeit ismertette. Domokos József, a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Karának dékánja az

44 Fehér Áron: *Kis késleltetéssel rendelkező lineáris dinamikus rendszerek aszimptotikus jellemzése.* Előadásanyag: https://www.eme.ro/sites/default/files/inline-files/FIA-TALKUTAT%C3%93K2_teljes_FeherAron.pdf

45 *Megnyílt az Az erdélyi magyar tudomány és társadalom szolgálatában – Arcképcsarnok című kiállítás.* https://www.eme.ro/hir/megnyilt-az-az-erdelyi-magyar-tudomany-es-tarsadalom-szolgalataban-arckepcsarnok-cimu-kiallitas

46 *Együttműködési megállapodást írt alá az Erdélyi Múzeum-Egyesület és a Kolozsvári Művészeti Múzeum*: https://www.eme.ro/hir/egyuttmukodesi-megallapodast-irt-ala-az-erdelyi-muzeum-egyesulet-es-a-kolozsvari-muveszeti

47 Talpas János: *Szentkirályi Zsigmond életrajza és munkássága.* Elérhető: https://eda.eme.ro/handle/10598/34336 Az Erdélyi digitális adattár „Tudóstár” gyűjteményében Szentkirályi Zsigmondról: https://eda.eme.ro/handle/10598/28339

48 A fórum felhívása: *MTNE 2025 – XXVI. Műszaki Tudományos Ülésszak – felhívás*: https://www.eme.ro/esemeny/mtne-2025-xxvi-muszaki-tudomanyos-ulesszak

49 A fórum honlapja: https://eme.ro/muszakitudomanynap/

IoT-alapú szenzorhálózatok adatgyűjtési és feldolgozási lehetőségeiről adott áttekintést. A plenáris előadásokat Dávid László, a Sapientia EMTE rector emeritusa vezette.

A plenáris előadásokat két szekcióülés követte, amelyeket Kovács Tünde Anna és Domokos József, illetve Forgó Zoltán és Gobesz F. Zsongor vezettek. A szekciókban összesen 17 előadás hangzott el, öt egyetem 34 kutatójának közreműködésével.[50] A bemutatott munkák jól tükrözték, hogy a Kárpát-medence műszaki műhelyei egyaránt foglalkoznak alapkutatási, kísérleti és numerikus kérdésekkel, valamint ipari alkalmazásokhoz kapcsolódó fejlesztésekkel.

A rendezvény kiemelt mozzanata volt a Jenei Dezső-emléklap[51] átadása, amelyet az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya Domokos József villamosmérnöknek, a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Kar dékánjának adományozott az erdélyi magyar műszaki felsőoktatás és kutatás terén végzett kiemelkedő munkásságáért.[52] Az elismerést Bitay Enikő és Máté Márton adta át, a kitüntetettet Dávid László laudálta.[53]

A program zárásaként bemutatásra kerültek a szakosztály gondozásában megjelent legfrissebb kiadványok és folyóiratok, köztük az *Acta Materialia Transylvanica* és a *Műszaki Tudományos Közlemények* új számai, valamint az *Ipartörténeti Füzetek* első kötete.[54]

A konferenciát követően a résztvevők megtekintették a Kolozsvári Művészeti Múzeumban két nappal korábban megnyitott Portrék az Erdélyi Múzeum-Egyesület egykori gyűjteményéből, valamint az Erdélyi magyar akadémikusok arcképcsarnoka című kiállításokat.

Kutatások. A szakosztály megalakulása óta következetesen támogatja a műszaki kutatásokat, különös hangsúlyt helyezve az inter- és transzdiszciplináris megközelítésekre. A projektek különböző intézmények és egyetemek kutatóit kapcsolják össze, és tudatosan bevonják a fiatal kutatókat – egyetemi hallgatókat és doktoranduszokat–, ezzel is erősítve a tudományos utánpótlást. A kutatások többsége az EME által támogatott, időszakos (8–10 hónapos) külső projektként valósul meg, igazodva az egyetemi tanév ciklusaihoz, és több esetben más szakosztályokkal együttműködésben zajlik.

A 2025-ben lezárult, illetve folyamatban lévő projektek a műszaki és kulturális örökségvédelem, az anyagtudomány, a gépészet, az építészmérnöki kutatások és az alkalmazott analitikai kémia területét ölelték fel.

