

MTK 23.

TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG/LEKTOROK
SCIENTIFIC ADVISORY BOARD/PEER REVIEWERS

Bitay Enikő (Kolozsvár/Marosvásárhely)
Buzetzki Dóra (Debrecen)
Csavdári Alexandra (Kolozsvár)
Csáky Imre (Debrecen)
Czigány Tibor (Budapest)
Dávid László (Marosvásárhely)
Dezső Gergely (Nyíregyháza)
Diószegi Attila (Jönköping, Sweden)
Dobránszky János (Budapest)
Domokos József (Marosvásárhely)
Dulf Éva Henriett (Kolozsvár)
Dusza János (Kassa)
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)
Horváth Richárd (Budapest)
Kántor József (Marosvásárhely)
Kovács Tünde Anna (Budapest)
Markó Balázs (Sopron)
Máté Márton (Marosvásárhely)
Pásztor Judit (Marosvásárhely)
Pokorádi László (Budapest)
Réger Mihály (Budapest)
Réti Tamás (Budapest)
Roósz András (Budapest)
Talpas János (Kolozsvár)
Truzsi Alexandra (Debrecen)

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

23.

**Szerkesztette / Edited by
BITAY ENIKŐ – MÁTÉ MÁRTON**



**ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2025**

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 2025

*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: Bitay Enikő, 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-2025.23

DOI: 10.33894/mtk-2025.23

TARTALOM

Béni Emese, L. Szabó Gábor	
<i>Szabadhűtés-potenciál vizsgálata</i>	1
Dimény Zalán, Forgó Zoltán	
<i>Mentős hordágy emelését segítő pneumatikus mechanizmus méretezése</i>	11
Fekete Mátyás	
<i>A fűdémrendszerek modellezése</i>	19
Jankó József Attila, Tárkányi Sándor	
<i>A Sopron, Templom utca 24. számú lakóház építéstörténeti kutatásának eredményei</i>	23
Kakucs András, Harangus Katalin, Király Zsolt	
<i>Bűvös négyzet</i>	28
Miholcsa Gyula	
<i>A villanyvilágítás története Erdélyben</i>	38
Miski Zoltán Milán, Bodnár Ildikó	
<i>Felszíni befogadókba elhelyezett használt gyógyvíz hatásának vizsgálata egy magyarországi strandfürdő példáján</i>	50
Nusser Gyöngyvér Boglárka, Izbékiné Szabolcsik Andrea	
<i>Szürkevízen termesztett vöröskáposzta és brokkoli mint mikrozöldek egészségügyi kockázatai</i>	59
Sánduly Annabella, Nagy Zsolt, Koteľko Maria, Dan Patrick, Pál Anita	
<i>Hidegen hajlított, dupla C profilok numerikus vizsgálata egy előzetes nemlineáris eltolás vizsgálathoz</i>	67
Skorcov Gergő, Szigeti Ferenc	
<i>Vulkanizálóprés átalakítása</i>	73
Szócs Krisztina, Egyed-Faluvégi Erzsébet	
<i>Az additív gyártásra tervezett transztibiális futóprotézis modelljének vizsgálata végelemmódszerrel</i>	80
Tárkányi Sándor	
<i>Venyigeszürke színű tagozatok előfordulása napjainkban Sopron barokk homlokzatain</i>	87
SZERZŐK JEGYZÉKE	92

CONTENT

Emese BÉNI, Gábor L. SZABÓ	
<i>Analysing Free Cooling Potential</i>	<i>1</i>
Zalán DIMÉNY, Zoltán FORGÓ	
<i>Sizing of a Pneumatic Mechanism for Stretcher Lifting Assistance</i>	<i>11</i>
Mátyás FEKETE	
<i>The Modelling of Slab Systems</i>	<i>19</i>
József Attila JANKÓ, Sándor TÁRKÁNYI	
<i>Results of Research on the Architectural History of the Residential Building at 24 Templom Street, Sopron</i>	<i>23</i>
András KAKUCS, Katalin HARANGUS, Zsolt KIRÁLY	
<i>Magic Square</i>	<i>28</i>
Gyula MIHOLCSA	
<i>The History of Electric Lighting in Transylvania</i>	<i>38</i>
Zoltán Milán MISKI, Ildikó BODNÁR	
<i>Investigation of the Effects of Used Thermal Water in Surface Receivers on an Example of a Hungarian Spa</i>	<i>50</i>
Gyöngyvér Boglárka NUSSE, Andrea IZBÉKINÉ SZABOLCSIK	
<i>Health Risks of Red Cabbage and Broccoli as Microgreens Grown in Greywater</i>	<i>59</i>
Annabella SÁNDULY, Zsolt NAGY, Maria KOTELKO, Patrick DAN, Anita PÁL	
<i>Numerical Study of Back-To-Back Lipped Channel Profiles for a Preliminary Pushover Analysis</i>	<i>67</i>
Gergő SKORCOV, Ferenc Szigeti	
<i>Conversion of Vulcanisation Press</i>	<i>73</i>
Krisztina SZŐCS, Erzsébet EGYED-FALUVÉGI	
<i>Finite Element Analysis of a Running-Specific Transtibial Prosthesis Designed for Additive Manufacturing</i>	<i>80</i>
Sándor TÁRKÁNYI	
<i>Occurrence of Vine Grey-Coloured Reliefs on the Baroque Façades of Modern-Day Sopron</i>	<i>87</i>
LIST OF AUTHORS	92



SZABADHÚTÉS-POTENCIÁL VIZSGÁLATA

ANALYSING FREE COOLING POTENTIAL

Béni Emese,¹ L. Szabó Gábor²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország, emese.beni@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Épületgépészeti és Létesítménymérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország, lszabo.gabor@eng.unideb.hu

Abstract

Increasingly stringent energy directives of the European Union and growing cooling demands driven by climate change emphasize the need for research into energy-efficient cooling solutions. Free cooling is a promising technology for reducing energy consumption; however, its efficiency and potential application across various building types remain unclear. This article aims to minimize the cooling energy demand provided by HVAC systems through the use of direct active free cooling systems in office, residential, and small commercial buildings. The findings of this research are directly applicable to building operations, significantly contributing to enhanced energy efficiency in buildings and the development of cost-effective, sustainable cooling strategies.

Keywords: *free cooling, energy demand, free cooling resistance point.*

Összefoglalás

Az Európai Unió egyre szigorúbb energiaügyi előírásai és az éghajlatváltozás okozta növekvő hűtési igények szükségessé teszik az energiahatékony hűtési megoldások kutatását. A szabadhűtés ígéretes technológia az energiafogyasztás csökkentésére, azonban hatékonysága és alkalmazhatósága különböző épülettípusok esetében még nem teljesen tisztázott. Cikkünk célja a HVAC-rendszerek hűtési energiaigényének minimalizálása közvetlen, aktív szabadhűtési rendszerek alkalmazásával iroda-, lakó- és kisebb kereskedelmi épületekben. Eredményeink közvetlenül alkalmazhatók az épületüzemeltetésben, jelentősen hozzájárulva az épületek energiahatékonyágának növeléséhez és a költség-hatékony, fenntartható hűtési stratégiák kidolgozásához.

Kulcsszavak: *szabad hűtés, energiaigény.*

1. Bevezetés

Az energiafogyasztás visszafogása és a megújuló energia használata nemcsak a fenntarthatósági célok eléréséhez járul hozzá, hanem a politikai és gazdasági függetlenséget is erősíti. Az energiaigény csökkentése érdekében különösen fontos az épületek energiaigényének pontos felmérése, mivel ez alapján lehet a jövőbeli energiafelhasználást hatékonyan megtervezni. Az energiaigény mérsékléséhez számos megoldás áll rendelkezésre: például az épületek jobb hőszigetelése, természetes szellőzési rendszerek alkalmazása, valamint hőtárolási és éjszakai szellőztetési megoldások bevezetése. Ezek a technikai újítások je-

lentősen hozzájárulhatnak az energiahatékony-ság növeléséhez. [1, 2, 3, 4]

A cikk során elsősorban bemutatom a korábbi tudományos munkából származó elméleti hátteret, majd ismertetem a szabadhűtést és létjogosultságát. Ezzel bemutatásra kerül egy új tényező, az ϵ , vagyis a hőfokhídarány, mellyel szemléltetem és leírom a szabadhűtési zónákat. Ezt követően a kapott tényező egyenletével érzékenységi vizsgálatot végeztem, mellyel megvizsgáltam, hogy a tényező egyenletében szereplő valamely paraméter változtatásával milyen mértékben változik a hőfokhídarány. Ezt követően bemutatom a vizsgálathoz használt épületet (helyiséget). [5, 6, 7, 8]

2. Az alkalmazott módszerek elméleti áttekintése

2.1. Hőfokgyakoriság, hőfokhíd, energiaigény

Ha egy adott év napjait és külső napi átlaghőmérséklet-értékeit úgy rendezzük, hogy az egyes külső hőmérsékleteket ahhoz viszonyítjuk, hogy mennyi olyan nap van, amely az adott külső hőmérsékletnél kisebb, akkor az úgy nevezett hőfokgyakorisági görbét kapjuk meg. A hőfokgyakorisági görbe, a határhőmérséklet és belső hőmérséklet ismeretében lehet meghatározni a hőfokhíd-értékeket (1. ábra). [9]

A határhőmérsékletet az alábbi módon tudjuk meghatározni [10]:

$$T_B = T_i - \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n}; [K] \quad (1)$$

ahol:

T_i a belső hőmérséklet [K]-ben,

$\dot{Q}_{rad}$ a sugárzásos hőnyereség, [W]-ban,

$\dot{Q}_i$ a belső hőnyereségek, [W]-ban.

H_{tr} a transzmissziós hőveszteség-tényező [W/K]-ben.

c a levegő fajhője [J/(kg·K)]-ben,

ρ a levegő sűrűsége, [kg/m³]-ben,

V a helyiség térfogata, [m³]-ben,

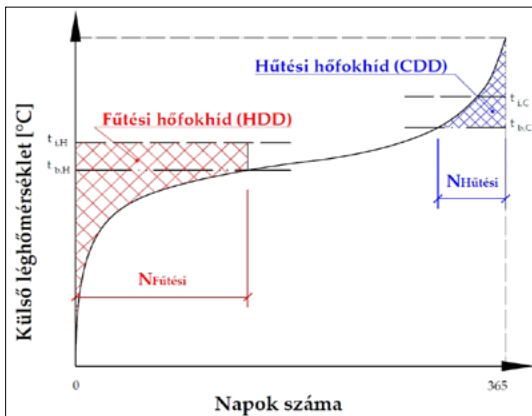
n a helyiség légcsereszám, [1/h]-ban. [9]

A (hűtési) hőfokhídértéket pedig az alábbi összefüggéssel lehet meghatározni [9]:

$$CDD = \int_{j=N_{hűtési}}^{365} (\bar{T}_{ej} - T_B) \cdot dt; [hK] \quad (2)$$

ahol:

$\bar{T}_{ej}$ a j -edig óra külső hőmérséklete



1. ábra. A hőfokhíd értelmezése [9]

T_B a határhőmérséklet értéke [K]-ben,

$N_{hűtési}$ a hűtési napok száma,

CDD a hűtési hőfokhíd értéke, melyet [°Cnap]-ban vagy [hK]-ben szokás megadni.

Az épület funkciója ismeretében, az épület energiaigényének meghatározásához célszerű figyelembe venni a heti funkciófüggő hatásfokot is (2. ábra) [9]:

$$\eta_{U,C} = \frac{A_c + (168 - A) \cdot \bar{\phi}_c}{168} \cdot 100; [\%] \quad (3)$$

ahol:

A_c az emberi használat heti aktív órái száma (hűtési üzemmódban),

$\bar{\phi}$ a passzív időszakban mennyire szabályozunk vissza az aktív időszakhoz képest [-]. [9]

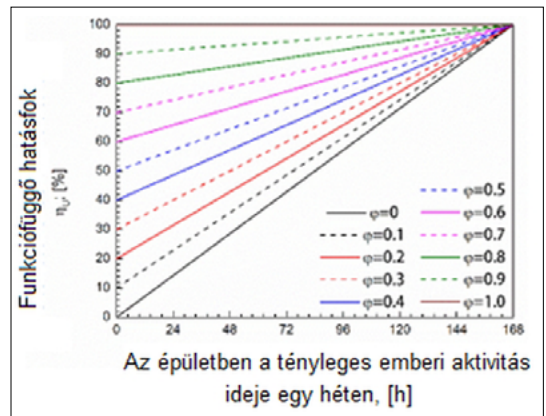
Ezeket figyelembe véve az épület energiaigénye a következő összefüggéssel határozható meg [9]:

$$E_c = \frac{\eta_{U,H}}{100} \cdot (H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n) \cdot CDD; [Wh] \quad (4)$$

Az itt leírt összefüggéseket egy évre vonatkoztatva szoktuk használni, de egy napra is lehet adaptálni őket. A különbség annyi, hogy a hőfokgyakorisági görbe és a határhőmérséklet-görbe darabosabb lesz, mivel kevesebb mért értékből (pl. csak órai hőmérsékletértékek ismertek) lehet megrajzolni őket.

2.2. A szabadhűtés fogalma, jelentése, jelentősége

A szabadhűtés olyan technológia, amely a külső környezeti levegő alacsony hőmérsékletét hasznosítja hűtési célokra, csökkentve vagy kizárva a hagyományos kompresszoros hűtés szükségességét. Ennek köszönhetően jelentős energia-



2. ábra. A funkciófüggő hatásfok meghatározása [9]

megtakarítást érhetünk el, hiszen a szabadhűtés működtetése kevesebb energiát igényel, mint a kompresszorral történő hűtés. Jellemzően azon időszakokban alkalmazhatjuk a szabadhűtést, amikor a külső hőmérséklet alacsonyabb, mint a hűtendő tér hőmérséklete, ilyen például az átmeneti időszak. [6, 11, 12]

A szabadhűtési rendszerek két fő típusa különíthető el, melyek az aktív és a passzív szabadhűtés. [12, 13]

Aktív szabadhűtés esetén a külső levegő közvetlenül kerül az épület hűtendő tereibe, általában ventilátorokkal jut be a friss levegő a helyiségbe szellőztetéssel. Ez a módszer nagyfokú légsere lehetőségét biztosítja, ugyanakkor a külső levegő szennyezettsége befolyásolhatja a hatékonyságát. [8, 12]

Passzív szabadhűtés során hőcserélők segítségével történik a hőátadás. Ilyenkor a hűtési folyamat közvetítő közege, például a víz vagy egy másik hűtőközeg veszi át a hőt, amelyet egy hőcserélőn keresztül ad át az épület levegőjének. Ez a módszer különösen hatékony lehet, ha a rendszer részeként folyadékhűtő vagy vízhűtéses tornyok vannak alkalmazva. [8, 12]

Az épületgépészetben a szabadhűtés-technológia egyre nagyobb jelentőséget nyer, főként az energiahatékonyságra vonatkozó előírások és a környezettudatos tervezés előtérbe kerülésével. Számos előnye van mind környezeti, mind gazdasági szempontból. [11]

A szabadhűtés alkalmazása jelentősen csökkenti az épületek hűtési energiaigényét, mivel nem szükséges a hűtési berendezéshez szükséges gépek működtetése. Környezeti szempontot érint, hogy a csökkenő energiafogyasztással kisebb szén-dioxid-kibocsátást eredményez. Gazdasági hatékonyságát tekintve az energiamegtakarítással csökken az üzemeltetési költség, amely a beruházás megtérülését gyorsítja. Szabadhűtés alkalmazásával a hűtőberendezések élettartama is növelhető, mivel kevesebb időn keresztül kell működtetni nagy terhelés alatt. [11, 12]

A szabadhűtés ideális megoldást nyújt olyan létesítmények számára, amelyek folyamatos hűtést igényelnek, például irodaházak, adatközpontok vagy ipari létesítmények. Az ipari létesítmények esetében, ahol technológiai folyamatok miatt szükséges állandó hűtés, szintén kiváló megoldás. [11, 12]

A szabadhűtés technológiai alkalmazása egyre népszerűbbé válik az épületgépészet területén, különösen az energiahatékonyság és a fenntarthatóság iránti igények növekedésével. Az épüle-

tek hűtési igénye az időjárási változások, az urbanizáció és az építési normák fejlődésével fokozatosan növekszik, így a szabadhűtés alkalmazása komoly lehetőséget kínál a fenntartható hűtési megoldások terén. [12, 13]

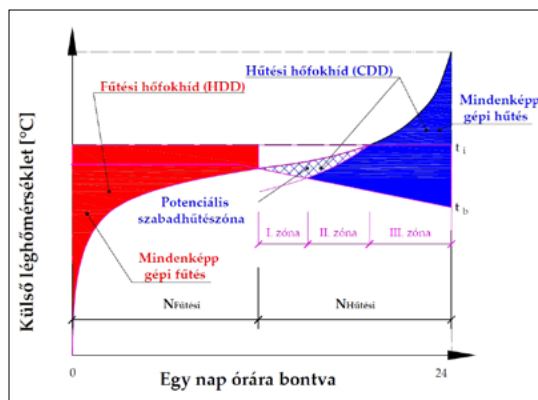
Az innovatív szabadhűtési megoldások fejlesztése és a szabályozási környezet bővülése elősegítheti a szabadhűtés további elterjedését. A jövőben olyan intelligens rendszerek várhatók, amelyek a szabadhűtést más hűtési technológiákkal együtt alkalmazzák, automatikusan szabályozva a rendszert a külső és belső környezeti viszonyokhoz igazítva. A szabadhűtés tehát nemcsak költséghatékony megoldást kínál az épületgépészek számára, hanem jelentős hozzájárulást nyújthat a környezeti fenntarthatósághoz is. [12, 14]

3. Eredmények

3.1. A szabadhűtés létjogosultsága

A szabadhűtés, mint láttuk, az év átmeneti és hűtést igénylő szakaszában jelentkezhet. A szabadhűtés-potenciál mértékét célszerű napi szinten vizsgálni. Vegyük egy tetszőleges, olyan nap külső hőmérséklet-értékeit, melynél felmerülhet a szabadhűtés lehetősége. Rendezzük úgy, hogy az adott nap külső hőmérsékleteit ahhoz viszonyítjuk, hogy mennyi olyan óra van, amikor az adott külső hőmérsékletnél kisebb, akkor az adott nap hőfokgyakorisági görbéjét kapjuk. Ebbe a görbébe be tudjuk rajzolni a napi határhőmérséklet görbéjét is. Ezt mutatja a 3. ábra.

Az (1) egyenlet összefüggése alapján, mivel az adott sugárzási nyereség más lesz az egyes órákban, emiatt ez nem egy vízszintes egyenes lesz, hanem a napsugárzásmentes időszakokban egyenes, míg napközben egy csökkenő trendű egyenes, kisebb kiugrásokkal (az eltérő sugárzás miatt).



3. ábra. A szabadhűtési zóna értelmezése

A potenciális szabadhűtési zónát a **3. ábra** alapján értelmezhetjük. A szabadhűtés „motorja” a külső és belső hőmérséklet közötti különbség lesz, ezért a szabadhűtést jellemző hőfokhíd ábrázolható hőfokgyakorisági görbén. Ez a határhőmérséklet, a külső hőmérséklet és egy segédgörbe által határolt terület lesz. Ezt a segédgörbét úgy kapjuk meg, hogy az adott óránál megnézzük a külső és belső hőmérséklet közötti különbséget, és a külső hőmérsékletből kiindulva lefelé vetítjük. A hűtési hőfokhidat ez a görbe három zónára osztja. Adott légcsereszám mellett, az I. zónában tisztán megvalósítható a szabadhűtés, a II. zónában a szabadhűtés mellett gépi hűtés alkalmazása is szükséges, míg a harmadik zónában már lehetetlen a szabadhűtés.

Az ipar részéről a cél, hogy minél kisebb legyen a ténylegesen beépítendő gépi hűtési teljesítmény. Az ábra alapján ez a szabadhűtési zóna minimalizálásával érhető el. A szabadhűtési zóna megszüntetéséhez a T_i és a T_b értéke meg kell, hogy egyezzen. Vagyis vagy a belső hőmérsékletet, vagy a határhőmérsékletet kell változtatni. A belső hőmérséklet értéke közvetlen hatást gyakorol az emberi komfortérzetre. Így megfelelő értékét pontos vizsgálatokkal, számos szempont figyelembevételével lehet megállapítani. Ezért a tervezéshez a megfelelő értékeket szabványok rögzítik, melyektől eltérni csak rendkívül átgondoltan szabad. Így a továbbiakban ettől eltekintünk.

A másik lehetőség a határhőmérséklet változtatása. Ennek változtatásával akkor tudjuk elérni a potenciális szabadhűtési zóna megszüntetését (az (1) egyenlet alapján), ha a $n = \infty$ [1/h]. A légcsereszám növelésével növekszik a határhőmérséklet, és így csökken a gépi hűtési órák száma. A problémát az okozza, hogy a légcsereszám növelésének vannak technológiai és gazdasági korlátjai.

Technológiailag nem tudunk végtelen nagy légcserét létrehozni, mert ehhez végtelen nagy térfogatárammal kellene tudnunk bejuttatni a levegőt a helyiségbe, ehhez pedig végtelen nagy méretű ventilátorlapátok és/vagy végtelen nagy tengelyfordulatszámot kellene biztosítanunk.

Gazdasági szempontból pedig a probléma az, hogy ilyen légcsereszám-növekedést csak gépi szellőzéssel lehet előállítani. Előáll(hat) egy olyan légcsereszámérték, melynél a gépi szellőzés teljesítményigénye már nagyobb, mint a gépi hűtési teljesítményigénye. Ennek vizsgálatáról szól a cikk.

3.2. A hőfokhídarány

3.2.1. A hőfokhídarány definiálása

Vezessük be a **3. ábrán** szereplő, szabadhűtéssel érintett zónák (I. és II. zónák, vagyis ahol a $T_i > T_e$) jellemzésére az alábbi tényezőt:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{(T_i - T_B)^2 - (T_B - T_e)^2}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} \\ &\approx \frac{(T_i - T_B)^2 - (T_B - T_e)^2}{(T_i - T_e)^2} \\ &= \frac{T_i^2 - T_e^2}{(T_i - T_e)^2} - \frac{2}{(T_i - T_e)} \cdot T_B \quad ; [-]\end{aligned}\quad (5)$$

ahol ε egy végtelenül kis mennyiség, hogy ne lehessen a nevezőben nulla.

Ha $(-1) < \varepsilon < 0$, akkor az I. zónába (100%-ban szabadhűtés) van, ha $0 \leq \varepsilon$, akkor a II. zónában (szabadhűtés és gépi hűtés kombinációja), ha pedig $\varepsilon \leq (-1)$, akkor pedig a III. zónában (100%-ban gépi hűtés).

A jelzőszám későbbi hasznosíthatóságára javasolt két további összefüggést megadni. Az elsőnél adott pillanatban, rögzített légcsereszámmal írhatjuk fel az összefüggést:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \frac{T_i^2 - T_e^2}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} - 2 \cdot \frac{(T_i - T_e)}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} \cdot T_i \\ &\quad + 2 \cdot \frac{(T_i - T_e)}{(T_i - T_e)^2 + \varepsilon} \cdot \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n} \\ \varepsilon &= \frac{T_i^2 - T_e^2}{(T_i - T_e)^2} - \frac{2 \cdot T_i}{T_i - T_e} \\ &\quad + \frac{2 \cdot (\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i)}{(T_i - T_e) \cdot (H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n)} ; [-]\end{aligned}\quad (6)$$

ahol:

- T_i a belső hőmérséklet [K]-ben,
- T_e külső hőmérséklet [K]-ben,
- $\dot{Q}_{rad}$ a sugárzásos hőnyereség [W]-ban,
- $\dot{Q}_i$ belső hőnyereségek [W]-ban,
- H_{tr} a transzmissziós hővesztesség-tényező [W/K]-ben,
- c a levegő fajhője [J/(kg·K)]-ben,
- ρ a levegő sűrűsége, [kg/m³]-ben,
- V a helyiség térfogata, [m³]-ben,
- n a helyiség légcsereszáma, [1/h]-ban.

A másodiknál megadhatjuk azt a légcsereszám-értéket, melynél az adott ε érték eléréséhez szükséges légcsereszámot kapjuk meg adott pillanatban:

$$n = \frac{2}{c \cdot \rho \cdot V} \cdot \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{2 \cdot T_i + \left[\frac{(T_i - T_e)^2 + \epsilon}{T_i - T_e} \right] \cdot \epsilon - \frac{T_i^2 - T_e^2}{T_i - T_e}} - \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V}; [-]$$

$$n = \frac{2}{c \cdot \rho \cdot V} \cdot \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{2 \cdot T_i + (T_i - T_e) \cdot \epsilon - \frac{T_i^2 - T_e^2}{T_i - T_e}} - \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V}; [-] \quad (7)$$

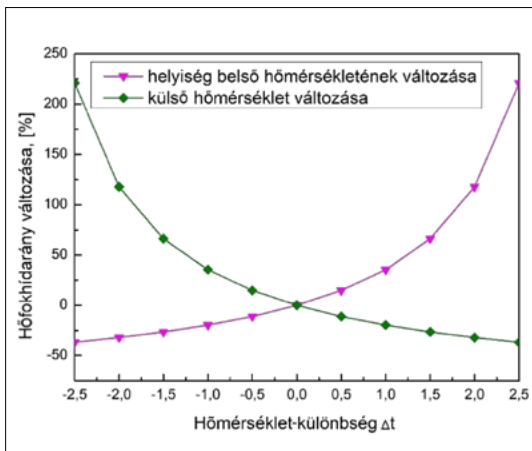
3.2.2. A hőfokhídarány érzékenységvizsgálata

Az előzőekben leírt hőfokhídarány tényező érzékenységvizsgálatát mutatom be. Az érzékenységvizsgálatot a (6) egyenlet alapján végeztem el. A vizsgálat lényege, hogy szemléltetem, milyen mértékben változik a tényező értéke, ha valamely tagját változtatom. Minden tényező változtatásakor ugyanazon kiindulási adatsorból indultam ki, majd a kiemelt tényező értékét százalékosan változtattam.

A 4. ábrán látható a (6) egyenlet által meghatározott hőfokhídarány-érték változása a belső és külső hőmérséklet változtatásával.

A vízszintes tengelyen látható a hőmérséklet-különbség (Δt), a függőleges tengelyen pedig a hőfokhídarány százalékos változtatása a hőmérséklet egységnyi változtatásával. A belső hőmérsékletet (T_i) 22 °C-ról 27 °C-ra féléfokként növeljük, míg a külső hőmérsékletet (T_e) 25,5 és 30,5 °C között változtatjuk féléfokként.

Az 5. ábrán látható a légcsereszám, a transzmissziós hőveszteség-tényező és a helyiségtér-fogat százalékos változtatásának hatása a hőfokhídarány-értékre a (6) egyenlet alapján.



4. ábra. A hőfokhídarány változása a belső és külső hőmérséklet függvényében

A vízszintes tengelyen látható a tényezők százalékos változtatása, a függőleges tengelyen pedig a hőfokhídarány változása. A légcsereszám százalékos változtatása látható, de az alapegyenletben 0,5 1/h volt a kiindulási pont. A vizsgált légcsereszámok a 0; 0,125; 0,25; 0,375; 0,5; 0,625; 0,74; 0,875 és 1 [1/h].

A transzmissziós hőveszteség-tényező az alapegyenletben 16,49 W/K, melynek 0–32 közötti változása látható az ábrán.

A helyiség térfogatának változtatásakor 174,35 m³ volt a kiindulási érték, mely egységenként 25% csökkentéssel, illetve növeléssel látható a diagramon.

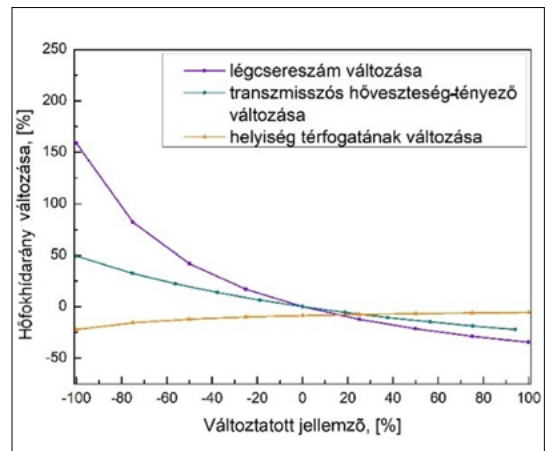
3.3. A szabadhűtés alkalmazási határa – a teljesítményoldalról

A következőkben azt vizsgálom, hogy a légcsereszám Δn értékkel megnövelése mit eredményez. Tekintsük a továbbiakban kiindulásnak azt a légcsereszámot n_{min} -nak, mely a természetes filtráció miatt kialakul. Az ehhez tartozó hűtési határhőmérséklet a következő összefüggéssel határozható meg [10]:

$$T_{B,min} = T_i - \frac{\dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_i}{H_{tr} + c \cdot \rho \cdot V \cdot n_{min}} \quad (8)$$

Ha ezen a légcsereszám n_{min} értékét Δn értékkel megnöveljük, az a hűtési határhőmérsékletben is változást eredményez. A változás mértéke:

$$\Delta T_B = \frac{T_i - T_{B,min}}{1 + \frac{n_{min}}{\Delta n} + \frac{H_{tr}}{c \cdot \rho \cdot V \cdot \Delta n}} \quad (9)$$



5. ábra. A hőfokhídarány változása a légcsereszám, transzmissziós hőveszteség-tényező és a helyiség térfogat-változtatásának függvényében

A megnövelt légcsereszám miatt a ventilátor által igényelt nagyobb villamos munka mennyisége [15]:

$$\Delta W_{ve} = \frac{\Delta P_{hasznos}}{\eta_{ve}} \cdot \Delta \tau_{ve} = \frac{\Delta p_0 \cdot V \cdot \Delta n}{\eta_{ve}} \cdot \Delta \tau_{ve} \quad (10)$$

$$= \left(\frac{\Delta p_0 \cdot V}{\eta_{ve}} \right) \cdot \Delta n \cdot \Delta \tau_{ve}$$

A zárójeles tag a ventilátor nyomásfokozását, hatásfokát és a helyiség térfogatát jelenti. Elvileg ezek a ventilátor légcsereszámának növelésekor állandónak tekinthetők. A $\Delta \tau_{ve}$ a ventilátor működési ideje lesz.

A szabadhűtés alkalmazásával a hűtőgép működtetéséhez szükséges villamos munkát spórolunk meg. A megspórolt villamos munka:

$$\Delta W_{HG} = \frac{\Delta E_c}{SCOP_R} \quad (11)$$

A megnövelt légcseres (Δn) miatt megváltozik a határhőmérséklet (ΔT_B), emiatt pedig változik a hűtési órák száma ($\Delta N_{C,max}$ -ról ΔN_C -re csökken, vagyis pontosan $\Delta \tau_{ve}$ -vel csökken!). A határhőmérséklet változása és a hűtési órák száma között nincs kidolgozott matematikai összefüggés, a pontos kapcsolatot egyedi napok esetén kell megvizsgálni. [16]

A szabadhűtés alkalmazásának akkor van létjogosultsága, ha a megnövelt ventilációs munka kevesebb, csak egy előre meghatározott értékkel több, mint a megspórolt villamos munka (ezzel lehet figyelembe venni pl. az egyszerűbb technológiai kivitel).

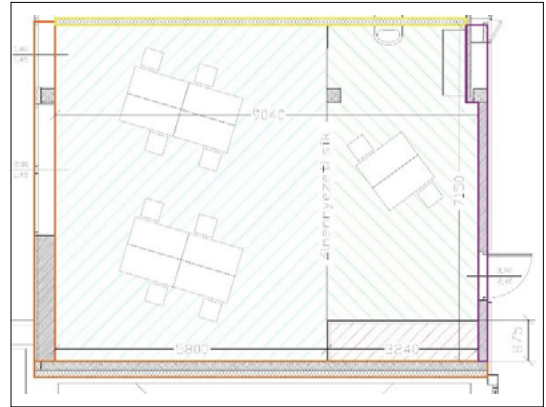
$$\Delta W_{ve} \leq z \cdot \Delta W_{HG} \quad (12)$$

Mint látható, a szabadhűtés alkalmazhatóságát célszerű egy esettanulmányon keresztül megvizsgálni.

4 Esettanulmány

4.1. A vizsgált épület bemutatása

A vizsgálatok során egy olyan helyiséget vizsgáltam (6. ábra), mely egy négyszintes (földszint és rajta 3 emelet) épület harmadik szintjén található. Az épület kialakításából adódóan a helyiség két külső fallal rendelkezik ($U=0,24 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$), melynek egy része üvegezett ($U_{üveg}=1,1 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$). Ezek az értékek megfelelnek a magyarországi ÉKM-rendeletben rögzített írásoknak. A helyiség $61,45 \text{ m}^2$ alapterületű és $174,35 \text{ m}^3$ légtérfogatú. A helyiségben az üvegezett felület közelében 3 m belmagasság jellemző, míg az ajtóhoz közelebb 2,5 m. A 6. ábrán zöld területi jelöléssel látható



6. ábra. A vizsgált helyiség kialakítása:
narancs – külső fal, citrom – belső fal a terem felől, lila – belső fal a folyosó felől, kék – belmagasság, 3 m, zöld – belmagasság, 2,5 m.

az álmennyezet miatti belmagassági különbség területe. A helyiség szerkezeteiből származó hővesztesség tényezője (H_u) $16,49 \text{ W/m}^2$. A helyiség méretei az alábbi ábrán láthatóak [16, 17]:

A helyiséget kialakítása, tulajdonságai alapján három funkció szerint vizsgáltam meg: a kereskedelmi (pl.: vegyes kereskedésű kisbolt), irodai és lakossági (nappali). A 6. ábrán jelenleg az irodai funkciónak megfelelő belső kialakítással látható. Lakossági és kereskedelmi használat esetén a bútorok kialakítása és elrendezése változhat.

A helyiség vizsgálata során változtatott paraméterek:

- tájolás (észak, kelet, nyugat, dél);
- üvegezési arány 0–100% (40%);
- épületfunkció: iroda, kereskedelmi, lakossági;
- meteorológiai: extrém nyári nap, extrém hőségnap, extrém forró nap.

A vizsgált esetekben a belső hőmérsékletet egyenesen $24,5^\circ\text{C}$ -kal vettem figyelembe, az MSZ CR 1752 ajánlása alapján. A hűtéssel potenciálisan érintett időszak külső állapotát három meteorológiai nappal (extrém forrónap, extrém hőségnap és extrém nyári nap) jellemeztem. A kiválasztás során a 2009–2019-es debreceni adatbázist használtam. Elsőnek elkülönítettem minden évből a háromféle meteorológiai napot. Ezután mindegyik vizsgált évben kiválasztottam a legnagyobb napi hőmérséklet-ingadozást napokat, mindhárom hőmérsékleti csoportból. Végül a harmadik körben a három hőmérsékleti csoportból mindig azt az évet választottam, ahol a legkisebb a napi hőmérséklet-ingadozás. A második körrel a cél az volt, hogy azokat a napokat találjam meg, ahol

várhatóan a legnagyobb az energiamegtakarítás, a harmadikkal pedig az, hogy a hirtelen időjárás-változásokat (pl. délelőtt süt a nap, délután esik az eső) kiszűrjem. [18, 19, 20]

A belső hőnyereségeket (emberek, gépek stb. hőleadása) az MSZ EN ISO 13790 szerint vettem fel. Az energiaigény-számításnál a kiinduló légcsereszámnak $n_0 = 0,5$ [1/h] értékét vettem figyelembe, melyet a természetes filtrációt jellemző értéknek vettem. Az adott funkcióhoz megállapítottam egy minimális légcsereszámot is, a benntartózkodók száma és az egy főre eső frisslevegő-igény alapján. A mesterséges szellőztetésnél és a gépi hűtésnél figyelembe vett gépi jellemző értékeket az ÉKM ajánlásai alapján vettem figyelembe. Ezeket az értékeket az **1. táblázat** foglalja össze. [17, 21]

1. táblázat. A gépészettel kapcsolatosan figyelembe vett adatok

	Jele	Értéke
Közös	η_{ve} [%]	80%
	Δ_{p0} [Pa]	500 Pa
	SEER; [-]	4
Iroda	n_{min} [1/h]	1.0324
	A_C [h]	7:00–17:00 (10 h)
	φ [%]	30%
Kereskedelmi	n_{min} [1/h]	4.3017
	A_C [h]	7:00–19:00 (12h)
	φ [%]	0%
Lakossági	n_{min} [1/h]	0.6883
	A_C [h]	0:00–24:00 (24h)
	φ [%]	0%

4.2. Előzetes elemzések az energiaigény-számítás előtt

A potenciális energiamegtakarítások vizsgálata előtt célszerű kétféle előzetes elemzést is elvégezni. Az egyik a hőterhelés és a hűtési határhőmérséklet elemzése, míg a másik az újonnan bevezetett hőfokhíd arányának vizsgálata.

4.2.1. Az üvegezési arány, a funkció és a tájolás hatása a hőterhelésre és a hűtési határhőmérsékletre

Az energiaigények elemzése előtt megvizsgáltam az üvegezési arány, a funkció és a tájolás hatását a hűtési határhőmérsékletre és a hőterhelés értékére. Az egyszerűsítés érdekében csak az extrém hőszélsőségeket vettem figyelembe. Így összesen 36 esetet alakítottam ki az alábbiak szerint:

- 4 tájolás: észak, kelet, dél és nyugat;
- 3 funkció: iroda, lakóépület és kereskedelmi;
- 3 üvegezési arány: 20%, 40% és 80%.

A vizsgált eseteknél a belső hőmérsékletet az MSZ CR 1752 ajánlása alapján 24,5 °C-on rögzítettem. A belső hőnyereségeket (emberek, gépek stb. hőleadása) az MSZ EN ISO 13790 szabvány szerint határoztam meg, amelyek a funkciótól függően változtak: labor esetén 5 W/m², irodánál 7,4 W/m², üzletben 10 W/m², míg nappalinál 9 W/m². [18, 21, 22]

A légcseréértékek (természetes és mesterséges) meghatározásánál az MSZ CR 1752 szabvány „A” komfortkategóriájának szellőző levegőigényeit vettem alapul, így irodánál 2,50 1/h, üzletben 5,3 1/h, nappaliban pedig 9,00 1/h értékkel számoltam. [18]

A következő ábrán láthatjuk a hűtési határhőmérséklet értékét (**7.a ábra**), illetve a hőterhelés értékét a 36 vizsgált esetben, különböző szempontok szerint csoportosítva (**7. b,c,d ábra**).

A 7a ábra alapján látható, hogy a hűtési határhőmérséklet értékét számos tényező jelentős mértékben befolyásolja, és az épület funkciója nem tekinthető az egyetlen vagy legmeghatározóbb szempontnak. Az ábrán megfigyelhető, hogy minél nagyobb az üvegezési arány (adott funkción belül a magasabb esetsorszámokhoz tartozik nagyobb üvegezési arány), annál alacsonyabb a hűtési határhőmérséklet. A vizsgált 48 esetben a hűtési határhőmérséklet értéke 17,53 °C és 23,66 °C között változik.

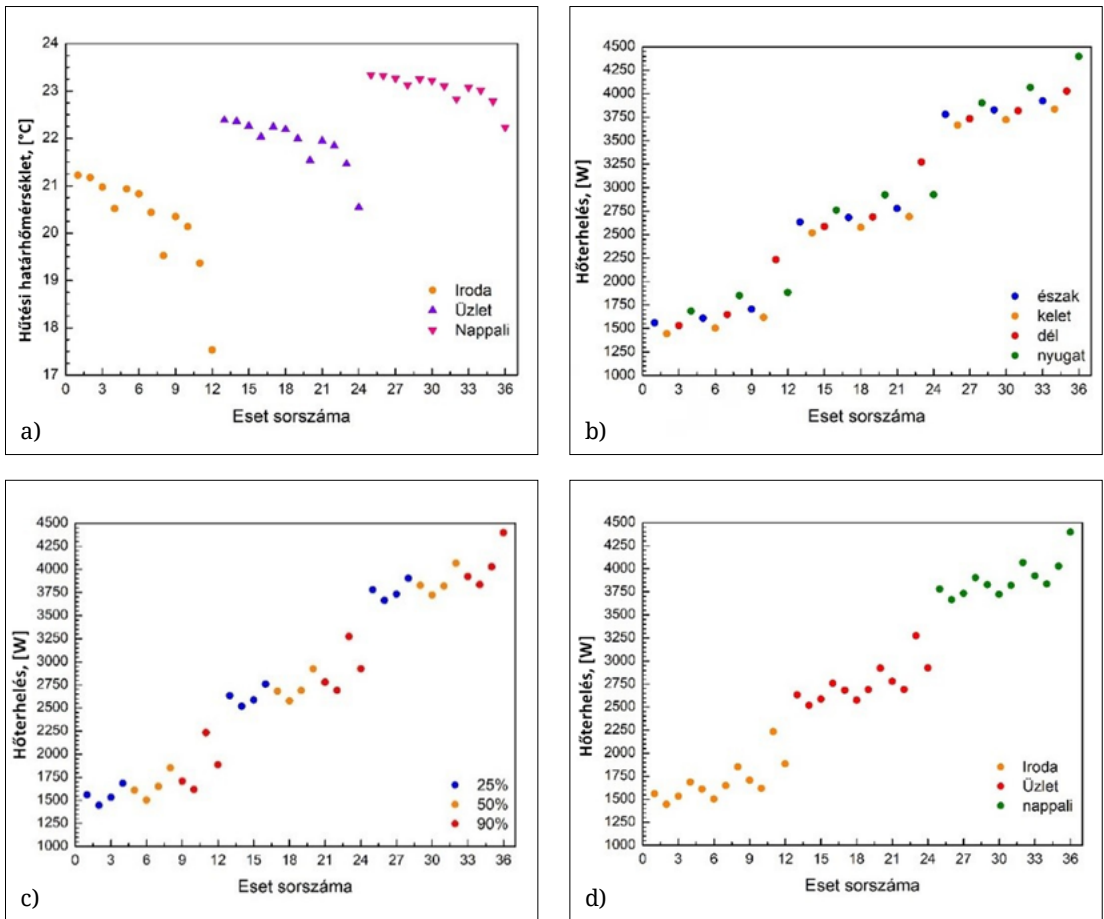
A hőterhelés vizsgálatánál a **7.b ábrán** az azonos tájolású esetek, a **7.c ábrán** az azonos üvegezési arányú esetek, míg az **7.d ábrán** az azonos funkciójú esetek vannak egy színnel jelölve. Az ábrák alapján megállapítható, hogy egy adott funkció esetén a nyugati tájolású, illetve másodsorban a déli tájolású, nagy üvegfelületű helyiségeknél lesz nagyobb a hőterhelés értéke.

Úgy vélem, hogy ez az előzetes vizsgálat nem biztosított elegendő információt a domináns szempontok egyértelmű azonosításához, emiatt célszerű további vizsgálatok elvégzése is.

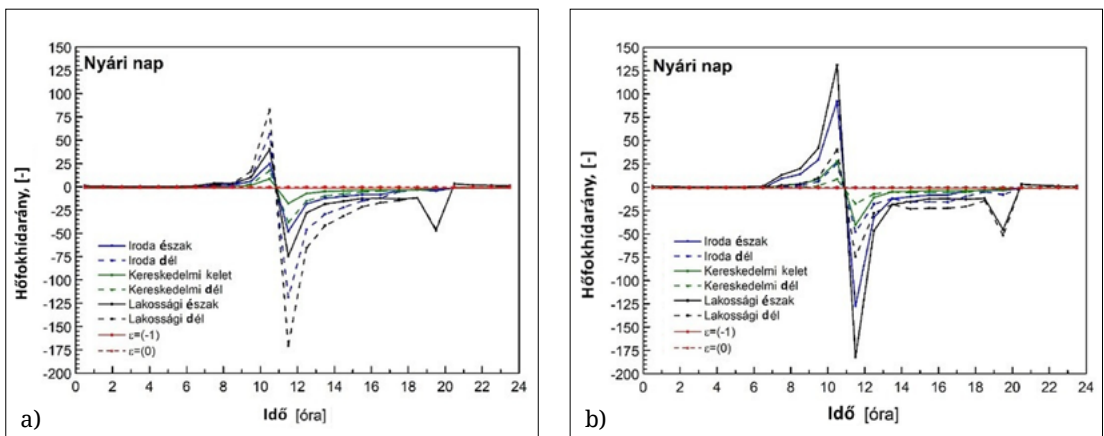
4.2.2. Előzetes elemzés a hőfokhídarány használatával

A szabadhűtés alkalmazásával megtakarítható energia meghatározása előtt vizsgáljuk meg azt, hogy a nap melyik időszakában, milyen tájolás és milyen külső meteorológiai állapotok mellett várható jelentős energiamegtakarítás.