A műszaki és kulturális örökségvédelem terén továbbra is kiemelt cél maradt az erdélyi ipartörténeti és technikatörténeti értékek feltárása és rendszerezése. Folytatódott a Kolozsvár XX. századi iparának dokumentálása, amely 2025-ben az Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalat (IEIA) történetére összpontosított adatgyűjtés, archív dokumentumok feldolgozása és interjúk készítése révén. Emellett kutatás zajlott a Kolozsvári Iparos Egylet történetéről és társadalmi szerepéről, valamint az erdélyi villanyvilágítás bevezetésének műszaki és társadalmi hátteréről. A műszaki egyéniségek kutatása Martin Lajos hagyatékának feldolgozására irányult. Az iparrégészet és archeometallurgia területén római kori vassalakleletek anyagvizsgálata, továbbá a mikházi bronz pikkelypáncélok és övveretek archeometriai elemzése járult hozzá a korai fémtechnológiai ismeretek bővítéséhez.

Az anyagtudományi kutatások 2025-ben a szálas szerkezetek előállítására és vizsgálatára koncentráltak. A PVP-alapú, fenofibrinsavat tartalmazó gyógyszerhordozó rendszerek fejlesztése során a szálképzés közben bekövetkező fizikokémiai átalakulások – különösen a hatóanyag amorffá válása – és ezek oldhatóságra gyakorolt hatása állt a vizsgálatok középpontjában. Ezzel párhuzamosan centrifugális szálképzéssel előállított termoplasztikus elasztomer (SEBS) szövedékek szerkezettechnológiai összefüggéseit elemezték, különös tekintettel a gyártási paraméterek és a szálátmérő kapcsolatára.

A gépészmérnöki kutatások középpontjában négy és hat szabadságfokú, párhuzamos felépítésű robotstruktúrák modellezése állt, amelyek ipari alkalmazhatóságát geometriai és kinematikai szempontból vizsgálták.

Az építészmérnöki projektek a hidegen alakított acélszerkezetek viselkedésének elemzésére irányultak. Numerikus modellezés és kísérleti eredmények összevetésével vizsgálták a dupla C

50 A XXVI. Műszaki Tudományos Ülésszak programfüzete itt érhető el: https://eda.eme.ro/handle/10598/34700

51 A Jenei Dezső-emléklapról és kitüntetettekről: https://www.eme.ro/oldal/jenei-dezso-emleklap

52 A díjátadás híre: *Jenei Dezső-emléklappal tüntették ki Domokos József villamosmérnököt.* https://eme.ro/hir/jenei-dezso-emleklappal-tuntettek-ki-domokos-jozsef-villamosmernokot

53 Dávid László: *Dr. Domokos József laudációja, az EME Jenei Dezső-emléklap a műszaki tudományosságért átadása alkalmából.* https://eda.eme.ro/handle/10598/34710

54 A rendezvény részletes beszámolója: Bitay Enikő: *Tudománynap a műszaki térben – a XXVI. Műszaki Tudományos Ülésszak Kolozsváron:* https://eda.eme.ro/handle/10598/34712

szelvények hajlítási kapacitását és képlékeny viselkedését, valamint az acéloszlop gerenda és öszvérszerkezetek félmerev kapcsolatainak analitikus és végeselemes modellezését.

Az alkalmazott analitikai kémia területén statisztikai módszerek és modellezési eljárások segítségével értékelték különböző kísérleti adatbázisok eredményeit, többek között elemanalitikai vizsgálatok, szennyezésmentesítési modellek és növényi kivonatok minőségi paramétereinek leírása céljából.

A 2025. évi kutatások nemcsak tudományos eredményeket hoztak, hanem tovább erősítették az egyetemközi együttműködéseket, az interdiszciplináris párbeszédet és a fiatal kutatók szakmai fejlődését is. A 2025-ben lezárult kutatási projektek részletes lajstroma a beszámoló mellékletében található.

Összegzés. A fenti áttekintés a 2025-ben lezárult időszakos kutatási programok főbb eredményterületeit foglalja össze. A szakosztály kutatási portfóliója ezzel párhuzamosan 2025-ben is folyamatosan megújult: több projekt az év során indult el, illetve jelenleg is folyamatban van. Ezeknek a kutatásoknak a részletes bemutatásáról és eredményeiről – a programok lezárását követően – a szakosztály a következő évi beszámolóban ad számot.

Közreműködések. A szakosztály 2025-ben is együttműködött más intézményekkel. Folytatódtak a közös kutatások a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetemmel, a Babeş–Bolyai Tudományegyetemmel, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemmel, valamint az Óbudai Egyetemmel. Az együttműködések eredményei különböző tudományos fórumokon hangzottak el, és társszerzőségben megjelent publikációkban is testet öltöttek.

A személyes jelenléten alapuló szakmai kapcsolatok erősítését szolgálták a 2025-ben megvalósult találkozások is: az EME szakosztályi elnöke 2025. augusztus 22-én Kolozsváron találkozott Barabási Albert-László fizikussal, a Northeastern University professzorával, míg az EME székházában 2025. szeptember 4-én vendégül láttuk Mechler Ádám anyagtudóst, a La Trobe University (Melbourne) professzorát, valamint 2025. október 2-án Diószegi Attilát, a Jönköping University professzorát. E találkozások hozzájárultak ahhoz, hogy az EME továbbra is nyitott és hiteles fóruma maradjon a műszaki és interdiszciplináris tudományos együttműködéseknek.

Tudományterjesztés 2025-ben. A szakosztály 2025-ben is fontos feladatának tekintette a tudományos eredmények közérthető bemutatását és azok szélesebb közönséghez való eljuttatását. A kutatók nemcsak konferencia-előadások és szakcikkek formájában ismertették munkájukat, hanem törekedtek arra is, hogy eredményeiket más szakterületek felé is közvetítsék, ezáltal erősítve a tudomány társadalmi jelenlétét és megbecsültségét.

A tudomány-népszerűsítés egyik fontos felülete az EME hírei, valamint a KAB – Az erdélyi tudomány hírei rovat, ahol rendszeresen jelennek meg közérthető összefoglalók a kutatások eredményeiről. A 2024–2025-ös időszakban például ilyen írások számoltak be többek között *A szűrőpapír kettős szerepe a hatékony tisztításban*,[55] valamint a *fenofibrát-ciklodextrin szálak* kutatásáról.[56]

Fiatal kutatók elismerése és díjazása. Az EME által támogatott külső kutatási pályázatok keretében megvalósult tudományos munkák 2025-ben is rangos szakmai elismerésekben részesültek. A XXVI. Műszaki Tudományos Diákköri Konferencián (MTDK) a Kolozsvári Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karának két mesterképzéses hallgatója, az EME külső kutatói, Sütő Abigail-Bethsabé és Urszuly Nóra II. díjat nyertek a műszaki tudományok szekciójában; munkájukat Nagy Zsolt, Gobesz Ferdinánd-Zsongor és Lőrincz Barnabás-Attila irányította. i[57] A Magyar Kémikusok

55 *A szűrőpapír kettős szerepe a hatékony tisztításban*. https://kab.ro/hirek/hir/a-szuropapir-kettos-szerepe-a-hatekony-tisztitasban-1840

56 *Fenofibrát-ciklodextrin szálak: 60-szoros oldhatóságnövekedés új szerkezeti formában*. https://kab.ro/hirek/hir/fenofibrat-ciklodextrin-szalak-60-szoros-oldhatosag-novekedes-uj-szerkezeti-formaban-1868

57 https://www.eme.ro/hir/eme-tamogatott-kulso-kutatas-ii-dijat-nyert-a-muszaki-tudomanyos-diakkori-konferencian

Egyesülete különdíjjal jutalmazta Bogyor Andreát, a Babeș–Bolyai Tudományegyetem doktoranduszát és az EME külső kutatócsoportjának tagját a XXXI. Nemzetközi Vegyészkonferencián (Nagyszeben, 2025. október 23–25.), a kutatást Csavdári Alexandra vezette.[58]

Digitális adatbázisok bővítése és online jelenlét. 2025-ben is folytatódott az Erdélyi digitális adattár (EDA)[59] bővítése, amelyhez a szakosztály tevékenyen hozzájárult. A digitalizálási programok célja, hogy a szakosztály tevékenységéhez kapcsolódó dokumentumok, kiadványok és a gyűjtött műszaki hagyatékok megfelelő metaadatolással online is hozzáférhetővé váljanak.