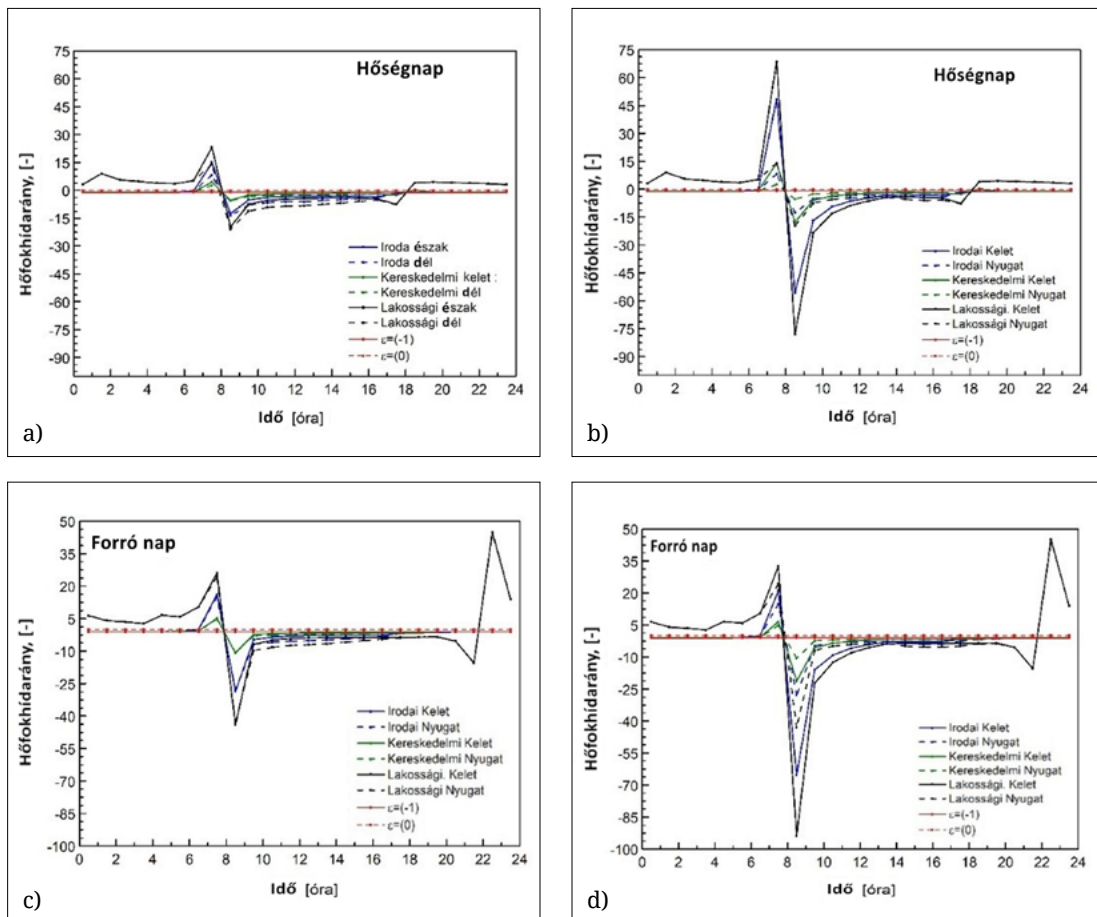
Ehhez rögzíteni kellett pár paramétert. Az első ilyen, hogy az üvegezést egységesen 40%-osnak



7. ábra. a) A hűtési határhőmérséklet, b) a nyári hőterhelés értéke, azonos tájolású esetek egy színnel, c) a nyári hőterhelés értéke, üvegezési arányú esetek egy színnel, d) a nyári hőterhelés értéke, azonos funkciójú esetek egy színnel



8. ábra. A hőfokhídarány értékének alakulása 40% üvegezés és n_{min} légcsereszám mellett. a) Nyári nap, É- és D-tájolás; b) nyári nap, K- és NY-tájolás



9. ábra. A hőfokhárány értékének alakulása 40% üvegezés és $n_{\min}$ légcsereszám mellett. a) Hőségnap, É- és D-tájolás; b) Hőségnap, K- és NY-tájolás; c) Forró nap, É- és D-tájolás; d) Forró nap, K- és NY-tájolás

vettem, a másik pedig, hogy adott funkció mellett a légcsereszám értékénél a minimálisan (nmin) vettem figyelembe.

A könnyebb áttekinthetőség és az eredmények hangsúlyozása érdekében a nyári napok adatait külön ábrán tüntettem fel.

Az eredményeket a nyári nap esetén mutatja a 8. ábra.

A hőségnapok és forró napok esetén a 9. ábrán láthatóak:

Az ábrán a jobb átláthatóság miatt külön szemléltetem az É-D- és a K-NY- tájolásokat. Segítségként szerepelnek az $\varepsilon=0$ és az $\varepsilon=(-1)$ vonalak is. Ha az ε értéke kisebb, mint -1, akkor kizárólag gépi hűtés jöhet szóba. Ha nullánál nagyobb pedig, akkor lehetőség van csökkentett gépi hűtés mellett szabadhűtést is használni.

Az eredmények alapján várhatóan a meteorológiai napok közül a nyári napoknál, utána a

hőségnapoknál, végül a forró napoknál várható jelentős megtakarítás. A tájolások esetén a keleti, a déli-, a nyugati- és az északitájolás-sorrend lesz megfigyelhető. Funkció esetén a lakóépület-, az iroda-, és a kereskedelmiépítmeny-sorrend várható.

5. Következtetések

A jövőbeli energiaválságok lehetősége egyre inkább előtérbe helyezi az épületek várható energiaigényének minél pontosabb meghatározására irányuló törekvéseket. E dolgozat olyan újszerű megközelítéseket mutat be, amelyek jelentős mértékben hozzájárulhatnak a cél eléréséhez. Az elméleti elközelések mellett egy konkrét esettanulmányon keresztül szemléltetem alkalmazhatóságát is.

Az első fejezetben bemutatam az alkalmazott módszerek elméleti hátterét. Bemutattam a hő-

fokgyakorisági görbét, a határhőmérséklet meghatározását, valamint a korábbi tudományos munka keretein belül kutatott funkciófüggő hatásfokot. Ezt követően ismertettem a szabadhűtés fogalmát, jelentőségét.

A második fejezetben a szabadhűtés létjogosultságát mutattam be. A hőfokgyakorisági görbén szemléltettem a szabadhűtési zóna értelmezését, majd ebből következően a hőfokhídarány-tényezőt is. A tényező egyenlet általi bemutatását követően érzékenységvizsgálatot végeztem el, mely szerint az alapegyenletből kiindulva, valamely tag értékét változtatva milyen mértékben változik a tényező értéke.

Ugyanebben a fejezetben foglalkoztam a szabadhűtés alkalmazási határával, mely során megvizsgáltam, hogy a légcsereszám egységnyi növelésével mit eredményez.

A következő fejezetben bemutatom az esettanulmányt. Elsősorban bemutatom a vizsgálat során használt épület tulajdonságait, számítások értékeit. Ezt követően diagramokkal szemléltetem az ε változtatás (pl.: nyári nap, hőségnap, forró nap) számításával kapott eredményeket.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Szabó G. L.: *Épületek sugárzó hűtési rendszereinek energetikai és exergetikai vizsgálata*. Doktori disszertáció. Debreceni Egyetem, 2020.
- [2] Development, Hungarian Ministry of National, *National Energy Strategy 2030*. 2012.
- [3] Béni E., Szabó G. L.: *A belső léghőmérséklet változtatásának hatása az energiaigényekre*. Magyar Épületgépészet, 72/7–8. (2023) 1–5.
- [4] T. Abergel és C. Delmastro: *Is Cooling the Future of Heating?* International Energy Agency, 2020. <https://www.iea.org/commentaries/is-cooling-the-future-of-heating>
- [5] C. Fan, B. Zou, Y. Liao, X. Zhou: *Evaluation of Energy Performance and Ecological Benefit of Free-Cooling System for Data Centers in World-wide Climates*. Sustainable Cities and Society, 108. (2024) 105509. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105509>
- [6] A. Aili, W. Long, Z. Cao, Y. Wen: *Radiative Free Cooling for Energy and Water Saving in Data Centers*. Applied Energy, 359. (2024) 122672. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.122672>
- [7] R. Mi, X. Bai, X. Xu, F. Ren: *Energy Performance Evaluation in a Data Center with Water-Side Free Cooling*. Energy and Buildings, 295. (2023) 113278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113278>
- [8] H. M. Ljungvist, M. Risberg, A. Toffolo, M. Vesterlund: *A Realistic View on Heat Reuse from Direct Free Air-Cooled Data Centres*. Energy Conversion and Management: X, 20. (2023) 100473. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100473>
- [9] B. Bodó, E. Béni, G. L. Szabó: *A Facility's Energy Demand Analysis for Different Building Functions*. Buildings, 13/8. (2023) 1905. <https://doi.org/10.3390/buildings13081905>
- [10] Z. Verbai, I. Csáky, F. Kalmár: *Balance Point Temperature for Heating as a Function of Glazing Orientation and Room Time Constant*. Energy and Buildings, 135. (2017) 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.024>
- [11] Y. Yang, B. Wang, Q. Zhou: *Air Conditioning System Design Using Free Cooling Technology and Running Mode of a Data Center in Jinan*. Procedia Engineering, 205. (2017) 3545–3549. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.924>
- [12] J. Mahan: *What Is Free Cooling? Free Cooling HVAC Chillers Guide*. [Hozzáférés: 28 10 2024]. <https://cc-techgroup.com/free-cooling/>.
- [13] W. Zhao, H. Li, S. Wang: *A Generic Design Optimization Framework for Semiconductor Cleanroom Air-Conditioning Systems Integrating Heat Recovery and Free Cooling for Enhanced Energy Performance*. Energy, 286. (2024) 129600. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129600>
- [14] Y. Zhou, S. Li, Q. Li, F. Wei, D. Yang, J. Liu, D. Yu: *Energy Savings in Direct Air-Side Free Cooling Data Centers: A Cross-System Modeling and Optimization Framework*. Energy and Buildings, 308. (2024) 114003. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114003>
- [15] I. Soltész, G. Szakács: *Az épületek energiahatékonysága. Uniós és hazai szabályozás*. Wolters Kluwer Hungary Kft., 2019.
- [16] A. Zöld, T. Csoknyai, M. Horváth, Z. Szalay: *Az épületenergetika alapjai*. Akadémiai Kiadó, 2019.
- [17] 9/2023. (V. 25.) ÉKM rendelet, 2023.
- [18] MSZ-CR-1752:2000, 2000.
- [19] G. L. Szabó: *Hűtési igények*. [Performance]. 2022.
- [20] Országos Meteorológiai Szolgálat, [Online]. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/?fbclid=IwAR35blUrPZCC1YSSkqpXhMuSuyHtLEkPp2gVuAqv4HwcZHFp4zTGkKouY.
- [21] MSZ EN ISO 13790:2008, 2008.
- [22] MSZ 04-140-4:1978, 1978.
- [23] Z. Yang: *Building Thermal Energy Efficiency Modeling Based on Light Image Inspection and Super Resolution Algorithm in Interior Landscape Design*. Thermal Science and Engineering Progress, 54. (2024) 102818. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102818>



MENTŐS HORDÁGY EMELÉSÉT SEGÍTŐ PNEUMATIKUS MECHANIZMUS MÉRLETEZÉSE

SIZING OF A PNEUMATIC MECHANISM FOR STRETCHER LIFTING ASSISTANCE

Dimény Zalán,¹ Forgó Zoltán²

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, dimen.zalan@sudent.ms.sapientia.ro

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

Abstract

The work of paramedics is physically demanding. Lifting a stretcher from the ground puts strain on the back and waist, which can lead to injuries over time. Our goal is to develop a support system that assists paramedics in the most difficult phase of lifting by using pneumatic actuators. The system operates with compressed air, which is refilled by a built-in compressor. In this project, we modeled the system and performed the necessary calculations to find the optimal solution.

Keywords: *stretcher, ambulance service, pneumatics, modeling.*

Összefoglalás

A mentősök munkája nagy fizikai megterheléssel jár. A hordágy földről való megemelése terheli a derekat és a hátat, ami hosszú távon sérülésekhez vezethet. Célunk egy olyan kiegészítő rendszer kifejlesztése, amely pneumatikus munkahengerek felhasználásával az emelés első, legnehezebb szakaszában segíti a mentősök munkáját. A rendszer sűrített levegőt használ, amelyet egy beépített kompresszor tölt újra. A projekt során ezt a rendszert modelleztük, és a szükséges számításokat is elvégeztük, annak érdekében, hogy megtaláljuk az optimális megoldást.

Kulcsszavak: *hordágy, mentős szolgálat, pneumatika, modellezés.*

1. Bevezetés

A sérült, illetve beteg emberek ellátása nem ott szokott történni, ahol a sérülést szerezték, vagy ahol a betegséget elkapták, hanem egy erre külön kijelölt helyen, amely a kórház. Viszont, oda el kell szállítani a betegeket, ehhez különböző szállítóeszközöket lehet használni, például mentőautókat. Egy kihívás lehet, hogy a beteget egyáltalán az autóiig elszállítsák.

Mivel az a cél, hogy minél kevesebbet mozgítsák a sérültet annak érdekében, hogy ne súlyosbodjanak a sérülései, ezért amennyiben lehetséges, fekvéssel szállítják a beteget, ezáltal elkerülve a komplikációkat. Ehhez egy olyan hordágyat használnak,

amelyet össze lehet csukni, ezáltal közelebb kerül a földszinhez, hogy a betegeket egyszerűbb és biztonságosabb legyen felhelyezni rá, amennyiben a földre kerültek, ami igen gyakori a balesetek során. Ezt követően a hordágyat a pácienssel együtt fel kell emelni a földről, majd eljuttatni a mentőautóba, amellyel el lesz szállítva a beteg.

Ezt az emelést rendszerint két mentős végzi, a hordágy két végén elhelyezkedve. Ez a művelet kiemelten megterhelő tud lenni, sok esetben nagy tömegeket kell megmozdítani ilyenkor, és általában ezt a műveletet naponta többször is meg kell ismételni. Ez a munka hosszú távon különböző egészségügyi problémákhoz vezethet, mint például

dául gerinc- és hátfájdalmak, sérülések, illetve sérvek.

Ennek a problémának a kérdésköre sarkallt arra, hogy elkezdjünk egy olyan megoldást keresni, amely segíteni tudja mentősök munkáját, és óvja az egészségüket. Az elképzelés az, hogy egy olyan rendszerrel szereljük fel a hordágyat, amely segíti ezt az emelést, tehát a mentősöknek kisebb teherrel kell megbirkózzanak.

A feladat tehát az, hogy egy olyan rendszerrel egészítsük ki a hordágyat, amely az emelés első, a legkritikusabb felében segít. Ez körülbelül 30-40 centiméternek felel meg. Emellett az is fontos, hogy könnyen felszerelhető legyen, hogy ne kelljen nagy változtatásokat végrehajtani az ágyon. Illetve az is fontos, hogy a rendszer tömegét minél kisebbre méretezzük.

Arra a következtetésre jutottunk, hogy ehhez a feladathoz egy pneumatikus rendszer megfelelő, mivel a munkahengereket gyorsan lehet vezérelni, és viszonylag kicsi a tömegük, ahhoz képest, hogy milyen erőt lehet velük kifejteni. A pneumatikus rendszerrel viszonylag jól meg lehetne valósítani a vezérlés azon részét, hogy az emelés sebességét elsősorban a mentősök határozzák meg.

Ugyanis, például, ha a rendszer 80 kilogrammot képes magától felemelni, és egy 90 kilogramm tömegű beteget fektetnek fel rá, akkor az ágy nem fog addig emelkedni, amíg a mentősök rá nem segítenek több mint 10 kilogrammnak megfelelő erővel. Ebben az esetben már lényeges különbséget tesz az, hogy a hordágy fel van-e szerelve egy kisegítő emelőrendszerrel.

Ezen megfontolások alapján tekintettük meg egy konkrét hordágy modelljét, és tanulmányoztuk, hogyan lehetne ellátni egy olyan mechanizmussal, amely ezt a feladatot képes ellátni.

2. A modell

Mivel az egyik fő célunk, hogy egy működőképes fizikai rendszert tudjunk felmutatni, ezért a feladat elkezdésekor a legfontosabb feladat az volt, hogy beszerezzünk egy mentős hordágyat, amelyet prototípusnak használhatunk.

Ez nemcsak azért fontos, hogy valami kézzelfogható eszközünk legyen, amelyen méréseket tudunk végezni, és elvégezni rajta a módosításokat, hanem azért is, hogy egy olyan típusú hordággal dolgozzunk, amelyet a környezetünkben is aktívan használnak, ezáltal aktuális legyen a modell.

A vizsgált hordágy a **1. ábrán** látható, amely egy Medirol márkájú ágy.

Ezután következett a hordágy háromdimenziós modelljének az elkészítése. Ezt Autodesk Inventor környezetben valósítottuk meg, a reverse engineering-technikát alkalmazva, ugyanis adott volt egy már létező termék, amelyről nem rendelkezünk dokumentációval vagy modellel, úgyhogy mérések sorozatán keresztül felépítettük a modellt, amely igyekszik minél pontosabban követni a valós ágy méreteit és mozgásait. Ezt a **2. ábrán** jelenítettük meg.

A hordágy első két és hátsó két lába össze van kapcsolva, tehát ezek együtt képesek elmozdulni. Illetve az első és hátsó lábak középen egy rúddal össze vannak kötve, tehát az összes láb egyszerre tud csak mozgásba lendülni.

Ezt követte a mechanizmus megtervezése és méretezése. Ez a feladat lényegesen egyszerűbb volt a modell segítségével, ezzel a mozgás több szemszögből megvizsgálhatóvá vált, illetve a kiegészítő mechanizmusok elkészítése is egy egyértelmű képet adott a megvalósíthatóságról.



1. ábra. A Medirol márkájú hordágy



2. ábra. A hordágy háromdimenziós modellje

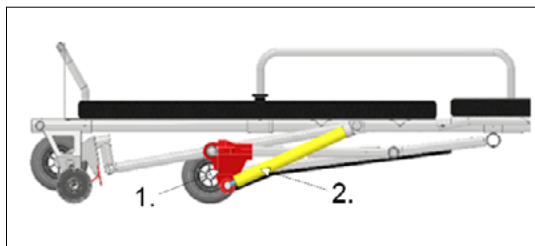
Az optimális megoldás megtalálása érdekében több lehetséges kivitelezést is megvizsgáltunk, hogy mennyire lenne megvalósítható vagy működőképes, ez alapján tudjuk kiválasztani, hogy melyik változat az, amelyet érdemes lenne kivitelezni és javítani.

3. Ajánlott megoldások tanulmányozása

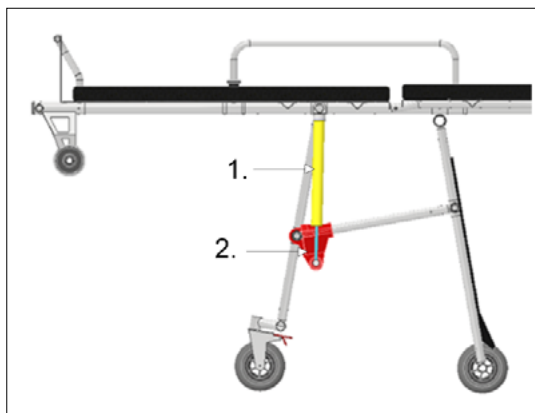
3.1. I. ajánlott megoldás

Az első ajánlott megoldás esetében egy tárcsát erősítünk a két lábat összekötő rúdra. Két oldalról egy-egy munkahengert erősítünk a tárcsához, ezek másik végét, pedig az ágyhoz fekvő részéhez rögzítjük. Ez összcscukott állapotban a **3. ábrán** látható, illetve teljesen kinyitott állapotban a **4. ábrán**.

Itt az az elképzelés, hogy a munkahengerrel a lábakat összekötő rúdra fejtünk ki erőt. Az emelést azáltal valósítjuk meg, hogy a középső rudat húzva kényszerítjük kinyitásra a mechanizmust. A modell készítése mellett elvégeztünk néhány számítást a munkahenger méretezésére nézve **[1]**.



3. ábra. I. ajánlott megoldás összcscukott állapotban: 1. tárcsa, 2. munkahenger



4. ábra. I. ajánlott megoldás kinyitott állapotban: 1. munkahenger, 2. tárcsa

$$G_t = G \cdot \cos \alpha = 800 \cdot \cos 14 = 776.23 \text{ N} \quad (1)$$

$$M_{G_t} = G_t \cdot l_G = 776.23 \cdot 0.416 = 322.91 \text{ Nm} \quad (2)$$

$$M_{G_t} = M_{F_m} \quad (3)$$

$$M_{G_t} = F_m \cdot l_F \quad (4)$$

$$F_m = \frac{M_{G_t}}{l_F} = \frac{322.91}{0.114} = 2832.58 \text{ N} \quad (5)$$

$$p_m = \frac{F_m}{A_m} \quad (6)$$

$$A_m = \frac{F_m}{p_m} = \frac{2832.58}{0.8} = 3540.67 \text{ mm}^2 \quad (7)$$

$$A_m = \pi \cdot \frac{D_m^2}{4} \quad (8)$$

$$D_m = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_m}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{3540.67}{\pi}} = 67.14 \text{ mm} \quad (9)$$

ahol:

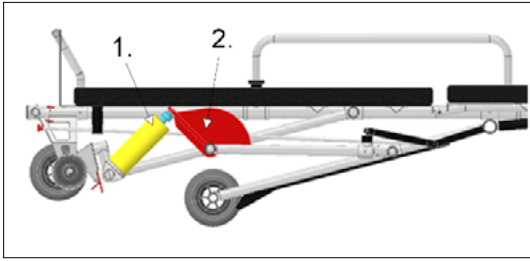
- G a terhelőerő;
- G_t a terhel erő erőkarra merőleges komponense;
- α a G és G_t közötti szög;
- M_{G_t} a G_t által kifejtett forgatónyomaték, a bal oldali láb felső csuklója körül;
- l_G a G_t erőhöz tartozó erőkar;
- F_m a munkahenger által kifejtett erő;
- M_{F_m} az F_m által kifejtett forgatónyomaték, a középső rud tárcsa felőli csuklójában, ez az átkötő rúdra fejt ki hatást;
- l_F a F_m erőhöz tartozó erőkar;
- p_m a munkahengerben megjelenő nyomás;
- A_m a dugattyú felülete;
- D_m a munkahenger átmérője.

Megvizsgálva a számításokból kapott eredményeket, arra következtetésre jutottunk, hogy ennél a megoldásnál túl nagy erőre és munkahengerre lenne szükség. Egyrészt az ágy vázszerkezetét túlzottan megterhelné a működés, illetve a nagy átmérőjű munkahenger nagyobb tömeget is jelent, amihez még a levegőtartály is hozzátevődik. Ezért egy másik megoldást kezdtünk el keresni.

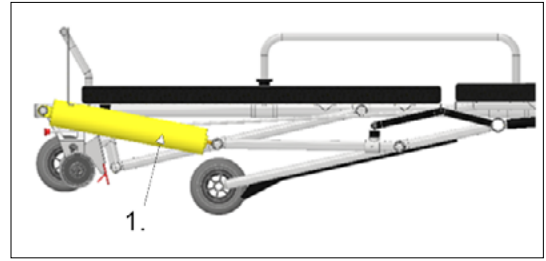
3.2. II. Ajánlott megoldás

A második ajánlott megoldásnál is ugyanazon logikát alkalmaztunk, mint az elsőnél, hogy az összekötő rudat húzzuk, és ezen keresztül emeljük fel az ágyat. Erről a **5. ábrán** látható egy kép összcscukott állapotban.

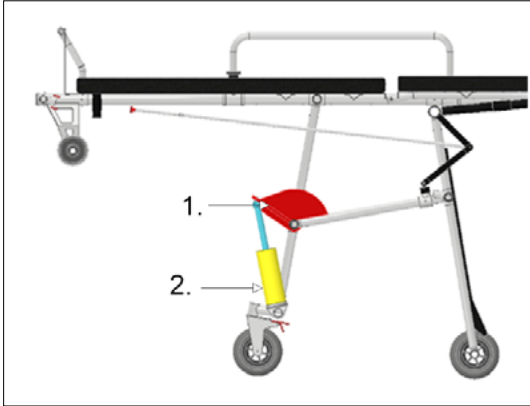
Ez a két megoldás egymással párhuzamosan készült, mivel a munkahenger méretezéséhez tar-



5. ábra. II. ajánlott megoldás összecukott állapotban: 1. munkahenger, 2. tárcsa



7. ábra. III. ajánlott megoldás összecukott állapotban: 1. munkahenger



6. ábra. II. ajánlott megoldás nyitott állapotban: 1. tárcsa, 2. munkahenger



8. ábra. III. ajánlott megoldás nyitott állapotban: 1. munkahenger

tozó számítások is azonosak, tehát ugyanakkora munkahengerre van itt is szükség, és ugyanakkora erők jelennek meg. A különbség a két megoldás között az, hogy a munkahengert más irányból illesztettük be, illetve itt egy munkahengerrel oldottuk meg a szerelést. Az **6. ábrán** látható a mechanizmus nyitott állásban.

Mivel ebben az esetben is túlzottan nagy erőkről beszélhetünk, ezt a megoldást is elvetettük, és más megközelítésből kezdtük vizsgálni a helyzetet.

3.3. III. ajánlott megoldás

A harmadik megoldásnál az volt az elképzelés, hogy a két hátsó lábat összekötő rúdra szereljük fel a munkahenger egyik végét, a másikat pedig az ágy fekvő részére. Ez a megvalósítás a **7. ábrán** látható.

Ebben az esetben a munkahenger méretezéséhez megnézzük, hogy abban a csuklóban, ahol a hátsó láb csatlakozik a fekvő részhez, a munkahenger által kifejtett erő létrehoz-e akkora nyomatékot, amellyel kompenzálni tudja a terhelés által kifejtett forgatónyomatékot ugyanebben a csuklóban. A mozgás tanulmányozásához meg-

figyelhető nyitott állapotban a mechanizmus a **8. ábrán**.

$$M_G = G \cdot l_G \quad (10)$$

$$M_{F_m} = F_e \cdot l_{F_m} \quad (11)$$

$$F_e = F_m \cdot \cos \beta \quad (12)$$

$$G \cdot l_G = l_{F_m} \cdot F_m \cdot \cos \beta \quad (13)$$

$$F_m = \frac{G \cdot l_G}{l_{F_m} \cdot \cos \beta} = \frac{800 \cdot 0.814}{0.411 \cdot \cos 65} = 4224.91 \text{ N} \quad (14)$$

$$p_m = \frac{F_m}{A_m} \quad (15)$$

$$A_m = \frac{F_m}{p_m} = \frac{4224.91}{0.8} = 5281.13 \text{ mm}^2 \quad (16)$$

$$A_m = \pi \cdot \frac{D_m}{2} \quad (17)$$

$$D_m = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_m}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{5281.13}{\pi}} = 82.0 \text{ mm} \quad (18)$$

ahol:

– G a terhelés;

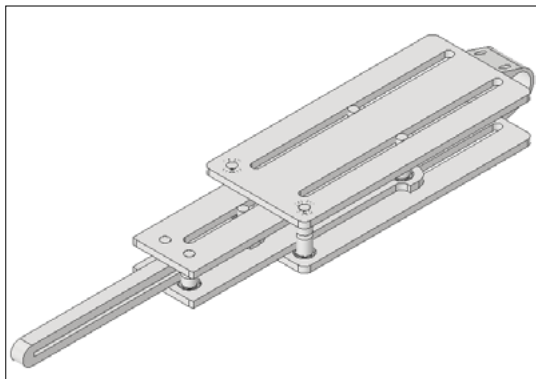
- β az F_m és F_e közti szög;
- M_G a terhelőerő által kifejtett forgatónyomaték;
- l_G az M_G nyomatékhoz tartozó erőkar;
- F_m a munkahenger által kifejtett erő;
- F_e a F_m azon komponense, amely merőleges az erőkarra és az emelést végzi;
- M_{Fm} a munkahenger által kifejtett forgatónyomaték, a bal oldali láb felső csuklója körül;
- l_{Fm} a M_{Fm} nyomatékhoz tartozó erőkar.

A méretezéshez szükséges számítások elvégzése után azt tapasztaltuk, hogy még az előzőknél is kedvezőtlenebb eredményeket kaptunk. Ez azt jelentette, hogy más megoldást kell keresnünk az optimális megtalálása érdekében.

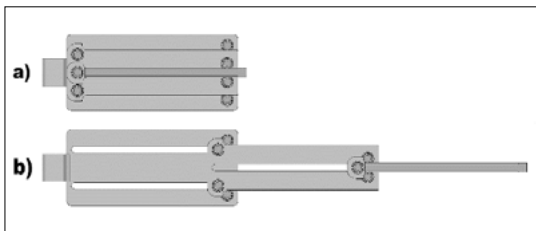
3.4. IV. Ajánlott megoldás

Az eddigi megoldásoknál a munkahenger nagy erőt kellett, hogy kifejtson, ami azt eredményezi, hogy nagy tömege és mérete kell, hogy legyen. Ezért olyan módszert kerestünk, amellyel lecsökkenthetjük azt az erőt, amelyet munkahengerrel kifejtünk.

Erre egy megoldás az, hogy emelőcsigákat alkalmazunk, ugyanis egy emelőcsigával a kifejtett erő megduplázható. Ennek segítségével megalkottunk egy emelőcsigas rendszert, amellyel megnövelhető a kifejtett erő (9. ábra).



9. ábra. Csigás emelőrendszer izometrikus nézete



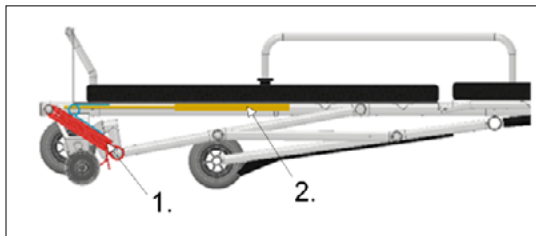
10. ábra. A csigás rendszer a) nyitott és b) összehúzott állapota

A fent látható modell kialakítása szerint a zsinag, amelyet átvezetünk a csigákon, egyik végén rögzítve van, a másik pedig a munkahengerrúd végéhez van illesztve.

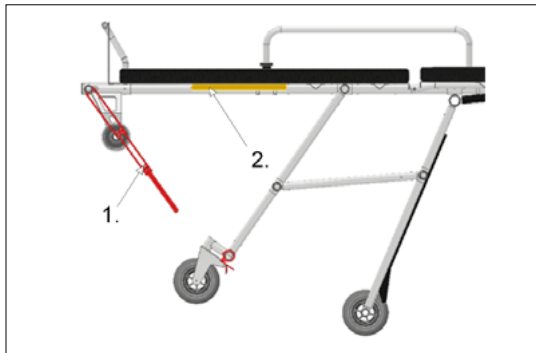
A csigas rendszerről a 10.a. ábrán látható egy metszet, összehúzott állapotban. Tulajdonképpen itt két emelőcsiga van egymással összekötve, így az erőt, amellyel meghúzzuk a zsinagot, a négy-szeresére tudjuk növelni. Emellett körülbelül 2,5-szeresre tud kinyílni az összehúzott állapothoz képest. A 10.b. ábrán látható a rendszer teljesen kihúzott állapotban.

Ezt a csigas rendszert szereljük be hasonlóan, mint ahogyan az előző megoldásokban a munkahengert. Viszont itt a munkahengert a fekvőrészre erősítjük fel, vagyis a hordágy aljára. Itt a munkahenger fogja húzni a csigarendszer zsinagát, amely ennek hatására kinyílik.

A 11. ábrán látható a rendszer összehúzott állapotban. Az első gondolatunk az volt, hogy a csigarendszert úgy helyezzük be, hogy az erőkarra merőleges legyen a nagyobb nyomaték érdekében. Viszont ebben az esetben kis hely állt a rendelkezésünkre, és a hasznos emelési magasság is túl kicsi lett volna. Ezért az 12. ábrán is látható módon helyeztük el. Ekkor nagyjából 30 centimétert tudunk emelni az ágyon. Ennek egy másik előnye,



11. ábra. IV. ajánlott megoldás összehúzott állapota: 1. csigas mechanizmus, 2. munkahenger



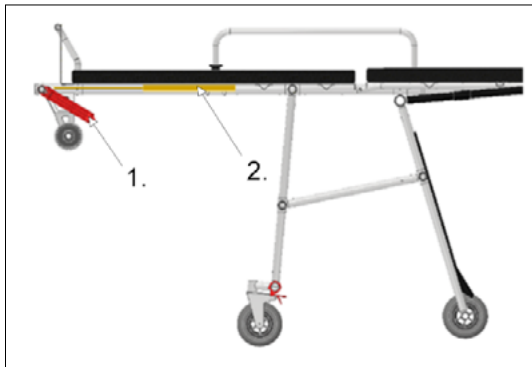
12. ábra. Köztesen kinyílt állapot: 1. csigas mechanizmus, 2. munkahenger

hogy egy már meglévő rúdhoz tudjuk erősíteni a csigarendszer végét.

Amikor a csigarendszer teljesen kinyílt, akkor még a lábak nincsenek teljesen kinyílv. A csigarendszer csak feltámaszkodik a lábakat összekötő rúdon, de nincs szilárd kötéssel rögzítve, ez lehetővé teszi, hogy miután az emelőrendszer elérte a maximális kinyúlását, a lábakat ezután teljesen ki lehessen nyitni. Ezután értelemszerűen a mentősök már saját erőből kell emeljenek, viszont itt már túl vannak a kritikus emelési magasságon. Ez a köztes állapot a **12. ábrán** látható.

Ahhoz, hogy a munkahenger meghúzza a zsinetet, a kiengedett állapota kell, hogy legyen az alapértelmezett. Vagyis, amikor behúzódik a munkahengerrúd, a zsinetet is magával húzza. A zsineg meghúzása által a csigás mechanizmus kinyílik, és ennek hatására a hordágy emelésébe besegít. Miután teljesen kinyílt az emelőmechanizmus, azután még a lábak le kell, hogy nyíljanak teljesen. Miközben a hordágy lábai teljesen leengednek, a csigás mechanizmus is visszahúzódik a kiindulási pozíciójába, ezt egy rugó segíti, amely a mechanizmus tömegét kompenzálja. A munkahengerrúd pedig kienged, biztosítva, hogy a mechanizmus összehúzódhasson. Így ez visszakerül az eredeti állapotába. A teljesen kiengedett állapot a **13. ábrán** látható.

A hordágy összecukott magassága a földtől 286 mm. Miután a csigás rendszer elérte a maximális emelési kinyúlását, a hordágy 622 mm magasságot ér el. Ez azt jelenti, hogy 336 mm-t tudunk így megemelni. Ha a lábakat teljesen kinyújtjuk, akkor a hordágy 884 mm magas lesz. Vagyis, a rendszerrel felszerelve a mentősöknél 262 mm-t kell megemelniük 622 mm magasságból. Ez egy lényegesen kedvezőbb állapot, mintha a rendszer nélkül kellene ugyanezt elvégezni.



13. ábra. Teljesen felemelt állapota a hordágnak:
1. csigás mechanizmus, 2. munkahenger

Ehhez a megoldáshoz is elvégeztük a munkahenger méretezését, amely hasonlóan történt, mint az előző megoldásnál.

$$M_G = G \cdot l_G \quad (19)$$

$$M_{F_{cs}} = F_e \cdot l_{F_{cs}} \quad (20)$$

$$F_e = F_{cs} \cdot \cos \beta \quad (21)$$

$$G \cdot l_G = l_{F_{cs}} \cdot F_{cs} \cdot \cos \beta \quad (22)$$

$$F_{cs} = \frac{G \cdot l_G}{l_{F_{cs}} \cdot \cos \beta} = \frac{800 \cdot 0.814}{0.71 \cdot \cos 60^\circ} = 1857.9 \text{ N} \quad (23)$$

$$F_m = \frac{F_{cs}}{4} = \frac{1857.9}{4} = 464.47 \text{ N} \quad (24)$$

$$p_m = \frac{F_m}{A_m} \quad (25)$$

$$A_m = \frac{F_m}{p_m} = \frac{464.47}{0.8} = 580.59 \text{ mm}^2 \quad (26)$$

$$A_m = \pi \cdot \frac{D_m^2}{4} \quad (27)$$

$$D_m = 2 \cdot \sqrt{\frac{A_m}{\pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{580.59}{\pi}} = 27.189 \text{ mm} \quad (28)$$

ahol:

- G a terhelés;
- β az F_m és F_e közti szög;
- M_G a terhelőerő által kifejtett forgatónyomaték;
- F_{cs} a csigarendszer által kifejtett erő;
- l_G az M_G nyomatékhoz tartozó erőkar;
- F_m a munkahenger által kifejtett erő;
- F_e a F_m azon komponense, amely merőleges az erőkarra és az emelést végzi;
- M_{F_m} a munkahenger által kifejtett forgatónyomaték, a bal oldali láb felső csuklója körül;
- l_{F_m} a M_{F_m} nyomatékhoz tartozó erőkar.

Látható, hogy a csigás rendszer bevezetésével jelentősen lecsökkent a munkahenger mérete, illetve az erő, amelyet ki kell fejtenünk vele, ahogyan azt a fenti összefüggések eredményei is mutatják [2], ezek alapján utánanéztünk, hogy létezik-e a ennek megfelelő a kínálatban. A felhasználási szempontok szerint alkalmazható egy 32 mm átmérőjű, 310 mm-es lökethosszú, MB Series márkájú munkahenger [3], amely a **14. ábrán** figyelhető meg.

Egy másik fontos méretezési feladat volt a csigás mechanizmus dimenzióinak meghatározása. Itt a csigák tengelyeit vizsgáltuk nyírásra, illetve kihajlásra, valamint kiszámítottuk, hogy mekkora lenne a maximális kihajlásuk. Ezek alapján



14.ábra. MB Series munkahenger (Ø32×310) [3]

megfelelő biztonsági tényezővel meghatároztuk a megfelelő átmérőt adott hossz mellett. A terhelést a legnagyobb tekintettük, és az összes csiga tengelyét eszerint terveztük meg. Ezután kiszámítottuk, hogy mekkora kell, hogy legyen a falvastagság az adott tengelyek körül. Ezt követően a csigarendszer legvékonyabb elemét méreteztük kihajlásra és összenyomásra.

A csigák és tengelyeik anyagának S275-ös (EN1993-1-1) szerkezeti acélt választottunk, amelynek szakítószilárdsága 370-530 MPa (skrit), megengedett kihajlási feszültsége 275 MPa, illetve Young-modulusa 210 GPa, [4]. A csigarendszer vázának AlMg (EN-AW 5083), ennek zúzófeszültsége 159 MPa (skrit_zuzó), illetve Young-modulusa 72 Pa, [5]. A szükséges számítások alább láthatóak.

$$M = F \cdot \frac{l}{2} = 928.5 \cdot \frac{15}{2} = 6963.75 \text{ Nmm}^2 \quad (29)$$

$$\sigma = \frac{M}{\frac{\pi \cdot d^3}{32}} \quad (30)$$

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (31)$$

$$\sigma_{ekv} = \sqrt{\sigma^2 + 4 \cdot \tau^2} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ekv} &= \sqrt{\frac{1024 \cdot M^2}{\pi^2 \cdot d^6} + \frac{64 \cdot F^2}{\pi^2 \cdot d^4}} \\ &= \sqrt{\frac{1024 \cdot 6963.75^2}{\pi^2 \cdot 5.5^6} + \frac{64 \cdot 928.5^2}{\pi^2 \cdot 5.5^4}} \\ &= 433.444 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{krit} \end{aligned} \quad (33)$$

$$I_z = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5.5^4}{64} = 20.128 \text{ mm}^4 \quad (34)$$

$$v = \frac{2 \cdot F \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I_z} = \frac{2 \cdot 928.5 \cdot 15^3}{48 \cdot 210000 \cdot 20.128} = 0.0502 \text{ mm} \quad (35)$$

ahol:

- F a terhelés fele;
- M a terelés által kifejtett nyomaték;
- σ kihajlási feszültség;
- τ nyírási feszültség;
- l az M nyomatékhoz tartozó erőkar;
- σ_{ekv} az összevont nyírási és kihajlási feszültség;
- I_z másodrendű nyomaték;
- E Young-modulus;
- v maximális kihajlás.

A fenti számítások alapján az látszik, hogyha 5.5 mm-esnek tekintjük az átmérőt, akkor minden a megengedett feszültségi érték alatt marad. Ezt az átmérőt még besoroztuk egy 1.27-es biztonsági tényezővel, és a tengelyek átmérőjét 7 mm-esnek választottuk.

Ezt követően megvizsgáltuk, hogy mekkora kell, hogy legyen a fal vastagsága a tengelyek körül. Ezt az átmérőt, illetve a legnagyobb terhelőerőt figyelembe véve kiválasztottunk egy SKF márkájú radiális csapágyat [6], ennek belső átmérője 7 mm, külső átmérője 14 mm. Az összes tengelyt ilyen csapágyakkal láttuk el az egyszerűség kedvéért. A falvastagság meghatározásánál a csapágy külső átmérőjével számoltunk.

$$\sigma_{sh} = \frac{2 \cdot F}{b \cdot (d_1 - d_2)} = \frac{2 \cdot 928.5}{5 \cdot (24 - 14)} = 18.579 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} < \sigma_{krit_zuzó} \quad (36)$$

ahol:

- F a terhelés fele;
- b a lemez magassága;
- σ_{sh} zúzófeszültség;
- d_1 külső átmérő;
- d_2 belső átmérő.

Látható, hogy az adott átmérővel a falvastagság jóval a megengedett zúzófeszültség-érték alatt helyezkedik el. Tehát ezzel a falvastagsággal terveztük meg a mechanizmust.

Egy fontos része volt még a méretezésnek, hogy megfelelő méretű legyen az utolsó rúd, amely csatlakozik a lábhoz, hiszen ezen darab keresztmetszetének van a legkisebb területe, illetve ezen van a legnagyobb terhelés. Ezért megvizsgáltuk kihajlásra, illetve összenyomásra.

$$\sigma_{def} = \frac{F \cdot L}{A \cdot E} = \frac{1857.9 \cdot 199.5}{75 \cdot 72000} = 0.0686 \text{ mm} \quad (37)$$

$$I_z = \frac{y \cdot x^3}{12} = \frac{5 \cdot 15^3}{12} = 1402.25 \text{ mm}^4 \quad (38)$$

$$\sigma_{kih} = \frac{F \cdot \frac{L}{2}}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} = \frac{1857.9 \cdot \frac{199.5}{2}}{\pi^2 \cdot 72000 \cdot 1402.25} = 0.074 \text{ mm} \quad (39)$$

ahol:

- F a terhelés;

- L a rúd hossza;
- σ_{def} összenyomás mértéke;
- σ_{kih} kihajlás mértéke;
- A terület, négyzetprofilú;
- x magasság, nagyobb érték;
- y szélesség, kisebb érték;
- E Young-modulus;
- I_z másodrendű nyomaték.

Ezen számítások szerint az utolsó rúd szélessége és magassága megfelel a követelményeknek, hiszen kismértékű kilengés jelenik meg a közepén. Ezek alapján készítettük el a csigás mechanizmus modelljét.

Mielőtt véglegesítettük volna a csigák alakját, meg kellett határozni, hogy milyen átmérőjű zsinetet szeretnénk használni a működtetéshez. Ehhez a legkézenfekvőbb az acélsodrony használata. Kerestünk egy olyan terméket, amely megfelel az elvárásoknak, tehát kibírja az adott terhelést. A modellben egy 3 mm átmérőjű, DIN 3055-ös szabványú, horgonyzott acélsodronyt tekintettünk meg, amelynek szakítószilárdsága 1770 MPa, [7]. Ez alapján kiszámítható, hogy mekkora a maximális teherbírása.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 3^2}{4} = 7.07 \text{ mm} \quad (40)$$

$$F_{max} = A \cdot R = 7.07 \cdot 1770 = 12552 \text{ N} \quad (41)$$

$$F_{meg} = \frac{F_{max}}{n} = \frac{12552}{5} = 2504 \text{ N} \quad (42)$$

ahol:

- A sodrony keresztmetszetének területe;
- d sodrony átmérője;
- F_{max} a teljes szakítóerő;
- F_{meg} a megengedett terhelőerő;
- n a biztonsági tényező.

A fenti számításokból kiderül, hogy ez a típusú acélsodrony alkalmas a feladat elvégzésére. Miután elvégeztük az előzetes számításokat, elkezdtük a csigarendszer modellezését a háromdimenziós tervezőprogramban, majd ezzel kiegészítve a már meglévő összeszerelését a hordágnak, megkaptuk a negyedik ajánlott megoldás modelljét, amely az eddigi legkedvezőbb eset.

4. Következtetések

A kutatás jelen pontján négy különböző, ajánlott megoldást kaptunk, amelyeket egyenként elemeztünk és tárgyaltunk. Az első három esetben azt láttuk, hogy igen nagy munkahengerre lenne szükség, illetve az emeléshez szükséges erő is túl nagy, bizonyult. Elmondható, hogy eddig az utolsó megoldás bizonyult a legkedvezőbbnek.

A továbbiakban érdemes lenne megvizsgálni, hogy milyen egyéb lehetőségek vannak egy mechanizmus beiktatására. Esetlegesen megvizsgálni, hogy érdemes lenne-e a vázon máshol felszerelni az emelőrendszert. Mindenesetre a csigás emelőt érdemes használni egyéb megoldások esetében is.

Egy másik lehetséges irány a folytatásra az lenne, hogy elvégezzük az ágy mechanizmusának szilárdságtani vizsgálatát, amely megmutatná, hogy hol vannak a szerkezet feszültséggyűjtő pontjai. Eszerint lehetne következtetni arra, hogy érdemes-e a vázra erősítéseket szerelni, és ha igen, akkor hol.

Ugyanakkor érdemes foglalkozni azzal is, hogy a vezérlést fejlesszük. A jelenlegi elképzelés szerint a terhelőtömegtől függetlenül ugyanakkora erőt fejt ki a munkahenger, viszont előnyösebb lenne, ha ez az erő a terheléssel arányosan változna, ehhez egy önszabályzó megoldást kellene kidolgozni, amely javítaná a rendszer működését.

Mivel az egyik elsődleges cél, hogy megvalósítás is születhessen a kutatásból, ezért fontos, hogy megtaláljuk az optimális variánst mind a szerelési, mind a terhelési szempontokat figyelembe véve.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Csernyánszky Imre: *Pneumatikus irányítástechnika. Alapkapcsolások*. Változatlan kiadás. Műszaki Főiskolai Kar Sokszorosító, Kecskemét, 2000. 9–16.
- [2] Csernyánszky Imre: *Pneumatikus irányítástechnika. Irányítóelemek megválasztása*. Változatlan kiadás. Műszaki Főiskolai Kar Sokszorosító, Kecskemét, 2000. 2–20.
- [3] Misumi, Air Cylinder, Standard Type, Double Acting, Single Rod MB Series. (megtekintve: 2025. március 12.)
<https://uk.misumi-ec.com/vona2/detail/221006299539/?KWSearch=air+cylinder&searchFlow=results2products>
- [4] S275, EN1993-1-1. (megtekintve: 2025. március 6.)
<https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>
- [5] AlMg, EN-AW 5083. (megtekintve: 2025. március 6.)
https://www.bikar.com/fileadmin/Unterlagen_BIKAR/Unterlagen_BIKAR_eng/5083-complete-en.pdf
- [6] SKF, 618/7, Deep Groove Ball Bearing. (megtekintve: 2025. március 6.)
<https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-618%2F7>
- [7] Csavardiszkont, Sodronykötél acél 3mm, DIN 3055. (megtekintve: 2025. március 6.)
<https://csavardiszkont.hu/sodronykotel-acel-3mm-6517>



A FÖDÉMRENDSZEREK MODELLEZÉSE

THE MODELLING OF SLAB SYSTEMS

Fekete Máttyás

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar. Kolozsvár, Románia, feketematyas01@gmail.com

Abstract

The finite element method (FEM) has been an essential tool for engineers for decades, yet, like any tool, its limitations must be understood and accounted for. The quality of results heavily depends on the model's accuracy. This study aims to establish best practices for correct structural modeling, focusing on slab and beam systems.

Keywords: slab, FEM, finite element method.

Összefoglalás

A végeselemmódszer (FEM) évtizedek óta a mérnökök arzenáljának szerves része, azonban, mint minden eszköz esetében, fontos, hogy ismerjük a gyengeségeit, és ezeknek tudatában használjuk. Az eredmények minősége nagyban függ a modell minőségétől. Ezen kutatás célja a helyes modellezési szokások meghatározása.

Kulcsszavak: födém, FEM, végeselemmódszer.

1. Bevezetés

A modern építőmérnöki gyakorlatban a födémrendszerek pontos modellezése kulcsfontosságú a biztonságos és gazdaságos szerkezetek tervezéséhez. A födémek nemcsak a függőleges terhek továbbításában játszanak szerepet, hanem a teljes épületszerkezet merevségéhez is hozzájárulnak. A megfelelő modellezési módszerek alkalmazása lehetővé teszi a terhek pontos eloszlásának és a szerkezeti viselkedésnek a megbízható előrejelzését. Gyakori hiba, hogy a mérnökök nem ellenőrzik hagyományos módszerekkel az eredményeiket, de emellett gyakori hibák a modell helytelen felépítése, az inerciamomentumok helytelen csökkentése és a helytelen csomóponti merevség. Emellett gyakran nincs figyelembe véve az eredmények leolvasásakor, hogy a gerendák és oszlopok egydimenziós (lineáris) elemek, míg a födémek kétdimenziós (felületi) elemek, és a találkozásiukban pontszerűen megugranak az eredmények.

2. Gerendák

2.1. Alátámasztási feltételek

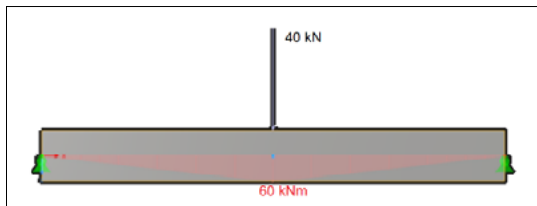
A számítások során a gerendát a tengelye és a keresztmetszetének, illetve anyagának tulajdonsága alapján vesszük figyelembe (Young-modulusz, terület, inerciamomentum). Egy falra egyszerűen alátámasztott gerenda esetén a kézi számolás egyszerű: a gerenda hossza egyik fal tengelyétől a másikig tart, a gerenda tengelye közvetlenül a falakon fekszik.

$$M = \frac{P}{2} \cdot \frac{L}{2} = \frac{P \cdot L}{4} \quad (1)$$

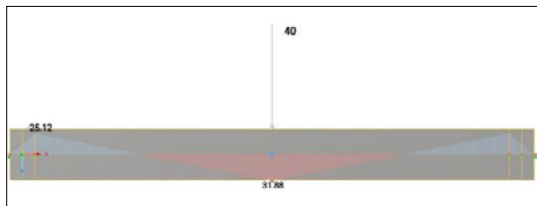
Egy 40 kN nagyságú erő és egy 6 méter hosszú gerenda esetén: $M = 60 \text{ kNm}$.

A legegyszerűbb modellezési lehetőség az, ahol a gerendát a tengely szintjén támasztjuk meg, pontszerűen. Mint az **1. ábrán** látszik, ez egyezik a kézi számolás eredményével.

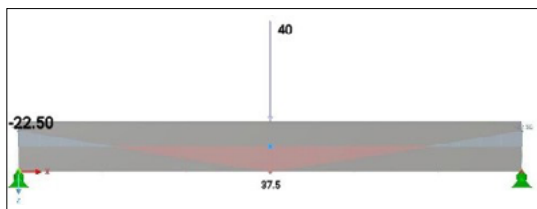
Ha a támaszként szolgáló, 30 centiméter vastag falat nem csak tengelyében tekintjük, és támaszként használjuk a tengelye mellett mindkét szélét is, egy, a valóságtól igencsak elrugaszkodott haj-



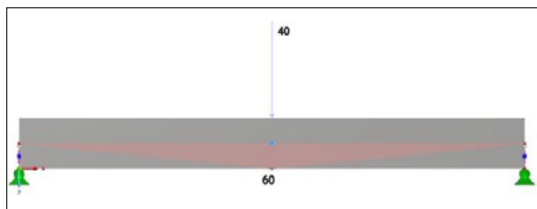
1. ábra. Nyomatékdiagram pontszerű tengelyi támasszal



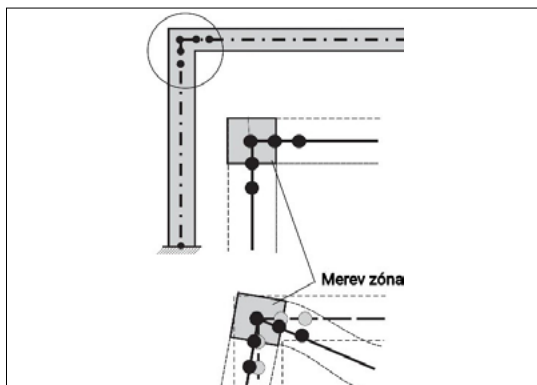
2. ábra. Nyomatékdiagram többszörös tengelyi támasszal



3. ábra. Nyomatékdiagram pontszerű támasszal a gerenda alján



4. ábra. Nyomatékdiagram pontszerű támasszal és merev összeköttetéssel



5. ábra. Merev zóna a csomópont körül

lítőnyomaték-diagramot kapunk. A maximális nyomaték 31,88 kNm-re csökkent, míg az eddig nyomatékmentes támaszokban megjelent egy 25,12 kNm-es nyomaték, mint az a 2. ábrán látható.

A grafikus kezelőfelület megtréfálhatja a szoftverhasználatban kevésbé jártas mérnököket, és arra gondolva, hogy a valóságban a gerenda alján található a támasz, a gerenda középtengelyének eltolást állítanak be, az „offset” funkció használatával. Ez esetben a maximális nyomaték 37,5 kNm lesz, míg a támaszok fölött 22,5 kNm. (3. ábra)

Ha mégis eltolást szeretnénk végezni, egy másik lehetőség rá egy merev kapcsolat létrehozása a támasz és a gerenda tengelye között, a „rigid link” funkcióval. (4. ábra)

2.2. Keretszerkezet csomópontjai

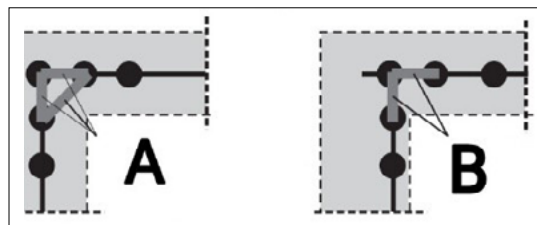
A legegyszerűbb modellezési technika során a gerendák az első oszlop középtengelyétől a következő oszlop középtengelyéig tartanak. Ezután a csomópontokban leolvasott hajlítónyomaték értékét csökkenteni kell M' -vel:

$$M' = V \cdot d \quad (2)$$

ahol V a gerenda végén megjelenő nyíróerő, d pedig a támasz hosszának (az oszlop szélességének) a fele.

Azonban az így megkapott erők nem teljesen valóságosak: bár az elmélet az oszlopokra és gerendákra egydimenziós elemként tekint, magasság és szélesség nélkül, a valóságban ez nincs így. Emiatt a keretszerkezet csomópontjai jelentősen merevbbek, mint ahogy ezt az egyszerűsített modellek feltételezik (5. ábra).

A csomópontokat két módon lehet helyesen merevíteni [1]. Egyik módszer, hogy a gerenda és oszlop $2 \cdot d$ távolságon belüli pontjait végtelenül merev rácsos tartóval kötjük össze, így biztosítva a pontok együtt mozgását, ez a 6. ábrán az „A”-val jelzett lehetőség. A „B” lehetőség során az egy sorban lévő pontok közé merev összeköttetést helyezünk. A merev zóna miatt a középső nyomaték 10 %-kal változik, azonban a középső elhajlás 50%-kal csökkent. [1, 2].



6. ábra. Csomópont merevítése

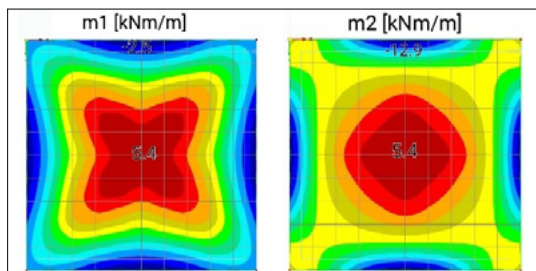
3. Födémek

3.1. Alátámasztási feltételek

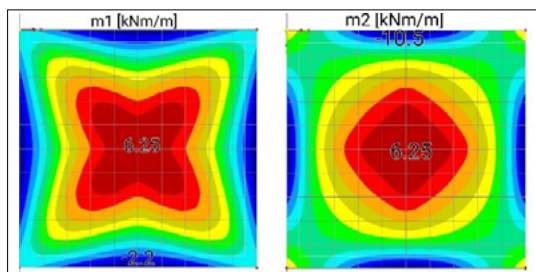
Egy födém pontos tervezéséhez több terhelési mintát is szükséges felhelyezni az elemre. Emiatt nem gazdaságos, sem idő, sem számítási kapacitás szempontjából a teljes szerkezetre felhelyezni ezeket a terheléseket – a megszokott procedúra szerint ehhez külön modellre van szükség. Ezen modellenél (is) felmerül a kérdés: hogyan érhető el a legvalóságosabb modell, a lehető legkisebb számítási kapacitás felhasználásával? Egy 5×5 méteres, egyenletesen megoszló teher alá helyezett födém esetében a következők az eredmények.

A 7. ábrán a legegyszerűbb modellezési lehetőség látható, ahol a födém minden szélén vonal menti támasz található.

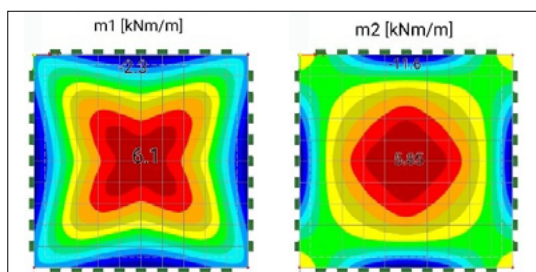
A 8. ábrán látható eredmények esetén a födém szélei alatt egy 3,00 méter magas fal van, alattuk



7. ábra. Főnyomaték-diagram vonal menti támasz esetén



8. ábra. Főnyomaték-diagram támaszként szolgáló fal esetén



9. ábra. Főnyomaték-diagram két félszint esetén

pedig végig vonal menti támasz. Az eredmények 13–18 %-kal térnek el.

Az egyszerűsített módszer után talán a legelterjedtebb módszer a födém fölötti és alatti szint felének a bemodellezése. Az 1,50 méter magas falak külső határaitra visszamenti támaszt kell helyezni és így a valós szerkezethez hasonlóan viselkedő, csökkentett modell érhető el. A 7. ábra eredményeihez képest 4–10 %-os eltérés figyelhető meg (9. ábra). Ez azt jelenti, hogy a legszimplább modell is közel áll a valósághoz.

3.2. Anyagtulajdonság – Poisson-arány

A Poisson-arány az anyag hosszanti és keresztirányú deformációja közti hányados. Az Eurocode 2 meghatározása szerint $\nu = 0,2$ a nyomott részen, és $\nu = 0,2$ a húzott részen. [3] Bár ez oszlopok esetén hasznos, egy födém esetén, amelyet hajlítás ellen terveznek, azaz mindig van egy nyomott és egy húzott része, ez nem segít sokat.

Bittner 1965-ös tesztjei során arra jutott, hogy a $\nu = 0,0$ a leghelyesebb érték, amelyet vasbeton födécek tervezéséhez használhatunk. [4] Ezen értékek egy hátránya van: alábecsüli a nyomóerőket a födémekben – azonban ez nem probléma, mivel a húzóerőkre méretezzük a vasalást.

Emellett az Eurocode 2 kimondja, hogy a keresztirányú vasalás legalább 20%-a legyen a hosszantiaknak, így a Poisson-arány körüli diskurzus elveszti relevanciáját.

3.3. Emelkedő födécek

Abban az esetben, ha a födém felemelkedhet a támaszról, megváltozik a nyomatékok értéke a lineáris végeelemmódszertől.

Az 1. táblázatban található a támasz fölötti csavarás, a középső hajlítónyomatékok, a legnagyobb hajlítónyomaték, nyíróerők (méterenkénti)

1. táblázat. Nyomatékok változása emelkedés hatására

	Czerny (1999)	Végelem módszer ($\nu=100\%$)	Végelem módszer Födém emelkedővel
y			
$m_{y,ye}$ in kNm/m	15.3 (132%)	11.6	7.1 (61%)
$m_{y,em}$ in kNm/m	18.3 (98%)	18.7	21.0 (113%)
$m_{y,m}$ in kNm/m	7.0 (97%)	7.2	7.5 (104%)
$m_{y,max}$ in kNm/m	7.2 (96%)	7.5	9.1 (121%)
$v_{y,em}$ in kN/m	18.2 (102%)	17.9	23.9 (134%)
$v_{y,m}$ in kN/m	26.5 (106%)	25.0	34.5 (138%)
$v_{y,em}$ in kN/m	21.2 (98%)	21.6	23.3 (108%)
$v_{y,m}$ in kN/m	25.6 (97%)	26.5	28.0 (106%)
F_x in kN	30.7 (124%)	24.8	–
f in mm	24.5 (105%)	23.4	27.3 (117%)

és az emelőerő. Mint látható, ha nincs megakadályozva a támaszokról való emelkedés, ez komoly változásokat hoz a nyomatékok értékeihez [5].

4. Következtetések

A modern építőmérnöki modellezés során a gerendák és födémek pontos tervezése döntő szerepet játszik a szerkezetek biztonságos és gazdaságos kivitelezésében. A gerendáknál különösen fontos a támaszfeltételek és a csomóponti merevség helyes kezelése, mivel ezek jelentősen befolyásolják a nyomatékok és elhajlások nagyságát.

Födémek esetén az alátámasztási feltételek, a Poisson-arány és az emelkedés hatása szükséges figyelembevételével érhető el pontos eredmény. A szoftveres modellezés mellett mindig javasolt a kézi számításokkal való ellenőrzés, hogy elkerüljük a gyakori hibákat, és biztosítsuk a szerkezet megfelelő viselkedését.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Rombach G.A.: *Finite-Element Design of Concrete Structures. Practical Problems and Their Solutions*. 2. kiadás. ICE Publishing, London, 2011. 14–19.
- [2] Rombach G.A.: *Bangkok Expressway – Segmentbrückenbau contra Verkehrschaos*. 1. kiadás. Schriftenreihe des Institutes für Massivbau und Baustofftechnologie, Karlsruhe, 1995. 545–565.
- [3] EN 1992-1-1: 2004 - Eurocode 2: Design of Concrete Structures - Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings
- [4] Bittner E.: *Platten und Behälter*. Springer Verlag, Wien, 1965.
- [5] Czerny F: *Tafeln für Rechteckplatten. Betonkalender. I*. Ernst&Sohn Publisher, Berlin, 1999.



A SOPRON, TEMPLOM UTCA 24. SZÁMÚ LAKÓHÁZ ÉPÍTÉSTÖRTÉNETI KUTATÁSÁNAK EREDMÉNYEI

RESULTS OF RESEARCH ON THE ARCHITECTURAL HISTORY OF THE RESIDENTIAL BUILDING AT 24 TEMPLOM STREET, SOPRON

Jankó József Attila,¹ Tárkányi Sándor²

¹ Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar. Sopron, Magyarország,
janjo23@student.uni-sopron.hu

² Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar. Sopron, Magyarország,
tarkanyi.sandor@uni-sopron.hu

Abstract

Our research reveals the technical, historical and urban architectural significance of the residential building at 24 Templom Street, Sopron. The summary of the site's history is based on previous publications. The above historic building was damaged during the bombings in 1945. The presentation of the authorization procedure data concerning the current building raised on the same site was preceded by researching archival documents. The Electronic Information Service of the Library at the University of Sopron provided additional resources regarding the location and the creators (architect Oszkár Füredi and sculptor László Deák). A potential architectural application of the geodetic survey made on the street façade will also be highlighted. We conclude that – in addition to its inherent values – the examined residential building carries urban-scale significance as well.

Keywords: *history of construction, urbanism, public artwork.*

Összefoglalás

A kutatás a Sopron, Templom utca 24. szám alatti lakóház műszaki, építéstörténeti, városépítészeti vonatkozású jelentőségét tárja fel. A helyszín történetének megismertetése korábbi publikációkon alapul. Az 1945-ös bombázás során károkat szenvedő ház helyén megvalósult épület építési engedélyezési eljárására vonatkozó adatok bemutatását levéltári iratok kutatása előzte meg. A Soproni Egyetem Könyvtárának Elektronikus Információs szolgáltatása nyújtott további forrást a helyszínnel és az alkotókkal (Füredi Oszkár tervező mérnök és Deák László szobrászművész) kapcsolatban. Az utcai homlokzatról készített geodéziai felmérés építészeti alkalmazásának egyik lehetősége is bemutatásra kerül. Megállapítottuk, hogy a Templom utca 24. szám alatt 1945 után megépült lakóháznak önálló értékei mellett városépítészeti jelentősége is van.

Kulcsszavak: *építéstörténet, városépítészet, köztéri műalkotás.*

1. Bevezetés

A dolgozat célja a Sopron, Templom utca 24. szám alatti lakóház szaktörténeti, műszaki ismeretése. A kutatás abból a felismerésből bontakozott ki, hogy az épület Sopron belvárosának egyik olyan épített öröksége, amely nem áll műemléki védelem alatt, noha nyilvánvalóan hordoz egyedi

építőművészeti értéket is a műemléki környezetben. Az épület megismerése helyszíni bejárásból, geodéziai és távérzékelési felmérésből, valamint levéltári kutatásból állt. A vizsgálatra részben az a szerencsétlen esemény ad okot, hogy a jelenlegi ház helyén korábban állt épület bombatalálat miatt megsemmisült. Az okok felsorolásához hozzá kell tenni azt is, hogy a telek rehabilitációja kiállta

az idő próbáját, nem csupán egy ad hoc építészeti elképzelés valósult meg. Bár a vélemények kissé megoszlanak, mi magunk azon az állásponton vagyunk, hogy egy olyan városépítészeti jelentőségű terv megvalósulásának lehetünk tanúi, amely az időközben megváltozott építészeti és műemlékvédelmi, városépítészeti tendenciák közepette sem veszítette el korszerűségét.

2. A helyszín régmúltja

Az eredetileg barokk kori épület a 19. sz. elején klasszicista stílusjegyeket kapott. Az akkor még oldalhatáron álló ház utcafronti homlokzata telekhatáron húzódott. Azonban a szomszédos Széchenyi István Gimnázium épületét a lakóház homlokzatsíkjához képest hátrább építették, a Templom utca új szabályozási vonalával összhangban [1]. 1856-ban, Handler József soproni építész tervei alapján, a lakóház bővítésére került sor, ekkor íves beépítési vonalú toldalékot kapott, így már zártosorúan csatlakozott a szomszédos iskolaépülethez [2].

Liszt Ferenc több ízben adott koncertet Sopronban [3]. 1874. február 10-én a később róla elnevezett művelődési házban tartott jótékonyági koncertet. Ez idő alatt Csáky Manó vendége volt az akkori Templom utca 24. alatti házban.

Az 1920-as évekből számtalan hirdetés lelhető fel az épülettel kapcsolatban a Soproni Hírlap és a Sopronvármegye című újságok hasábjain. Lieberman Mária (Mici) 1923–1926 között többször hirdetett a következő szöveggel: „Ügyes munkások állandó alkalmazásra felvétetnek Liebermann Mici női szabónőnél Sopron, Templom utca 24. szám alatt. Ugyanott kifutólány alkalmazást nyer.” 1929-től hirdetése nem képp megváltoztak: „Ügyes munkások és tanoncok felvétetnek Liebermann Mária divatszalonjában Sopron, Színház-utca 10.”

Az Erzsébet-Egylet is támogató Winter család vegyeskereskedésének hirdetése 1927 folyamán több mint 20 alkalommal jelentek meg a Sopronvármegye lapjain a következő szöveggel: „Winter Vilmosné vegyeskereskedése Sopron, Templom-u 24 Liszt, kenyér, cukor, kávé, rizs, rőzszefta a legjobb minőségben.”

Az épület 1945-ös megsemmisülése idején az ingatlan tulajdonosa Pollak Andorné volt [4]. A ház bérlői kereskedők (Raab Jenő, vegyeskereskedés) és iparosok (szabó, női szabó, villanszerelő, fogműves) köréből kerültek ki [5].

A Sopron Anno portál egy Ismeretlen (1913) és Wallon-Hárs Viktor (2023) által készített ké-

pet mutat be, interaktív módon szemléltetve a „Belváros kapujának” évszázados változását [6]. A FORTEPAN szabad felhasználású, közösségi fotóarchívum-portál [7] több fényképe is szemlélteti a Templom utca 24. alatt a 20. század elején álló épületet (pl. Ismeretlen szerző 1. ábra).

3. A II. világháború utáni évek

A bombázás utáni várostervezés és foghíjbeépítés során felmerült, hogy az 1856-os Handler-féle terv szerinti homlokzati kialakítás valósuljon meg. Az új ház építési vonala körül sok vita folyt, mivel sokak szerint az íves beépítési vonalat kellett volna megtartani.

4. Építéstörténet

A jelenlegi épület eredeti építésügyi hatósági iratai a Magyar Nemzeti Levéltár Győr-Moson-Sopron Vármegye Soproni Levéltárában található meg [8]. A három doboz a záradékolt építési engedélyt, a használatbavételi engedélyt, valamint az eljárások előzményiratait (jegyzőkönyvek, levezetés, műszaki leírás) tartalmazza. Ezen iratok tanulmányozása alapján a következő építéstörténeti leírás állt össze.



1. ábra. Templom utca, háttérben az evangélikus templom; forrás: FORTEPAN/Ismeretlen adományozó

4.1. Tervezés

A Templom utca 24. sz. lakóház kétemeletes utcai szárnyát 1945 januárjában bombatalálat érte. A bombázás következtében előállt foghíjon lakóépület beépítését határozta el a város. Az 1959-ben elkészült terv alapján az új, háromemeletes épület magassága a két szomszédos, eltérő magasságú épület közé lépcsőzetesen illeszkedik. A rendkívül exponált helyen álló épület a belváros kapuját képezi. Az eredeti elképzelés szerint az új épület is szegmenshajlással csatlakozott volna a Széchenyi Gimnázium északi végéhez. A Győri Tervező Irodában belső tervpályázattal döntöttek a beépítési vonal végleges kialakításáról, melynek eredményeképpen az íves homlokzat helyett loggiás beépítést javasoltak.

4.2. Engedélyezési eljárás

Az Országos Műemléki Felügyelőségnek (továbbiakban: OMF) az 1960. év elején véleményezésre megküldött terveket az OMF nem fogadta el. A hivatal egyetértett azzal a koncepcióval, hogy a tervezett épület nem archaizáló stílusú, továbbá helyeselte az épületmagasságot és a magastető kialakítását. A teljes földszintmagasságú kölap burkolatú homlokzatképzést azonban nem fogadta el. Az OMF a loggiás beépítést a belvárostól idegennek ítélte meg, ezért új terv kidolgozását kérte a Tervező Irodától.

Mivel Sopron Város Építési Osztálya a Templom utca 24. sz. épület kivitelezésére építési engedélyt adott műemléki szakvélemény bekérése nélkül, a kivitelezést már itt is megkezdtek. Az OMF elnökvéleménye az építkezés ideiglenes leállítását eredményezte. A Tervező Iroda munkatársának, Füredi Oszkár építész tervezőnek az állásfoglalását az OMF részéről dr. Gerő László osztályvezető 1960. április 20-án elfogadta, és a 13/1949 sz. törvényben előírt műemléki hozzájárulást kikötések nélkül megadta, Füredi nyilatkozata alapján. Az építési engedélyt 1960. május 12-én zárolták.

4.3. Kivitelezés

1961. május elején a kivitelezés abba a fázisba került, amikor a szobor konzolját kellett volna beépíteni, azonban azt még nem gyártották le. A vakolás elkészült, a színezést a következő napokban tervezték megkezdni, a létraállványt pedig eltávolítani. A konzol és a szobor elhelyezése mindezek után nehézségekbe és külön költségbe került volna. Körlevelezések és telefonos egyeztetések révén kiderült, hogy Deák László szobrász a terveket aláírás végett Sopron Városi Tanács Végrehajtóbizottságának megküldte azzal, hogy alá-

írva mihamarabb juttassák részére vissza, hogy a Képzőművészeti Kivitelező és Iparvállalat (Bp. XIV., Vorosilov út 115.) a konzol legyártását megkezdhesse. Sopron Tanács Vb. 1961. május 3-án a Győr-Sopron Megyei Tanács Vb. felé továbbította a szobrász kérését. Ugyanezen a napon a Sopron Tanács Vb. Deák László szobrászművész felé jelezte, hogy a terv hollétéről nem tudnak. Azzal az utasítással látták el Deákot, hogy amennyiben a Győr-Sopron Megyei Tanács Vb.-től megkapná a terveket, úgy azzal, ha azonban a terv mégsem kerülne elő, akkor a vázlat alapján intézkedjen a konzol elkészítéséről.

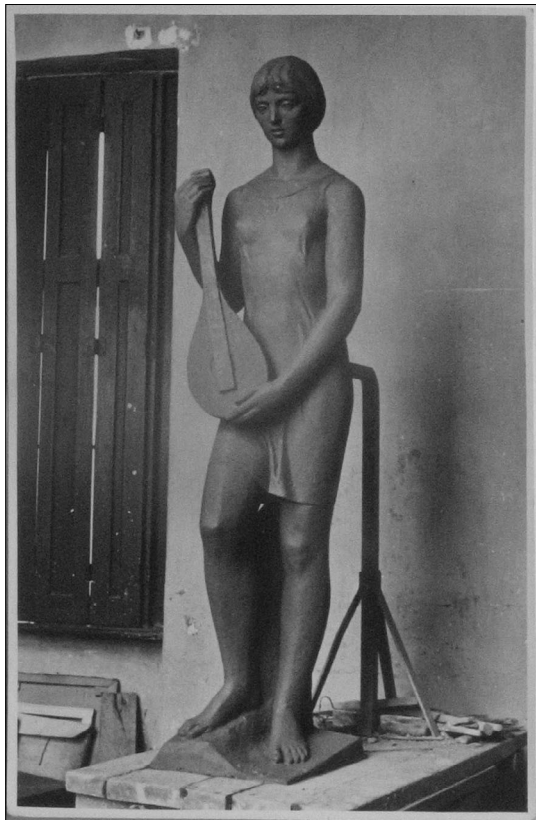
4.4. Leány gitárral szobor

1960. március 9-én a Sopron Tanács Vb. elnöke, Erdélyi Sándor beadvánnyal fordult a Művelődésügyi Minisztériumhoz, hogy megérdeklődjé, milyen szobor felállítására adnának előzetes engedélyt. Levelében felsorolta, hogy a környező közterületeken milyen szobrok láthatóak. Megállapította, hogy a közvetlen szomszédságban a „Széchenyi gimnázium”, a közelben az „Orsolyatéri nagy általános iskola” és a „Berzsenyi gimnázium” található, ezért a szobor tárgya ifjúsági vonatkozású lehetne. A létesítésre 60 000 Ft állt rendelkezésre.

Sopron Városi Tanács Ipari és Műszaki Osztálya 1960. május 2-án kötött szerződést Deák László szobrászművésszel a szobor elkészítéséről és a konzol legyártatásáról. A kb. 2 m-es figuraméretű alkotás sósokúti fehér mészkőből készült volna. A szerződés értelmében a szerző június közepéig 1:1 méretarányú agyagmodellt, október végéig 1:1 gipszmodellt, november közepéig 1:5 léptékű konzol műszaki rajzot készít, valamint bemutatja a konzol és a szobor 1:10 méretarányú makettjét a megrendelőnek.

Az 1960. június 24-én kelt Jegyzőkönyv szerint az 1:5 méretű agyagvariációk kerültek bemutatásra. A Magyar Népköztársaság Képzőművészeti Alap bírálóbizottsága a gitáros figurát fogadta el. Az 1960. augusztus 3-án kelt Jegyzőkönyv alapján az 1:1 agyag „épület figurá”-t a Magyar Népköztársaság Képzőművészeti Alap bírálóbizottsága elfogadta (2. ábra). A bizottság arra kérte a művészt, hogy az álló és előrelépő láb tömegének fokozásával „fokozza a statikus hatást keltő motívumokat”. Kérte továbbá arra is, hogy az aktjellegét szüntesse meg azáltal, hogy a drapériát erősebben érzékelteti.

Az 1960. szeptember 26-án kelt Jegyzőkönyv értelmében az 1:1 gipszszobrot a Magyar Népköztársaság Képzőművészeti Alap bírálóbizottsága



2. ábra. Leány gitárral – agyagmodell; forrás: HU-MNL-GYMSVSL XXIII.509.c. 14.944/1960. (95. d.)



3. ábra. A Templom utca 24. számú lakóház; Jankó József Attila fotója

elfogadta. A bizottság megállapította, hogy az agyaghoz viszonyítva a gipsz formailag és tartalmilag egyaránt fejlődött. Az „ábrázolás szellemének kissé idealizáló megfogalmazására” 23 000 Ft tiszteletdíjat állapított meg. Erre való tekintettel 1960 novemberében Sopron Városi Tanács Ipari és Műszaki Osztálya a Magyar Népköztársaság Képzőművészeti Alapját felkérte a szobor süttői fehér mészkőből való kivitelezésére. A fent említett bírálóbizottsági üléseken az OMF meghívottjai nem jelentek meg.

Az 1961. március 17-én kelt Jegyzőkönyv arról számol be, hogy az „álló nő” szobor kőbe faragását a Magyar Népköztársaság Képzőművészeti Alap Bizottsága és Sopron Városi Tanács Vb. képviselője elfogadta.

4.5. Használatbavételi engedély

Az épület 1961. július 31-én kikötések nélkül kapott használatbavételi engedélyt. Az 1961. évi lakásépítési kérdőív alapján az építkezést 1960. március 1-jén kezdték meg, és 1961. június 23-án fejezték be.

5. Kritika

Winkler Gábor megítélése szerint a Templom utca 24. sz. épület kialakítása még erősen mutatja a letűnt „szocreál” stílusát [9]. Kubinszky Mihály úgy véli, az új épülettel veszteség érte a városképet, mivel „rég, finom barokk kompozícióját sajnos merevebb, szögletes és árka-dos kialakítás váltotta fel, amit a Széchenyi tér felőli nézetben megmutatkozó szobor sem tud feloldani” [10].

Kuslits Tibor átfogó tanulmányban mutatta be a 20. század második felének soproni építészetét. A Templom utca 24. számú épületet elsőként említi a háború utáni helyreállítások munkálatai között. Kiemeli Deák László konzolra helyezett homlokzati szobrát, valamint a szegmensíves nyílásokkal áttört, fedett-nyitott kapubejáratot, amelyeket (a tervezővel összhangban) a Belváros bejárataként is képzett. Az épület fegyelmezett nyílásrendszerének modern felfogása mellett az osztópárkány és a főpárkány kialakításában történeti motívumokat ismer fel. Megítélése szerint az épület egyszerre kortárs és hagyománytisztelő, „a Templom utcának sosem volt, ünnepélyes elindítását jelenti”. Végeredményben városépítészeti jelentőségű alkotás együttesnek tekinti.

6. Összefoglalás

A Templom utca 24. szám alatti, egykori barokk épületet Handler József tervei alapján 1856-ban klasszicista stílusban átépítették, bővítették.

1945-ben a házat bombatalálat érte, így a korabeli városfejlesztés a teljes szanálás mellett döntött. A mai épület (3. ábra) építési engedélyezési eljárására vonatkozó levéltári iratok alapján röviden bemutattuk a lakóház építéstörténetét. A helyszíni bejárások során fényképekkel rögzítettük a műszaki állapotokat.

Az eltérő szakmai vélemények ellenére a Templom utca 24. szám alatt 1945 után megépült lakóház városépítészeti jelentőséggel bír, mivel a belváros műemléki környezetének térélményét kedvezőbbé teszi. Mindezt tovább fokozza a homlokzati konzolon felállított *Leány gitárral* elnevezésű szobor is.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Winkler, O.: *Új lakóépületek Sopron belvárosában*. Soproni Szemle, 16/4. (1962) 289–298.
- [2] Tompos, E.: *Eltűnt műemlékekről és a megmaradtak védelméről*. Soproni Szemle, 12/4. (1958) 310–318.
- [3] Csatkai, E.: *Liszt Ferenc és Sopron*. Soproni Szemle, 15/3. (1961) 208–220.
- [4] Csekő, E.: *Adatok és források a soproni zsidóság gazdasági megsemmisítéséről 1944-ben II. (Elvett házak, Zár alá vett üzletek)*. Soproni Szemle, 60/1. (2006) 35–53.
- [5] Csekő, E.: *Adatok és források a soproni zsidóság gazdasági megsemmisítéséről 1944. III. Az iparosok*. Soproni Szemle, 72/1. (2018) 43–61.
- [6] Sopronanno.hu: *Templom utca a Széchenyi Gimnázium felől*. Sopron anno, 2013.
- [7] fortepan.hu – Szabad felhasználású, közösségi fotóarchívum. FORTEPAN, 2022.
- [8] MNL GyMSMSL: XXIII. 509. Sopron Városi Tanács VB. Építési és Közlekedési Osztály iratai (1957. febr.1-től Ipari és Műszaki Osztály) a. Műszaki Osztály iratai (1950–1990). MNL GyMSMSL, 1961.
- [9] Winkler, G.: *Sopron és környéke építészeti értékeinek védelme*. Soproni Szemle, 67/1. (2013) 5–31.
- [10] Kubinszky, M.: *Gondolatok Sopron mai építészetéről. I. rész*. Soproni Szemle, 36/1. (1982) 36–49.



BŰVÖS NÉGYZET MAGIC SQUARE

Kakucs András,¹ Harangus Katalin,² Király Zsolt³

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, Románia, kiraly.gy.zsolt@student.ms.sapientia.ro

Abstract

As a state exam thesis, we are implementing an interactive, electronic, but non-computer-based fourth-order magic square as a logic game. To solve the magic square, we use an improved version of a method originally published in an old book [1], which we present here. The game is produced using 3D printing. Its interactive component consists of tiles displaying the numbers to be placed, which contain transmitters, a microcontroller that receives their signals, and a connected touchscreen display.

Keywords: *magic square, interactive logic game.*

Összefoglalás

Államvizsga-dolgozat formájában egy interaktív, elektronikus, de nem számítógépes, negyedrendű bűvös négyzetet valósítunk meg, logikai játékként. A bűvös négyzet megoldásához egy régi könyvben [1] megjelent módszer általunk továbbfejlesztett, itt ismertetett változatát használjuk fel. A játék 3D-nyomatással készül el. Az interaktív részét az elhelyezendő számokat mutató csempékben levő jeladó, az azok jelét vevő mikrokontroller és a hozzácsatolt érintőképernyős kijelző jelenti.

Kulcsszavak: *bűvös négyzet, interaktív logikai játék.*

1. Bevezetés

Mi a bűvös négyzet?

A bűvös négyzet természetes számok olyan táblázatos elrendezése, amelyben a számok összege soronként, oszloponként, illetve az átlók mentén mindig ugyanannyi. Ez az összeg a bűvös négyzet állandója, másként a *bűvös összeg*. A bűvös négyzetek tehát a felsorolt tulajdonságokkal rendelkező négyzetes mátrixok, a tanulmányozásuk pedig a szórakoztató matematika tárgyköréhez tartozik.

A bűvös négyzet *rendje* a sorok és az oszlopok száma, jelöljük n -nel. A négyzet felépítésében n^2 szám vesz részt. E számok sorrendjének tekintetében többfajta bűvös négyzetet is meg lehet különböztetni. A szoros felépítésűeket egymást követő számok alkotják, kiugrások és ismétlődések nélkül. Ha vannak kiugrott számok, akkor a négyzet hézagos, ha pedig az ismétlődő számokat tartalmaz, akkor ismétléses.

A bűvös négyzetek története a múlt homályába vész. Az első biztos említés szerint Kínában, az első évszázadban látott napvilágot a harmadrendű bűvös négyzet, azonban vannak olyan vélemények is, hogy az akár két évezreddel előtte is már ismert lehetett. Lehet, hogy a mágikusként ható varázslatos tulajdonságai miatt vagy pedig szórakoztató agytornaként, de az idők folyamán sokfelé foglalkoztak e témával, míg arab közvetítéssel az Európába is eljutott a XI. sz. folyamán. A bizánci Manuel Moschopoulos az 1300-as évek elején matematikai értekezést írt róluk, mellőzve a hozzájuk fűződő közel-keleti miszticizmust, útmutatást adván azok felépítésére. A nyugati világban viszont jó ideig az okkultizmus övezte a bűvös négyzeteket: ismerték, leírták őket, de nem született feljegyzés azok előállítási módjáról. Mágikusnak tartott mivoltukra utal az is, hogy a szoros felépítésű bűvös négyzeteket az égitestekkel társították: a Szaturnuszhoz a harmadren-

dűt, a Jupiterhez a negyedrendűt, és így tovább, a Marshoz, a Naphoz, a Vénuszhoz, a Merkúrhoz és a Holdhoz, az ötödrendűtől a kilencedrendűig. Ez nem volt valami kivételes dolog, hiszen például a fémeket és a drágaköveket, de a hét napjait is ugyanígy társították az égitestekhez, az asztrológia és az alkímia hagyományai szerint. Mindenesetre így kerülhetett az érdeklődés európai fókuszába, és ekként jelentek meg a XVI. sz.-tól kezdve a különböző létrehozási technikák.

A bűvös négyzetek történetével foglalkozó irományok rendszerint megemlítik Albrecht Dürer 1514-ben elkészített misztikus *Melankólia I* című metszetét (1. és 2. ábra), ahol a számos, szimbolikus részlet között egy negyedrendű bűvös négyzet is megjelenik. Modern kori példázata pedig a barcelonai *Sagrada Familia* templom délnyugati bejárata melletti, ismétléses bűvös négyzet (3. ábra), ahol az összeg Jézus Krisztus földi éveinek a száma, azaz 33. Ez utóbbi az előbbi enyhén módosított változata.

2. A bűvös négyzet létrehozása

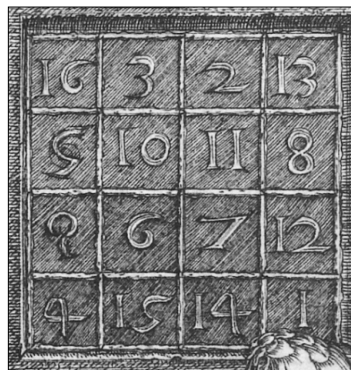
A bűvös négyzet felépítésében az egyik támpont a bűvös összeg. Ha a számsorozat első tagja az 1-es, akkor az n -ed rendű négyzet felépítésében az 1, 2, 3, ... természetes számok vesznek részt, egészen n^2 -ig. Az egyszerűség kedvéért jelöljük a legnagyobb számot, vagyis n^2 -et m -mel. A négyzet felépítésében részt vevő számok összegét tehát a megfelelő számtani sorozat összegképletével az $M = m \cdot (m + 1) / 2$ számként határozhatjuk meg. Mivel a négyzet n sorból áll, és minden sorban a bűvös összeg ugyanaz kell, hogy legyen, nyilván ez nem lehet más, mint az $N = M / n$ szám. Mivel természetes számokat adunk össze, N is, és M is természetes szám kell legyen.