Az EME elektronikus könyvtárába[60] feltöltésre kerültek a szakosztály gondozásában 2024-ben megjelent könyvek, sorozatkötetek és folyóiratszámok is. Ezek DOI-azonosítót kaptak, és bekerültek az MTMT-adatbázisba is.

Ezzel párhuzamosan megkezdődött az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya honlapjának felújítása, amely a jövőben folyamatosan frissülő tartalommal kívánja szolgálni a szakmai közösséget és a szélesebb érdeklődő közönséget.

Az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya gondozásában megjelent 2025. évi kiadványok. A szakosztály tudományos tevékenységének fontos eleme a műszaki kutatások ösztönzése és az eredmények közzététele. Ennek jegyében a szakosztály folyamatosan figyelemmel kíséri és támogatja a műszaki kutatásokat, külön figyelmet fordítva arra, hogy az eredmények magyar nyelven is megjelenjenek, ugyanakkor a nemzetközi tudományos közösség számára is hozzáférhetővé váljanak.

2025-ben a szakosztály gondozásában és támogatásával összesen négy kötet és két folyóiratszám jelent meg. A *Műszaki Tudományos Közlemények* sorozatban az MTK 22. és MTK 23. kötetei,[61] valamint az *Acta Materialia Transylvanica* (AMT) folyóirat 8. évfolyamának két száma szintén 2025-ben jelentek meg.[62]

A *Technikatörténeti Füzetek* sorozat legújabb kötete (TTF 20): Miholcsa Gyula: *A villanyvilágítás története Erdélyben*[63] című munkája. A szakosztály új sorozataként jelent meg az Ipartörténeti Füzetek első kötete: Nagy Béla: *A kolozsvári iparos egylet története (1860–1945)*[64].

A szakosztály köszönetét fejezi ki a lektoroknak, akik vállalták a tanulmányok szakmai értékelését, és véleményükkel, tanácsaikkal, önzetlen munkájukkal hozzájárultak a tanulmánykötetek szakmai színvonalának erősítéséhez. Ugyanakkor ezúton is köszönet illeti Dobránszky János lapszerkesztőt, aki az *Acta Materialia Transylvanica* folyóirat 2025. évi számainak gondozását vállalta, és munkájával biztosította a kiadvány szakmai színvonalát.

A kötetek megjelenésében meghatározó szerepet vállaltak a szerkesztők: Balogh Alexandra, Bitay Enikő és Máté Márton; az olvasószerkesztők: András Zselyke, Szenkovics Enikő és David Speight; valamint a műszaki szerkesztő és tördelő: Szilágyi Júlia.

A kiadványok online változatainak megjelenítésében,[65] feltöltésében, valamint a DOI-azonosítók élesítésében Szilágyi Júlia, Kisfaludi-Bak Zsombor, továbbá Bilicsik Erika és Tankó Andrea (MTA–KIK) működtek közre. Ezúton is köszönjük munkájukat.

A szakosztály 2020-ban létrehozott **YouTube-csatorná**ján folyamatosan közzétételre kerülnek a rendezvények előadásai, interjúk és ese-

58 https://eme.ro/hir/kulondijat-nyert-bogyor-andrea-a-xxxi-nemzetkozi-vegyeszkonferencian

59 Erdélyi digitális adattár (EDA): https://eda.eme.ro

60 Az EME elektronikus könyvtára (magyar és angol nyelven). Magyar nyelvű kiadványok: https://eme.ro/publication-hu/. Angol nyelvű kiadványok: https://eme.ro/publication/

61 *Műszaki Tudományos Közlemények* (MTK). Magyar nyelvű felület: https://eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.htm, Angol nyelvű felület: https://eme.ro/publication/mtk/mtk-main.htm, MTK 22: https://doi.org/10.33894/mtk-2025.22, MTK 23: https://doi.org/10.33894/mtk-2025.23

62 *Acta Materialia Transylvanica.* Magyar nyelvű felület: https://eme.ro/publication-hu/acta-mat/mat-main.htm, Angol nyelvű felület: https://eme.ro/publication/acta-mat/mat-main.htm, 2025/1: https://doi.org/10.33924/amt-2025-01, 2025/2: https://doi.org/10.33924/amt-2025-02

63 Miholcsa Gyula: *A villanyvilágítás története Erdélyben*. Technikatörténeti Füzetek 20. https://doi.org/10.36241/ttf-20

64 Nagy Béla: *A kolozsvári iparos egylet története (1860–1945).* Ipartörténeti Füzetek 1. Az *Ipartörténeti Füzetek* (ITF) sorozat elérhetősége az EME elektronikus könyvtárában https://eme.ro/publication-hu/itf/itf-main.html, illetve az Erdélyi digitális adattárban: https://eda.eme.ro/handle/10598/34825

65 Az EME elektronikus könyvtára: https://www.eme.ro/publication-hu/, digitális adattára, EDA: https://eda.eme.ro/, MTMT: https://m2.mtmt.hu, REAL: https://real.mtak.hu/

ményfelvételek, amelyek Tóth Orsolya szakmai munkájának eredményeként válnak hozzáférhetővé.[66]

Az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának 2026. évi rendes közgyűlése és a szakosztály jelenlegi vezető testülete. A szakosztály 2026. január 31-én tartotta ez évi rendes közgyűlését, amelyen értékelték a 2025. évi tevékenységet, elfogadták a 2026. évi munkatervet, valamint jóváhagyták a szakosztály megújított választmányának és vezetőségének névsorát.

A szakosztály vezetősége három alelnökből áll; a mindenkori egyik alelnök a Kolozsvári Műszakis Klub elnöke. A 2026. január 28-án tartott tisztújító közgyűlés szavazata alapján az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának vezetősége megújult. Bitay Enikő professzor huszonnégy éven át betöltött elnöki tisztségét követően átadta a szakosztály vezetését Gobesz F. Zsongornak, a Kolozsvári Műszaki Egyetem docensének. A szakosztály új titkárává Farmos Rudolf doktoranduszt választották.

A közgyűlés ezt követően megválasztotta a szakosztály új vezetőségét. A tagság szavazata alapján a szakosztály elnöke Gobesz F. Zsongor, titkára Farmos Rudolf, alelnökei pedig Forgó Zoltán, Máté Márton és Szilágyi Amália lettek.

A vezetés átadására olyan időszakban került sor, amikor a több mint három évtizede működő szakosztály stabil szakmai programokkal, működő intézményi keretekkel és aktív kutatói közösséggel rendelkezik. Jó szívvel adtam át a stafétát az új vezetőségnek, amelyben a fiatalabb nemzedék lendülete és a tapasztalt kollégák szakmai tudása egyaránt jelen van.

A vezetés átadásával kapcsolatos személyesebb gondolatokat egy rádióinterjúban,[67] valamint egy közösségi bejegyzésben is megfogalmaztam.[68]

Az elmúlt huszonnégy év szakosztályi munkájáról, valamint a szakosztály megalakulása óta kibontakozó tevékenységről külön összefoglaló kötet készül, amely átfogó képet kíván adni a közösség szakmai programjairól és eredményeiről.

Kolozsvárt, 2026. január 31.

MELLÉKLET

A Műszaki Tudományok Szakosztályának kutatásai (2025-ben lezárt projektek)

2025-ben a szakosztály kutatási tevékenysége a műszaki örökségvédelem, az anyagtudomány, a gépészeti és építészmérnöki fejlesztések, valamint az alkalmazott analitikai kémia területét fogta át. A projektek közös jellemzője az interdiszciplináris megközelítés, valamint az elméleti és alkalmazott kutatás összekapcsolása.