Ha a számsort nem az 1-es-től kezdjük, hanem egy nagyobb (vagy, ha elfogadjuk azt, hogy nulla vagy negatív számok is megjelenjenek benne, kisebb) k számtól, akkor a számsorozat minden egyes tagja $k - 1$ -gyel fog eltolódni, a bűvös összeg pedig $n \cdot (k - 1)$ -gyel lesz nagyobb (vagy kisebb). Ez lényeges változást a négyzet felépítésében nem okoz, emiatt a továbbiakban csak az 1-gyel kezdődőkkel foglalkozunk.

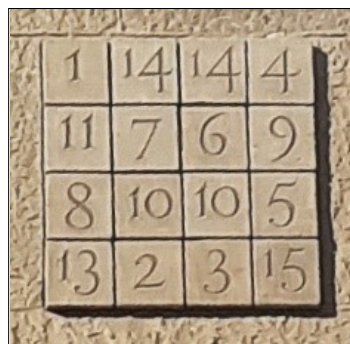
A bűvös négyzetek említett tulajdonságai alapján észre lehet venni, hogy az elsőrendű bűvös négyzet csupán egy 1-es számjegyet tartalmazó táblázat lenne. Azt is rögtön észrevehetjük, hogy szoros másodrendű, négyzetes mátrix nem létezhet: ha ennek pl. a bal felső sarkában elhelyezzük az 1-es-t, akkor amellé, az alá és átlósan is ugyan-



1. ábra. Albrecht Dürer: *Melankólia I* (metszet, 1514)



2. ábra. Kinagyított részlet a bűvös négyzettel



3. ábra. A barcelonai *Sagrada Familia* templom bejáratánál levő bűvös négyzet

azt a számot kellene odaírni ahhoz, hogy a bűvös összeg minden irány szerint meglegyen. Ez a második szám pedig ugyanaz kell, hogy legyen, mint ami a bal felső sarokban szerepel, mert egyébként a második sorban, a második oszlopban és a másik átló mentén nem jön ki a bűvös összeg. Következésképpen a másodrendű bűvös négyzet csak egy triviális, ugyanazt a számot négyszer tartalmazó, ismétléses négyzet lehet.

A harmadrendű négyzet megalkotása már egy bonyolultabb folyamat. Ha próbálkozással akarjuk a négyzetet kitölteni az első kilenc természetes számmal, akkor a lehetőségek eléggé nagy száma fog gondot okozni, hiszen 9 elemet $9! = 362880$ különböző elrendezésben lehet sorba állítani. Ez kilenc elem permutációinak a száma, ami emberi léptékben eléggé nagy ahhoz, hogy a próbálkozássokra alapozó megoldás ésszerűtlenné váljon.

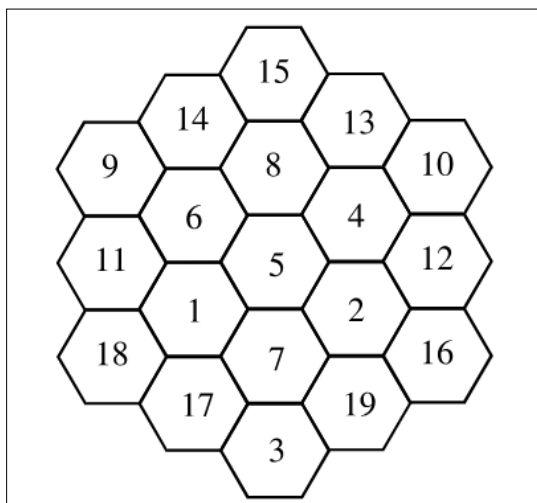
A pusztán próbálkozással való megoldás nehézségét a bűvös hatszöggel lehet példázni (4. ábra). Ez is egymást követő számok egyfajta táblázata, azonban ez a táblázat három irány szerint sorolja az elemeket. A számokat úgy kell beírni, hogy irányonként az összeg ugyanaz legyen. A 19 összegét az irányonkénti öt „sor” között elosztva a bűvös összeg 38.

A feljegyzések szerint a feladványt 1910-ben közzétette egy *The Pathfinder* című hetente megjelenő helyi lap, Washingtonban. Az akkor 19 éves Clifford W. Adams ráharapott a témára, és elhatározta, hogy meg fogja oldani azt. Ahhoz, hogy gyorsabban menjen a megoldás, hatszögletű kerámialapocskákat használt, amire felírta a számokat. A feladvánnyal a szabad idejében fog-

lalkozott, és végül is 1957-ben, kórházi lábadozás közben jutott el a megoldásig. Azt fel is jegyezte egy papírra, de az elveszett, így újabb öt évnek, tehát összesen egy fél évszázadnál hosszabb időnek kellett elteltetnie, míg a megoldás előkerült. Adams ezt a megoldást elküldte egy matematikusnak, aki behatóbb vizsgálat alá vette a feladványt, az így került a figyelem központjába. Az idők során kiderült, hogy Adams megoldása, leszámítva a tükrözött és elforgatott változatokat, az egyedüli lehetséges – ezt számítógépen elvégzett próbálkozásokkal bizonyították be. Az is kiderült, hogy ennél kisebb vagy nagyobb bűvös hatszög nem létezik. Sikertől kidolgozni reá egy olyan eljárást, amely a megvizsgálandó konfigurációk számát lényegesen csökkenti, így számítógép nélkül is aránylag könnyen el lehet jutni a megoldásig. E feladvány egyébként korábbi, azt először 1888-ban publikálta Ernst von Haselberg egy matematikai lapban (*Zeitschrift für mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterricht*), a megoldását pedig egy évvel később, ugyanott tette közzé.

A harmadrendű bűvös négyzet előállításának egy lehetséges célratörő megoldása a következő: a szoros, 1-estől induló harmadrendű négyzet bűvös összege 15. Felírjuk azokat a lehetséges számhármassokat, amelyeknek az összege ennyi. A könnyebb tájékozódás kedvéért olyan módon, hogy 1-től 9-ig minden szám mellé odaírjuk a másik két lehetséges számot (emiat a felsorolás ismétlődéseket tartalmaz, 5. ábra).

Nos, ebből a felsorolásból kiderül, hogy egyedül az ötös szerepel négyfajta elrendezésben, így csak ez a szám szerepelhet a négyzet közepén (ugyanis



4. ábra. Bűvös hatszög

1	5	9	6	1	8
1	6	8	6	2	8
			6	3	7
2	4	9	7	2	6
2	5	8	7	3	5
2	6	7			
3	4	8	8	1	6
3	5	7	8	2	5
			8	3	4
4	2	9	9	1	5
4	3	8	9	2	4
4	5	6			
5	1	9			
5	2	8			
5	3	7			
5	4	6			

5. ábra. 15 összegű számhármassok

egy sorban, egy oszlopban és mindkét átló mentén ott kell lennie), **6. ábra**.

Ugyanígy észre lehet venni, hogy a sarkokban csak 2, 4, 6 és 8 lehet, ugyanis ezek szerepelnek három-három elrendezésben. A sarkok egy sor, egy oszlop és egy átló metszéspontjában vannak. Ha a bal felső sarokba beírjuk a 2-est, akkor a jobb alsóba csak a 8-as kerülhet, hiszen a bűvös összeg csak így jön ki. Ha a jobb felsőbe beírjuk a 4-est, akkor pedig a bal alsóba csak 6-os kerülhet (**7. ábra**).

A többi szám csak két elrendezésben szerepel, ezek egy sor és egy oszlop kereszteződésébe kerülnek (az átlókon kívül). A bűvös összeget szem előtt tartva, egyszerűen kitöltjük a megmaradt négy helyet (**8. ábra**).

Ha a két felső sarokba más számokat írunk, az így kapott elrendezés elforgatott és/vagy tükrözött változatait kapjuk (összesen nyolcat), ha ezektől azonban eltekintünk, akkor kijelenthetjük, hogy csak egyfajta szorosan illeszkedő bűvös négyzet létezik (a mindkét irány szerint egyszerre történő tükrözés 180 fokos elforgatást jelent, a második irány szerinti tükrözéssel is az első szerint tükrözött négyzet elforgatott változatát kapjuk).

3. A negyedrendű bűvös négyzet

A nagyobb bűvös négyzetek létrehozása már nem ilyen egyszerű feladat. Munkánkban Berger György 1986-ban megjelent *Bűvös négyzetek* című könyvében [1] közzétett észrevétel alapján indultunk el. Eszerint, egy negyedrendű bűvös négyzet példázatában, ha a számsort 0-val kezdjük, akkor a sorozat 16 elemét négyes számrendszerben fel-

írva, azoknak a $00_4, 01_4, \dots, 33_4$ formájához jutunk. E számok egy 0 és 3 közötti első (jobb oldali) és ugyancsak 0 és 3 közötti, második helyi értékű (bal oldali) számjegyből állnak. A teljes sorozatban négy olyan szám van, amelynek az első helyi értéke 0, négy olyan, amelynek 1 és így tovább, és ugyanez vonatkozik a második helyi értékre is (tehát négy olyan szám van, amelynek a második helyi értéke 0, stb.). A bűvös összeg kiszámításához négy számot kell összegeznünk, vagyis az négy első és négy második helyi értékű szám összege lesz. Ha minden sorban, oszlopban, valamint a két átló mentén a helyi értékek összege külön-külön ugyanaz a szám lesz, akkor az ott szereplő számok összege is ugyanaz lesz: a bűvös összeg. Ezek szerint, figyelembe véve, hogy minden számjegy helyi értékenként négyszer fordul elő, ha a táblázatot úgy töltjük ki, hogy bármely sorban, oszlopban, valamint a két átló mentén minden számjegy helyi értékenként csak egyszer szerepel benne, akkor az így kapott négyzet bűvös négyzet lesz. Ez azonban nem pont annyira egyszerű, mint első elolvasásra tűnik, mert ki kell zárunk az ismétlődéseket.

Könnyebben követhető a folyamat, ha a számokat színekkel helyettesítjük, és ha helyi értékenként külön-külön táblázattal dolgozunk. Másképpen: a színekkel speciális felépítésű latin négyzeteket alkotunk: olyanokat, hogy nem csak a sorokban és az oszlopokban, hanem az átlók mentén is egy-egy szín csak egyszer forduljon elő. Az említett könyvben szín-bűvös négyzeteknek nevezi ezeket a szerző. Az ilyen négyzetek előállítására is egy logikai játék, a kereskedelembe kapható egyik verziója a ThinkFun márkájú „Color Cube Sudoku”, amelynek az egyik lehetséges megoldott állapota a **9. ábrán** látható.

	5	

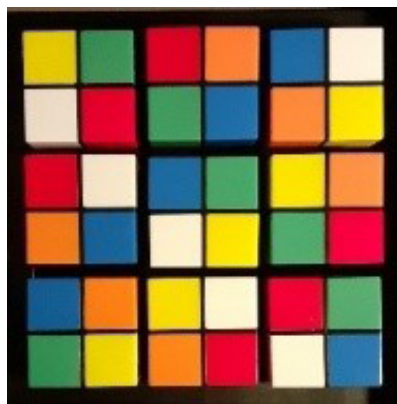
6. ábra. A harmadrendű bűvös négyzet közepe

2		4
	5	
6		8

7. ábra. A harmadrendű bűvös négyzet sarkai

2	9	4
7	5	3
6	1	8

8. ábra. A harmadrendű bűvös négyzet



9. ábra. Szín-bűvös négyzet (ThinkFun: Color Cube Sudoku)

Két olyan négyzetet kell létrehozunk, amelyeket egymásra téve minden lehetséges színkombináció csak egyszer szerepel.

Az így kidolgozott eljárás a következő lépéseket tartalmazza:

1. A főátlón (a bal felső saroktól a jobb alsó sarokig) elhelyezzük a négy színt:

0			
	1		
		2	
			3

2. A mellékátlón (a bal alsó saroktól a jobb felsőig) ugyanezeket a színeket más sorrendben helyezzük el, de úgy, hogy egy sorban vagy egy oszlopban ne szerepeljen kétszer ugyanaz a szín. Csak két ilyen lehetőségünk van (a példánkban a kék–piros–sárga–zöld sorrend a második lehetőség):

0			2
	1	3	
		0	
1			3

3. Az üresen maradt részeket könnyen kitölthetjük, vigyázván az ismétlődések elkerülésére. A mellékelt példában az első oszlopban a piros csakis a harmadik sorban szerepelhet, ezután pedig a második oszlopban levő piros egyértelműen az első sorban kell, hogy legyen. Az első oszlopban az üresen maradt helyre csakis a kék kerülhet, ugyanígy a második oszlopot is a kék egészíti ki. A harmadik oszlopban a sárga csak alul lehet, így a zöld annak a tetejére kerül. A negyedik oszlop két hiányzó elemének, a sárgának és a zöldnek, ekkorra már adott lesz a helye:

0	3	1	2
2	1	3	0
3	0	2	1
1	2	0	3

4. A második négyzet főátlója lehet ugyanolyan, mint az elsőé volt, de a mellékátlón a színek más sorrendben kell, hogy álljanak (az említett második lehetőségről van szó):

0			1
	1	0	
		2	
2			3

5. A második négyzetben kitöltjük az üresen maradt részeket. Ha a főátlót megtartjuk, akkor a második négyzet az első transzponáltja lesz.

0	2	3	1
3	1	0	2
1	3	2	0
2	0	1	3

6. A két szín-bűvös négyzetből összeállítjuk a bűvös négyzetünket: ha az i -edik sor és a j -edik oszlop keresztmetszetében az elsőben az A_{ij} , a másodikban pedig a B_{ij} négyes számrendszerbeli szám áll, akkor a bűvös négyzet megfelelő helyére az $A_{ij} + B_{ij} + 1$ tízes számrendszerbeli számot kell beírni, ahol az egységet azért adtuk hozzá az átszámított értékhez, hogy a sorozat ne 0-val, hanem 1-gyel kezdődjön. Íme az eredmény a **10. ábrán**.

Ha a főátlón levő első két (0 és 1) vagy utolsó két (2 és 3) tagot felcseréljük, akkor a négyzet *páncdiagonális* lesz, vagyis az átlóval párhuzamos „törtétlők” mentén is a bűvös összeget kapjuk. (**11. ábra**)

Megjegyzendő, hogy a szín-bűvös négyzetek eme módszere csak az egyik lehetőség a sok közül, és a lehetséges bűvös négyzeteknek csak egy részét lehet így előállítani, viszont ez egy eléggé egyszerű, vizuális megoldás.

Nem mindenik bűvös négyzethez tartozó szín-négyzetek bűvösek (vagyis nem rendelkeznek a szín-bűvös négyzetek tulajdonságaival). Íme a Dürer-féle négyzet esete a **12. ábrán**.

1	15	8	10
12	6	13	3
14	4	11	5
7	9	2	16

10. ábra. Negyedrendű bűvös négyzet

0	3	2	1
2	1	0	3
1	2	3	0
3	0	1	2

1	15	10	8
12	6	3	13
7	9	16	2
14	4	5	11

11. ábra. Páncdiagonális, egyedrendű bűvös négyzet

3	0	0	3
1	2	2	1
2	1	1	2
0	3	3	0

16	3	2	13
5	10	11	8
9	6	7	12
4	15	14	1

12. ábra. Dürer bűvös négyzete

1	0	2	3
2	3	1	0
1	0	2	3
2	3	1	0

8	2	11	13
9	15	6	4
5	3	10	16
12	14	7	1

3	1	2	0
0	2	1	3
0	2	1	3
3	1	2	0

13. ábra. Egy általánosabb szerkezetű bűvös négyzet

0	2	1
2	1	0
1	0	2

2	9	4
7	5	3
6	1	8

1	2	0
0	1	2
2	0	1

14. ábra. Alkalmazás a harmadrendű bűvös négyzetre

Azonban észrevehetjük, hogy a számok (helyértékek) összege függőlegesen, vízszintesen, valamint a két átló mentén mindig 6 (pontosabban: 12_4), mind a négy szám négyszer szerepel, a két négyzet átfedésénél pedig továbbra sincsenek ismétlődő párok. Az első négyzet első sorában például $3_4 + 0_4 + 0_4 + 3_4 = 12_4$, ugyanakkor $0_4 + 1_4 + 2_4 + 3_4 = 12_4$.

Ezen észrevételek alapján általánosabb formájú bűvös négyzeteket is létrehozhatunk, pl. mint a 13. ábrán.

4. A negyedrendű négyzet bűvös tulajdonságai

A negyedrendű bűvös négyzetekkel kapcsolatban még megemlíthető az a tény, hogy nem csak sorok, oszlopok, átlók és esetleg tört átlók mentén van meg a bűvös összeg. Egy bizonyíthatóan általános tulajdonságuk az, hogy a bűvös összeget kapjuk:

- négy szimmetrikusan elhelyezkedő szám esetén (a négy sarok, illetve a négyzet közepén levő négy számról van szó);
- a sarkokhoz igazított 4×4 -es partíciók esetén;
- ha a négyzet pándiagonális, akkor bármelyik 4×4 -es partíció esetén;
- az első sor két középső és az alsó sor két középső elemére;
- a bal oldali oszlop két középső és a jobb oldali két középső elemére

(tehát nem véletlenül gondolták varázslatos dolognak ezeket a négyzeteket).

Ha próbálgatással szeretnénk negyedrendű bűvös négyzetet létrehozni, akkor ezeket a tulajdonságokat is fel lehet használni.

5. A módszer kiterjesztése egyéb rendű bűvös négyzetekre

A módszer az első, egyszerűen algoritmizálható, szín-bűvös négyzetekre alapozó verziójában a harmadrendű bűvös négyzetre nem alkalmazható, azonban az ismétlődések megengedésével már

meg tudjuk oldani ezt a feladatot is (soronként, oszloponként és a két átló mentén a helyértékek összege ugyanannyi kell, hogy legyen, 14. ábra):

Az ötödrendű bűvös négyzetnek ezzel a technikával történő létrehozása egy kissé körülményesebb, de megoldható. Az ötös számrendszerben kell dolgoznunk, tehát öt színnel. Ez például a következő lépéseken keresztül történhet:

1. Az első négyzet főátlóján elhelyezzük a számokat 0 és 4 között:

4				
	0			
		1		
			2	
				1

2. A mellékátlón e számokat úgy helyezzük el, hogy az oszlopokban és a sorokban ne forduljon elő ugyanaz a színpáros. Ugyanabban a sorban vagy ugyanabban az oszlopban nem fordulhat elő kétszer ugyanaz a szín. E megkövetések miatt a mellékátlón csak egyféle módon tudjuk elhelyezni az elemeket. Az átlók metszéspontjában levő szín nem számít kétszeresnek, a középső sorban és a középső oszlopban csak ez az egy elem foglal helyet. Az említett színpáros alatt azt a két színt értjük, amelyek pl. egy oszlopban szimmetrikusan helyezkednek el: a tetején és az alján, valamint a második és a negyedik helyen levő színek alkotják azokat:

4				2
	0		4	
		3		
			2	
0				1

3. A főátló feletti és alatti háromszögeket úgy töltjük ki, hogy háromszögenként minden szín kétszer szerepeljen, egy sorban és egy oszlopban pedig ne forduljon elő kétszer ugyanaz a szín. Lépésről lépésre kell haladnunk, amilyen sorrendben a már elhelyezett színek rögzítik a következőt.

–A példában az első elhelyezhető szín a felső háromszögben a második kék, amely csak a harmadik oszlop második helyére kerülhet:

4				2
	0			
		2		
		3		
	1			
0				
			2	
				1

–A felső háromszögben zöld csak a harmadik és a negyedik oszlopban lehet. A harmadiknak biztos a tetején, mert ott más üresen maradt hely nincs:

4		1		2
	0	2	4	
		3		
	1			
			2	
0				1

–Ekképpen a felső háromszögben a második zöld a negyedik oszlopban, a harmadik helyen lehet:

4		1		2
	0	2	4	
		3		
	1			
			2	
0				1

–A felső háromszögben két sárga kell, hogy legyen. Ezek a negyedik és az ötödik oszlopban fordulhatnak elő. Az első sárga a negyedik oszlop tetejére kell, hogy kerüljön, de a másodiknak egyelőre nem tudjuk megmondani a helyét:

4		1	0	2
	0	2	4	
		3		
	1			
			2	
0				1

–A felső háromszögben a többi elem helyzete még nem egyértelmű, így leköltözzünk az alsó háromszögbe. Észrevehetjük, hogy a negyedik oszlop aljáról már csak egy piros hiányzik:

4		1	0	2
	0	2	4	
		3		
	1			
			2	
0				1

–A felső háromszögben is kell, hogy legyen két piros. Az első piros csak a második oszlop tetején lehet:

4	3	1	0	2
	0	2	4	
		3		
	1			
			2	
0				1

–A felső háromszögbe most sem illeszthetünk be további elemeket, de észrevehetjük, hogy az

alsó háromszögben az egyik sárga a harmadik oszlopban a negyedik helyen kell legyen:

4	3	1	0	2
		2	4	
	0	3		
		1		
		0		
0			3	1

–A harmadik oszlop aljáról már csak a lila hiányzik, miért ne folytatnánk ezzel?

4	3	1	0	2
		2	4	
	0	3		
		1		
		0		
0			3	1

–Az alsó sorban szintén már csak egy hely maradt üresen, a második. Ide kék kell, hogy kerüljön:

4	3	1	0	2
		2	4	
	0	3		
		1		
		0		
0			3	1

–A második oszlopból is csak egy elem maradt ki: annak a hiányzó, középső eleme csak lila lehet:

4	3	1	0	2
	0	2	4	
	4	3		
		1		
		0		
0			3	1

–Megkeressük, hogy van-e olyan szín, amely már négyszer is előfordul. Az egyik ilyen a sárga. Ez az utolsó oszlop közepén kell, hogy legyen:

4	3	1	0	2
	0	2	4	
	4	3		
		1		
		0		
0			3	1

–A másik ilyen szín a kék. Hasonlóképpen, az első oszlopban a kék szintén csak annak a közepén lehet:

4	3	1	0	2
	0	2	4	
2		3		
		1		
		0		
0			3	1

–Az ötödik zöld az első oszlopban a második helyre passzol:

4	3	1	0	2
1		2	4	
	0	3		
		1		
		0		
0			3	1

–Az első oszlopot a negyedik helyre beillesztett piros egészíti ki:

4	3	1	0	2
1	0	2	4	3
2	4	3	1	0
3	1	0	2	4
0	2	4	3	1

–A második sor utolsó eleme piros kell, hogy legyen, ez lenne az ötödik piros elem:

4	3	1	0	2
1	0	2	4	3
2	4	3	1	0
3	1	0	2	4
0	2	4	3	1

–Az utolsó oszlopot s ezzel a négyzetet a negyedik helyre találó lila fejezi be:

4	3	1	0	2
1	0	2	4	3
2	4	3	1	0
3	1	0	2	4
0	2	4	3	1

Észrevehetjük, hogy a számok főátlón levő sorrendje eléggé egyértelműen meghatározza a négyzet felépítését. Az adott főátlóhoz illő mellékátlót kétfajta módon tudjuk megalkotni, de ha ez megvan, akkor onnan kezdve a négyzetet csak egyféleképpen lehet kitölteni. Az átlón a sorrend megváltoztatásával egy újabb négyzetet kapunk: a főátlón az öt elemet 120-féle módon lehet sorrendbe állítani, így a két-két lehetséges mellékátlóval összesen 240 változathoz jutunk (közöttük az elforgatott, tükrözött változatokhoz is), azonban minden így megalkotott szín-bűvösnégyzet struktúrája ugyanaz marad.

- A második négyzetet az elsőből állíthatjuk elő, azt transzponálva, vagy pedig a sorait vízszintesen vagy az oszlopaikat függőlegesen tükrözve. Mi több, teljes pivotálással is egy újabb szín-bűvösnégyzethez jutunk: ehhez az i-edik sort felcseréljük a j-edikkel, az i-edik oszlopot pedig a j-edikkel (csak két sor vagy csak két oszlop felcserélésével az átlók mentén nem jön össze a bűvös összeg). Ezeket a módszereket kombinálni is lehet. Az ábrán a második négyzet az első függőleges tükröképe.
- A bűvös négyzetet a két szín-bűvösnégyzetből a már ismert módon állítjuk elő (lásd 15. ábra)

4	3	1	0	2
1	0	2	4	3
2	4	3	1	0
3	1	0	2	4
0	2	4	3	1

2	0	1	3	4
3	4	2	0	1
0	1	3	4	2
4	2	0	1	3
1	3	4	2	0

15. ábra. Ötörendű bűvös négyzet szín-bűvösnégyzetekkel létrehozva

6. Interaktív bűvös négyzet

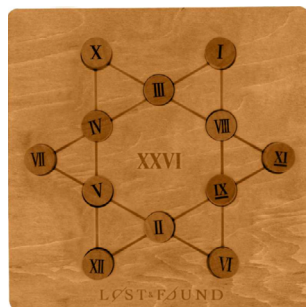
A bűvös kocka (Rubik kocka) kultuszának újra-éledésével megnövekedett az érdeklődés a különféle kirakósok (puzzle) és egyéb logikai játékok iránt. Egy egész iparág alakult ki e körül, aminek a súlypontja Kínában van. A bűvös négyzet, a bűvös hatszög, és egy közeli rokonuk, a bűvös csillag is megjelent a piacon, fából készült kirakósként (az első „Wooden Number 1-16 Puzzle” (16. ábra), a második „Aristotle's Number Puzzle” (17. ábra), a harmadik pedig „Roman Numeral Puzzle” (18. ábra) néven).



16. ábra. Negyedrendű bűvös négyzet mint „Wooden Number 1-16 Puzzle” (Temu, márka nélküli termék)



17. ábra. Bűvös hatszög mint „Aristotle's Number Puzzle” (Professor Puzzle, „Great Minds” sorozat)



18. ábra. Bűvös csillag mint „Roman Numeral Puzzle” (Professor Puzzle, „Lost & Found” sorozat)

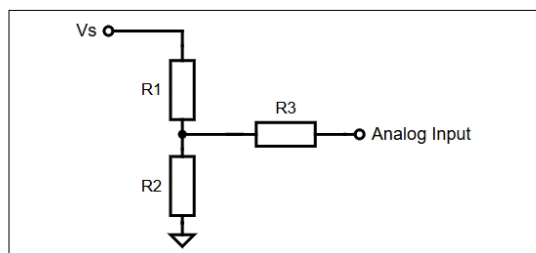
Több más logikai játék azonban elektronikus verzióban is megjelent: ez azt jelenti, hogy maga a játék kézzel fogható, tehát nem számítógépes, azonban egy beépített áramkör tart kapcsolatot a játék és a játékos között. Ez többnyire azt jelenti, hogy a megoldandó feladvány egy kisebb képernyőn jelenik meg, a játékba pedig jeladó van beszerelve, amellyel a sikeres megoldást detektálja. Ez esetleg időméréssel, hang- és fényeffektusokkal, segítségnyújtó tippek megjelenítésével társul. Példaként mutatjuk a GiiKER „Super Slide” (a nyugati világban klotzki néven ismert, kínai megnevezéssel: huarong dao) tologatósát (19. ábra), ahol a bal felső sarokban levő kis képernyő mutatja az éppen soron levő megoldandó kiinduló állást, a nyomógombokkal lehet az eszközt kezelni, a piros kockának a célba jutását pedig egy érzékelő detektálja, és amikor ez megtörténik, a képernyőn automatikusan a következő szint jelenik meg.

Ennek alapján támadt az az ötlet, hogy a negyedrendű bűvös négyzetet is interaktív játékként készítsük el, ahol a beépített elektronika automatikusan kiszámolja a sorok, oszlopok és az átlók összegét. Ehhez a 16 számozott csempébe valamilyen egyedi jeladót, a csempék elhelyezésére szolgáló tálcába pedig ugyanannyi érzékelőt kell beépíteni, az adatok feldolgozását pedig egy mikrokontroller végzi, az adatok megjelenítéséhez pedig megfelelő kijelzőt kell csatlakoztatni hozzá.

A fő probléma az érzékelés megoldása. Több megoldást is elemeztünk: a legelegánsabb a behelyezett csempék RFID-rendszerrel történő azonosítása lenne, de elég nehéz feladat a 16 RFID-olvasót elhelyezni és működtetni. Egy másik elképzelés szerint szintén érintésmentes módon, kapacitív vagy induktív érzékelővel lehetne megoldani a problémát, csakhogy ezek rendszerint csak a

tárgy jelenlétét tudják érzékelni, azokat megkülönböztetni nem. Ugyanez a helyzet a Hall-érzékelőkkel is. Olcsóbb, biztonságosabb, nem túl nehezen megvalósítható megoldásként feszültségosztókat alkalmazunk (20. ábra): a tálcában kap helyet annak egyik ellenállása, amelynek a nagysága minden pozícióban ugyanakkora (R_1). A másik, csempénként különböző, egyedi ellenállás (R_2) a csempében van elhelyezve, a tálcához való csatlakoztatás pedig a felhasználó elől elrejtett tűskékkel történik. A két ellenállás csatlakozási pontját kell egy analóg mintavételező bemenetre rákötni, egy áramerősség-korlátozó ellenálláson keresztül. Ahhoz, hogy ez a bemenet ne lebegjen a behelyezett csempé hiányában, az R_1 ellenállás másik végét a tápfeszültségre kötjük, ekkor az analóg bemeneten ez a feszültség jelenik meg. Az R_2 ellenállás másik vége pedig a csatlakozón keresztül a testre kerül. A feszültségosztókhöz szükséges 16 ellenállást úgy kell megválasztani, hogy a teljes feszültségtartományon 17 jól megkülönböztethető értékünk legyen, kb. egyenletes besztással (a tizenhetedik érték az üresen maradt pozíciókhoz szükséges).

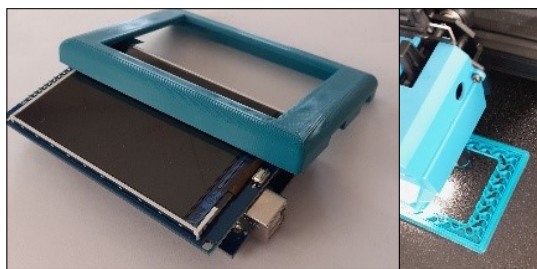
Mikrokontrollerként egy Arduino Mega bizonyult megfelelőnek, mivel 16 analóg bemenettel rendelkezik. Ehhez közvetlenül hozzáilleszthető egy 3.5"-os, 480 × 320 pixeles LCD-képernyő, amely megjeleníthető a 16 behelyezett csempé, valamint a kiszámolt összegek (21. ábra).



20. ábra. A behelyezett csempé érzékeléséhez használt feszültségosztó



19. ábra. A GiiKER „Super Slide” interaktív logikai játéka



21. ábra. Arduino Mega, LCD kijelző és annak a 3D-nyomtatással készített kerete

A csempék 3D-nyomtatással készülnek, és 30×30 mm kiterjedésűek. Azokat a szintén 3D-nyomtatással elkészülő tálcán levő, téglalap alapú csonka gúla alakú tartókra kell rátűzni. A tartóban kap helyet a csatlakozó anya része, a csempének pedig a csonka gúla negatívjának megfelelő bemélyedése rejti el a két tűskét (pin). A csempe felületén van a szám, valamint annak a négyes számrendszerben vett, első és második helyi értékű számjegyének megfelelő színű jelek. (22. ábra)

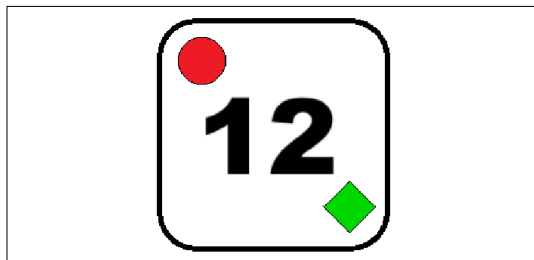
A tábla a képernyő keretével együtt egy közös test, az a teljes elektronikát tartalmazó doboz teje.

Ezzel a logikai játékkal, a szándékaink szerint első sorban a szín-bűvösnégyszetek módszerével próbálkozhat a játékos (ehhez szükségesek a csempéken levő színkódok), szórakoztató agytornaként, de akár más bűvösnégyszet-kirakási stratégiákat is ki lehet vele próbálni. Az összegek automatikus kiszámítása és kijelzése felgyorsítja a folyamatot, nem kell papírhoz és ceruzához folyamodni. Lehetővé válik olyan megkönnyített játékmódok bevezetése is, amikor a mikrokontroller előre meghatározza néhány csempe helyét, a játékos pedig csak a megmaradó csempéket kell, hogy elhelyezze.

7. Következtetések

A Rubik-kocka szabadalmának lejártával a forgatható kirakósok (twisty puzzle) újabb aranykora kezdődött: nemcsak a hagyományos bűvöskocka-verziókat gyártják és forgalmazzák, hanem igen nagyszámú más mintázatú, alakú, másként forgatható vagy más mechanizmussal megépített, forgatható kirakós látott napvilágot. Ez újraindította a Rubik-kocka kultuszát, gyűjtők, amatőr fejlesztők és versenyzők igen nagy számát vonzotta magához ez a fajta logikai játék. Erre egy egész iparágat alapoztak, a kirakósokat pedig igen sokan forgalmazzák. A legnépszerűbbek a változatos és bőséges kínálattal rendelkező online üzletek. Ezzel párhuzamosan, a forgalmazott termékek palettájának bővítéseként, egyéb logikai játékok is a forgalomba kerültek (a Rubik-kocka-forgalmazók egy non-twisty kategóriába sorolva árusítják ezeket), így a negyedrendű bűvös négyzet is.

Mivel a bűvös négyzet kirakása egy aránylag nehezebben megoldható feladat, interaktív játékként gondoltuk kivitelezni. Egy elektronikus áramkör automatikusan kiszámolja a behelyezett számok összegét, ezzel felgyorsítja a megoldás menetét. Mivel az elektronika egy mikrokontrol-



22. ábra. Az egyik csempe

ler köré épül, akár az is lehetővé válik, hogy a megoldást a képernyőn dolgozzuk ki, a csempéket pedig csak a megoldás megtalálása után helyezzük be.

A játék logikája a szín-bűvösnégyszetekre alapul. Különleges latin négyzetekről van szó, ahol az ismétlődés az átlók mentén sem fordulhat elő. Ekként van megalkotva a csempék jelölése, valamint a behelyezett csempéknek a képernyőn látható kijelzése. Ez azonban nem zárja ki másfajta, nem a szín-bűvösnégyszetekre alapozó megoldási eljárások kipróbálását.

A cikkben a szín-bűvösnégyszetekre alapozó eljárást egy magasabb rendű négyzetre is kiterjesztettük, annak interaktív játékként történő megvalósításával azonban nem foglalkoztunk.

Következésképpen elmondhatjuk, hogy egy új, egyszerűen átlátható algoritmust fejlesztettünk ki a bűvös négyzetek felépítésére (amellyel csak bizonyos típusú négyzeteket lehet létrehozni), az ötlet tovább gondolásával pedig egy eddig nem létező, új interaktív játékot hoztunk létre, a logikai játékokat kedvelők örömeire.

Szakirodalmi hivatkozások

Bűvös négyzetekkel számos cikk foglalkozik, amelyek az interneten elérhetők. A legjobban a Wikipédia foglalja össze a velük kapcsolatos tudást. Ha könyvet szeretnénk találni e témakörben, W. S. Andrewstól a *Magic Squares and Cubes* (1917) címen közzétett műnél újabbat az alább hivatkozotton kívül nem találunk. Andrews igen részletes könyve az interneten olvasható:

https://djm.cc/library/Magic_Squares_Cubes_Andrews_edited.pdf.

Mi azonban csak egy, kimondottan a bűvös négyzetekkel foglalkozó műre hivatkozunk, mivel abban minden fontos információ megtalálható:

[1] Berger György: *Bűvös négyzetek*. Dacia Könyvkiadó, Kolozsvár, 1986.



A VILLANYVILÁGÍTÁS TÖRTÉNETE ERDÉLYBEN

THE HISTORY OF ELECTRIC LIGHTING IN TRANSYLVANIA

Miholcsa Gyula

Erdélyi Múzeum Egyesült, Marosvásárhely, Románia, miholcsagyula@gmail.com

Abstract

FIAT LUX! In the legends of most cultures only a God could bring the first light in the creation of the World. Today anyone can turn on a light where-ever they wish. How did we get here, how did we become creators of our own light? This journey of creation passed through three major steps, which we call today the technical revolutions: I. The energy of nature (water, wind); II. The energy of steam; III. The energy of electricity. The story of this last kind of energy, used for lighting, was fulfilled at the beginning of the XX century. By what means and when did this process take place in Transylvania? This is what the study seeks to answer.

Keywords: *lighting, gas lighting, electric, lamp, Transylvania.*

Összefoglalás

FIAT LUX! A legtöbb kultúra teremtésmítoszaiban a legelején isteni erőre volt szükség, hogy fény legyen. Ma bárki felkapcsol egy kapcsolót, vagy megnyom egy gombot, máris fény van ott, ahol akarja. Hogyan jutottunk el idáig, hogyan tettünk szert a világítás tudására? Három nagy lépcsőfokon vitt át az út, amelyet ma ipari forradalomnak neveznek: I. A természet energiái (víz, szél); II. A gőz energiája; III. A villamosság energiája. Ez utóbbinak a szerepe a világításban a 20. század elején teljesedett ki. Hogyan és mikor ment végbe ez a folyamat Erdélyben? Erre keres választ a tanulmány.

Kulcsszavak: *gázvilágítás, villany, világítás, lámpa, Erdély.*

1. A közvilágítás története

A villanyvilágításról mondhatjuk, hogy tulajdonképpen a III. technikai forradalom rugója és kiteljesítője. Egyben a közvilágítás legmodernebb változata, úgyhogy szóljunk néhány szót a közvilágítás történetéről.

1.1. A kezdetek

Az első világítóeszköz egy égő fadarab volt, amelyből kifejlődött a fáklya.

Gyertya. A főnéciaiak már az ókorban feltalálták a méhviaszból gyúrt gyertyát. De a magas ára miatt igen ritka volt. 1200 körül Angliában feltalálták a kellemetlen szagú, de olcsóbb, szilárd világítóanyagot: a birkaszírból készült faggyúgyertyát.

Olajmécset. Az olajmécset már az egyiptomiak használták. Az első nyersolajjal működő lámpa leírása Rhazes (Muhammad ibn Zakariyya ar-Razí, 865–932) perzsa orvos, kémikus, filozófus tollá-

ból származik a 9. századból, aki „naffatah” néven tesz említést a lámpáról. A gyertya mellett az olajlámpa kísérte végig az emberiséget az egész középkoron át. Viszont éjszaka az utcák továbbra is sötétek maradtak, a „sötét középkor” az volt, a szó szoros értelmében is.

1.1.1. Közvilágítás

Ismereteink szerint legelőször 1000 körül Córdoba-ban világítottak ki néhány utcát. Az első rendszeres utcai közvilágítást 1417-ben valósították meg Londonban. Henry Barton főpolgármester elhatározta, hogy minden polgár köteles lámpást akasztani házának ablakához vagy a ház falára az utca kivilágítása céljából (gyertya vagy olajmécset). A következő város Párizs volt, ahol 1558-ban II. Henrik francia király rendeletet adott ki a lakosoknak, hogy este kilenc óra után minden porta égő lámpát vagy bármi más világítóeszközt függeszzen ki háza elé.

A többi európai nagyváros csak 1600 után vezetete be a közvilágítást, amikor már elterjedtek az olajlámpák:

Koppenhága (1640), London (1668 – teljesebb szabályzat), Amszterdam (1669), Berlin (1679), Bécs (1687), Prága (1723), Göttinga (1735), Buda (1777), Róma (1787), Pest (1790).

Temesvár volt az első város Erdélyben – és az akkori Magyarországon –, ahol 1760-ban egyáltalán bevezettek közvilágítást. Az utcai világítóeszközök mind üvegalutkába zárt olajlámpák voltak, egy faoszlop tetején. Minden nap kellett gyújtani és oltani őket, illetve utánatölteni az olajt.

Az erdélyi városok nagy részének olajvilágítása 1850 körül megszűnt, ugyanis az 1848-as forradalom után a városoknak nem volt pénze ilyen luxusra.

A korabeli magyarországi képeskönyvekben (Orbán Balázs, 1868, Magyarország képekben, 1870, Ludwig Rohbock, 1875) az erdélyi városokat ábrázoló képeken, egyiken sem látunk világítótesteket (kivéve Temesváron).

1.1.2. Petróleumlámpa

Európában 1852-ben Jan Józef Ignacy Łukasiewicz (1822–1882) lengyel gyógyszerész a kőolajjal kísérletezett, és desztillálásakor előállított egy új anyagot, a petróleumot („világítóolaj”). Ezt próbálta ki világításra SCHREINER galíciai tejkereskedő ugyanabban az évben, a lembergi kórházban, sikerrel. Łukasiewicz rögtön készített egy petróleumlámpát, amelyet 1853-ban szabadalmaztatott, Lembergben. Így emlékeznek erre Erdélyben:

Ezelőtt háromnegyed századdal váltotta fel a petróleumlámpa a koppantós viaszgyertya uralmát. [Brassói Lapok, 1927 nov.25]

1864-ben Kolozsváron lecserélték az olajlámpákat petróleumlámpákra. Ezután következtek a többi erdélyi városok és falvak, ugyanis három fontos előnye volt az olajjal szemben: olcsóbb volt – amely elősegítette a petróleumlámpa terjedését; hígabb volt, mint az olaj – amitől sokkal könnyebben felszívódott a kanócba; végül a legfontosabb, a fénye fehérebb volt, mint az olajlámpáé.

1.1.3. Gázvilágítás

1792-ben William Murdoch (1754–1839) skót vegyész felfedezte, hogy a kőszén felhevítve, az egy olyan gázt bocsát ki („szén-légszész”), amely ég, és igen erős fénnel világít. 1807-ben a londoni Pall Mall lett a világon az első, gázlámpák által kivilágított utca.

London után következett Párizs (1817), Hannover és New York (1823), Berlin (1826), Prága (1847), Bécs (1852), Pozsony (1856), Budapest (1856), Temesvár (1857).

Európában a 19. században a legmodernebb világítási forma a gázvilágítás volt, mely felváltotta a korábban használt petróleumvilágítást, ugyanis kevésbé füstölt, a fénye erősebb volt, és nem kellett minden lámpát állandóan feltölteni, hiszen föld alatti csőhálózat táplálta a lámpákat gázzal.

Emiatt drágább is volt, és csak a nagyvárosokba vezették be, ahol sok fogyasztó volt, ugyanis csak ott volt kifizetődő a vállalkozó számára, hiszen nagy volt a befektetés (föld alatti csőhálózat, gázgyár). Csak hosszú távú, 30-50 éves szerződéseket kötöttek egy várossal a közvilágításra. A kisebb városok megmaradtak a petróleumlámpáknál.

Erdélyben is így volt, csak a nagyvárosok rendelkeztek gázvilágítással:

Temesvár 1857-ben (1884-ig);

Brassó 1864-ben (1933-ig);

Arad 1869-ben (1897-ig);

Kolozsvár 1871-ben (1906-ig);

Nagyvárad 1873-ban (1903-ig).

Az Erdélyre jellemző kisebb városok (a rendezett tanácsú városok) között ritka volt a gázvilágítás, sok ideig maradt a petróleumvilágítás.

2. A villanyvilágítás története

A 19. század elején, a gázvilágítás kialakulásával párhuzamosan megszületett és lassan fejlődött egy új tudományág, az elektromosság, amely tulajdonképpen elindította a III. ipari forradalmat. Már a század elején felfedezték, hogy „villammal” lehet világítani, de sok évtizedig ez csak kísérleti stádiumban maradt, ugyanis nem volt még megfelelően erős áramforrás, és a villanykörte vagy túl hamar kiégett, vagy túl drága volt.