66 Az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának YouTube-csatornája: https://www.youtube.com/channel/UCm-C3XXbKx91_OjUMMuzQ1Aw

67 *Gobesz F. Zsongor, az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának új vezetője* – interjú. Kolozsvári Rádió, 2026. február 4. https://www.kolozsvariradio.ro/2026/02/04/gobesz-f-zsongor-az-eme-muszaki-tudomanyok-szakosztalyanak-uj-vezetoje/

68 Bitay Enikő: Bejegyzés, 2025. január 28. *„24 év után jó szívvel adtam át a stafétát az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának élén. A döntés nem hirtelen született. Inkább egy csendes felismerés volt: akkor érdemes időben átadni a stafétát, amikor van rend, van működési ritmus, van közösség – amikor a folytatás nem »helyrehozás«, hanem természetes továbbépítkezés.*
A szakosztály 1990-es megalakulása óta sok minden változott, de egy dolog állandó maradt: a felelősség a folytonosságért. Jenei Dezső, a szakosztályt elindító, irányt adó első elnök példája is azt erősítette, hogy a megújulás és a fiatalok bevonása a hosszú távú működés természetes része.
A cél mindig az volt, hogy a szakosztály valós szakmai igényekre válaszoljon, és a lehetőségekből programot, a programból szakmai eredményeket és közösséget építsen – a műszaki tudományosságért. Így alakult ki az a tevékeny csapat, amelyre ma is jó ránézni. Külön fontosnak tartottuk, hogy a fiatalokat is megszólítsuk és bevonjuk: legyen előttük tér, feladat, és olyan szakmai közeg, amelyhez érdemes kapcsolódni.
Örülök, hogy volt kinek átadni a stafétát. A választmányban a friss lendület mellett ott vannak tapasztalt professzorok, egyetemi oktatók, mérnök kollégák és ipari vállalkozók is, akik szakértelme biztos támasz. A folytatást jó szívvel nézem, és a háttérben továbbra is ott leszek a szakosztály mellett.
Ez a 24 év nekem mindenekelőtt sokrétű, sokszor háttérben maradó szervezőmunkát és rengeteg emberi bizalmat jelentett – és azt a csendes jó érzést, amikor az ember ránéz a közös eredményekre. A tegnapi alkalom ezért nem csupán »lezárás« volt, hanem hála is. Meghatott a kollégák figyelmessége, a köszöntés, a virág – és leginkább az a kimondott vagy kimondatlan üzenet, hogy amit együtt felépítettünk, annak súlya és értelme van.
Köszönöm a 24 évnyi bizalmat. A közös munka eredményei önmagukért beszélnek.”

1. Műszaki és kulturális örökségvédelem Erdélyben (Programkoordinátor: Bitay Enikő)

A program célja Erdély műszaki és kulturális örökségének feltárása, dokumentálása és tudományos feldolgozása.

A projekt keretében:

- technika- és ipartörténeti kutatások zajlottak, különös tekintettel a műszaki emlékek azonosítására, megőrzésére és kulturális integrációjára;
- folytatódott a Kolozsvár XX. századi ipartörténetének emlékei című sorozat (XVII. rész), amely 2025-ben az Ipari Elektronikai és Automatizálási Vállalat (IEIA) történetére összpontosított; a kutatás adatgyűjtést, dokumentációfeltárást, képanyaggyűjtést és oral history-interjúkat foglalt magában;
- kutatás folyt a Kolozsvári Iparos Egylet történetéről (kutató: Nagy Béla), a város társadalmi és gazdasági életében betöltött szerepére összpontosítva;
- vizsgálat tárgya volt az erdélyi villanyvilágítás története (kutató: Miholcsa Gyula), amely az elektromos világítás bevezetésének műszaki és társadalmi hátterét elemezte;
- a műszaki egyéniségek kutatása keretében Martin Lajos hagyatékának feldolgozása zajlott;
- iparrégészeti és archeometriai kutatások folytak római kori vassalakleletek vizsgálatával (Marosvécs, Mikháza, Felsőrépa), anyagtudományi és régészeti együttműködésben;
- kiemelt projekt volt a mikházi római bronz pikkelypáncélok és övveretek archeometriai vizsgálata (projektvezető: Pánczél Szilamér-Péter), amely korszerű anyagvizsgálati módszerekkel járult hozzá a római kori fémtechnológia pontosabb megismeréséhez.

2. Anyagtudományi kutatások

Az anyagtudományi projektek az innovatív anyagok és technológiák fejlesztésére irányultak.