Feltalálók tucatjai foglalkoztak a villanyvilágítással, míg sikerült gyártani a század vége felé használható ívfénylámpákat, illetve izzólámpát. 1880-ra már sikerült olcsó villanykörteket és erős áramforrásokat készíteni, elsősorban Edison cégének. Ezek mind egyenáramot állítottak elő (DC: Direct Current – egyenáram). Puskás Tivadar, Edison cégének európai képviselője elárastotta az európai piacot ezekkel a termékekkel. Ekkor kezdett a villanyvilágítás méltó konkurense lenni a gázvilágításnak, ekkor kezdődött el Erdélyben is egy valóságos gázvilágítás-villanyvilágítás háború.

Az európai feltalálók, köztük a budapesti Ganz cég kutatói viszont több fantáziát láttak a váltako-

zó áramban (AC: Alternating Current – váltakozó áram), mivel az erőműben termelt áramot magas feszültségre feltranszformálva, nagy távolságra lehetett szállítani, kevés veszteséggel; az egyenáramot nem, legfeljebb 500 méteres körzetbe. A budapesti Ganz gyár 1885-re kidolgozta a váltakozó áramú világítási rendszert, ez is belépett a piaci harctérre.

Edison felismerte, hogy a váltakozó áram vetélytárs. Kialakult egy kemény konkurencia a két rendszer között, AC kontra DC, ami Amerikában valóságos háborúvá fajult. Edison kísérleteket végzett élő állatokon, hogy bebizonyítsa, a váltakozó áram életveszélyes az emberre nézve is, míg az egyenáram nem. Befolyásolásával az első elektromos kivégzőszéket is váltakozó árammal működtették. Európában csak az újságcikkek szintjén – és a színpalak mögött – folyt a csatározás, de itt is kihatott a piacra.

3. A villanyvilágítás története Erdélyben

Erdélyben elsősorban a gázvilágítás-villanyvilágítás konfliktus volt jellemző, azokban a városokban, ahol volt gázvilágítás. A döntést a tanács hozta, amely műveltebb-kevésbé művelt emberekből állt. Ezt próbálták is kihasználni az ajánlkozó cégek. A döntés sokszor egy személy (a polgármester, egy elszánt tanácsos) akaratán múlt.

Ahol nem volt gázvilágítás, ott a petróleumvilágítás lecserélése nem volt probléma, hiszen általában a város üzemeltette azt. De ezek a települések sem úszták meg a jellemző konfliktust, hiszen mindkét irányból (gáz és villany) jöttek az ajánlatok, és a meggyőzőési mechanizmusok.

Erdélyben legkorábban ipari egységek használtak villanyvilágítást, elsősorban a bányák. Legelőször a marosújvári sóbányába vezették be a villanyvilágítást 1880-ban, 14 ívlámpával, amelyek a gyenge petróleum- és gyertyavilágítást cserélték le:

A marosújvári sóbányákban a másfél évvel ezelőtt berendezett villamvilágítás teljesen kielégítőnek bizonyult s most már állandósítják. [Fővárosi Lapok, 1882.jún.7]

A városi villanyvilágítás a legelején különböző eseményekhez kapcsolódott, mint például ünnepségek, találkozók, korszolypályák stb. A szervező civil szervezetek ünnepségeiket akarták az esti órákra is meghosszabbítani, és a vonzó, modern megoldás a villanyvilágítás volt.

Érdekes tudni. A mint minket értesítenek, az egyetem term. tud. és bölcsészeti karának e hó-

ban tartandó majálisán, villany világítást fognak alkalmazni. [Ellenzék, Kolozsvár, 1881. máj. 3]

3.1. A villanyvilágítás bevezetése 1900-ig

A 19. század végén a gőzgépek jutottak el Erdélybe. Aki áramot akart termelni, és nem volt a közelben vízerő, az csak eléggé drága és nagy gőzgéppel tudta meghajtani az áramgenerátorokat. Városok vagy gazdag vállalkozók tudták megvásárolni a gőzgépet, hiszen ahhoz kellett egy kazán is, amelyik létrehozza a gőzt.

1884 TEMESVÁR (DC, 110 V)

Temesváron 1882-ben járt le a 25 éves szerződés a gázvállalattal. Ekkor nyílt alkalom áttérni a villanyvilágításra – amely már megjelent Európa nagyvárosainak egyes épületeiben vagy utcáin –, és Temesvár agilis polgármestere, Török János nem hagyta ki az alkalmat. Így lett Temesvárnak az egész városra kiterjedő villanyvilágítása 1884-ben. Mivel 1880-tól a 80-as évek közepéig Edison egyenárama uralta az európai piacot, Temesvárnak is az Edison-féle egyenáramú rendszerrel lett a közvilágítása.

1889 KOMMANDÓ (AC, 1 fázisú, 110 V)

De 1885-től már a piacra került a Ganz gyár váltakozó áramú világítási rendszere. És ekkor született meg Erdélyben is a nagy dilemma: milyen áramot vezessen be egy erdélyi kisváros: az erősen nyomuló és nagy propagandagépezzel rendelkező Edison-féle egyenáramot, vagy a több lehetőséget nyújtó, Ganz-féle váltakozó áramot?

Ganz-féle rendszert vásárolt meg 1889-ben egy budapesti vállalkozó Kommandón, ahol villanymotorokkal szerelte fel fűrészüzemét, és adott áramot a falusi utca világítására is.

A villanyvilágítás fénye mellett megszemlélték a Nedoma építőmester által ügyesen és szépen felállított épületeket, a krompachi vasgyárból szállított s ugyanott készített gépeket, a Ganz-féle villanygépeket, a műhelyeket, a raktárakat és a kazánházat. [Székely Nemzet, 1889. jan. 19]

1889-ben egy bővítés alkalmával Temesvár is lecserélte az egyenáramú rendszert váltakozó áramúra.

1890 KARÁNSEBES (AC, 42 Hz, 1f, 2000V/105 V)

Egy év múlva három karánsebesi vállalkozó a Ganz céget bízta meg Karánsebesen a malmuk korszerűsítésére villanyárammal. Karánsebes lett Erdély második városa, ahol bevezették az elektromos közvilágítást, 1890 júliusában. De itt nem gőzgép hajtotta a generátort, mint Temesvá-

ron, hanem itt építették meg az ország és egyben a Kárpát-medence első vízerőművét a vízmalom helyén, a Sebes-patakon. Ez 42 Hz frekvenciájú, egyfázisú (1f) váltakozó áramot termelt 2000 V feszültségen, amelyet bevezettek a városba, ott letranszformálták 105 V-ra, és az adta az áramot a közvilágításra.

1892 HERKULESFÜRDŐ (AC, 42 Hz, 3f, 2100V/110 V)

Herkulesfürdő rangos állami fürdőhely volt. Politikusok, főhercegek, királyok jártak oda üdülni, szórakozni. Éppen ezért már 1892-ben kis vízerőművet építettek a Cserna folyóra, amely a második vízerőmű volt az országban, Karánsebes után. Két, Francis-típusú turbinát hajtott a víz, azok pedig két generátort működtettek (összesen 260 kVA). Az eredmény háromfázisú váltakozó áram (3f), 42 Hz frekvencián, és azzal világították ki a villákat, a kaszinókat, az utcákat.

1892 SZATMÁRNÉMETHI (DC, 110 V)

A város vásárolt egy kis Siemens&Halske áramfejlesztőt, amelyben egy 50 LE gőzgép hajtott egy dinamót. Mindezt egy gépházban helyezték el a Szamos partján. Az elektromos árammal kivilágították a színházat, illetve a színház előtti központi teret. 1892. január 3-án meggyúltak az utcai villanylámpák is. Szatmár lett a harmadik erdélyi város.

Több felújítás és bővítés után csak 1934-ben tértek át a váltakozó áramra.

1892 BOROSSEBES/ARAD MEGYE (AC, 1f, 1000V/110 V)

Wenckheim Frigyes gróf a Fehér-Körösre egy 50 LE turbinát szereltetett fel, amely egy dinamót hajtott, és az termelte a váltakozó áramot a vasgyára számára, de a község kivilágítására is. Összesen 100 villanykörte volt felszerelve a gyárban és a faluban.

A vasúti pályaháztól a városig, ott pedig a fő utcán végig villamos lámpák szórnak éjjelenként nappali fényt már egy év óta. Ez szintén gr. Wenckheim Frigyes bőkezűségének köszönhető. [Vasárnapi Újság, 1893/37. szept.10]

1893 CSERNAHÉVIZ (AC)

A Krassó-Szörény megyei községben a Schmidt testvéreknek volt egy vízimalmuk a Cserna folyón, és annak az erejét használták villanyáramot termelni a műhelyüknek és a falu kivilágítására.

1894 MÁRAMAROSSZIGET (AC, 42 Hz, 1f, 2100V/105 V)

A Máramaros vármegye székhelyében a városi tanács részvénytársaságot hozott létre a villany bevezetésére. Ignác Dénes igazgató döntött a váltakozó áram mellett, és a Ganz céget bízta meg a villanytelep felépítésére.

1896 NAGYSZEBEN (AC, 42 Hz, 1f, 4500V/110 V)

1896-ban Nagyszeben mellett felépült a Cód folyón egy nagy vízerőmű, amelyet Oskar von Miller németországi villamossági mérnök tervezett. Ez volt az 5. vízerőmű Európában és az első nagy vízerőmű Kelet-Európában (ugyanis Erdélyben még volt két kisebb, Karánsebesen és Herkulesfürdőn).

A szebeni vízerőműnél a Ganz Művek által gyártott Girard vízturbinát és váltakozó áramú generátort használtak, az eredmény 42 hertzes váltakozó áram, 4500 volt feszültségen. Az itt termelt áramot az éppen Oscar von Miller által Münchenben kipróbált magasfeszültségű vezetéken vezették be a 17 kilométerre levő Nagyszebenbe.

Az akkori vízerőmű olyan jól meg volt csinálva, hogy még ma is, 130 év után működik!

1897 ARAD (AC, 42 Hz, 2100V/110 V)

1891-től foglalkoztatta a város vezetését a villanyvilágítás bevezetése. De a gázgyárral levő szerződés (1895-ig) ezt megakadályozta, maradt a gázvilágítás. Csak helyenként sikerült állandó villanyvilágítást eszközölni, mint például a Királyi Főgimnázium laboratóriumában. Az 1891-ben felépült vagon- és gépgyárnak saját villanytelepe volt, amellyel a csarnokokat és a műhelyeket világították ki.

1897-re építették fel a villanytelepet a város határán kívül, a Radna felé vezető úton. Három gőzkazán (Simonis-Lanz) 3 darab (egyenként 125 LE) gőzgépet működtetett, ezek mindegyike egy-egy Ganz-generátort, amelyek váltakozó áramot termeltek a köz- és magánvilágításnak.

1897 RESICABÁNYA (AC, 20.8 Hz, 3f, 5500V/110 V)

Resicabányán a vasgyár épített egy villanytelepet gépeinek meghajtására, és ebből adtak áramot a városnak a közvilágításra.

1898 MAROSVÁSÁRHELY (AC, 42 Hz, 3f, 3200V/110 V)

Marosvásárhelyen a közvilágítási pályázatot nem az Egger cég, sem a Ganz gyár, hanem Farkas

Mendel vállalkozó – akihez társult Bürger Albert sörgyáros is – nyerte meg. 1897. december 17-én írták alá 50 évre a szerződést, melyben 400 darab 16 gyertyafény-erősségű villanykörte (50 W) volt meghatározva, és 4 ívlámpa a főterre. Éjfél felig teljes kapacitással üzemelt a világítás, éjféltől virradatig csak „félgőzzel”.

1899 SZÁSZVÁROS (AC, 50 Hz, 2100/120 V)

Szászvárosban is egy helyi magánvállalkozóval egyezett ki a városvezetés a villanyvilágítás bevezetésére. Rudolf Kaess szász vállalkozónak volt egy gipszgyára és egy gőzmalma, az termelte az áramot a gyárának, és abból adott a városnak is a közvilágításra:

Mióta Kaess Rezső vállalkozó komolyan hozzá látott a szászvárosi villamos mű berendezéséhez s immár csak néhány hét választ el tőle, hogy a telep világítási és motor-célokra megkezdje működését, városunkban mind többen érdeklődnek a villamvilágítás iránt s lépnek a céggel érintkezésbe a fehér izzó fény bevezetése végett. [Szászváros, 1899. aug. 19]

1899 GYULAFEHÉRVÁR (AC, 42 Hz, 3f, 2000V/110 V)

Gyulafehérváron már az 1890-es években megszületett az igény a modern városi világításra. Konkrét lépés 1898-ban történt, amikor a Gyulafehérvári Tanács szerződést kötött a budapesti Ganz Művek „Részvénytársaság villamos és közlekedési vállalatok számára” céggel, bevezetni a villamosságot a városba. A város a váltakozó áram mellett döntött. 595.000 korona befektetéssel felépült a villanytelep és a közvilágítás.



Ha megfigyeljük a villanyvilágítás bevezetésének évszámait, azt vesszük észre, hogy Erdély tulajdonképpen egyáltalán nem volt lemaradva ebből a szempontból Európától. Temesvár volt az első város Európában, ahol nemcsak a főutcákra, hanem az egész városra kiterjedő villanyvilágítás létesült. És a nagyszombati vízerőmű is abban az évben indult be, amikor Amerikában a világhírű Niagara Falls vízerőmű, ami azt mutatja, hogy akkoriban Erdély világszínvonalon volt a harmadik technikai forradalomban.

3.2. 1900-tól az első világháborúig

A 19. században még a gőzgépek voltak használatban Erdélyben, a villanytelepek vagy gőzerővel működtek, vagy ahol lehetőség volt, a víz ereje hajtotta az áramfejlesztőket. A 20. század kezdetével a benzin- és Diesel-motorok is kezdtek el-

terjedni Erdélyben, amelyekkel egyszerűbb volt meghajtani a generátorokat, így kisebb települések, magáncégek előtt is nyitva állt az út a villamosság bevezetésére. Fel is gyorsult a villanyvilágítás bevezetése az erdélyi településeken, viszont tovább folytatódott a villanyvilágítás-gázvilágítás háború is.

1900 LUGOS (DC, 160 V)

Habár Lugos Temesvár vonzásköréhez tartozik, furcsa módon 1900-ban az egyenáramot vezette be az Elin cég. A város csak 1938-ban tért át a váltakozó áramra.

1901 TOPÁNFALVA (AC)

Topánfalván két helyi vállalkozó vízerőt használt a villany termelésére, 36.000 korona befektetéssel.

1902 TORDA (DC, 220 V)

Tordán 1894-ben civil mozgalom indult a villanyvilágítás bevezetésére.

Hiszen itt is az ideje, hogy mi is felébredjünk; mert már odafent a havasok között Topánfalván villamfény mellett feji a kecskéjét a pakulár. [Aranyosvidék, Torda, 1902. júl. 26]

A város 80.000 korona befektetéssel építette meg a villanytelepet, egyenárammal. Hamarosan, 1911-ben áttért a váltakozó áramra (AC, 50 Hz, 3100V/120 V).

1902 DETTA (AC, 50 Hz, 1f, 2000V/100 V)

1903 NAGYVÁRAD (AC, 42 Hz, 3f, 3000V/150 V)

Nagyváradon 1873-tól volt gázvilágítás, 1903-ban járt le a szerződés. A gázvállalat majdnem meggyőzte a tanács többségét újabb 30 éves szerződés aláírására. Egy pap-fizikatanár, Károly Iréneusz József kitaró meggyőző munkája játszott döntő szerepet abban, hogy 1903-ban a város mégsem kötött újabb szerződést a gázvállalattal, hanem áttért a villanyvilágításra, és pedig váltakozó árammal. Ez az egyedüli eset Erdélyben, ahol a sajtóban is megjelenik – Károly Iréneusz tollából – egy összehasonlítás az egyenáram és a váltakozó áramok között, ez utóbbi előnyére:

Jól tudom, hogy az üzemműködés: a szénfogyasztás, az egyenáramnál kisebb, de investíciójára drágább, fenntartása költségesebb; és valószínű, hogy végeredményben mind a két rendszer ugyanavval az évi kiadással zárul le: de a berendezés, a kezelés egyszerűsége a forgó áramnak javára dönt. [Tiszántúl, Nagyvárad, 1902. márc. 7.]

1903, GYERGYÓSZENTMIKLÓS (AC, 50 Hz, 3f, 2000V/210 V)

Gyergyószentmiklós az első székelyföldi város volt, ahova bevezették a villanyvilágítást. A város már 1893-ban elkezdte ennek megszervezését. A csíkszeredaiak is és az udvarhelyiek is irigyeltek a gyergyóiak haladását a közvilágítás terén:

Ha a városi képviselőtestület — a miben kétség nincs — gyorsan elfogadja a szerződést, igen könnyen megessék, hogy a jövő télen már tisztességes világításunk lesz s nem főz le minket a kicsiny Gyergyó-Szent-Miklós is, a hol a villany világítás behozatala érdekében a szerződés már meg van kötve. [Székely Nemzet, Székelyudvarhely, 1895. jan. 30]

Gyergyószentmiklós a váltakozó áramot választotta, a „forgó áramú rendszer”-t, mert ez „célszerűbb”.

1903, SEGESVÁR (DC, 150 V)

Nagyszeben után Oskar von Miller Segesvár villamosítását is elvállalta. A Nagy-Küküllőn, azon a helyen, ahol korábban egy vízimalom működött, egy vízerőművet létesítettek, Ganz-gyártmányú gépekkel szerelték fel azt. Furcsa módon egyenáramú gépeket választottak, és biztonságból egy gőzgépet is felszereltek (Lang, 180 LE és 107 kW-os dinamó), hogy ha nyáron csökken a folyó vízhozama, akkor a gőzgép és a hozzákapcsolt generátor termelje az áramot [1].

Csak 1926-ban tért át a város a háromfázisú (380V/220V/0 V) váltakozó áramra (AC, 50 Hz, 3f, 3150V/220 V)

1903, DÉVA (AC, 42 Hz, 3f, 2100V/110 V)

A városi Dévai Előlegezési Szövetkezet felépített egy kis villanytelepet, amelyen gőzgép hajtott két generátort (100 kVA).

1903, TEMESÚJFALU

Temesújfalú szerencsésnek nevezhető, hogy ott, a Zselénszky-kastélyba volt berendezve a király főhadiszállása az 1903-as őszi hadgyakorlatok alatt:

A király érkezésére a kastély minden részét ellátták vízvezetékkel. E célra 150 méter mélységű ártézi kútat fúrtak s a víznyomást egy hatalmas szélmotor adja meg. Villamos világítást is rendeztek be, még pedig az egész falura kiterjedő. [Vasárnapi Ujság, 1903, 592].

1904, NAGYKÁROLY (DC, 215 V)

A városban 10 év próbálkozás után DEBRECZENI István polgármester eldöntötte a villanyvilágítás

bevezetését. A közgyűlés részvénytársaságot alapított e célból, és az egyenáram mellett döntött. Két gőzgép (300 LE) hajtott két (összesen 215 kW) generátort, amely nappal egy akkumulátortelepet töltött fel (270 cella, mindegyik 309 amperóra), amely este besegített a világításba [2].

1905, SZÁSZSZEDES (AC, 50 Hz, 3f, 5000V/110 V)

Szászsebesen is Oskar von Miller tervezett egy vízerőművet a város déli peremén a Sebes-pakra, amely 12 méter magas vízesést biztosított, 8 m³ vízhozammal. Ez két turbinát hajtott (Voith, 388 LE), amelyek működtették a két váltakozó áramú generátort (360 kVA) [1].

1905, NAGYSZENTMIKLÓS (AC, 50 Hz, 3000V/150 V)

A gróf Nákó-uradalom 1905-ben egy kis hőerőműre alapozott villanytelepet épített, amiről kevés adat van. Ez szolgáltatott villanyáramot az első világháború előtt Nagyszentmiklósnak a közvilágításra is.

1905, BORSZÉK (AC, 3f, 3100V/120 V)

A település Erdély egyik leghíresebb fürdő- és üdülővárosa volt, melynek gyógyvize már a 16. században ismert volt. A vendégek kényelmének biztosítására már korán megjelent a villanyvilágítás (1896-ban), de ez nem közvilágítás volt, hanem csak néhány villa volt villannyal kivilágítva.

1904-ben a fürdőtelepnek új bérlője lett, aki eldöntötte, hogy bevezeti a villamos közvilágítást. 1905 nyarán a közvilágítás valóban beindult: egy gőzgép (80 LE) működtetett egy váltakozó áramú generátort (65 kVA), amely háromfázisú áramot termelt 3100 V feszültségen. Ezt osztották szét a fürdőtelepen, majd letranszformálták 120 V-ra, és rákapcsoltak 50 izzólámpát és 9 ívlámpát a közvilágításnak.

1905, ZILAH (DC, 250 V)

A városban először 1890-ben gondoltak a villanyvilágításra, amikor Szatmárnémeti tapasztalatát próbálták hasznosítani, de pénzihiány miatt lemondtak a tervről. 1901-ben a kis befektetésű acetilénvilágításra gondoltak, de két év múlva – Nagyvárád példájára – mégis a villanyvilágítás mellett döntöttek. A „Magyar Siemens-Schuckert Művek rt.” cég vállalta a villanytelep felépítését, az utcai világítást és még a fontosabb közintézmények belső világítását is.

1936-ban tértek át a váltakozó áramra.

1906, KOLOZSVÁR

(AC, 42 Hz, 3f, 15 kV/3000V/150 V)

Kolozsváron a bécsi Ring-színház 1881-es leégése vetette fel először a villanyvilágítás kérdését. Az 1880-as évek elején több helyen is bevezettek alkalmi villanyvilágítást (korcsolyapálya, különféle rendezvények).

A városban a gázvállalatnak sikerült a városi tanácsot gyakorlatilag „megvásárolni”, így megakadályozták a villanyvilágítás bevezetését [3]. Több civil mozgalom indult a villanyért, az első 1882-ben SÜSS Nándor műszerész vezetése alatt, a harmadik FABINYI Rudolf egyetemi tanár irányításával. Csak két évtizedes harc után sikerült végül a villanyvilágítást bevezetni, 1906-ban, jóval később több erdélyi kisvárosnál.

1906-ra a Ganz cég felépítette a Hideg-Szamoson a vízerőművet: 5 m magasról zuhant a másodpercenkénti 2,5 m³ víz, amely két őriásturbinát hajtott (összesen 2400 LE). Egy tartalék gőzgépet is felszereltek (425 LE). Ezekre három (összesen 1600 kVA) generátor kapcsoltak, amelyek háromfázisú, 15.000 V feszültségű váltakozó áramot termeltek, 42 Hz frekvencián, és azt szállították 32 km-es magasfeszültségű vezetéken Kolozsvárig. Az egész befektetés értéke 1900 000 korona volt, a vízerőmű ma is működőképes. [2]

1906, SZENTBENEDEK

(AC, 42 Hz, 3f, 6000V/150 V)

Gr. KORNISS Károly, III. (1869–1918) örökölte a Dés melletti, szentbenedeki uradalmat, ott gazdálkodott, ott volt a malma is. 1906-ban 670 000 korona befektetéssel épített egy villanytelepet, amely termelte az elektromos áramot az uradalmanak, a malomnak.

Ugyanabban az évben a gróf kibővítette a villanytelepet, egy vízerőművet épített a Kis-Szamosra. A 30 méteres, 3,8 méter magas gát 3 méter magas vízesést biztosított. A bő hozamú víz egy második generátort működtetett, a termelt árammal ellátta teljes birtokát, Erdély egyik legszebb reneszánsz kastélyát. A gróf részvénytársasága megajándékozta a kastély melletti falut, Szentbenedeket elektromos árammal, ingyenes villanyvilágítással, amely 54 izzólámpával történt, a szentbenedekiek pedig ingyen villanykörtékkel és vasalókkal.

1906, FOGARAS (DC, 220 V)

1905-ben a „Rösler és Fischer” cég kiegyezett Fogaras városvezetésével, és épített egy villanytelepet, az szolgáltatta az egyenáramot a közvilágításra. 1948-ban lemondtak az egészeztől, és rákapcsolták a várost az Erdélyi Villamos Részvény-Társaság (SETA) 15 kV-os hálózatára.

1907, ABRUDBÁNYA

(AC, 42 Hz, 3f, 2500V/120 V),

Abrudbányán a 8 km-re levő Verespatak-torka aranybányából vezették be az utcai villanyvilágítást, váltakozó árammal. Kihasznlva a hegyvidéket, 1910-ben egy kis vízerőművel bővítették a villanytermelést.

1907, HÁTSZEG (AC, 50 Hz, 1f, 230 V)

1907-ben VÉRTES Dezső budapesti kereskedő finanszírozta a városi villanytelep építését. A telep egy Diesel-motorból állt (100 LE), és egy ezáltal működtetett generátorból (80 kVA), amely háromfázisú váltakozó áramot termelt (50 Hz), egyenesen a felhasználói feszültségen, 230 V-on.

1909, NAGYBÁNYA ÉS FELSBÁNYA

(AC, 42 Hz, 3f, 10000V/110 V)

A két bányaváros együtt épített Nagybányán egy villanytelepet (a Ganz gyárral), amely 5000 V feszültségen termelte az áramot. Ezt szállították Felsőbányára, ahol letranszformálták 110 V-ra a villanyvilágításhoz és a magánfogyasztóknak. A korábbi petróleumvilágítás „lezárt ügy” lett.

1908, SZILÁGYSOMLYÓ (DC, 220 V)

Szilágyosomlyón a város a „Lajos” gőzmalom tulajdonosával (WEISZ Salamon és társa) egyezett ki a villanyvilágítás ügyében.

1908, SZÉKELYUDVARHELY (DC, 220 V)

A város korán be akarta vezetni a villanyvilágítást. 1895. január 24-én kötötték meg az elvi megállapodást a Ganz gyárral, lecserélni a 125 petróleumlámpát villanylámpákra, reménykedve hogy a milleniumi ünnepségre a város villanyfényben fog úszni. De ez az elképzelés nem valósult meg, mert kiderült hogy a Küküllő munkaképessége nem elég a szükséges gépek hajtására.

Több próbálkozás és alkudozás után 1905-ben újból a Ganz gyárral tárgyaltak, amely végül 1908-ra felépítette a villanytelepet. Két szívógázmotor hajtotta az egyenáramú generátorokat, azok nappal töltötték az akkumulátortelepet, amely este besegített a villanyvilágításba.

1908, SEPSISZENTGYÖRGY (DC, 220 V),

Sepsiszentgyörgyön az első gondolat a villanyvilágításról 1893-ban született meg:

Potsa József Háromszékvármegye főispánja kezdeményezésére és összehívására a városunkban létesítendő ártézi kút, gőzfürdő és villany világí-

tás kiviteli módozatainak megállapítása céljából. [Székely Nemzet, 1893. júl. 26]

Nem született semmilyen terv. Gödri Ferenc, a város polgármestere 1896-ban újból felvetette a kérdést. Ekkor sem történt semmilyen konkrét lépés. 1905-ben az újabb próbálkozása panamázási vádat és fellebbezést hozott a polgármesterre, amely a minisztériumig jutott el. Végül a polgármester konok kitartása 1908-ra hozta meg az eredményt, amikor a Ganz gyár az udvarhelyihez hasonló villanytelepet létesített.

1909, VIZAKNA (AC, 10 KV/220 V)

A mai település alatt elterülő sótömeget már a rómaiak bányászták. A sókitermelés már a 19. században lecsökkent. A felhagyott aknák idővel megteltek vízzel, beomlottak, és sós vizű tavak keletkeztek. Ezeket fürdésre használták a helybeliek, később a nagyszebeniek is. 1846-ban nyílt meg az első fürdő, amely 1898-ban kincstári tulajdonba került.

A fürdőtelep fejlesztése elsősorban Darányi Ignác (1849–1927) földművelésügyi miniszter, az MTA tagja érdeme:

Nem hagyhatjuk azonban befejezéskép megemlékezés nélkül azt a munkát, amit Darányi a fürdők és üdülőhelyek fejlesztése érdekében tett. Két állami fürdőhelyet, Herkulesfürdőt és Vizaknát nagy fürdőkké fejlesztette. [Pesti Napló, 1908. ápr. 10].

1908-ban kezdték el a villanyvilágítás bevezetését, ugyanis 1908-ra felépült a „magyar szecesszió”-stílusú, impozáns gyógy szálloda (Bálint Zoltán és Jámbor Lajos tervei szerint). A végső megoldás Nagyszebenből jött, úgy, hogy rákapcsolták Vizaknát a cóni vízerőműre, magasfeszültségű vezetékkel (10 kV).

1909, NAGYENYED

(AC, 42 Hz, 3f, 3100V/110 V)

Nagyenyeden 1901-ben acetilénvilágítással akarták felváltani a petróleumlámpák korszakát. De ez nem valósult meg, átgondolták, és 1906-ban versenytárgyalást hirdettek villanyvilágításra. A pályázatot a Ganz gyár nyerte meg:

Nagyenyed központi villamos művét, mely a világítás mellett az összes ottani jelentékeny ipartelegeket látja el motorikus erővel és vízvezetékekkel meg jéggyárral lesz összekötve. 428.000 korona költséggel a Ganz gyár építi. [Pesti Napló, 1909. márc. 10].

Két Diesel-motor (280 LE) hajtott két generátort. A várost 220 darab 40 gyertyafényű fémszálas izzólámpa és 8 darab 12 amperes ívlámpa világította ki.

1909, ZSOMBOLYA

(AC, 42 Hz, 3f, 3000V/110 V)

Zsombolya város 1906-ban egyezett ki a hengergőzmalom-részvénytársasággal a villanyvilágítás bevezetésére. De a munkálatok olyan lassan mentek, hogy végül pályázatot hirdettek, amelyet a Ganz gyár nyert meg.

1909-re készült el a villanytelep. Két Diesel-motor (150 LE) hajtott két generátort (130 kVA), amelyek háromfázisú váltakozó áramot termeltek villanygépeknek és a közvilágításnak.

1910, DÉS és SZAMOSÚJVÁR

(AC, 42 Hz, 3f, 6000V/110 V)

A két város 1909-ben szerződést kötött gróf Kornis Károllyal, akinek Szentbenedeken már 4 éve működött a villanytelepe, a vízi erőmű és egy gőzgép.

A 6000 V magasfeszültségű, 3 fázisú áramot oszlopokon szállították 3 kilométerre Désre, és 15 kilométerre Szamosújvárig. A környező falvak is onnan kaptak áramot, sőt, Désakna és a sóbányák világítása, illetve az ott használt villanymotorok is. A két városban a 6000 V feszültséget letranszformálták 110 voltra, amelyet közvilágításra és a háztartásokban használtak.

1910, BARÓT (DC, 230 V)

Baróton egy kis szerszámgyár épített magának egy villanytelepet, amelyben egy gőzgép (Ridder, 30 LE) egy dinamót működtetett (20 kW); ez egyenáramot termelt, 230 V feszültségen. Ebből kapott a város is, közvilágításra.

1911, CSÍKSZEREDA

(AC, 42 Hz, 3f, 3000V/110 V)

A székely városban 1897-ben merült fel először az áttérés a városi villanyvilágításra. De az ügy jó pár évre elakadt. Hogy miért?

Ilyen kérdésekkel Csíkszeredában nem igen foglalkoznak, hanem igenis, Gyergyó-Szentmiklóson, melynek életre való előljárósága igyekszik haladni a korral s nem zárkózik el még a nagyobb anyagi áldozatoktól sem. [Csiki Lapok 1901. okt. 9].

1902-ben báró BÁNFFY János próbálkozott engedélyt kérni villanyfejlesztő telep létesítésére a Maroson, sikertelenül. 1904-ben pedig Keller J. budapesti vállalkozó az „aerogén” gázvilágítást akarta eladni a városnak, ő is sikertelenül.

A csíkszeredai villany ügye sokszor napirenden szerepelt. Végül 1909-ben versenytárgyalást hirdettek, amelyet a Ganz gyár nyert meg. Három Diesel-motort szereltek fel, amelyek három vál-

takozó áramú áramfejlesztőt működtettek. 1911. február 11-én Csíkszeredában kigyulladtak az utcákon a villanylámpák.

1911, VAJDHUNYAD

(AC, 42 Hz, 3f, 5500V/110 V)

A vajdahunyadi vasüzem 1897-ben épített egy kis vízerőművet Govasdián, az termelte az áramot az üzemnek. Mivel a gyári áramforrás nagyon bizonytalan volt a város számára, a város külön, saját villanytelepet létesített a közvilágításra, illetve magánfogyasztásra. A meghirdetett pályázatot a Ganz gyár nyerte meg, amely 1911-re fejezte be és helyezte üzembe Vajdahunyad központi villanytelepét.

1911, SZÁSZRÉGEN

(AC, 50 Hz, 3f, 5500V/120 V)

1908-ban a város megbízta Oscar von Miller német magánmérnököt, hogy tervezze meg a város elektromos művét:

A tervezet a Mieres-folyó esésének kihasználásán alapszik, és a mű a meglévő malomcsatorna mentén épülne. A minimális vízmennyiség 15 m³, az esés 4,7 m, rendelkezésre áll tehát 700 lóerő. Az első kiépítésben egy 150 lóerős turbinát, tartaléknak pedig egy Diesel-motort terveznek; e kiépítési fok költsége 420.000 korona. [Elektro-Technika, 1908. márc. 1, 16]

A Ganz művek gépeivel felszerelt vízerőmű a Maroson 1911-re készült el, és szolgáltatta a villanyáramot a város kivilágítására és a lakosság-nak.

1911, ZALATNA (DC, 120 V)

Zalatnán az egyenáramú rendszert vezették be. 1911-ben egy kis villanytelepet helyeztek üzembe: két Diesel-motor (50 LE) hajtott két dinamót (36 kW), amelyek egyenáramot termeltek 120 V feszültségen, azt szolgáltatták a városnak. Ez a villanytelep 1934-ig működött, amikor Zalatna is áttért a váltakozó áramra, úgy, hogy lecserélte a két dinamót két váltakozó áramú generátorra (35 kVA).

1913, NAGYSZALONTA

(AC, 50 Hz, 3f, 3100V/120 V)

1908-ban merült fel először a villanyvilágítás bevezetésének konkrét lehetősége. Ez a próbálkozás nem sikerült. Nagyszalonta képviselő-testülete körében mozgalom indult az elektromos világítás bevezetésére. 1910-ben volt a második próbálkozás. A végső megoldás a versenytárgyalás hirdetése volt:

Nagyszalonta megkötötte az elektromos telep létesítésére vonatkozó szerződést a Magyar Siemens-Schuckert művek r.-t.-al [ElektroTechnika 1911. nov. 1, 324].

„Fegyvergyár-Budapest”-típusú Diesel-motorok hajtották a Siemens-féle generátorokat, azok termelték a háromfázisú 210V/120V feszültséget.

1913, KÉZDIVÁSÁRHELY

(AC, 42 Hz, 3f, 3000V/110 V),

A szomszédos Sepsiszentgyörgyön létrehozott villanyvilágítás 1908-as átadása alkalmával a kézikiek megtekintették az egész berendezést. A következő évben Kézdivásárhely elhatározta, hogy hasonlóan tesz. Pályázatot hirdetett, amelyet a Magyar Siemens-Schuckert Művekkel szemben a Ganz gyár nyert meg. 1913-ra épült fel a villanytelep: két darab Lang Diesel-motor forgatta a Ganz-féle váltakozó áramú áramfejlesztőket. Összesen 12 km hosszúságú hálózat osztotta szét a városban a 110 V-os feszültséget világításra és munkamotorok meghajtására.

1913, BESZTERCE

(AC, 50 Hz, 3f, 5200V/120 V)

Miután Beszterce tudomást szerzett Dés és Szamosújvár villanyvilágításáról, megtekintették Kálnoki gróf villamos rendszerét. A város érdekes pályázatot hirdetett, amelyben kitért a hajtóerőre is:

Hajtómotorul thermikus gépek tervezendő kombinációba véve a város közelében feltárandó földgázforrásokat. Változat gyanánt hydroelektromos központ is tervezendő, számításba véve a város határában található vízierőket. Csakis teljes ajánlatok vétetnek figyelembe; a város fenntartja magának, hogy az építkezési részt külön adja vállalatba. [ElektroTechnika, 1911. aug. 1, 228]

Amint látható, Beszterce volt az első város, amelyik a földgáz felfedezése után (1909) rögtön a gyakorlati felhasználására is gondolt. De erre egyik cég sem volt felkészülve.

A vízerőműrész terveit a müncheni Oskar von Miller készítette el. Az ott termelt magas feszültségű váltakozó áramot a városba szállították 7,5 km hosszú rézvezetékekkel, és a város különböző részein 25 transzformátorállomás átalakította át 120 voltra a közvilágítás és a fogyasztók számára. [1].

1913, TASNÁD (DC, 210 V)

A község előljárósága 1910-ben döntötte el az elektromos világítás bevezetését. A helyi malom

villanytelepet létesített, és az szolgáltatott villanyáramot a közvilágításra.

1913, KÓHALOM (DC, 240 V)

Kóhalom 1940-ben tért át a váltakozó áramra, amelyet a 15 kV-os magasfeszültségű SETA hálózatról kapott.



Az adatokból jól látható, hogy a villanyvilágítás amellett, hogy állandó csatában volt a folyamatosan megújuló és modernizálódó gázvilágítással még a 20. század elején is, a belső csata is megnyilvánult, a váltakozó áram (AC) kontra egyenáram (DC). Pedig a 20. század elején végérvényesen eldőlt, hogy a váltakozó áram több szempontból is előnyösebb, mint az egyenáram. Sajnos, kevés adat van arról, hogy egy városi tanács milyen érvek alapján döntötte el, hogy melyik fajta áramot vezesse be a településre. További kutatás célja lehet ezen körülmények kiderítése.

3.3. Az első világháború után

Az első világháború kitörése leállította a települések villamosítását. Nemcsak a háborús prioritások miatt, hanem a gépeket működtető petróleum, benzin a frontra kellett.

A háború befejezése után Erdély Romániába került. Az új adminisztrációnak nem volt prioritása Erdély fejlesztése, hanem inkább a kihasználása. Így csak jóval a háború befejezése után kezdték megint bevezetni a villamosítást az erdélyi településekre.

1923, NYÁRÁDSZEREDA (DC, 220 V)

1924, MARGITTA

1925, SZOVÁTA (AC, 50 Hz, 1200V/110 V),

1926, BUZIÁSFÜRDŐ (AC, 50 Hz, 220 V)

1926, BALÁZSFALVA (AC)

1927, TUSNÁDFÜRDŐ (AC, 220 V)

1927, ÁGOTA (AC, 50 Hz, 220 V)

1928, MEDGYES (AC, 3f, 220V)

1928, ERZSÉBETVÁROS (AC, 50 Hz, 220 V)

1928, NASZÓD (AC, 220 V),

1928, PANKOTA (AC, 42 Hz, 190 V)

1929, KOVÁSZNA (AC, 50 Hz, 1f, 220V)

A 20. század elején Kovászna ipari jelentősége nem volt nagy, emiatt nem foglalkoztak a város villamosításával, petróleumvilágítás volt. 1927-ben néhány magánvállalkozó összeállt, és saját pénzükön vásároltak egy 25 lóerős Deutz dízel-motort és egy „Wien” márkájú kis áramfejlesztőt, amely 50 hertzes, 220 voltos váltakozó áramot fejlesztett. Ezzel 10 házat világítottak ki, és 10 lámpát szereltek fel közvilágításra. [1].

1929, ZSIBÓ (AC, 50 Hz, 3f, 5250V/110 V)

1930, SZÁSZKÉZD (AC, 50 Hz, 3f, 220 V)

1930-ban a falu épített magának egy villanytelepet, amely 380/220/0 V háromfázisú váltakozó áramot termelt, 45 kVA teljesítménnyel. Egy összesen 3 km-es hálózaton szétoztották a faluban a 85 fogyasztónak, és azzal táplálták a falu közvilágítását is.

1931, KÜRTÖS (AC)

1932, LIPPA (AC, 15 KV HÁLÓZAT/220 V)

A város áldozata volt a gázvilágítás-villanyvilágítás háborúnak, ugyanis gyanús módon kerekedett felül a gázvilágítás:

Bár a vezetőség hetvenöt százaléka a villanyvilágítás mellett döntött, mégis gázvilágítást vezettek be. [Temesvári Hírlap, 1930. máj. 17]

A gázvilágítás a helyi tanács kezelésében volt, nem akart lemondani róla. A villanyvilágítás hívei 1925-től harcoltak a tanács ellen bevezetni a villanyáramot, és csak akkor jártak sikerrel, amikor az 1929-es választásokkal lecserélődött az egész tanács.

1932, KISKAPUS (AC, 220 V)

1933, BRASSÓ (AC, 50 Hz, 220 V)

Brassóba, a legnagyobb szász ipari városba már az 1890-es évektől kezdve sorra vezették be a gyárak a villanyerőt a gépekhez és világításra. 1903-ban, amikor lejárt a gázgyárral a szerződés, az valahogy meggyőzte a tanácsot, és a város újabb 30 éves szerződést írt alá az utcai közvilágításra.

Hiába próbálkozott a későbbi tanács többször is bevezetni az utcai villanyvilágítást, mindig megghiúsult. Végül csak 1933-ban, amikor lejárt a szerződés, akkor lettek Brassó utcái is villannyal kivilágítva. Úgy tűnik, Brassónak nem volt egy Károly Iréneusz Józseffe meggyőzni a tanácsot, hogy térjenek át a villanyvilágításra, vagy egy FABINYI Rudolfja, aki civil mozgalmat indítson.

1935, MAROSLUDAS (AC, 50 Hz, 3f, 230 V)

Marosludason is későre lett villanyvilágítás. 1934-ben egy helyi üzem kis magánérművet indított be (41 LE Diesel-motor hajtott egy 30 kVA-es generátort), amely 3 fázisú váltakozó áramot termelt, 400/230 V feszültségen. Az üzem saját használat mellett a városnak is adott áramot, 150 háztartás használta a villamosságot.

1935, MÁRIARADNA (AC, 15 KV/220 V)

A búcsújáráhelyen a lakosság nem értette, hogy ha Lippa Aradról kapta az áramot, amelyet Rad-

nán keresztül kellett, hogy vezessenek, akkor Radnára miért nem lehetett ugyanakkor, 1932-ben bevezetni a villanyvilágítást, hiszen a községi tanács még annak idején megszavazta a villany bevezetését? A korabeli újságírók a következő módon magyarázzák ezt:

Azonban ekkor felvonult az „ellenzék”. A község lakosságának egy része, mégpedig a politikai szereposztás révén döntő szóval bíró része, harcot indított a villanyvilágítás ellen. [Brassói Lapok, 1934. okt. 26]

A „villanyblokk” nem hátrált meg a politikai harcban, összefogott, és végül a szavazásban felülkerekedett, megtörtént a „csoda”, kigyulladtak Radnán is a villanylámpák.

3.4. A második világháború alatt

A második világháború megint leállította a villamosítást, sőt, az új, hatékony fegyverek károkat okoztak egy város stratégiai pontjaiban, így a villanytelepeken is.

Erdélyben mégis felcsillant a remény, ugyanis a bécsi döntés után Észak-Erdély visszakerült Magyarországhoz. „Megdöböntő” volt az elmaradottság ipari téren, de a villamosítás terén is: „A trianoni Magyarországon a községek 41 százaléka villanyvilágítással rendelkezett, Erdélyben csupán 4 százaléka” [Székely Nép, 1942. jún. 19.; Ellenzék, Kolozsvár, 1942. jún. 27.].

A magyar adminisztráció bevezetése után nagy lelkesedéssel kezdtek el tervezni Észak-Erdélyben:

Második Svájccá lehet tenni a Székelyföldet! Három-négy év alatt minden székely faluba bevezetik a villanyvilágítást. [Ellenzék, Kolozsvár, 1942. nov. 6.].

3.5. A második világháború után

Nem így történt. A háború után Erdély megint Romániához került, ahol hamarosan kommunista rendszer alakult ki. A szovjet központosítás miatt a helyi tanácsok vagy polgármesterek már nem igen jutottak szóhoz döntéseket hozni. Minden – Erdély villamosítása is – a szocialista, bukaresti központi elképzelések és tervek alapján történt.

4. Következtetések

A gázvilágítás-villanyvilágítás, a váltakozó áram-egyenáram konfliktusok szempontjából minden egyes erdélyi település egyedi és érdekes eset abból a szempontból, hogy hogyan, kitől, milyen fajtát és mikor sikerült vagy nem sikerült bevezetni a helységbe a villanyvilágítást. A harmadik technikai forradalom a szó történelmi értel-

mében is forradalom, hiszen a villany piaci harc árán győzte le a gőz, illetve a világítógáz erejét.

Összevetve a magyarországi vagy erdélyi villamosítási törekvéseket az európaiakkal, azt észlelhetjük, hogy a kronológiák nagyjából hasonlóak. Habár Erdély sok mindenben le volt maradva a fejlettebb Nyugattól (a II. ipari forradalom – a gőz ereje, a gyárak, a közlekedés, városi infrastruktúrák stb.), a III. ipari forradalom területén nem volt lemaradva, sőt, voltak helyzetek ahol az élen járt (Temesvár közvilágítása, vízerőművek stb.). Hogyan lehetséges, hogy egy aránylag elmaradott vidék egy bizonyos területen hirtelen előretörjön?

A nagy gőzgépek köré nagy gyárak épültek, a kisvállalkozók, a háziipar lemaradt. Az elektromosság megfordította a helyzetet: a kisvállalkozók be tudták szerezni az aránylag olcsó és kis elektromos munkagépeket, ezáltal fel tudták venni a versenyt a nagy gyárakkal:

A kisiparnak egyetlen menekő útja az, hogy megszerezze magának az eszközöket, melyek a gyáriparral való versenyzésre képesítik. Erre módfelett alkalmas az elektromos erőátvitel: nincsen helyhez kötve, mint a többi erőgép, beszerzési ára is jelentékenyen kisebb, mint bármilyen gépezet s kezelése szakértelmet nem igényel. [Székely Nép, Sepsiszentgyörgy, 1908. máj. 2.]

A közvilágítás bevezetésének volt egy nagy tanulsága. A városok megtapasztalták a hátrányát annak, hogy egy céggel kössenek szerződést hosszú távra (a gáztársulatok esetében 30–50 évre): a rohamosabban fejlődő technikai vívmányok szerződésileg ki lettek zárva. Ez akadályként működött a város fejlődésében. Éleslátás, tájékozottság és bátorság kellett megelőzni ezt a helyzetet, illetve erő (a hatalom is hasznos volt) a megszo-kottal és a többséggel szemben cselekedni. Ez az összecsapás a „rég” és „új” között fényt derített a demokrácia egyes hiányosságára, és pedig, hogy a „többségi döntés” (a demokratikus szavazás) olykor fékezi a fejlődést, ugyanis tudománytörténeti vagy akár pszichológiai kutatások mutatják, hogy az emberek nehezen, csak hosszabb idő után tudnak lemondani a bejárat útról, a „komfortzónáról”. És ugyanúgy nehezen fogadják el az ismeretlent, az újat, amely kockázatos is lehet. Ez kihatott a város fejlődésére éppen a demokrácia alappillére, a szavazás által:

A városi képviselőtestület legnagyobb részben ilyen maradi parasztgazdákból áll, a kik azt mondják: „minek ez a villanyvilágítás, mikor petróleum mellett is látunk mink jól!” Természetes, hogy az ily érvek mellett romba dől minden, a ha-

ladást előmozdító javaslat: a bácsik leszavaznak mindent, mert hát hogy övék a voks! Ez pedig a legnagyobb úr az egész világon! [Ellenzék, 1906. júl. 16.]

A villanyvilágítás bevezetésének története azt mutatja, hogy ebből a helyzetből egyik kiút a határozott és erős vezető politikus volt (polgármester, főispán), mondhatnánk a „diktátor”, akinek – részben kihasználva hatalmát – sikerült véghez vinni a település villamosítását. De ezt a kiutat, ezt a megoldást általánosítani még veszélyesebb út.

Tulajdonképpen bármilyen döntéshozatali helyzet termékeny talaj a korrupciónak [4]. És Erdélyben bőven volt ilyen a villanyvilágítás-gázvilágítás vagy az egyenáram-váltakozó áram kérdések eldöntésénél. Amennyiben volt korrupció, az valószínűleg a fehér asztalnál történt, és nyilván mindig úgy, hogy ne lehessen fényt deríteni

rá; mi még kevésbé tudjuk azt tenni egy évszázad után. A bizonyítható kolozsvári és lippai gázvilágítás-villanyvilágítás eseten túl ma csak megválaszolatlan kérdéseink maradtak, amelyek sugallhatnak a város számára előnytelen, de egyes cég számára előnyös döntést.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dinculescu, Constantin: *Istoria energeticii și electrotehnicii în România*. Editura Tehnică, București, 1981.
- [2] Straub Sándor: *Magyarország közcélra való elektromos áramfejlesztő telepei és elektromosan megvilágított helységei az 1906-ik év elejéig*. 1906/XI kötet, III–V füzet, 154–187.
- [3] Fazakas László: *A kolozsvári gázgyár körüli érdekek és konfliktusok a 19. század végén*. Korunk, 11. (2017) 66–71.
- [4] Hankiss Elemér: *Társadalmi csapdák. Diagnózisok*. Magvető Kiadó, Budapest, 1983.



FELSZÍNI BEFOGADÓKBA ELHELYEZETT HASZNÁLT GYÓGYVÍZ HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA EGY MAGYARORSZÁGI STRANDFÜRDŐ PÉLDÁJÁN

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF USED THERMAL WATER IN SURFACE RECEIVERS ON AN EXAMPLE OF A HUNGARIAN SPA

Miski Zoltán Milán,¹ Bodnár Ildikó²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország, miskizoltan8@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország, bodnari@eng.unideb.hu

Abstract

In our study, the characteristics and environmental impact of the disposal of used thermal water were investigated in relation to a surface reservoir by a selected local spa using modern field and laboratory test methods at 6 sampling points. The water samples were analysed every 3 months in the field and (within 24 hours of sampling) in the Water Quality Protection Laboratory of the Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, University of Debrecen, thus, the seasonal changes of the water quality characteristics were effectively monitored. During the laboratory tests, changes in turbidity, biological oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), total organic carbon (TOC), total inorganic carbon (TIC) and alkalinity values were studied, and the macro and micro elemental composition of the samples was also analysed by a partner laboratory using modern an elemental analytical method (ICP-OES). Ion chromatographic analyses were also used to determine the typical anion and cation concentration values of the tested water samples.

Keywords: *used thermal water, monitoring, sustainability, environmental protection.*

Összefoglalás

Kutatásunk során a választott balneológiai komplexum esetén modern terepi és laboratóriumi vizsgálati módszerekkel a kijelölt 6 mintavételi ponton a használt gyógyvíz felszíni befogadóba történő elhelyezésének jellemzőit és környezetre gyakorolt hatásait tanulmányozzuk. A vízminták vizsgálatát 3 havonta terepen, illetve a mintavételt követő 24 órán belül a Debreceni Egyetem Műszaki Kar Környezetmérnöki Tanszéke Vízminőség-védelmi Laboratóriumában végeztük el, ezáltal hatékonyan követtük a vízminőségi jellemzők szezonális változásait. A laboratóriumi vizsgálatok alkalmával a zavarosság, biológiai oxigénigény (BOI₅), kémiai oxigénigény (KOI), összes szerves széntartalom (TOC), összes szervesetlen széntartalom (TIC), valamint a lúgosság értékének változását, illetve egy partnerlaboratórium által elemanalitikai vizsgálatok (ICP-OES) segítségével a minták makro- és mikroelem tartalmát is vizsgáltuk. Ionkromatográfiás vizsgálatokkal a vízminták jellemző anion- és kation-koncentrációértékeit is meghatároztuk.

Kulcsszavak: *használt termálvíz, monitoring, fenntarthatóság, környezetvédelem.*

1. Bevezetés

Manapság a termálvíz mint regeneratív energiaforrás jelentősége és hasznosítása egyre jobban felértékelődik, ugyanis használata számos lehe-

tőséget hordoz magában. Magyarország európai, nem mellesleg világviszonylatban is egyedülálló geotermikus adottságokkal rendelkezik. A termálvíz gyógyászati, balneológiai, valamint ivó-

vízfogyasztási célú hasznosítása kifejezetten kedvezett az országban, emellett fűtési, villamosenergia-előállítás, és mezőgazdasági célokra is alkalmazható [1].

Kutatásunk célja a termálvíz-hasznosítás jelentőségének általános bemutatása, az érvényben lévő jogszabályok, illetve a határértékek áttekintésével pedig a használt gyógyvíz környezetre gyakorolt hatásának vizsgálata.

2. A termálvíz mint geotermikus energia

A geotermikus energia a Föld belsejéből származó hőt jelenti. Pontosabb megfogalmazásban azon hőmennyiség többletet értjük ezalatt, amelyet a földtani képződmények a felszíni átlaghőmérséklethez képest magasabb hőmérsékletük következtében tárolnak [2].

A Föld belsejéből a felszín felé érkező hőmennyiség átlagosan évi 10^{20} J. A középpontban a hőmérséklet körülbelül 7000°C , amely annak köszönhető, hogy 4600 millió évvel ezelőtt, a Föld anyagainak kondenzálódása idején a belső részek hamar felmelegedtek, ennek következtében a sűrűsödő anyagok kinetikus energiája hőenergiává alakult. A másik alternatíva, hogy hosszú bomlási idejű, radioaktív izotópok találhatók a Föld belsejében, például a ^{232}Th , a ^{238}U és a ^{40}K . Az izotópok bomlásának eredményeképp hő szabadul fel, mely becslések szerint évente 5×10^{20} J, viszont ezen bomlások mértéke fokozatosan csökken a felezési időnek köszönhetően. A keletkezett hő a felszín alatti kőzeteket, illetve a kőzetekben tárolt pórusvizeket hővezetés révén felmelegíti, és az így kapott vizet hévíznek vagy termálvíznek nevezzük. A földfelszín egy adott pontján minél több a pórusokban tárolt víz mennyisége és minél vékonyabb a földkéreg, annál gazdagabb a terület geotermikus energiában [3].

„Geológiai értelemben hévíznek minősül minden olyan víz, amelynek hőmérséklete meghaladja az adott területre jellemző évi középhőmérsékletet. Balneológiai értelemben viszont csak a 20°C -nál magasabb hőmérsékletű vizeket nevezik hévíznek.” [4]

3. Anyag és módszer

3.1. A vizsgált felszíni vízfolyások bemutatása

A vizsgált Gyógy- és Strandfürdő 7 hektáron terül el, melynek 9651 m^2 részén medencék üzemelnek. Ezek közül vannak egész évben üzemelő, mind szabad, mind fedett téren, valamint szezonálisan működtetett medencék. A víz hőfo-

kuk $22\text{--}38^\circ\text{C}$ között, míg víztérfogatuk a 20 m^3 -es gyermekmedencétől, az 1750 m^3 -es úszómedencéig változik [5].

A fürdő balneológiai szolgáltatásaira, medencéinek töltésére, továbbá zuhanyzói vízellátására jelentős mennyiségű termálvizet használ el. A medencék használt vize zárt betoncsatornában és vezetékben kezdetben gravitációsan, majd át-emelővel a Csónakázó-tóba kerül. Ezt követően a víz gravitációsan továbbfolyik az I. számú víztározón ($7,40\text{ ha}$) keresztül a II. számú tározóba ($14,00\text{ ha}$), mely tározók a helyi horgászegyesület kezelésében horgásztóként funkcionálnak. A II. számú tározóból a hulladékvíz az Üllőlaposi I-8-1-c (elsődleges befogadó rendszám: AAB610) nyílt csatornán keresztül a német-éri főcsatornába (AEP843) mint elsődleges befogadóba folyik [5].

A német-éri főcsatorna (1. ábra) síkvidéki, kis esésű, meszes, közepesen finom mederanyagú, időszakos vízfolyás. A víztest teljes hossza $12,554\text{ km}$, szélessége 4 méter , mélysége átlagosan 1 méter . Vízyűjtő területe $55,86\text{ km}^2$, befogadója a Hortobágy–Berettyó-főcsatorna (AEP594) [6].

A Német-ér közvetett módon befogadja két szennyvíztisztító telep kommunális szennyvizét is. Berekfürdő tisztított szennyvize az Üllőlaposi I-8-1-c csatorna $4,4\text{ cskm}$ (csatorna kilométer) szelvényénél kerül bevezetésre $176\,000\text{ m}^3/\text{évi}$ mennyiségben. Kunmadaras tisztított szennyvize évente $82\,000\text{ m}^3$, mely az Üllőlaposi I-8-1-d csatorna $6,05\text{ cskm}$ szelvényénél kerül befogadásra. Nagymértékű a vízfolyás termálvízterhelése, mivel a csatornába négy helyen történik fürdővízjellegű szennyvízbevezetés. A csapadékvíz-elvezető csatorna $1,4\text{ cskm}$ szelvényénél a berekfürdői gyógyszálló által évi 8000 m^3 használt termál-



1. ábra. Német-éri vízfolyás útja [7]

víz kerül befogadásra, azonban ez a mennyiség 2024-ben felújítási munkálatok miatt elmaradt. Az Üllőlaposi I-8-1-c csatorna 6,6 cskm szelvényén a Termál Hotel Pávai évi 55 000 m³, míg a Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő az egyik bevezetési pontján éves szinten 124 000 m³, a másik bevezetési pontján évente 431 000 m³ használt gyógyvizet helyez el [6].

Hazánkban a Vízyűjtő-gazdálkodási Terv (VGT) a felszíni és felszín alatti víztesteket különböző típusokba sorolja. A Német-eret a VGT2, illetve VGT3 alapján a 6S (síkvídek – kis esésű – meszes – közepes-finom mederanyagú – kicsi vízyűjtőjű) típusba sorolják. 2010. május 5-én a Magyar Kormány által elfogadott első Vízyűjtő-gazdálkodási Tervben adathiány következtében a biológiai, kémiai, ökológiai állapot nem került besorolásra a Német-ér tekintetében. Azonban a második, illetve harmadik tervben már besorolásra kerültek ezen paraméterek (1. táblázat) [8].

3.2. Mintavételi pontok

Mivel a medencék egy része egész évben, másik részük csak szezonálisan üzemel, ezért a méréseinket ennek tudatában próbáltuk lehatárolni, hogy minél szélesebb körben kapjunk információt a különböző víztestek minőségéről és változásairól. Vizsgálatainkat 3 havonta, összesen 4 alkalommal helyszíni, illetve laboratóriumi mérésorozattal valósítottuk meg, odafigyelve az esetleges

évszakos/szezonális változásokra (ősz, téli, tavaszi, nyári). 6 mintavételi pontot jelöltünk ki, melyeknél egy rúdra erősített mintavevő edénnyel történt a mintavételezés. A mintákat jól zárható, 2 literes, előre felcímkézett műanyag flakonba helyeztük (2. ábra), amelyeket a laboratóriumi vizsgálatokig napfénytől védett helyen, +4 °C-on tároltunk.

A Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdő használt fürdővize elsődlegesen a Csónakázó-tóba kerül bebocsátásra. Az első mintavételi pont (M1) a víztest elején az egyik bebocsátási ponttól pár méterre, míg a második mintavételi pontot (M2) a víztest végén jelöltük ki (3. ábra). A harmadik (M3) és negyedik (M4) mintavételi pontot az I-es számú tározón jelöltük ki, hiszen a Csónakázó-tavat követően idefolyik gravitációsan a strand hulladékzive, valamint ebbe a víztestbe kerül a Termál Hotel Pávai használt termálvize is (3. ábra). A Csónakázó-tóba, valamint az I-es számú tározóba 1-1 levegőztetőberendezés lett elhelyezve. Vizsgálatunk során a harmadik víztest a II-es számú tározó, ahol szintén 2 mintavételi pont került kijelölésre. Az ötödik mintavételi pont (M5) az I-es számú tározóból zárt betoncsatornában gravitációsan érkező víz bebocsátási pontjától pár méterre, míg a hatodik mintavételi pont (M6) a tározóval párhuzamosan folyó, Üllőlaposi I-8-1-c csatornába kerülése előtti ponton lett kijelölve (3. ábra).

1. táblázat. Német-ér állapota a VGT2, VGT3 alapján

VOR	Víztest neve	Biológiai elemek szerinti állapot	Fizikai, kémiai elemek szerinti állapot	Specifikus szennyezők szerinti állapot	Hidromorfológiai elemek szerinti állapot	Ökológiai minősítés	Ökológiai célkitűzés	Ökológiai célkitűzés teljesítésének éve	Ökológiai mentesség indoka	Kémiai állapot	Kémiai célkitűzés
AEP843	Német-ér	gyenge	gyenge	jó	jó	gyenge	A jó potenciál előrendő	2027+	G2	jó	A jó állapot fenntartandó



2. ábra. Vízmintavétel és mintatárolás



3. ábra. Mintavételi pontok

3.3. Mérési módszerek, mérőeszközök ismertetése

A mintavételi pontok kijelölését követően a helyszínen pH-, hőmérséklet-, fajlagos elektromos vezetőképesség-, összes oldott anyagtartalom- (TDS), sótartalom- és oldott oxigénkoncentráció-értékeket határoztunk meg MultiLine P4 elektroanalitikai mérőbőrönd segítségével. A terepi vizsgálati eredmények feljegyzését és a vizsgálandó vízminták megfelelő tárolását követően a mintákat 24 órán belül a Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék Vízminőség-védelmi Laboratóriumában elemeztük tovább.

A laboratóriumi vizsgálatok során a zavarosságot Turb 555-IR-típusú, nefelometriás zavarosság-mérő készülékkel, a biológiai oxigénigényt (BOI5) OxiTop IS 12 -típusú, manometrikus mérőüvegekkel, a kémiai oxigénigényt (KOI) fotometriás gyorsítással, az összes szerves (TOC) és szervesetlen széntartalmat (TIC) Shimadzu TOC-VCPN-típusú készülékkel határoztuk meg. A lúgosságot (összes és szabad) sav-bázis titrálással, az anion- és kationtartalmat pedig DIONEX ICS-3000 dual ionkromatográfiás rendszerrel mértük.

Az elemtartalom meghatározásához a széles körben elterjedt, műszeres analitikai megoldást, az induktív csatolású, plazmaoptikai emissziós spektrometriát (ICP-OES) alkalmaztuk a Debreceni Egyetem, Szervesetlen és Analitikai Kémiai Tanszék, Környezetanalitikai Laboratórium segítségével.

AquaChem szoftverrel a használt vizek további öntözési célú felhasználását is vizsgáltuk.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Terepi mérési eredmények

A kutatómunkát az Anyag és módszer fejezetben taglalt, hat mintavételi helyen kezdtük meg 2023. november második felében, 2024. február és május közepén, valamint augusztus végén. Célként azt tűztük ki, hogy a saját adatok kiértékelésével térképezzük fel a termálvíz elvezetésének hatását a vizsgált vízfolyásra. A négy időpont alapján a mért vízminőségi paraméterek egyéves viszonylatban minden évszokról információval szolgálnak, amely nagyban segítséget nyújt az esetleges szezonális változások detektálására, szükség esetén a beavatkozásra. A **2. táblázat** az általános vízminőségi jellemzőkről ad tájékoztatást külön-külön mintavételi pontonként őszi-téli-tavaszi-nyári időszakra lebontva.

A mért értékeket a 10/2010. (VIII.18.) VM rendelet szerint értékeltük. A rendelet 2. mellékletének

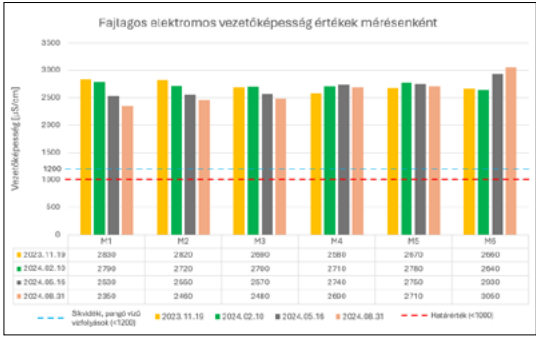
2. táblázat. Általános vízminőségi jellemzők a terepi vizsgálat során

Mérés időpontjai: 1.: 2023.11.19 2.: 2024.02.10. 3.: 2024.05.16. 4 : 2024.08.31		Minták					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Hőmérséklet (T) [°C]	1.	18.60	14,60	10,60	8,00	9,60	7.00
	2.	22.90	20,90	14,50	11,80	12,20	10,80
	3.	29.30	28,30	25,40	22,60	21,50	20,40
	4.	33,60	33,20	30,40	27,50	27,30	26,60
Sótartalom (Sal) [g/l]	1.	1.50	1,40	1,30	1.30	1,30	1.30
	2.	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1.30
	3.	1.30	1,30	1,30	1,40	1,40	1.50
	4.	1,20	1,30	1,30	1,40	1,40	1,60
Összes oldott anyag meny- nyiség (TDS) [g/l]	1.	2.82	2,82	2,69	2,58	2,67	2,66
	2.	2,78	2,72	2,70	2,71	2,79	2,64
	3.	2.52	2,55	2,57	2,74	2,76	2,93
	4.	2,34	2,46	2,48	2,70	2,71	3,05

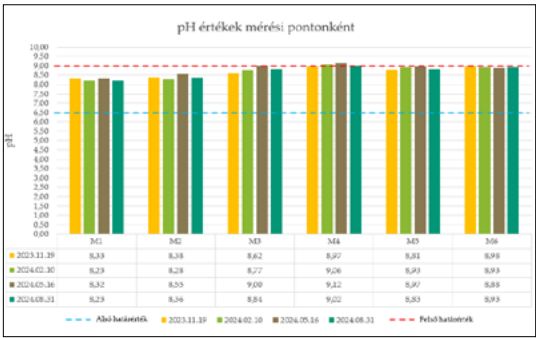
E oszlopában találhatók a vizsgált vízfolyásra vonatkozó (síkvidéki, kisvízfolyások) határértékek.

A hőmérsékleti értékek vizsgálatánál megfigyelhető, hogy a késő őszi időszakban, amikor a külső levegő hőmérséklete 3,5 °C volt, az első bevezetési pontnál több mint 18 °C-ot lehetett mérni. A víz útja során a vizsgált tározókon keresztül ez az érték minden esetben az utolsó mintavételi pontig csökkenő tendenciát mutat, kivéve az őszi, illetve a téli mintavételezés során az M4 mintavételi helytől az M5 mintavételi pontig, ahol hőmérséklet-növekedés figyelhető meg, melynek oka, hogy a víz több mint 500 méteren keresztül egy zárt betoncsatornában áramlik a föld alatt, ahol képes felmelegedni. Az augusztusi mintavételezés idejében a víz több mint 30 °C-os hőmérsékletet mutatott (a külső levegő hőmérséklete 36 °C). Ebben az esetben az első mintavételi pont (M1) és a hatodik mintavételi pont (M6) között 7 °C hőmérséklet-csökkenés történt (33,60–26,60 °C), ami arra enged következtetni, hogy nem tud kellően visszahűlni a víztömeg, ezáltal komoly hőterhelést okoz a vízi ökoszisztémára.

Az összes oldott sótartalom- és a mért fajlagos elektromosvezetőképesség-értékeket a **4. ábra** szemlélteti. A rendelet E oszlopában megadott határértékhez viszonyítva (< 1000 µS/cm) a vezetőképesség-értékekben kétszeres, olykor háromszoros túllépés tapasztalható. Az ábrán a kék szaggatott vonallal a rendeletben meghatározott legmagasabb határértékre a síkvidéki, pangó vizű vízfolyásokra vonatkozó határértéket (< 1200 µS/cm)



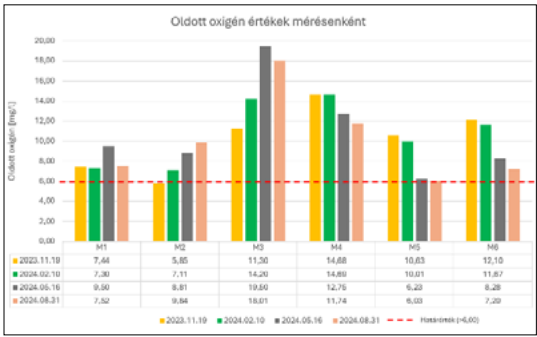
4. ábra. Fajlagos elektromos vezetőképesség-értékek



5. ábra. pH-értékek a terepi vizsgálat során

3. táblázat. Zavarosság és szerves szénformák vizsgálata

Mérés időpontjai: 1.: 2023.11.19 2.: 2024.02.10. 3.: 2024.05.16. 4.: 2024.08.31.		Minták					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Zavarosság [NTU]	1.	0,84	1,08	6,78	9,93	10,69	89,85
	2.	1,01	0,97	15,46	20,20	20,22	46,60
	3.	6,07	12,60	19,74	14,19	9,81	172,81
	4.	1,93	2,16	20,45	20,47	20,21	111,14
Biológiai oxigén-igény (BOI ₅) [mg/l]	1.	2,00	2,00	10,00	20,00	20,00	10,00
	2.	22,00	9,00	11,00	11,00	17,00	19,00
	3.	5,00	7,00	11,00	8,00	5,00	6,00
	4.	7,00	1,00	15,00	9,00	10,00	6,00
Összes szerves széntartalom (TOC) [mg/l]	1.	11,72	11,31	11,15	11,06	11,04	13,19
	2.	12,05	11,30	10,46	11,07	12,57	18,34
	3.	14,45	12,06	13,11	15,07	14,60	23,36
	4.	14,25	11,77	12,98	15,91	16,03	24,06
Kémiai oxigén-igény KOI [mg/l]	1	35,00	35,00	47,00	47,00	48,00	45,00
	2.	35,00	31,00	74,00	86,00	87,00	63,00
	3.	58,00	61,00	99,00	73,00	72,00	88,00
	4.	41,00	42,00	67,00	78,00	53,00	66,00



6. ábra. Oldott oxigén-értékek mintavételi pontonként

is feltüntetettük, amelyet a mért adatok szintén legalább kétszeresen túllépnek.

A mért pH-értékek (5. ábra) a tavaszi, illetve nyári mérések során közelítették a felső határértéket, a többi esetben a megfelelő (6,50-9,00) tartományban mozogtak.

Az oldott oxigén-értékek (6. ábra) közül egyedül a második mintavételi ponton (M2), a sárgával jelölt őszi mintavételezésnél kapott érték volt határérték alatt (5,85 mg/l), általánosan a koncentrációértékek megfelelőek voltak. A harmadik mintavételi ponton (M3) feltehetőleg azért láthatunk kiugrásokat, mert ez a mintavételi pont van helyileg legközelebb a vízfelszíni levegőztetőberendezéshez.

4.2. Laboratóriumi vizsgálati eredmények

4.2.1. Általános vízminőségi jellemzők értékelése

A 3. táblázat a laboratóriumban elemzésre kerülő, általános vízminőségi paraméterekre kapott értékeket illusztrálja. A zavarosságértékek a februári, valamint augusztusi időszakban általában magasabb értéket mutattak, mint a többi mintavételezés során, azonban a hatodik mintavételi ponton (M6) májusban kiugróan magas értéket mértünk (172,81 NTU). Az eltéréseket a nagyobb mennyiségben jelen lévő, lebegő szerves és szervetlen anyagok, továbbá planktonok és mikroorganizmusok nagyobb hányada okozhatta. A zavarosság mértéke közvetlenül nem határozza meg a vízben levő lebegő anyagok valós mennyiségét, azonban tájékoztató információt szolgáltat ezen anyagok jelenlétéről. Az oldott szervesanyag-tartalom (TOC) 10,46–24,06 mg/l között változott. A vizsgálatokban a BOI-értékek zömében alacsonyabbnak bizonyultak, mint a TOC- és KOI-értékek, ami azt mutatja, hogy a szerves szennyezőanyagok egy része biológiailag nem bontható.

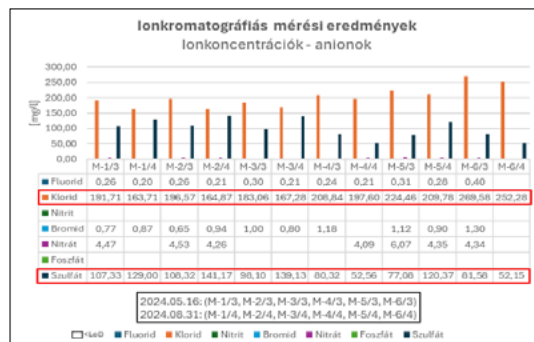
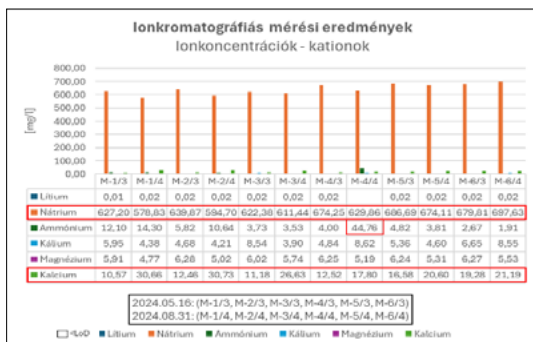
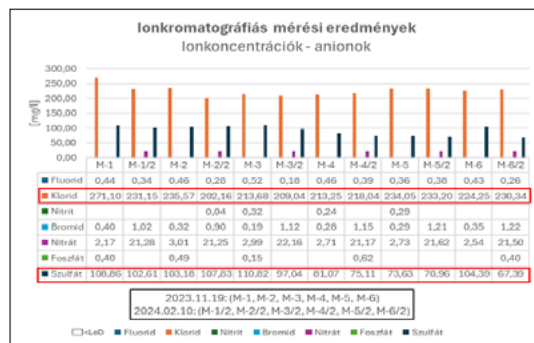
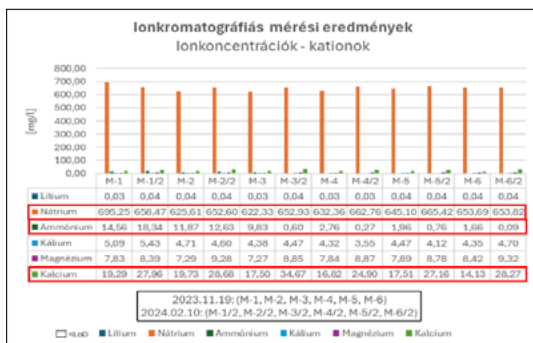
4. táblázat. Lúgosságértékek és szervetlen szénformák bemutatása

Mérés időpont- jai: 1.: 2023.11.19. 2.: 2024.02.10. 3.: 2024.05.16. 4.: 2024.08.31.		Minták					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
Szabad lúgosság (p') [mmol/l]	1.	0,46	0,46	0,79	0,94	0,81	1,65
	2.	0,70	0,70	1,44	1,37	1,02	1,19
	3.	0,69	0,88	2,67	2,60	1,84	1,72
	4.	0,39	0,90	1,94	2,33	1,01	2,05
Összes lú- gosság (m') [mmol/l]	1.	20,68	20,66	20,07	20,15	20,20	20,15
	2.	20,50	20,55	20,57	21,47	21,32	20,52
	3.	19,41	19,50	19,77	21,49	21,42	22,91
	4.	18,39	19,18	19,18	21,18	20,95	24,13
Összes szervetlen széntarta- lom (TIC) [mg/l]	1.	277,50	278,20	268,80	260,80	250,60	258,40
	2.	263,90	262,30	251,40	258,20	262,50	243,00
	3.	251,40	247,60	241,60	259,70	221,10	281,90
	4.	212,30	219,10	215,30	227,60	240,30	266,10
Hid- roxil-ion [mmol/l]	1.	0	0	0	0	0	0
	2.	0	0	0	0	0	0
	3.	0	0	0	0	0	0
	4.	0	0	0	0	0	0
Karbo- nát-ion [mmol/l]	1.	0,91	0,91	1,57	1,88	1,62	3,30
	2.	1,39	1,39	2,84	2,74	2,04	2,39
	3.	1,37	1,77	5,35	5,20	3,68	3,43
	4.	0,78	1,80	3,87	4,66	2,03	4,10
Hidrogén- karbo- nátion [mmol/l]	1.	19,77	19,74	18,50	18,27	18,57	16,85
	2.	19,11	19,16	17,74	18,73	19,28	18,14
	3.	18,03	17,74	14,43	16,29	17,74	19,48
	4.	17,61	17,38	15,31	16,53	18,92	20,03

A **4. táblázat** a titrimetriás módszerrel mért szabad- és összlúgosság-értékeket prezentálja a vizsgált pontokon, melyek jól korrelálnak az összes szervesszéntartalom- (TIC) értékekkel. A vonatkozó szabvány [9] alapján számítással meghatározásra került a táblázatban feltüntetett anionok mennyisége, melyek esetében a hidrogén-karbonát koncentrációja volt kirívóan nagy, jelezve a használt termásvíz hidrogén-karbonátos jellegét. A szervetlen szénformák közül a karbonát-ionok mennyisége az M3-M4 pontokon mutatott magasabb értékeket, míg pl. hidroxil-ion nem volt kimutatható mennyiségben jelen a mintákban.

4.2.2. Ionkromatográfias elemzések értékelése

A laboratóriumi vizsgálatok alkalmával ionkromatográfias méréseket is végeztünk, ahol 6 kation (lítium, nátrium, ammónium, kálium, magnézium, kalcium) és 7 anion (fluorid, klorid, bromid, nitrit, nitrát, foszfát, szulfát) koncentrációját sikerült nyomon követni. A **7. ábra** a kationok mennyiségét demonstrálja, melyek alapján domináns ionként a nátrium-, kalcium- és ammóniumionok nevezhetők meg, amelyeket pirossal is bekereteztünk. A nátriumionok mennyisége minden alkalommal egységesen meghaladja a 570,00 mg/l-t. Az ammóniumion-értékek az első és második



7. ábra. Kationkoncentrációk mérési pontonként

8. ábra. Anionkoncentrációk mérési pontonként

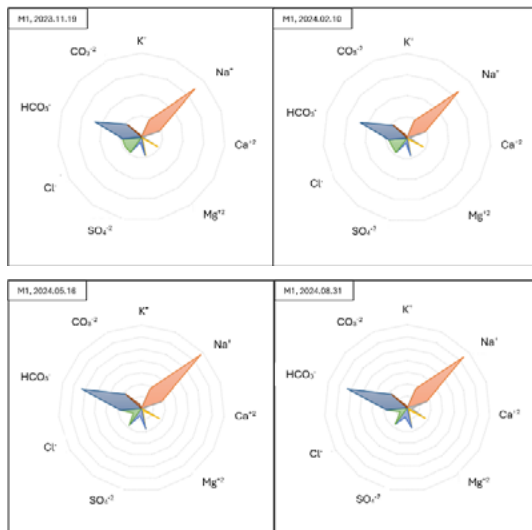
mintavételi pontoknál (M1, M2) magasabbak, valamint az augusztusi mérés negyedik mintavételi pontjánál jelentősen kiugrás (44,76 mg/l). Ezek mellett a magnézium- és a káliumion-koncentráció is meghatározó. Lítiumion nagyon kis mennyiségben, de kimutatható volt a vizekben.

A 8. ábra az ionkromatográfiásan mért anion-koncentrációkat összegzi. A hét anion közül a klorid, illetve szulfátionok bizonyultak dominánsnak. A N- és P-formák mint tápanyagformák közül a nitrátion koncentrációja mutat szignifikáns változásokat, elsősorban télen, amikor a nitrifikáció hatásfoka alacsonyabb. A nitrition nem volt kimutatható a vizekben.

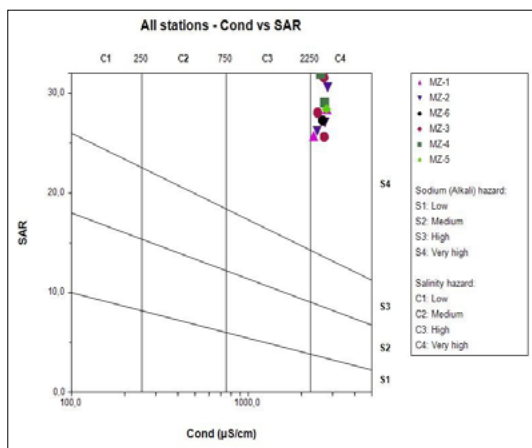
A természetes vizek kémiai jellegét főként a vízben oldott sók döntő hányadát képviselő nyolc ion, az ún. makroionok (négy kation: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ; illetve négy anion: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) határozzák meg. A nátrium és káliumionok az alkálifémek csoportjába tartoznak, jól oldódnak vízben. A mért adatok az ún. Maucha-féle csillagábra segítségével is kiértékelésre kerültek, hogy a vizek jellegéről vizuálisan is jól összehasonlítható tapasztalataink legyenek. A csillagdiagramokon nyolc makroion mennyisége egyenérték-százalékban van kifejezve. Az ábránál használt kör sugara arányos a víz összion-koncentrációjával. Azokat az ionokat, melyek mennyisége meghaladja a 30 egyenérték-százalékot, a víz típusát meghatározó uralkodó kationnak, illetve anionnak nevezik [10].

A 9. ábra az első mintavételi ponton mért eredményeket hasonlítja össze az esetenkénti szezonális változások szemléltetéséhez. A csillagdiagram alapján egyértelműen látszik a vizsgált vizek nátrium-hidrogén karbonátos jellege.

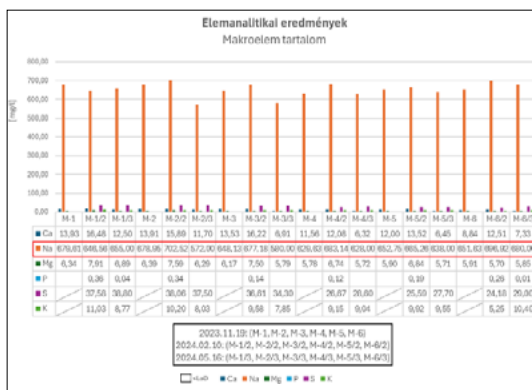
A mért adatok alapján további következtetéseket vonhatunk le az ún. Wilcox-diagram alapján, amely segítségével jellemezni lehet a víz öntözési célú használhatóságát. Az értékek logaritmikusan vannak megadva. Az y tengelyen az ún. nátrium-veszély (nátriumadszorpció arány – SAR), az x tengelyen a sótartalomveszély mint elektromos vezetőképesség ($\mu\text{S}/\text{cm}$) van feltüntetve. A SAR, valamint sótartalmi részt négy zónára lehet osztani (alacsony, közepes, magas, nagyon magas), ennek segítségével lehet besorolni a vizsgálandó vizet. Az AquaChem szoftver segítségével felvett Wilcox-diagramon megfigyelhető, hogy minden esetben a negyedik „nagyon magas” zónába sorolható a vizsgált használt termálvíz (10. ábra), miszerint nem javasolt a további öntözési célú felhasználása [11].



9. ábra. Első mintavételi ponton mért eredmények csillagábrázolása



10. ábra. Wilcox-féle besorolás a mért nyári értékek alapján



11. ábra. Makroelem-összetétel ICP-OES-módszerrel

4.2.3. Elemanalitikai vizsgálatok

A Debreceni Egyetem, Szervetlen és Analitikai Kémiai Tanszék Környezetanalitikai Laboratóriumának segítségével lehetőségünk nyílt induktív csatolású plazmaoptikai emissziós spektrometriás (ICP-OES) módszerrel a vízminták elemösszetételének meghatározására is. A 2023. novemberi, 2024. februári és májusi eredmények kerültek kiértékelésre. A **11. ábra** a minták makroelem-tartalmát mutatja be. A diagramsávoikon látható, hogy a minták nátriumtartalma jelentős (572,00–702,52 mg/l), ill. a februári időszakban a kalciumtartalom is meghatározó. A domináns elemek tehát a nátrium és a kalcium voltak, ami jó egyezést mutat az ionkromatográfias mérési eredményekkel.

A mért mikroelem-koncentrációkat a **12. ábra** szemlélteti. A felszín alatti vizek börtartalma rétegeredetű, ezen minták esetében ez a domináns mikroelem. A bór nélkülözhetetlen tápanyag a vízi élőlények és a szárazföldi növények számára is, de magas koncentrációban mérgező hatása is lehet. A vízzel érintkező szerkezeti anyagokból esetlegesen beoldódva pl. króm, nikkel, ólom nem volt kimutatható.

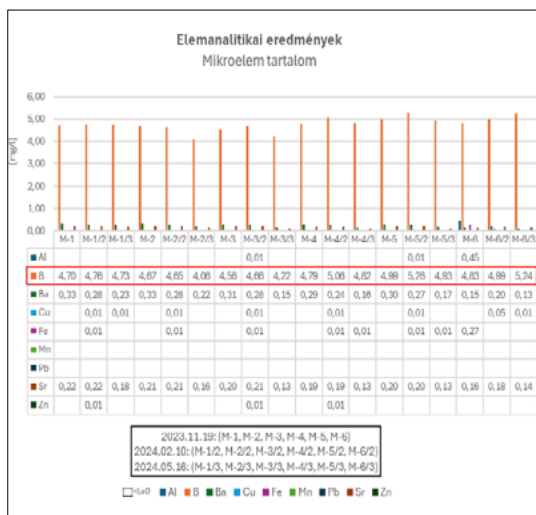
5. Következtetések

A vizsgált területen végzett mérési eredmények alapján az alábbi következtetések vonhatók le. A Berekfürdői Gyógy- és Strandfürdőn használt termálvíz felszíni befogadóba való elhelyezése negatív hatást gyakorolhat a német-éri főcsatorna vízminőségére. A mért eredményeket a 10/2010.

(VIII.18.) VM rendelet határértékeivel összevetve megállapítható, hogy a magas oldottanyag-tartalom, illetve hőterhelés nem csak a vízi, hanem a szárazföldi ökoszisztéma állapotát is befolyásolja. A túl magas hőmérséklet hatására felborulhat a biológiai egyensúly, a feliszapolódás, a szervesanyag-képződés felgyorsulhat, az oldott oxigén koncentrációja a vízben lecsökkenhet [3].

Az öntözési célú hasznosítás is nehezített, ugyanis a víz magas sótartalma a talaj elszikesedéséhez vezethet. A legkárosabb fizikai és kémiai hatásokat a nátriumos és karbonátos sófelhalmozódás okozhatja. Az elszikesedés rossz levegő- és vízellátottságú talajt eredményezhet, amelynek csak a szárazságtűrő növények életfeltételei biztosítottak [3].

A használt termálvízből, valamint szennyvízből a magas sótartalom eltávolítására alkalmazható megoldás lehet a membránszeparációs kezelés, amelyek közül pl. a fordított ozmózis elvén működő megoldás a sótartalom csökkentésében is hatékony módszer. Az ozmózis egy spontán oldószeráramlási folyamat, mely egy félig áteresztő membránon keresztül az alacsonyabb koncentrációjú oldatból a magasabb koncentrációjú oldat felé halad. A membrán átengedi az oldószert, de nem engedi át az oldott anyagot. Az ozmózis az ozmotikus nyomáskülönbségen alapszik, melyet az oldatok koncentrációkülönbsége hoz létre. Minél nagyobb az oldott anyagok koncentrációkülönbsége, annál nagyobb az ozmotikus nyomás. Az ún. fordított ozmózis során az oldószer (például tiszta víz) áramlik külső nyomás hatására



12. ábra. Mikroelem-összetétel ICP-OES-módszerrel



13. ábra. Membrántechnológia membránmoduleleme Karcagon [3]

egy félig áteresztő membránon keresztül a töményebb oldatból a szennyezett, higabb oldat felé. Ez a tisztítási technológia minden egyéb módszer-nél hatékonyabb, hiszen a membrán tulajdonságaiból adódóan a szűrő eltávolítja a baktériumok-nál ezerszer kisebb szennyeződések is [3].

Magyarországon kevés helyen alkalmazzák ezt a módszert. Az egyik ilyen rendszer Berekfürdő szomszédságában, Karcagon, a Nagykun Vízmű üzemeltetésében működik. A kezelendő hulladék-víz egy zárt medencébe kerül, amelybe membrán-kazetták merülnek. A kazetta egy olyan szerkezet, ahol a fejegységhez sok száz vékony membráncső csatlakozik (13. ábra). A víz kívülről áramlik a vékony kapilláris csőbe, ahonnan a tisztított víz a fejen keresztül távozik [3].