- a fenofibrinsavat tartalmazó, PVP-alapú szálas gyógyszerhordozó rendszerek kutatása (projektvezető: Bitay Enikő), amely a szálképzés során bekövetkező fizikokémiai átalakulásokat, különösen a hatóanyag amorfizációját és annak oldhatóságra gyakorolt hatását vizsgálta;
- SEBS-alapú termoplasztikus elasztomer szálas szerkezetek előállítása centrifugális szálképzéssel (projektvezető: Gergely Attila), a technológiai paraméterek és a szálmorfológia összefüggéseinek elemzésével.

3. Gépészmérnöki kutatások

A gépészeti kutatások középpontjában négy és hat szabadságfokú, párhuzamos felépítésű robotstruktúrák modellezése állt (projektvezető: Forgó Zoltán). A vizsgálatok célja olyan anyagmozgató rendszerek fejlesztése volt, amelyek munkatere rugalmasan növelhető, és ipari alkalmazhatóságuk geometriai és kinematikai szempontból igazolható.

4. Építészmérnöki kutatások

Az építészmérnöki projektek a hidegen alakított acélszerkezetek viselkedésének elemzésére irányultak.

- numerikus vizsgálatok készültek dupla C profilú, hidegen hajlított elemek hajlítási kapacitásának és képlékeny viselkedésének elemzésére (projektvezető: Nagy Zsolt), a modellek kísérleti eredményekkel történő hitelesítésével;
- kutatás folyt a félmerev, homloklemezes acélkapcsolatok analitikus és végeselemes vizsgálatára (projektvezető: Gobesz Ferdinánd-Zsongor), különös tekintettel többemeletes öszvérszerkezetek viselkedésére.

5. Alkalmazott analitikai kémia

Az alkalmazott analitikai kémiai kutatások (projektvezető: Csavdári Alexandra) módszerfejlesztésre és adatfeldolgozásra irányultak.

A program keretében statisztikai módszerek alkalmazásával történt:

- röntgenfluoreszcenciás elemanalízis értékelése élelmiszerminták esetében;
- komplex szennyezésmentesítési folyamatok modellezése;
- „fekete doboz”-modellek fejlesztése növényi kivonatok minőségi paramétereinek leírására.

Összegzés

A 2025. évi kutatási tevékenység összességében erősítette a szakosztály interdiszciplináris jellegét, hozzájárult a műszaki örökség feltárásához, az innovatív anyagtudományi fejlesztésekhez és a korszerű mérnöki modellezési módszerek alkalmazásához, miközben a fiatal kutatók aktív bekapcsolódását is elősegítette.

SZERZŐK JEGYZÉKE
LIST OF AUTHORS

B
BAKAI NÁNDOR 83, 94
BAKOS CSONGOR 1
BAKOS LEVENTE 1
BITAY ENIKŐ 12, 137

CS, D, E
CSAJBÓK IMOLA LENKE 30
DEÁK SZABOLCS 90
ETLINGER JÓZSEF 83, 94

F
FOGARASI ZOLTÁN 53
FORGÓ TAMÁS 38
FORGÓ ZOLTÁN 47

H, J
HARANGUS KATALIN 53
HEIDECKER ADÉL 101
JÁSZBERÉNYI TÜNDE 83, 94

K
KÁDÁR ALEX-JENŐ 47
KAKUCS ANDRÁS 53
KŐHEGYI ZSOLT 64
KULCSÁR KIRA 72

L, M, N
L. SZABÓ GÁBOR 112
LIBIK ANDRÁS 79
LŐRINCZ BARNABÁS-ATTILA 119
MÁDER PATRIK MÁRK 83, 94
NAGY ZSOLT 119
NEMES DÁNIEL 30

P, R
PÁSZTOR JUDIT 79
POPA-MÜLLER IZOLDA 90
RAVAI-NAGY SÁNDOR 64
RÁK OLIVÉR 83, 94
RÉTFALVI DONÁT 101

S, SZ
SARVAJCZ KORNÉL 72
SIMON DÓRA ERIKA 83, 94
SÜTŐ ABIGAIL-BETHSABÉ 119
SZÉKELY ÁGOSTON 112
SZIGETI FERENC 64

T, U, V, Z
TÖRÖK ISTVÁN 119
URSZULY NÓRA 119
VARJÚ KATA 101, 128
ZAGORÁCZ MÁRK BALÁZS 83, 94
ZILAHI PÉTER 128