A felszíni vizek védelme érdekében fontos tényező lehet a szomszédos települési szennyvíztisztító telepek korszerűsítése. A berekfürdői szennyvíztisztító telepet 1985-ben létesítették. „A tisztítási technológia átfolyós, felületi levegőztetéssel ellátott oxidációs árkos technológia, amiről kijelenthető, hogy a telep nem korszerű (70-es évek). A technológia határfoka a jelenleg korszerűnek tekintett mélylevegőztetéssel ellátott üzemekhez képest jelentősen elmarad, azaz a mai kor igényeinek már nem tud megfelelni. A berekfürdői üze-mi technológiához hasonló telepek jellemzően szisztematikusan leállításra és kiváltásra kerültek az utóbbi évtizedben, helyettük korszerűbb technológiákat üzemeltet be.” [12] Az elmúlt években az ŐLA (összes lebegőanyag), BOI₅ és KOI tekintetében történt határérték-túllépés, mely minden esetben bírságot vont maga után [12].

Azaz a felszíni vizek védelme kapcsán kiemel-ten fontos a használt termálvizek elhelyezésének

rendszeres monitorozása, mely érdemi információkat nyújt az elhelyezésre kerülő víz esetleges minőségi változásairól, a kapcsolódó ökoszisztémák állapotáról és a szükséges beavatkozások elvégzése céljából is kiemelt szerephez jut.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] T. Hárs: *A termálvizek környezetterhelési és gazdasági hatásai*. Biológiai Tudományi Doktori Iskola, Budapest, 2006.
- [2] J. Szanyi, M. Kurunczi, B. Kóbor, T. Medgyes: *Korszerű technológiák a termálvíz visszasajtolásában*. Szeged, InnoGeo, 2013.
- [3] I. Bodnár, S. Fórián: *A termálvíz kitermelése és környezetvédelmi vonatkozásai*. Debreceni Egyetem, AMTC–Műszaki Kar, 2009.
- [4] J. Padisák: *Általános limnológia*. ELTE Eötvös Kiadó, 2005.
- [5] J. Gál: *Balneotechnika*. Kézirat, Berekfürdő, 2008.
- [6] B. P. Kft., Közép-Tisza-vidéki Vízügyi Igazgatóság, *Vízkezelés-gazdálkodás*.
<https://www.kotivizig.hu/kozep-tisza-videki/vizgazdalkodas-vizszolgaltatas/vizkeszlet-gazdalkodas>
- [7] *Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv 1-3. melléklet*. Budapest, 2021.
- [8] V.-g. Terv, 1-2. melléklet Felszíni víztest típusok referencia jellemzői, 2021.
- [9] MSZ 448-21:1986 szabvány.
- [10] S. Balácsi, S. Fórián: *Tisztított szennyvíz bevezetés hatása a Kakat-ér vízminőségére*. Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezet-és Vegyészmérnöki Tanszék, Debrecen, 2011.
- [11] *AquaChem 10.0 Water Quality Analysis Software*. Waterloo Hydrogeologic, Canada, 2021.
- [12] J. dr. Rákosi, T. Bertli, T. Lászl, T. Parádi: *Menteségi vizsgálat az időszakos vízfolyásokra*. Budapest, 2021.



SZÜRKEVÍZEN TERMESZTETT VÖRÖSKÁPOSZTA ÉS BROKKOLI MINT MIKROZÖLDEK EGÉSZSÉGÜGYI KOCKÁZATAI

HEALTH RISKS OF RED CABBAGE AND BROCCOLI AS MICROGREENS GROWN IN GREYWATER

Nusser Gyöngyvér Boglárka,¹ Izbékiné Szabolcsik Andrea²

¹ Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, n.gyongyver.boglarka@gmail.com

² Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, szabolcsikandi@eng.unideb

Abstract

In this research, we investigated the reuse of synthetically produced greywater in the cultivation of microgreens. Microgreens are young plant shoots that already have cotyledons. In the cotyledon, there is a higher concentration of vitamins, minerals, and antioxidants that are important for us compared to the mature plant. The use of greywater for food production is associated with food safety risks, so our aim is to investigate the effects of greywater on the micronutrient concentration and the yield in the microgreens. This was done by growing microgreens in clean water, untreated greywater and treated greywater that had undergone mechano-chemical treatment and observed the differences between the samples. The results showed that the edibility of the two crops was not drastically affected by the greywater, but the weight of the product was. The extent of this is plant specific. Further studies using real greywater samples are needed to establish the safe usability of greywater.

Keywords: *greywater, microgreens, edibility testing.*

Összefoglalás

Kutatásunk során szintetikus előállított szürkevíz újrahazsnálatát vizsgáltuk mikrozöldek termesztése során. A mikrozöldek olyan fiatal növényi hajtások, amelyek már sziklevelekkel rendelkeznek. A sziklevekben nagyobb koncentrációban halmozódnak fel a számunkra fontos vitaminok, ásványi anyagok és antioxidánsok, mint a kifejtett növényben. A szürkevíz használata élelmiszer termesztésére élelmiszer-biztonsági kockázatokkal jár, így célunk az, hogy megvizsgáljuk a szürkevíz hatásait a mikrozöldség mikroelem-koncentrációjára és a produktum mennyiségére. Ezt úgy végeztük, hogy ivóvízen, kezeletlen szürkevízen és mechanokémiai kezelésen átesett szürkevízen termesztettük a mikrozöldeket, és megfigyeltük, hogy milyen eltérések jelennek meg a minták között. Eredményül azt kaptuk, hogy a két növény esetében a fogyaszthatóságot nem befolyásolta drasztikusan a szürkevízek használata, azonban a produktum tömegét igen. Ennek mértéke növény-specifikus. Ahhoz, hogy kijelenthessük a szürkevíz biztonsággal való használhatóságát, további vizsgálatokat kell, hogy végezzünk valós vízminták alkalmazásával.

Kulcsszavak: *szürkevíz, mikrozöldek, fogyaszthatósági vizsgálat.*

1. Bevezetés

A globális populáció növekedésével a tiszta édesvízkészletünk csökken, az élelmezési problémáink pedig növekednek. A kialakuló vízhiány

miatt alternatív vízforrásokat kell keresnünk. Ilyen alternatív vízforrás lehet a szürkevíz, amely a háztartásokban keletkezett úgymond „egyszer használatos víz”. Ezt a vizet többértően fel lehet

használni, például tűzoltásra, autómosásra vagy toalett öblítésére, azonban jelen kutatásban mezőgazdasági szempontból közelítettük meg a szürkevíz felhasználási lehetőségét, mégpedig a mikroöldségek termesztése révén.

1.1. A szürkevíz

Háztartási szürkevíznek nevezzük azon egyszer használt vizeket, amelyek a háztartásokban keletkeznek. A szürkevíz, röviden GW, fogalma nem vonja magába a toalett öblítéséből származó feketevizet, ugyanis annak mikrobiális szennyezettsége kimagasló, emiatt az emberi egészségre káros. Mivel Magyarországon az átlagos vízfogyasztásunknak közel a felét a fürdővíz teszi ki, emiatt a kutatásunk során szintetikus fürdővízzel dolgoztunk, amely jól reprezentálja a háztartásokban keletkező fürdővizet [1].

A szürkevíz felhasználásával csökkenthetjük a tisztaitóvíz-fogyasztásunkat, és elősegítjük a körforgásos gazdaságot. Vannak olyan területek, ahol a szürkevizet akár kezelés nélkül is alkalmazhatjuk, ilyen például a toalett öblítése, autómosása vagy akár tűzoltás is. Azonban azokon a területeken, ahol fontos, hogy tisztább legyen a víz, de nem szükséges, hogy ivóvíz-tisztaságú legyen, ott a szürkevizet kezelni tudjuk, hogy elérje a kellő tisztaságot.

A kutatás során ivóvíz mellett kezelt és kezeletlen szintetikus fürdővízzel dolgoztunk, és a kezelés során a koagulálást és flokkulálást ötvöztük a homokon való szűréssel.

1.2. A mikroöldék

Mikroöldékeknek vagy mikroöldségeknek nevezzük azon fiatal növényeket, amelyek általában öldségek vagy fűszernövények, a csírázáson túl vannak, és kifejlett sziklevelekkel rendelkeznek. A számunkra fontos vitaminok a sziklevekben halmozódnak fel, és mennyiségük többszöröse található meg bennük, mint a kifejlett növényben.

Míg a öldségek elfogyasztására akár hónapokat is várunk kell, a mikroöldségek általánosságban 7–10 nap alatt kifejlődnek, és sok növényfajta akár már 4–5 nap alatt is fogyasztható.

Általánosan a mikroöldségek magas vitamintartalommal és ásványi anyagokkal rendelkeznek, ezenkívül fitokemikáliákban gazdagok, beleértve a karotinoidokat és a fenolos vegyületeket, amelyek antioxidánsként hatnak az emberi szervezetben. Az antioxidánsok pedig megkötik a szervezetünkben lévő karcinogén anyagokat, ezzel megelőzve a rákos elváltozásokat [2].

Kimutatták például, hogy a brokkolimikroöldség négyszer több rákellenes alifás glükoszínolátot tartalmaz, mint a kifejlett növény. Azonban a mikroöldségek jótékony hatásai nem merülnek ki a rák elleni hatásukban.

A vöröskáposzta-mikroöldségek például javítják a zsír- és koleszterinszintet, csökkentik a súlygyarapodást, a triglicerideket, a máj koleszterin-szintjeit, valamint a májban található gyulladásos citokineket egereknél [3].

Mivel a mikroöldségeket ivóvíz mellett, amelyet kontrollként alkalmaztunk, kezelt és kezeletlen szürkevízen termesztettük, szükség volt az egészségügyi kockázatok, azaz a fogyaszthatóság kivizsgálására.

1.3. Fogyaszthatósági vizsgálat

A fogyaszthatósági vizsgálat egy átfogó értékelő rendszer, amely alapján biztonságosan el tudjuk dönteni, hogy az adott ételkészlet, ital, vagy bármilyen fogyasztási termék káros-e az emberi szervezetre. A vizsgálat során számos mérést és elemzést végezhetünk, legyen az a termék összetevőinek kémiai, mikrobiológiai vagy toxikológiai jellemzőinek a vizsgálata. Az elemzés során a termékekben lévő káros anyagokat vizsgáljuk, például fémeket, nehézfémeket [4, 5].

A *THQ* (Target Hazard Quotient), avagy célveszélyességi hányados egy tudományosan elfogadott indikátor, amely egy adott toxikus anyagnak való kitettségének az egészségügyi kockázatát méri. Ez az adott vegyület maximális, hosszútávú kitettség szintje, amely még biztonságosnak tekinthető emberi fogyasztás szempontjából. A *THQ*-érték 1 alatt biztonságosnak tekinthető, 1 felett viszont potenciális kockázattal jár a fogyasztás [5]. Kiszámításához az (1) képletet használjuk:

$$THQ = \frac{EF \cdot ED \cdot IR \cdot Cm \cdot 10^{-3}}{RfD \cdot BW \cdot TA} \quad (1)$$

ahol: *EF*: expozíciós gyakoriság (nap/év), *ED*: expozíció időtartama (év), *IR*: növény lenyelési aránya (g), *Cm*: nehézfém-koncentráció (mg/kg), *RfD*: referenciadózis (mg/kg/nap), *BW*: felnőttkori átlagtesttömeg (kg), *TA*: átlagos expozíciós idő (nap) [5].

Egy másik mutatószám a *HI* (Hazard Index), azaz a veszélyességi index. Ennek számítása során feltételezzük, hogy az adott ételkészlet fogyasztásánál egyszerre több, potenciálisan mérgező elemnek vagyunk kitéve. Emiatt – bár az egy-egy elemre nézett *THQ*-érték nem éri el a kritikus számot – az ételkészlet fogyasztása során

a kumulatív hatás okozhat egészségügyi károkat. A HI-érték esetében is az 1-es a kritikus szám, amely alatt biztonsággal, de felette nem ajánlott a fogyasztás [4]. A HI számolása a (2) képlettel végezhető el:

$$HI = \sum_{N=1}^i THQ_N \quad (2)$$

2. Anyag és módszer

A kutatás során három különböző víztípussal dolgoztunk, ivóvízzel, kezelt szűrkevízzel és kezeletlen szűrkevízzel. Az ivóvizet a vezetékes ivóvízhálózatból vettük, míg a szűrkevizet szintetikusan állítottuk elő a Környezetmérnöki Tanszék korábbi évek során kifejlesztett [6], ivóvízalapú, állandó és határozott összetételű, szintetikus úton előállított fürdővíz-paraméterét használva. Ez a víz összetételében jól jellemzi a háztartásokban fürdés során keletkező szűrkevizet.

A szűrkevíz kezelése során vas(III)-kloridot alkalmaztunk a koagulálás és flokkulálás során. Ülededés után mechanikai szűrést alkalmaztunk egy homokszűrő segítségével [6].

A mikroöldségek termesztése során rostlapokat használtunk, amelyeket fertőtlenített tálcákra helyeztünk el. Ezeket a rostlapokat átitattuk a megfelelő vízzel (ivóvízzel, kezeletlen vagy kezelt szűrkevízzel), majd elhelyeztük a magokat rajtuk. Mindegyik növényből 3-3 rostlapot ültettünk a 3 víztípusnak megfelelően. A célunk az volt, hogy megfigyeljük, hogy az ivóvízhez képest mennyire változik a fogyaszthatósága vagy éppen a termékenysége a mikroöldségeknek, ha szűrkevizet alkalmazunk a termesztésükhöz.

A mikroöldsék termékenységet (hozamát) két szempont szerint mértük, tömeg és hossz alapján. A tömeg méréséhez analitikai mérleget használtunk. A mikroöldségeket lemértük közvetlen vágás után (nedves biomassa súlya), majd szárítás után is (száraz biomassa súlya). A hossz mérésénél átlagot mértünk. Véletlenszerűen kiválasztottunk mintánként 20-20 szálát, amelyeket vonalzó segítségével megmértünk.

Az egészségügyi kockázat meghatározása során fogyaszthatósági vizsgálatot végeztünk a fentebb említett THQ- és HI-érték segítségével. Ezek kiszámításához szükségünk van a referenciadózis értékére (lásd. 1. táblázat). A referenciadózis egy számított érték, amelyet az USEPA közölt le a kockázati paraméterlistában [7].

Ahhoz, hogy megtudjuk, hogy a mikroöldsék mennyit tartalmaznak ezekből az elemekből, elemanalitikai vizsgálatot kellett végeznünk.

1. táblázat. Nehézfémek referenciadózisa (RfD) [7]

Vizsgált elemek	Referenciadózis (RfD)
Al	1
Cd	0,001
Co	0,003
Cu	0,04
Fe	0,7
Mn	0,14
Ni	0,02
Pb	0,0035
Zn	0,3

2. táblázat. A THQ és HI számításához felhasznált értékek

Jelölések	Paraméterek	Használt értékek
EF	Expozíció gyakorisága (nap/év)	365
ED	Expozíció időtartama (év)	70
BW	Felnőttkori átlagtesttömeg (kg)	70
IR	Lenyelési arány (g)	10

A kutatás során az elemanalitikai vizsgálatokat a társlaborunk végezte el a Debreceni Egyetem, Természettudományi és Technológiai Kar, Szeretlen és Analitikai Kémiai Tanszékén egy ICP-OES eszköz segítségével. A mikroöldsék mellett a víz mikroelem-tartalmát is megmérték, hogy átfogóbb képet kaphassunk.

A számításaink során a maximálisan elfogyasztható értéket szerettük volna meghatározni, emiatt a 2. táblázatban szereplő értékekkel számoltunk. Az IR, azaz a lenyelési arány az elfogyasztott gramm-mennyiséget jelenti. A napi elfogyasztott mikroöldség mennyiségét szakirodalmi számítások miatt 10 grammra becsültük meg [8].

A számítás során az (1) és a (2) képletet alkalmaztuk, és a 10 gramm lenyelési arány-mennyiséget fokozatosan növeltük, hogy megkapjuk a maximálisan elfogyasztható mennyiséget.

3. Eredmények

Az eredmények értékelése során nemcsak arra kell figyelnünk, hogy melyik víztípuson lesz a legkisebb egészségügyi kockázata a mikroöldségnek, ha elfogyasztjuk, hanem figyelembe kell vennünk azt is, hogy a termékenységet, a produktum mennyiségét befolyásolja-e a szűrkevíz használata.

3.1. A vizek mikroelem-tartalma

A kezelt és kezeletlen szűrkevízen nevelt mikroözeldek egészségügyi kockázatainak meghatározásához szükséges, hogy a vízben található toxikus elemek koncentrációit is megvizsgáljuk. A kilenc elem (lásd. **1. táblázat**) közül a kadmium, kobalt, mangán, nikkel és ólom kimutatási határ alatt volt mindhárom víztípus esetében. A vas egy alkalommal volt detektálható. Az eredmények a **3. táblázat**ban láthatók $\mu\text{g/l}$ mértékegységben.

3.2. A vöröskáposzta paraméterei

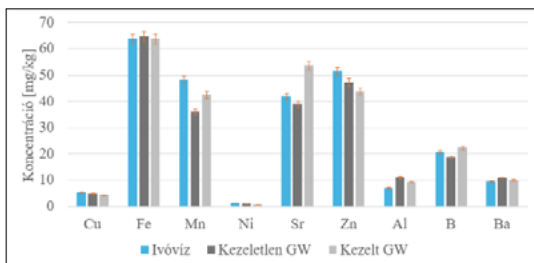
Az **1. ábrán** láthatjuk a kifejlett vöröskáposzta-mikroözeldeket, balról jobbra haladva az ivóvízen, kezeletlen szűrkevízen és kezelt szűrkevízen növesztettet. A vöröskáposzta adatait a **4. táblázat** mutatja be. Mind az ábrán, mind a táblázatban megfigyelhető, hogy a kezelt szűrkevízen termesztett növény magasabbra nőtt, és biomassza tekintetében is lényegesen nagyobb, mint az ivóvízen vagy kezeletlen szűrkevízen fejlődött párja. Ezekon kívül a nedvességtartalma is nagyobb, míg a másik két mintáé megegyezik. Átlaghossz tekintetében az ivóvízen és a kezeletlen szűrkevízen nevelt minta közel hasonló eredményt ért el, azonban biomassza tekintetében látható, hogy az ivóvízen nevelkedett minta jobban növekedett.

A mikroelem-tartalom tekintetében a kadmium, kobalt és ólom kimutatási határ alatt volt mindhárom víztípuson növekedett mikroözeldek tekintetében. A vöröskáposzta mikroelem-tartalmát a **2. ábra** mutatja be. Az eredményeket elemezve megállapítható, hogy a különböző mikroelemek eloszlása esetén kisebb-nagyobb differenciák alakultak ki. Bár a mangán és a nikkel mérés határ alatti mennyiségben volt csak jelen a vizekben (lásd **3. táblázat**), a vas pedig csak a kezeletlen szűrkevízben volt kimutatható $12\mu\text{g/l}$ mennyiségben, a mikroözeldekbe mégis kimutatható mennyiségben akkumulálódtak.

A mangántartalom eloszlásában nagyobb eltérés tapasztalható. A legtöbb mangán az ivóvízen nevelkedett vöröskáposztában, míg a legkevesebb a kezelt szűrkevízen nevelkedett mintában raktározódott el. A stroncium a kezelt szűrkevízen fejlődött mikroözeltségben megnövekedett, a cink-tartalomnál pedig egy csökkenő sorrend alakult ki, ahol a legtöbb cink az ivóvízen, a legkevesebb pedig a kezelt szűrkevízen nevelkedett növények esetében került felvételre. Ezek a különbségek a fogyaszthatósági vizsgálat során további elemzésre kerültek. A vöröskáposzta THQ- és HI-eredményei a **5. táblázat**ban kerültek bemutatásra



1. ábra. Kifejlett vöröskáposzta-mikroözeldegek



2. ábra. A vöröskáposzta mikroelem-tartalma

3. táblázat. A vizek mikroelem-tartalma

		Al	Cu	Fe	Zn
Ivóvíz	Átlag	7,5	48	<LoD	306
	Szórás	2,1	7,5	-	61
UTGW	Átlag	13	66	12	264
	Szórás	2,5	16	-	54
TGW	Átlag	15	12	<LoD	10
	Szórás	6	1	-	3

4. táblázat. A vöröskáposzta adatai

	Ivóvíz	UTGW	TGW
Átlaghossz [cm]	2,44 ± 0,54	2,52 ± 0,62	3,01 ± 0,72
Nedves biomassza [g]	3,80	3,51	6,10
Száraz biomassza [g]	0,37	0,34	0,47
Nedvességtartalom [%]	90	90	92

5. táblázat. A vöröskáposzta THQ- és HI-értékei 10 g/356 nap fogyasztása esetén

	Ivóvíz	UTGW	TGW
THQAl	$9,93 \cdot 10^{-4}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$	$1,57 \cdot 10^{-3}$
THQCu	$1,92 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$1,62 \cdot 10^{-2}$
THQFe	$1,30 \cdot 10^{-2}$	$1,32 \cdot 10^{-2}$	$1,30 \cdot 10^{-2}$
THQMn	$4,93 \cdot 10^{-2}$	$3,66 \cdot 10^{-2}$	$4,34 \cdot 10^{-2}$
THQNi	$9,21 \cdot 10^{-3}$	$6,84 \cdot 10^{-3}$	$5,16 \cdot 10^{-3}$
THQZn	$2,45 \cdot 10^{-2}$	$2,25 \cdot 10^{-2}$	$2,09 \cdot 10^{-2}$
HI	$1,16 \cdot 10^{-1}$	$9,84 \cdot 10^{-2}$	$1,00 \cdot 10^{-1}$

Az **5. táblázat** bemutatja, hogy 10 gramm fogyasztása esetén biztonságosan fogyasztható mind-egyik víztípuson termesztett vöröskáposzta-mikroökö. Azonban ahhoz, hogy a maximálisan fogyasztható mennyiséget meghatározhassuk, mindegyik vízmintán nevelkedett növény esetében meghatároztuk a kritikus THQ-értéket, amely **3. ábrán** látható.

A **3. ábrán** megfigyelhető, hogy mindhárom víztípuson növekedett vöröskáposzta esetén a kritikus THQ = 1 értéket a mangán érte el a leg hamarabb, azonban különböző lenyelési rátá-értékeknél.

Az ivóvízen nevelkedett minta esetén (**3/1. ábra**) a THQ = 1-et 2,9 g/ttkg lenyelési rátánál érte el. Ez alapján meghatározható, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 203 grammot fogyaszthat el mindennap.

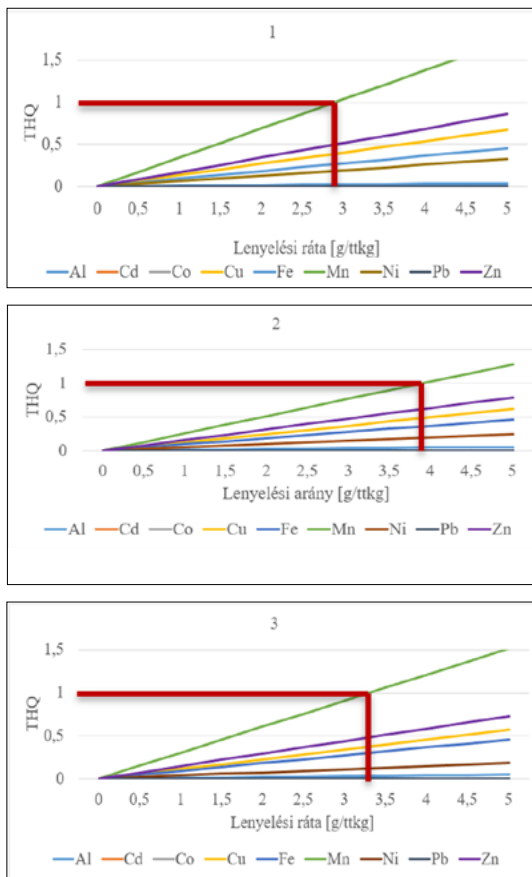
A kezeletlen szürkevízen növekedett mikroökö- ség esetén (**3/2. ábra**) 3,9 g/ttkg lenyelési ráta értéke THQ = 1-nél. Ebből adódóan az átlagos, 70 kg-mal rendelkező ember naponta 273 gram- mot fogyaszthat el az év minden napján.

A kezelt szürkevízen termesztett növény esetén (**3/3. ábra**) a lenyelési ráta értéke 3,3 g/ttkg a kriti- kus THQ-értéknél, amely azt jelenti, hogy egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 231 grammot fogyaszthat el maximálisan 365 nap alatt.

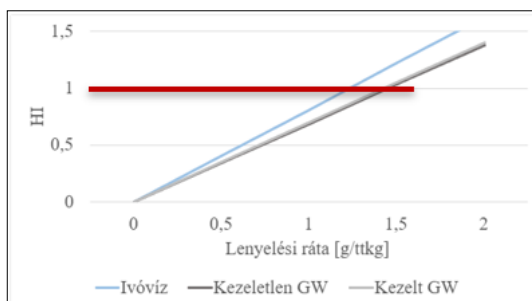
A THQ-érték mellett a HI-értéket is meghatá- roztuk, amelyhez a (2) képletet használtuk, ahol a THQ-értékeket összeadtuk. Ez alapján kaptuk meg a **4. ábrát**.

A **4. ábrán** látható a HI-érték, azaz a veszélyes- ségi hányados. Ez alapján a legkisebb mértékben fogyasztható vöröskáposzta az ivóvízen nevelke- dett. Ez a kritikus értéket 1,23 g/ttkg, míg a kezelt szürkevízen termesztett 1,43 g/ttkg, a kezeletlen szürkevízen termesztett pedig 1,45 g/ttkg lenye- lési rátánál érte el. Ezek alapján az ivóvízen nevelkedett mintából egy átlagos testtömeggel rendelkező ember 86 grammot, a kezelt szürke- vízen nevelkedett mintából 100 grammot, a keze- letlen szürkevízen nevelkedett mikroököből pedig 102 grammot fogyaszthat az év minden napján.

Ezen adatok alapján kijelenthető, hogy a vörö- skáposzta esetében a fogyaszthatóság nem csök- ken, hanem nő szürkevízen való mikroökö-ter- mesztés során. Azonban a biomasszára vissza- tekintve (lásd **4. táblázat**) kijelenthető, hogy bár fo- gyaszthatóság szempontjából mondhatni legjobb eredményt érte el a kezeletlen szürkevízen ter- mesztett mikroökö, a növekedés során korlá- tozott volt. Emiatt fogyaszthatóság szempontjából



3. ábra. Az ivóvízen (1), kezeletlen szürkevízen (2), és kezelt szürkevízen (3) nevelkedett vöröskáposzta THQ-értékei



4. ábra. A különböző vizeken nevelkedett vöröskáposzta HI-értékei

a második legjobb minta, és a biomassa alapján (lásd **4. táblázat**) a legjobb minta a kezelt szürkevízen termesztett vöröskáposzta-mikroökö volt a legsikeresebb.

3.3. A brokkoli paraméterei

A 5. ábrát és 6. táblázat adatait elemezve láthatjuk, hogy a leghosszabb átlaghosszal a kezelt szürkevízen növekedett mikrozöldség rendelkezik, míg a legrövidebbel az ivóvízen nevelkedett, azonban mind a nedves, mind a száraz biomassza-szátömeg esetében a kezeletlen szürkevízen nevelkedett minta jár az élen, majd a kezelt szürkevízen nevelkedett követi, végül pedig az ivóvízen nevelkedett zárja a sort. A nedvességtartalomnál is ugyanez a sorrend figyelhető meg.

A mikroelemeken megfigyelhető (6. ábra), hogy bár a vízben (3. táblázat) egyik mintában sem volt kimutatható mennyiségben a mangán és a nikkel, a növényekben felhalmozódtak. Látható még, hogy a stronciumszint a kezeletlen szürkevízen nevelt mikrozöldségnél megemelkedett, majd a kezelt szennyvízen fejlődött növények esetében még tovább nőtt (lásd 3. táblázat), azonban ugyanez a tendencia magában a vizek elemanalízisében is látható.

A vas értéke enyhén kisebb, mint az ideális tartomány (50–75 mg/kg) [9]. A brokkoli esetében kimutatási határ alatt volt a kadmium, kobalt, króm és az ólom mennyisége.

A 7. táblázat megmutatja, hogy abban az esetben, ha az év minden napján 10 grammot fogyasztunk belőlük, akkor az összes víztípuson fejlődött mikrozöldség biztonsággal fogyasztható.

Ahhoz, hogy meghatározzuk a maximálisan fogyasztható mennyiséget, a 7. és a 8. ábrát alkalmazzuk.

Először is a THQ, azaz a célveszélyességi hányados kritikus értékeit határoztuk meg. Mindhárom vízminta esetében a mangán értéke határozta meg a fogyaszthatósági mennyiséget, ugyanis az érte el leghamarabb a kritikus értéket. Azonban az, hogy a lenyelési ráta mennyi, az mindhárom esetben különböző.

Az ivóvízen nevelkedett brokkoli esetében (lásd 7/1. ábra) a $THQ = 1$ -et 2,92 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el. Ez az jelenti, hogy egy átlagos tömegű ember (70 kg) 204 grammot fogyaszthat el.

A kezeletlen szürkevízen nevelt brokkoli esetében (lásd 7/2. ábra) a kritikus THQ-értéket a 2,64 g/ttkg lenyelési ráta-érték során érte el.

Ez alapján kiszámolható, hogy egy 70 kg-os átlagos testtömeggel rendelkező ember 185 grammot fogyaszthat el naponta az év minden napján. Ez egy csökkenés az ivóvízhez képest, azonban így is több mint 18-szorosa annak az értéknek, amelyet 1 fogyasztás alkalmával beviszünk a szervezetünkbe.

6. táblázat. A brokkoli adatai

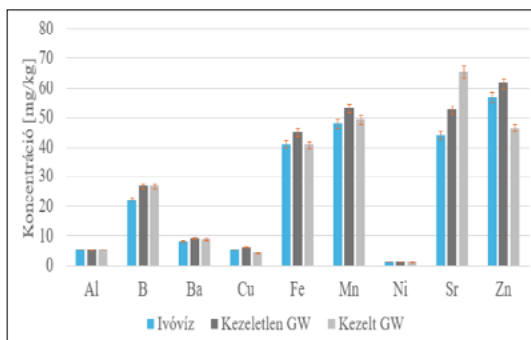
	Ivóvíz	UTGW	TGW
Átlaghossz [cm]	4,43 ± 0,75	5,00 ± 1,13	5,96 ± 0,63
Nedves biomassza [g]	8,53	13,29	10,43
Száraz biomassza [g]	0,71	0,80	0,75
Nedvességtartalom [%]	92	94	93

7. táblázat. A brokkoli THQ- és HI-értékei 10 g/356 nap fogyasztása esetén

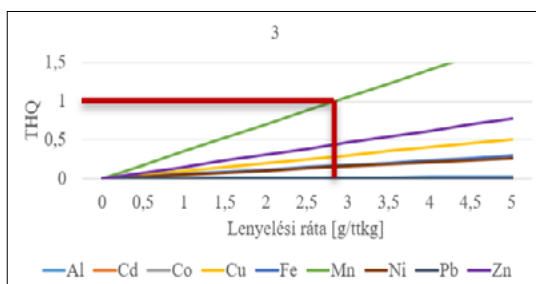
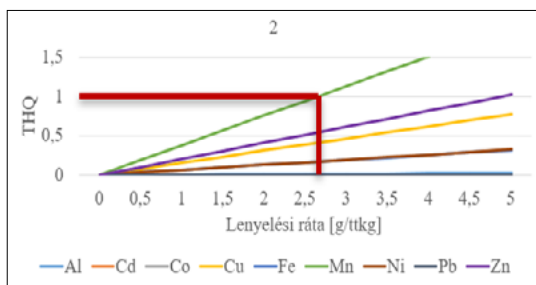
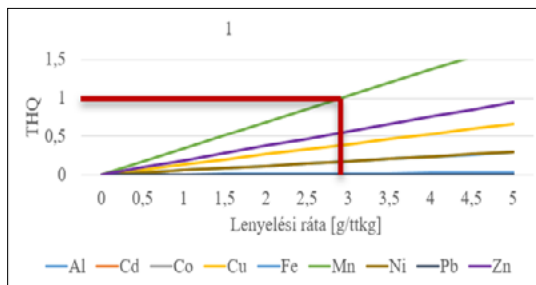
	Ivóvíz	UTGW	TGW
THQAl	7,33*10 ⁻⁴	7,21*10 ⁻⁴	7,60*10 ⁻⁴
THQCu	1,91*10 ⁻²	2,22*10 ⁻²	1,44*10 ⁻²
THQFe	8,37*10 ⁻³	9,16*10 ⁻³	8,31*10 ⁻³
THQMn	4,90*10 ⁻²	5,42*10 ⁻²	5,03*10 ⁻²
THQNi	8,43*10 ⁻³	9,21*10 ⁻³	7,50*10 ⁻³
THQZn	2,71*10 ⁻²	2,92*10 ⁻²	2,21*10 ⁻²
HI	1,13*10 ⁻¹	1,25*10 ⁻¹	1,03*10 ⁻¹



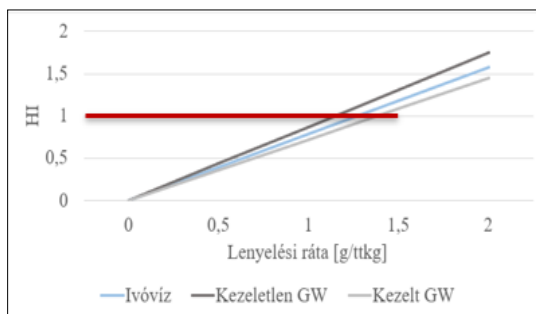
5. ábra. Kifejlett brokkoli-mikrozöldségek



6. ábra. A brokkoli mikroelem-tartalma



7. ábra. Az ivóvízen (1), kezeletlen szűrkevízen (2) és kezelt szűrkevízen (3) nevelkedett brokkoli THQ-értékei



8. ábra. A különböző vizeken nevelkedett brokkoli HI-értékei

A kezelt szűrkevízen termesztett brokkoli (lásd 7/3. ábra) 2,84 g/ttkg lenyelési ráta esetén érte el a kritikus $THQ = 1$ értéket. Ez alapján kiszámoltuk a fogyasztható mennyiséget, amely 199 gramm az év minden napján.

A fogyaszthatóság vizsgálatánál a HI veszélyességi indexet is meghatároztuk a 8. ábra segítségével. Ezt az értéket a (2) képlet segítségével kaptuk meg, ahol a THQ-értékeket összeadtuk.

A diagramon megfigyelhető, hogy bár a THQ-értékből az ivóvízen nevelkedett minta esetében fogyaszthattunk a legtöbbet, a HI-értéknél a kezelt szűrkevíz esetében lett a legnagyobb a fogyaszthatóság. A kezelt szűrkevízen nevelt brokkoliból 97 grammot, az ivóvízen neveltől 89 grammot és a kezeletlen szűrkevízen neveltől pedig 81 grammot fogyaszthat maximálisan egy átlagos testtömeggel rendelkező ember naponta az év összes napján.

Ezek az értékek mind meghaladják az átlagos napi fogyasztást (10 grammot), ezáltal kijelenthető, hogy a brokkoli-mikroörség fogyasztható kezelt és kezeletlen szűrkevízen való termesztés során is, és ha megfigyeljük a biomasszatömegeket (lásd 6. táblázat), a kezeletlen szűrkevízen való termesztése a brokkolinak, jelen eredmények alapján, a legjobb módszernek mondható.

5. Következtetések

A kutatás során vizsgáltuk a kezelt és kezeletlen szűrkevíz újrahasználásának lehetőségét mikroörség termesztésére.

A kezelésként alkalmazott koaguláció, flokkuláció és mechanikai szűrés megtisztította a szűrkevizet a szerves szennyeződésektől, és az oldhatatlan kolloidméretű részecskéktől.

A mikroörségek vizsgálatánál kijelenthető, hogy a szűrkevíz használata rendkívül növény-specifikus.

A brokkoli nevelése során a biomassa tömege a kezeletlen szűrkevíz esetében volt a legkiemelkedőbb, ugyanis 56%-kal volt nagyobb, mint az ivóvízen nevelkedett minta esetében. A fogyaszthatósága viszont csökkent mindkét szűrkevíz használatával, azonban mind a kezelt és kezeletlen szűrkevízen nevelkedett minta esetében még mindig többszörösét fogyaszthatjuk, mint a napi átlag. Emiatt kijelenthető, hogy bár a fogyaszthatóság csökkent, még mindig egészségügyikockázat-mentesen lehet fogyasztani a szűrkevízen termesztett brokkolit.

A vöröskáposzta termesztése alkalmával, míg a kezeletlen szűrkevíz használatával a biomassa tömege 8%-kal csökkent, a kezelt szűrkevíz használatával 60%-kal nőtt a biomassa tömege. A fogyaszthatóságot vizsgálva mind a HI-, mind a THQ-értékek alapján a kezeletlen szűrkevízen termesztett minta a legfogyaszthatóbb, utána pedig

a kezelt szűrkevízen termesztett minta. Összességében a vöröskáposzta esetében a legideálisabb termesztési módszer a kezelt szűrkevízen való termesztés.

Mind a brokkoli, mind a vöröskáposzta esetén a mangán volt a kritikus elem. Kijelenthető, hogy ha a mangán értékét csökkentenénk, akkor a mikroöldségek fogyaszthatósága megnövekedne, azonban a mangántartalom több esetben is az ivóvízmin tán növekedő mikroöldségben volt a legnagyobb mennyiségben, így magát az ivóvizet kellene tisztítani, hogy a mikroöldségek fogyaszthatósága növekedjen. Ebből az szűrhető le, hogy a fogyaszthatóságot a mikroöldségek esetében leginkább az ivóvíz elemtartalma befolyásolja. A fogyaszthatóság enyhén változik a különböző vízminták között, de drasztikus különbségek nem alakulnak ki. Emiatt elmondható, hogy jelen tanulmány szerint a kezelt és kezeletlen szintetikus fürdővízzel való mikroöldség-termesztés nem befolyásolja drasztikusan a fogyaszthatóságot, azonban a produktum mennyiségét igen.

Mivel ezek az adatok szintetikus fürdővíz használatával készültek, a jövőben további vizsgálatokat igényel a valós fürdővízminta használatával való mikroöldség-termesztés

6. Köszönetnyilvánítás

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

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

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Y. Boyjoo, V. K. Pareek, M. Ang: *A Review of Greywater Characteristic and Treatment Processes*. Water Science and Technology, 67/7. (2013) 1403-1424.
<https://doi.org/10.2166/wst.2013.675>
- [2] R. Vanessa Fuchs-Tarlovsky: *Role of Antioxidants in Cancer Therapy*. Nutrition, 29/1. (2013) 15–21.
<https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.02.014>
- [3] Mahinder Partap, et.al.: *Microgreen: A Tiny Plant with Superfood Potential*. Journal of Functional Foods, 107. (2023) 105697.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105697>
- [4] J. M.R. Antoine, et.al.: *Assessment of the Potential Health Risks Associated with the Aluminium, Arsenic, Cadmium and Lead Content in Selected Fruits and Vegetables Grown in Jamaica*. Toxicology Reports, 4. (2017) 181–187.
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006>
- [5] Ghazala Yaqub et.al.: *Determination of Concentration of Heavy Metals in Fruits, Vegetables, Groundwater, and Soil Samples of the Cement Industry and Nearby Communities and Assessment of Associated Health Risks*. Journal of Food Quality, 2021.
<https://doi.org/10.1155/2021/3354867>
- [6] Szabolcsik-Izbéki A, Bodnár I, Fábián I.: *The Removal of Pollutants from Synthetic Bathroom Greywater by Coagulation-Flocculation and Filtration as a Fit-for-Purpose Method*. Journal of Environmental Chemical Engineering, 12/6. (2024) 114250.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.114250>
- [7] U. S. E. P. Agency, „Integrated Risk Information,” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/iris>.
- [8] L. F. C. E.-N. A. Z. M. G. S. D. P. M. K. Y. R. Michele Ciriello: *Iodine Biofortification of Four Microgreens Species and Its Implications for Mineral Composition and Potential Contribution to the Recommended Dietary Intake of Iodine*. Scientia Horticulturae, 320. (2023) 112229.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112229>
- [9] H. A. M. Gretchen, M. Bryson: *Plant Analysis Handbook IV*. Athens, Georgia, Micro-Macro Publishing.



HIDEGEN HAJLÍTOTT, DUPLA C PROFILOK NUMERIKUS VIZSGÁLATA EGY ELŐZETES NEMLINEÁRIS ELTOLÁS VIZSGÁLATHOZ

NUMERICAL STUDY OF BACK-TO-BACK LIPPED CHANNEL PROFILES FOR A PRELIMINARY PUSHOVER ANALYSIS

Sánduly Annabella,¹ Nagy Zsolt,² Kotelko Maria,³ Dan Patrick,⁴ Pál Anita⁵

¹ Łódzi Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagszilárdsági Tanszék, Łódź, Lengyelország, annabella.sanduly@dokt.p.lodz.pl

² Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Szerkezetani Tanszék, Kolozsvár, Románia, zsolt.nagy@dst.utcluj.ro

³ Łódzi Műszaki Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagszilárdsági Tanszék, Łódź, Lengyelország, maria.kotelko@p.lodz.pl

⁴ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia, patrick.dan@gordias.ro

⁵ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, Románia, anitapal261@gmail.com

Abstract

This paper presents a numerical analysis of the $2C300 \times 3$ back-to-back lipped channel subjected to four-point bending, with results compared to those from EN 1993-1-3 [1]. The analysis is based on the studies of the $2C240 \times 2$ profile, validated by experimental test results [2]. The aim is to determine the section's maximum load bearing capacity, to calibrate plastic mechanism models and support pushover analysis. The study also includes preliminary pushover analyses of frame structures, based on [3], considering two types of beam-column connections. The finite element analysis was used to determine the plastic moment resistance of the plastic hinges in these models.

Keywords: cold-formed structures, numerical analysis, plastic mechanism, pushover analysis, plastic hinges.

Összefoglalás

Ez a tanulmány a $2C300 \times 3$ hidegen hajlított, háttal fordított, dupla C profilok négypontú hajlításnak alávetett, numerikus vizsgálatát mutatja be, és az eredményeket az EN 1993-1-3 [1] alapján végzett számításokkal hasonlítja össze. A vizsgálat a $2C240 \times 2$ profil kísérletekkel igazolt kutatásain alapul [2]. A cél a szelvény nyomtatéki ellenállásának a meghatározása képlékeny zónában, a képlékeny mechanizmus modelljének kalibrálásához és a nemlineáriseltolás-módszerrel való vizsgálathoz. A tanulmány kétdimenziós keretszerkezetek [3] nemlineáriseltolás-módszeren alapuló előzetes vizsgálataira támaszkodik, kétféle gerendaoszlop-csatlakozás figyelembevételével. A képlékeny csuklók meghatározásához a végeelemmodellből kiolvasott, képlékeny nyomtatéki ellenállás volt alkalmazva.

Kulcsszavak: hidegen hajlított szerkezetek, numerikus vizsgálat, képlékeny mechanizmus, eltolásmódszer, képlékeny csuklók.

1. Bevezetés

A vékony falú, hidegen hajlított acélelemek egyre elterjedtebbek az építőiparban, mivel előnyös tulajdonságokkal rendelkeznek, mint például az

egyszerűbb gyártási folyamat, a magas szilárdság-tömeg arány, valamint a sokoldalúság a felhasználásukban. Ezen elemeket széles körben használják szerkezeti megoldásokhoz, a másod-

lagos teherhordó elemektől kezdve a fő szerkezeti komponensekig, az alacsony és középmagas épületekben [4]. A hidegen hajlított elemek között a háttal fordított, dupla C szelvények egyre nagyobb figyelmet kapnak, mivel hatékony megoldást kínálnak a hajlítási és nyomási terhelésekre az épületszerkezetekben [5].

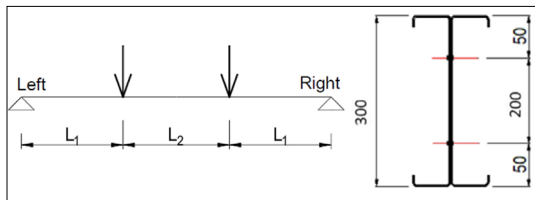
Bár léteznek már kialakított tervezési szabványok, mint például az EN 1993-1-3 [6], amelyek iránymutatásokat adnak az acélszerkezetek tervezésére, ezen összekapcsolt keresztmetszetek kapacitásának számítása gyakran konzervatív eredményekhez vezet, összehasonlítva a numerikus vizsgálatokkal és a kísérleti eredményekkel [5]. Például, az Eurokód 3 [6] szerint a hidegen hajlított szerkezetek számításait a rugalmas tartományban kell végezni, ami azt jelenti, hogy a nemlineáris eltolásmódszer nem alkalmazható a földrengéshatás vizsgálata során. Azonban számos kutatás [7, 8, 9] bemutatta ezen keresztmetszetek képlékeny mechanizmusok kialakítására való képességét, amelyek energiaelnyeléshez vezethetnek. Ez a különbség rávilágít arra, hogy további vizsgálatokra van szükség ezen elemek szerkezeti viselkedésére való tekintettel, tiszta hajlítási vagy kombinált terhelési feltételek, mint a nyomás és hajlítás esetén.

Ez a kutatás a háttal illesztett dupla C szelvények viselkedését vizsgálja tiszta hajlítási terhelés során, végeelem-analízist alkalmazva, a gerendák alakváltozásának és végső terhelésének meghatározása érdekében. Az eredményeket egy előzetes, nemlineáris eltolásmódszerrel történő vizsgálathoz használtuk kétdimenziós, többemeletes keretszerkezetek esetén.

2. A kutatás tárgya

A tanulmány egy háttal illesztett, dupla C szelvényű gerendára összpontosított, amely négy pontú hajlításnak volt kitéve, ahogy az 1. ábra bal oldalán látható. Ez a terhelési elrendezés tiszta hajlítási zónát hoz létre a gerenda középső szakaszában.

Az 1. ábra jobb oldalán az összetett, dupla C szelvények magassága és a ponthegeztések pozíciója látható. A belső sugár 3 mm, a vastagság 3 mm, a felső öv szélessége 86 mm, míg a merevítőhossza 33 mm. A figyelembe vett anyagminőség S350G+Z, melynek folyáshatára 350 N/mm². A végeelem-analízishez alkalmazott anyagi görbe négy lineáris szakaszból álló modell, a prEN1993-1-14 szabványtervezet [10] szerint.



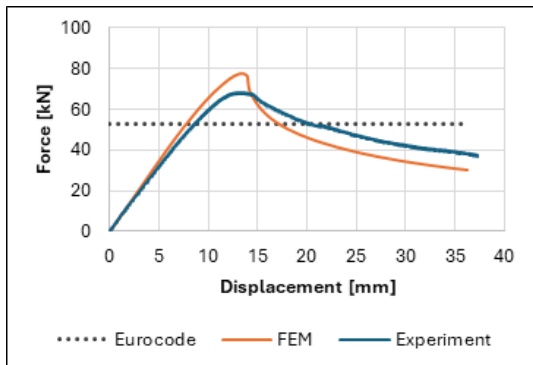
1. ábra. A kísérleti teszt statikus sémája és a keresztmetszeti jellemzők

3. Módszertan

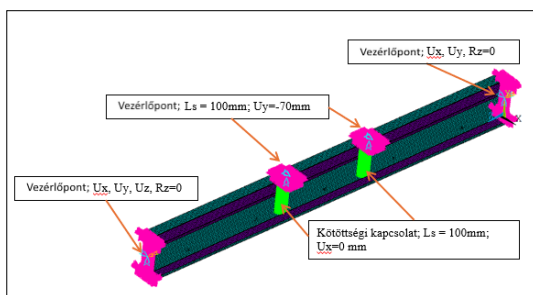
3.1. Korábbi végeelemes vizsgálatok

A dupla C300×3 keresztmetszetű szelvényének numerikus vizsgálatát a szerzők korábbi kutatásai alapján folytattuk, amelyeket az alábbiakban röviden ismertetünk. Az előző kutatás [11] négy pontú hajlításnak kitétt, összetett, dupla C szelvények tönkremeneteli módjait vizsgálta a profilok teherbírásának megismerése érdekében. A kutatás célja az volt, hogy feltárja ezen vékony falú, hidegen hajlított acélidomok szerkezeti választását olyan numerikus vizsgálatokkal, amelyeket a Temesvári Műszaki Egyetemen végzett kísérleti tesztek visszaigazoltak. A végeelem-vizsgálatot az Ansys Mechanical APDL szoftverrel végezték, három modell típust vizsgálva: T1 (az összetett dupla C profilokat egyetlen I-szelvényként kezelve), T2 (az összetett profilokat külön gerinccel modellezve) és T3 (külön gerinceket véelve figyelembe, és egy acéllemezeken keresztül terhelve a modellt). A modellezéshez SHELL281 elemeket használtak, és kísérleti teszteredményekkel igazolták őket. Háromféle anyagmodellt használtak: kétszakaszos Ramberg-Osgood-modellt, négy lineáris szakaszból álló anyagmodellt, és valódi feszültségdeformáció-modellt, szakítótesztek alapján. Egy hálósűrűségekre való érzékenységi vizsgálat megerősítette, hogy a modellek nem érzékenyek a 15 mm-nél kisebb hálóméretekre.

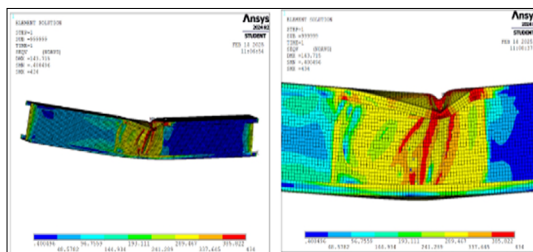
Az összehasonlító vizsgálat során hét végeelemmodellt hasonlítottak össze a kísérleti eredményekkel és az Eurokód 3 [6] szerinti számításokkal. A legpontosabb numerikus vizsgálatot az ASCCS2025 konferencián mutatták be Hong Kongban (lásd a 2. ábrát), amelyen egy T2-típusú modell valódi feszültségdeformációs anyaggörbét használták a számolások során. A modellek nem tartalmaztak tökéletlenségeket, és nem vették figyelembe a faelemek csúszásának hatását, amelyeket a kísérleti tesztek során a gerincek oldalirányú elmozdulásának megakadályozására alkalmaztak.



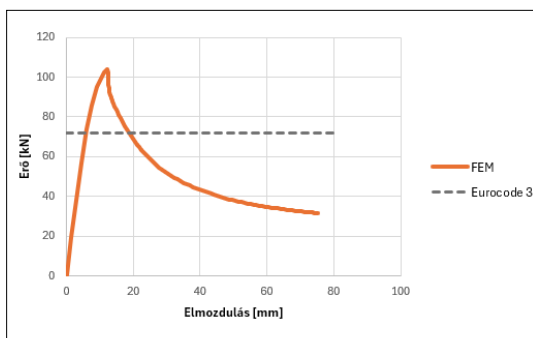
2. ábra. Erő-elmozdulás görbe az ASCCS2025 konferencia előadásából



3. ábra. A végelemmodellek fő elemei



4. ábra. A gerenda deformált alakja



5. ábra. Erő-elmozdulás görbe, összehasonlítva az Eurokód 3 [6] szerinti számításokkal

Az összetett, dupla C300×3 profilokra végzett kísérleti tesztek hiánya miatt a jelen tanulmányban bemutatott numerikus vizsgálatok folytatják az említett kutatást [11].

3.2. Az összetett, dupla C300×3 profilok numerikus vizsgálata

Az összetett, dupla C300×3 szelvények viselkedésének vizsgálata érdekében numerikus elemzést végeztünk, végeselemmódszerrel, az Ansys Mechanical APDL szoftverrel [12]. A dupla C profilok modelljének kialakítása során a korábbi fejezetben bemutatott tanulmány és az előadás tapasztalatai lettek figyelembe véve. Csak egy konfigurációt vizsgáltunk, ahol az összetett, dupla C profilok gerincei ponthegeztéssel lettek összekapcsolva, és az elmozdulásokat közvetlenül a felső övre alkalmaztuk. Szakítóvizsgálat hiányában a négy lineáris szakaszból álló anyagmodellt használtuk.

A numerikus modellek alapvető elemei a 3. ábrán láthatók, amelyek hasonlóak a korábbi kutatásban [11] használt modellekhez. A támasztási feltételeket a kötöttségi kapcsolatok (CP) vezérlőpontjaira (PN) alkalmaztuk a gerenda végein. Az elmozdulásokat ($U_y = -70$ mm) a C profilok felső övére alkalmaztuk 100 mm hosszú sávokban ($L_s = 100$ mm). A terhelési sáv alatti gerincszakaszon a csomópontokat összekapcsoltuk, és megakadályoztuk ezeknek az oldalirányú ($U_x = 0$) elmozdulását. Korábbi kísérleti tesztekhez fatömböket használtak ennek az oldalirányú elmozdulásnak az elkerülésére.

A 2C300×3 szelvények numerikus elemzéséhez a legtöbb helyen 10 mm-es hálóméretet alkalmaztunk, míg a lekerekített sarkoknál 2 mm-es hálót használtunk.

4. A végelem-vizsgálat eredményei

Az ANSYS-ban végzett szimuláció során megkaptuk a 2C300×3 profilok deformációs mintázatát, a lokalizált feszültségkoncentrációkat és a szerkezet teljes viselkedését a rájuk alkalmazott terhelések alatt. A 4. ábra kiemeli a maximális ekvivalensfeszültség (SEQV) zónáit, különösen a deformáció középpontjánál, ahol jelentős hajlítás történik. A deformációs forma hasznos információkat nyújt a képlékeny mechanizmus algoritmusának kidolgozásához a további kutatások során.

Az 5. ábra mutatja az erő-elmozdulás görbe összehasonlítását az Eurokód 3 [6] alapján, statikai számításokat végző szoftverből kapott maximális teherbírással. A numerikus módszerrel és az Eurokód 3 [6] alapján történő számításokkal kapott

1. táblázat. A maximális teherbírás összehasonlítása

	Végeselemmodell [kN]	Eurokód 3 [kN]
Maximális teherbírás	103.74	72
Különbség	30.6%	

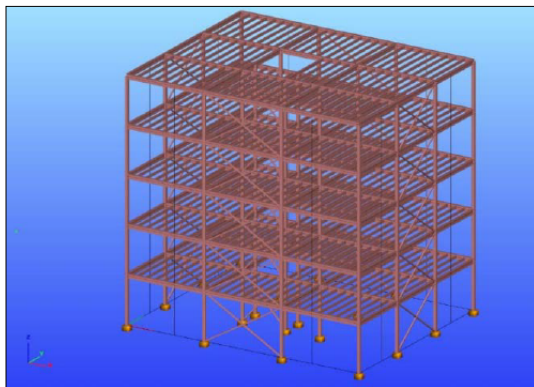
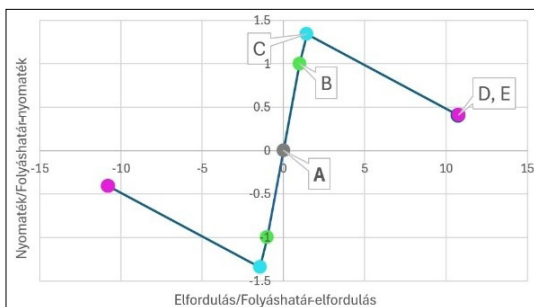
végso terhelések között 30,6%-os különbség van (lásd az **1. táblázatot**). Az erőket a támaszokból származó reakcióerők átlagaként határoztuk meg, lehetővé téve azok összehasonlítását a képlékeny mechanizmus görbéjével a további kutatások során.

5. Előzetes nemlineáriseltolás-vizsgálatok

Mivel a képlékeny deformációk általában a hidegen hajlított acélszerkezetek fő szerkezeti elemeiben (gerendák és oszlopok) következnek be, nem pedig a kapcsolati elemekben, az itt bemutatott numerikus eredmények használhatók egy többemeletes vázszerkezetnek egy előzeteseltolás-módszerrel történő vizsgálatához. A Nagy Zsolt és szerzőtársai által publikált cikkben [3] szereplő szerkezetet vettük a vizsgálataink alapjául (**6. ábra**), ahol a térszerkezet oszlop-gerenda csatlakozását tárgyalták. Ebben a fejezetben az eltolásmódszerrel végzett vizsgálat egyetlen elszigetelt, belső, kétdimenziós vázszerkezetre összpontosít a térszerkezetből. Az oszlopok melegen hengerelt zártszelvényekből állnak, míg a gerendák hidegen hajlított, összetett 2C300 profilokból.

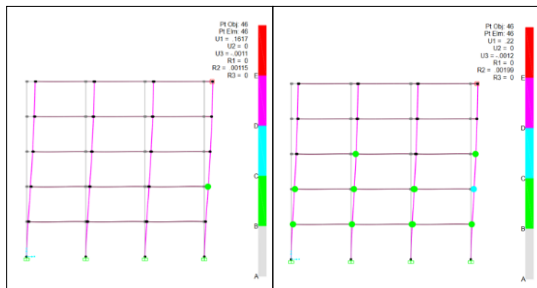
A nemlineáriseltolás-módszerrel történő vizsgálat egy szerkezet energiaelnyelését kutatja a szeizmikus terhelések hatására, képlékeny csuklók segítségével, melyek a nyomaték-elfordulás görbék által vannak meghatározva. Ez egy statikus, nemlineáris elemzés, amely azt vizsgálja, hogy egy épület mennyire képes átkerülni a képlékeny tartományba, mielőtt elérné a teljes vagy részleges összeomlás küszöbét. Hidegen hajlított acéldomok esetén ezek a képlékeny csuklók inkább lokális képlékeny mechanizmusokként viselkednek a szerkezeti elemekben.

A gerenda-oszlop csatlakozások merevsége kulcsfontosságú tényező a sikeres eltolásmódszerrel történő vizsgálatokhoz, mivel a csatlakozás merevségének növelése javítja a képlékeny csukló (vagy lokális képlékeny mechanizmus) kialakulásának képességét. Ebben a tanulmányban két fő kategóriát vizsgáltunk a kapcsolatok merevsége alapján: egyik csoport a merev, a másik

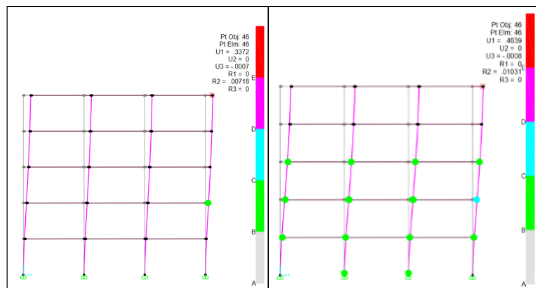
**6. ábra.** A referenciaszerkezet [3]**7. ábra.** Normalizált nyomaték-elfordulás görbe a gerendák képlékeny csukloíhoz

meg a félmerev kapcsolatok. A félmerev kapcsolatok merevségét az IdeaStatica szoftver [13] segítségével határoztuk meg, míg a nemlineáriseltolás-módszerű vizsgálatokat a SAP2000 szoftver [14] segítségével végeztük.

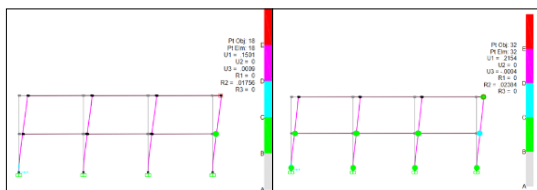
A gerenda képlékeny csuklóira meghatározott nyomaték-elfordulás görbe a **7. ábrán** látható, míg az oszlop esetében a képlékeny csuklót automatikusan határozta meg a szoftver. A **7. ábrán** a görbe a hajlítónyomaték és a folyáshatáron meghatározott hajlítónyomaték, valamint az elfordulás és a folyáshatáron történő elfordulás arányában van kifejezve, amelynek a B pontja 1-es értéket képvisel, ami a folyáshatárt jelöli. A C pont a végso kapacitást jelzi, míg a D és E pontok a maradék szilárdságot és a teljes tönkremenetelt reprezentálják. Mivel a maradék szilárdságot nem vesszük figyelembe ebben a tanulmányban, a D pont megegyezik az E ponttal. A pushover-módszerrel történő elemzéseket kétdimenziós, többemeletes vázszerkezetekre végeztük el, különböző számú emeletekkel (1, 2, 3 és 4), oldalirányú terhelés alatt, amelyet a helyettesítő vízszintes erők módszerével számítottunk ki a P100/2013 [15] szerint.



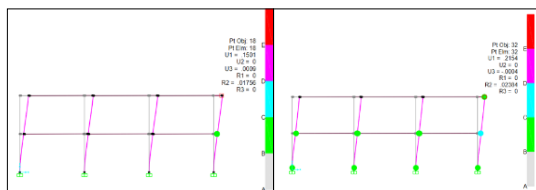
8. ábra. A 4 emeletes vázszerkezet keretének az eltolásvizsgálata merev csomópontokkal



9. ábra. A 4 emeletes vázszerkezet keretének az eltolásvizsgálata félmerev csomópontokkal



10. ábra. 1 emeletes vázszerkezet eltolásvizsgálata merev csomópontokkal



11. ábra. 1 emeletes vázszerkezet eltolásvizsgálata félmerev csomópontokkal

A legmagasabb szerkezet esetében az első, merev oszlop-gerenda kapcsolat folyása (B pont) a 22. lépésben következik be, 151,7 mm-es elmozdulással a jobb felső sarokban (a 8. ábra bal oldalán). Amikor az egyik csomópont eléri a C pontot (végső teherbírás), az elmozdulás a 28. lépésben 220 mm-re nő (a 8. ábra jobb oldalán).

A félmerev kapcsolatok esetében a folyás sokkal korábban, a 2. lépésben következik be, 337,2 mm-es elmozdulással (a 9. ábra bal oldalán). A csukló görbéje a C pontot a 3. lépésben éri el, 463,9 mm-es elmozdulással (a 9. ábra jobb oldalán).

A legalacsonyabb szerkezet (egyelemetes vázszerkezet) esetében, amikor a csatlakozások teljesen merevek, a maximális elmozdulás az első folyási pontnál 71 mm, amely a 10. lépésben következik be (a 10. ábra bal oldalán). A végső kapacitásnál az elmozdulás 98,4 mm-re nő a 13. lépésben (a 10. ábra jobb oldalán).

A félmerev csomópontok esetében a maximális elmozdulás a folyási pontnál 150 mm, amely már az 1. lépésben bekövetkezik (a 11. ábra bal oldalán). A maximális kapacitásnál az elmozdulás 215,4 mm-re nő a 3. lépésben (a 11. ábra jobb oldalán).

6. Összefoglalás és következtetések

A 2C300×3 profilok végeelem-vizsgálatával meghatároztuk az erő-elmozdulás görbe végső teherbírasi pontját. Az eredményeket összehasonlítottuk az Eurokód alapján történő számításokkal,

és több mint 30%-os eltérést találtunk a végső teherbírásban. Ezt a teherbírászt használtuk fel a képlékeny csukló görbéjének a meghatározásához egy előzetes nemlineáris eltolás-vizsgálathoz. Majd nemlineáris eltolás-vizsgálatokat végeztünk kétdimenziós vázszerkezeteken, különböző kapcsolati merevséggel, különböző számú emeletekre. Az elmozdulások igazolják, hogy ha a reális kapcsolati merevséget alkalmazzuk (félmerev kapcsolatok), akkor a szerkezetek jelentősen nagyobb rugalmasságot mutatnak, mint a merev csatlakozású megközelítés. Ezért a félmerev viselkedés figyelembe nem vétele a szerkezeti elemzésben túl optimista eredményekhez vezethet, amelyek nem tükrözik a valós szerkezeti viselkedést. Másrészt, a szerkezet-burkolat kölcsönhatás kompenzálhatja a félmerev csatlakozások miatt csökkent oldalirányú vázmerevséget, de megfelelő szerkezeti modellek szükségesek ahhoz, hogy a burkolat hozzájárulása megfelelő oldalirányú merevséget adjon a szerkezetnek vízszintes terhelések alatt.

A jövőbeli kutatások a modellezés fejlesztésére összpontosítanak, hogy olyan megoldásokat találjanak, amelyek javítják a megfelelő szerkezeti merevséget, a tárcsahatás segítségével. A további kutatások során analitikus számításokkal meghatározott képlékeny csuklókat fogunk alkalmazni, hogy feltárjuk a képlékeny mechanizmusokat leíró algoritmusok alkalmazásának lehetőségét az eltolásvizsgálatok során.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek e külső kutatási projekt keretében nyújtott támogatásáért, valamint az Előfutár Szövetségnek a főszerző támogatásáért a Székely Előfutár Ösztöndíjprogrammal.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] EN 1993 1-3: Design of Steel Structures – Part 1-3: General Rules – Supplementary Rules for Cold-Formed Members and Sheeting, 2006.
<https://doi.org/10.2478/mtk-2018-0002>
- [2] Kotelko M. et al.: *Structural Behaviour of TWCFs Back-to-Back Lipped Channel Section Members under Bending – Numerical and Experimental Study*. Proc. of the 13th international conference on advances in steel-concrete Composite structures (ASCCS 2024), Hong Kong Polytechnic, 2024. 423–426.
- [3] Nagy Zs., Gília L., Neagu C.: *Experimental Investigations of Cold-Formed Joints for Multi-Storey Steel Framed Structures*. Proceedings of the Romanian Academy, Series A, 18/3. (2017) 256–264.
- [4] Kotelko, M., Grudziecki, J., Ungureanu, V., Dubina, D. (2021). *Ultimate and Post-Ultimate Behaviour of Thin-Walled Cold-Formed Steel Open-Section Members under Eccentric Compression*. Thin-Walled Structures, 169. (2021) 108366.
<https://doi.org/10.1016/j.tws.2021.108366>
- [5] Czechowski, L., Kotelko, M., Jankowski, J., Ungureanu, V., Sanduly, A. (2025). *Strength Analysis of Eccentrically Loaded Thin-Walled Steel Lipped C-Profile Columns*. Archives of Civil Engineering, 69/3. (2023) 301–316.
<https://doi.org/10.24425/ace.2023.146082>
- [6] EN 1993 1-1: Design of Steel Structures – Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, 2005.
- [7] Bakker, M. C. M.: *Yield Line Analysis of Post-Collapse Behavior of Thin-Walled Steel Members*. Heron vol. 35, 1990, no.3.
- [8] Hiriyur, B. K. J., Scafer, B. W.: *Yield Analysis of Cold-Formed Steel Members*. Steel Structures, 5. (2005) 43–54.
- [9] Kotelko, M.: *Load-Capacity Estimation and Collapse Analysis of Thin-Walled Beams and Columns-Recent Advances*. Thin-Walled Structures 42/2. (2004) 153–175.
[https://doi.org/10.1016/S0263-8231\(03\)00055-7](https://doi.org/10.1016/S0263-8231(03)00055-7)
- [10] prEN 1993 1-14: Design of Steel Structures – Part 1-14: Design Assisted by Finite Element Analysis, 2023.
- [11] Kotelko, M., Sánduly, A. Ungureanu, V. *Structural Behaviour of Twice Back-to-Back Lipped Channel Section Members under Bending – Numerical and Experimental Study*. Proceedings of the 13th Int. Conf. on Advances in Steel-Concrete Composite Structures (ASCCS 2024), Hong Kong, China, 2024.
- [12] ANSYS Mechanical APDL (2024R1), ANSYS Inc., Canonsburg, Pennsylvania, ANSYS, Inc., 2024.
- [13] IDEA StatiCa (24.1), IDEA StatiCa s.r.o., Brno, Czech Republic, 2024.
- [14] SAP2000 (26), Computers and Structures Inc. (CSI), Berkeley, California, USA, 2024.
- [15] P100 (2013) *Cod de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru cladiri*. UTCB, 2013, Bucuresti, Romania.



VULKANIZÁLÓPRÉS ÁTALAKÍTÁSA

CONVERSION OF VULCANISATION PRESS

Skorcov Gergő,¹ Szigeti Ferenc²

¹ Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártás-technológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, skorcov13@gmail.com

² Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártás-technológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, szigeti.ferenc@nye.hu

Abstract

The topic of this thesis is the modification and modernization of a vulcanizing press. First, the necessity of modifying the vulcanizing press is thoroughly justified, followed by a presentation of the modernization process steps, analyzing the requirements, expected outcomes, and benefits. During the modification, a frequency-controlled three-phase electric motor replaced the pneumatic cylinder in the new design. This motor transmits power to the input shaft via a worm gear, which is connected to the rotating shaft through a rubber plug coupling. The rotating shaft was fitted with new bearings, which were installed in a custom-made bearing housing. The thesis provides a detailed explanation of how the pneumatic rotary actuators of two press travel beams were converted to electric operation. After designing the necessary components for modernization, the manufacturing technology was also developed. A schedule was created for constructing the new design, based on which the vulcanizing press was successfully modified. The article also reports on operational experiences following the modification.

Keywords: : machine design, automation, energy saving.

Összefoglalás

A dolgozat témája vulkanizálóprés átalakítása, korszerűsítése. Elsőként részletes indokoljuk a vulkanizálóprés átalakításának szükségességét, majd bemutatásra kerülnek a korszerűsítési folyamat lépései, elemezzük a követelményeket, az elvárt eredményeket és előnyöket. A berendezés átalakítása során az új konstrukcióban egy frekvenciaváltóval vezérelt, háromfázisú villanymotor vette át a munkahenger szerepét. Ez a motor egy csigahajtóművön keresztül viszi át a hajtást a bemenő tengelyre, amely egy gumidugós tengelykapcsolóval kapcsolódik a forgatótengelyhez. Erre a tengelyre új csapágyazás került, ezzel történt a csapágyak beépítése egy egyedileg gyártott csapágyházba. Dolgozatomban részletes bemutatásra kerül, hogyan került átalakításra két prés pneumatikus, fordítóműves utazógerendája elektromos működtetésűre. A korszerűsítéshez szükséges alkatrészek megtervezése után kidolgozásra került a gyártástechnológiájuk is. Az új konstrukció elkészítéséhez ütemterv készült, amely alapján a vulkanizálóprés átalakítása megvalósult, így a cikkben az átalakítást követő üzemeltetési tapasztalatokról is beszámolhatunk.

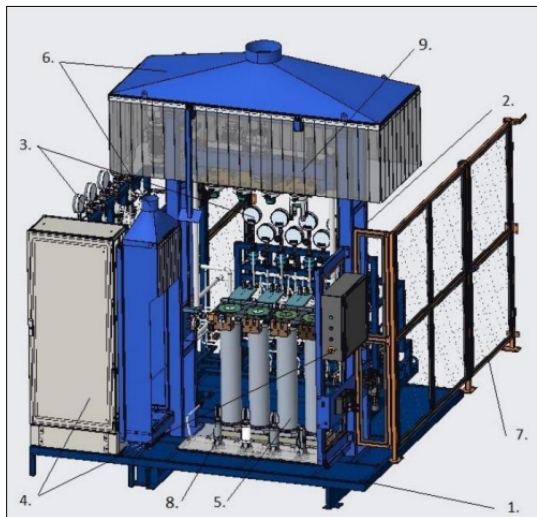
Kulcsszavak: géptervezés, automatizálás, energiamegtakarítás.

1. Bevezetés

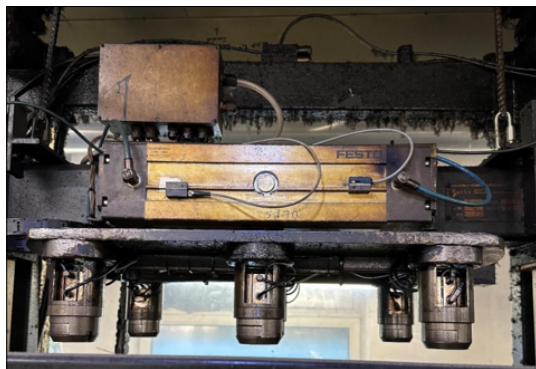
A vulkanizálóprés bemutatása

Az átalakításra választott berendezés egy háromkamrás vulkanizálóprés, ahol hengeres lég-rugók gyártása folyik (1. ábra). A berendezés két fűtőkörrel rendelkezik, amelyben egy ún. balg-

szerű gumielem választja el a két teret. A termék felépítéséhez felépítőgépeket használunk, amelyekhez szervizerek is tartoznak. A szervizerek olyan gépek, amelyeken tekercsekben tudjuk tárolni és adagolni a gumifilmet és szövetet is. A megfelelő hosszúságú és szögű gumielem vá-gása itt történik, ez a jelenlegi üzemben automa-



1. ábra. A vulkanizálóprés felépítése 1. alapkeret, 2. gépváz, 3. technológiai állványok (2 db), 4. villamos szekrények, 5. vulkanizálókamrák (4 db), 6. elszívóernyő (2 db), 7. védőkerítés, 8. elhűtőegységek (4 db), 9. utazógerenda



2. ábra. Az utazógerenda

tikusan történik, de vannak kézi vezérlésűek is. Ennek végrehajtása során a dolgozó a gumielemet a hevederre helyezi, itt a pozicionálást egy lézerekivetítő segíti. A kivetítő a heveder fölött helyezkedik el, és egyszerű vonalábrát vetít a hevederre azért, hogy mindig a megfelelő geometriájú termék készüljön el. A program és a heveder léptetése egy lépésben, lábpedállal történik. Az itt gyártott légrugók különlegessége még az, hogy felépítőcsöveket használunk, amelyeket később a vulkanizálóprés automatikusan helyez a kamrákba. A vulkanizálás folyamata úgy történik, hogy először egy előre meghatározott nyomáson és idő alatt sűrített levegővel a terméket a felépítőcsőre simítjuk. Ez azért fontos, hogy a felépítés folyamán esetlegesen keletkező levegőbuborékokat megszüntessük. A következő lépésben bevált a gőzszabályozó szelep, és megtölti az első teret gőzzel, a kívánt nyomás elérése után pedig a következő szelep vált be, és így ott is lezajlik a folyamat. Itt elindul a vulkanizálási folyamat, és a receptben előre meghatározott idő után elkészül a kész termék. A gép ilyenkor automatikusan kiveszi a készterméket, majd a következő lépésben a hűtőtűskékről már felveszi a még nyers termékeket, és azt helyezi a gépbe.

2. Az átalakított részegység bemutatása

Az utazógerenda a felépítőcsövek, illetve a gumibalg cső ki- és beemelését biztosítja. Az utazó-

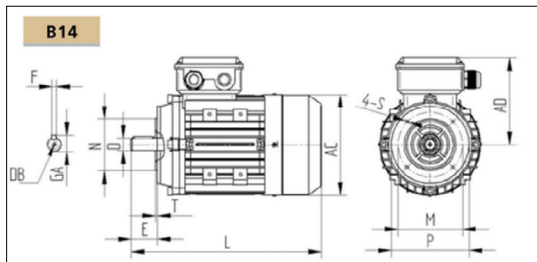
gerenda mozgását két pneumatikus munkahenger végzi, és egy láncos zuhanásgátló szerkezettel van ellátva. A gerenda vezetését pozicionálható vezetőoszlopok biztosítják. Az utazógerendán található asztal fordítása hajtómű segítségével történik. Ezt a régi konstrukcióban (2. ábra) egy pneumatikus fordítómű végezte, viszont az újban már villanymotorosan történik. Az asztal véghelyzetekben történő reteszelve pneumatikus működtetésű munkahengerrel valósul meg. Az asztal alsó felületén került elhelyezésre a három-három darab (az újabb vulkanizálóprésen már négy-négy) megfogókészülék. Az új gépeken kétféle megfogópofa létezik, erre később részletesen a fejlesztési javaslatok részben térünk majd ki.

3. A vulkanizálóprés átalakításának tervezése

Az átalakítás szükségessége nemrég fogalmazódott meg, mert a cég évente tart olyan megbeszéléseket, amelynek a célja a költségcsökkentés, illetve az egyre kevesebb károsanyag-kibocsátásra való törekvés. Éghajlatunk védelméért elengedhetetlen feladatunk, hogy 2 Celsius-fok alá csökkentsük a globális felmelegedés mértékét, ezért a Continental azt a célt tűzte ki, hogy 2050-re teljesen szén-dioxid-semleges módon folytatja működését. Így megszületett a döntés, amely szerint a jelenlegi pneumatikus fordítóműves utazógerendát elektromos működtetésűre alakítjuk át. Ez nemcsak költségcsökkentési, illetve környezetvédelmi szempontokból jelentene előnyt, de így könnyedén megoldható a fordítás alkalmával a véghelyzeti csillapítás is. A fordítóhenger már egy elavult konstrukciónak számít, mert meghibásodás esetén a javítása hosszú gépálláshoz vezetne. Ezzel az átalakítással így két feladatot is megold-



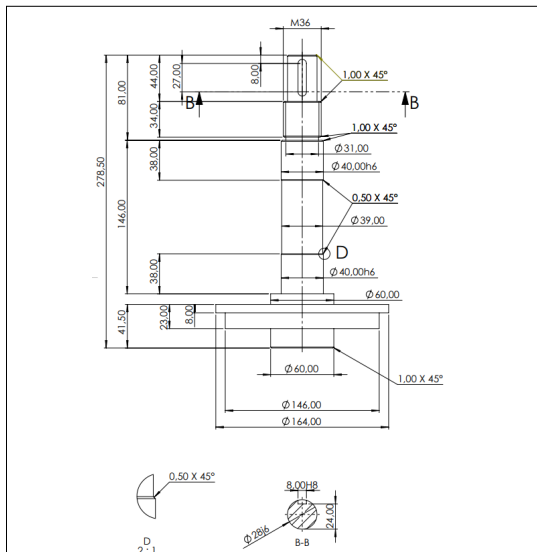
3. ábra. Gépelettartam és -teljesítmény



4. ábra. A kiválasztott villanymotor



5. ábra. Lassító áttételű csigahajtómű



6. ábra. A forgótengely

dunk, hiszen a jövőbeli gépállások időtartalmát is csökkenthetjük (3. ábra).

4. Új konstrukció kidolgozása

A tervezési folyamat első lépéseként a meglévő távolságokat lemértem, hiszen ezek adott méretek voltak, a prés többi részét nem szerettük volna módosítani. Így a megadott távolságra a fordítóhenger helyére egy csapágyházat terveztem, amelyben két különböző csapágyat helyeztem el. Az egyik csapágy egy toroidgörgős csapágy, ennek célja, hogy a kimagaslóan nagy radiális terheléseket könnyen lekezelje a gép, a másik csapágy pedig egy egyszerű, kúp-görgős csapágy, amely pedig felveszi az egyirányú, axiális terheléseket. Ezzel a csapágy párossal mindkét irányú terhelést biztonságosan felveszi a fordítóművünk.

4.1. Villanymotor kiválasztása

A feladatra a magyar piacról választottam gyártót, és törekedtem a megbízhatóság mellett arra is, hogy olcsó és energiahatékony legyen a beruházás. Így a választásom az alábbi háromfázisú villanymotorra esett (4. ábra):

Típusa: Agisys TMS 712-6 B14 [1]

$P = 750 \text{ W}$

$n = 925 [1/\text{perc}]$

Továbbá, a fordulatszám csökkentése érdekében választottam hozzá egy lassító áttételű csigahajtóművet (5. ábra) is.

Típusa: Bonfiglioli VF 49 P1 45 P71 B14 B3 [2]

$i = 45$

4.2. A tengely anyagának kiválasztása

Miután sikeresen kiválasztottam a hajtást, következett a tengely méretezése, anyagának kiválasztása. A jelentős terhelések figyelembevételével nagy szilárdsággal és szívóssággal rendelkező acélt választottam: 42CrMo4 (1.7225 → EN 10250), amelyet előszeretettel használnak az autóiparban is, tengelycsuklók, hajtótengelyek és formszerszámok gyártására is. Főbb mechanikai jellemzői:

$R_m = 1100 \text{ MPa}$

$R_{p0.2} = 750 \text{ MPa}$

4.3. Tengely méretezése

A tengelyt klasszikus számítási módszerekkel méreteztem összetett igénybevételre. A kiválasztott anyag típusnak (42CrMo4) megfelelő megengedett feszültséget vettem figyelembe, háromszoros biztonsági tényezővel számoltam ($\sigma_{meg} = 250 \text{ MPa}$), amellyel a minimális tengelyátmérő $d = 21,03 \text{ mm}$ -re adódott. A forgótengely geometriáját a 6. ábrán mutatjuk be.

A retesz hosszának meghatározása kétféle (t_1 , t_2) felületi nyomás figyelembevételével történt, ill. elvégeztem a nyíró igénybevételre való ellenőrzést is. A retesz hossza így 35 mm-re adódott.

4.4. Csapágyak méretezése

A 4.3. pontban leírt méretezés alapján, a szabványos csapágyméreteket figyelembe véve $d=40\text{ mm}$ átmérőjű csapágyat választottam. Mivel axiális és radiális irányban is kap terhelést a tengely, ezért a választott csapágy pár egy toroidgörgős csapágyból és egy kúpögögős csapágyból áll. A megfelelő számítások végrehajtása után az alábbi alapterheléseket kaptuk:

$$C_1 = 21,42 \text{ kN}$$

$$C_2 = 47,43 \text{ kN}$$

Így a választott csapágyak:

- SKF C 2208 V - telegörgős CARB toroidgörgős csapágy [3]

- SKF 33208 - Egysorú kúpögögős csapágy [4]

Az alsó tengely további méreteit a jelenlegi gép paraméterei adták, hiszen a függőleges mozgást végző pneumatikus munkahengert nem változtattuk meg, ahogy a vulkanizálókamrák magassága is adott volt (8. ábra). Szükség volt még a csapágyház megtervezésére. Ennek a rögzítése hegesztéssel történt a gép keresztartó zártszelvényéhez, melytől való távolság szintén fix volt, hogy a forgás tengelye ne mozduljon el. Így, már ezek alapján meg tudtuk határozni a csapágyház méreteit, amelyhez készítettem csapágyleszorító fedelet is, illetve a csapágyak közé távtartó csöveket helyeztem el (9. ábra).

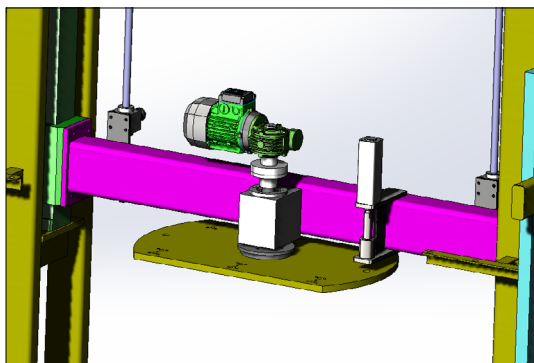
5. A vulkanizálóprés átalakításának komplex kidolgozása

A tervezési folyamat első lépéseként a meglévő távolságokat lemértük, hiszen ezek adott méretek voltak, a prés többi részét nem szerettük volna módosítani. Így a megadott távolságra, a fordítóhenger helyére egy csapágyházat terveztem, amelyben két különböző csapágyat helyeztem el: az egyik csapágy egy toroidgörgős csapágy, ennek a célja, hogy a kimagaslóan nagy, radiális terheléseket könnyen lekezelje a gép, a másik csapágy pedig egy egysorú, kúpögögős csapágy, amely pedig felveszi az egyirányú, axiális terheléseket. Ezzel a csapágypárossal mindkét irányú terhelést könnyen kibírja a fordítóműünk (7. ábra).

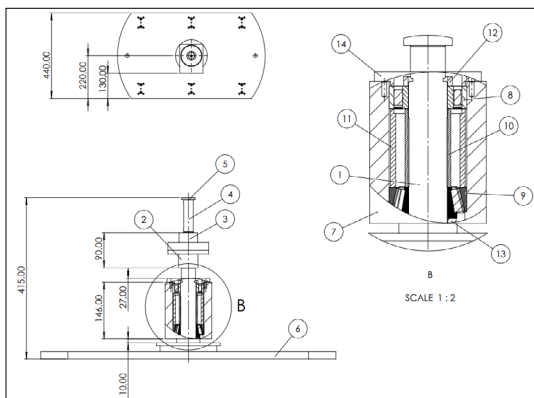
A csapágyház rögzítését a gépházhoz hegesztéssel oldottam meg, a csapágyak pozicionálása pedig távtartókkal, illetve csapágyleszorító fedéllel történt. A forgó lemezhez az alsó tengelyt csavar-kötéssel rögzítettem, ezen a tengelyen találhatóak



7. ábra. A választott toroidgörgős és kúpögögős csapágy

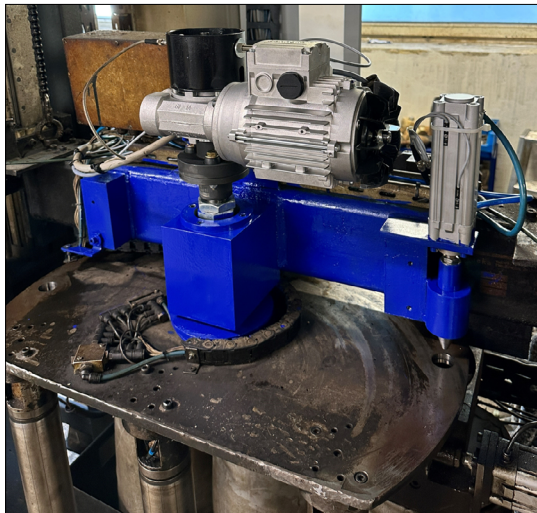


8. ábra. Új konstrukció SolidWorks-modellje

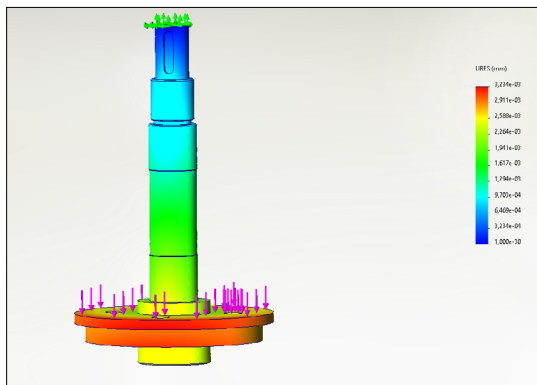


9. ábra. Csapágyház

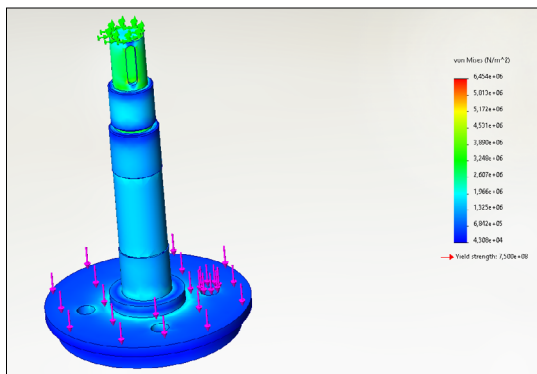
a csapágyak. A tengely szabad másik vége egy gumidugós tengelykapcsolóhoz csatlakozik, amelyben a rögzítés reteszhoronnyal és hernyócsavarral történik. A gumidugós tengelykapcsoló másik feléhez a csigahajtóműbe bemenő tengely kapcsolódik hasonló módon. A csigahajtóműhöz pedig a háromfázisú villanymotor kapcsolódik,



10. ábra. Az elektromos működtetésű fordítóműves utazógerenda



11. ábra. Az alsó tengely lehajlása



12. ábra. A fordítómű tengelyében ébredő feszültségek

amelynek a fordulatszámát egy frekvenciaváltóval szabályozzuk. Az új konstrukciójú fordítómű megfelelő működtetéséhez az alábbi változtatásokra volt még szükség: Egy olyan érzékelőt kellett felszerelni, amely a tengely elfordulását figyeli. Továbbá a fordítóműnek két véghelyzete volt, így eddig nem volt szükséges az elfordulás elleni reteszelés, viszont az átalakítás után szükségessé vált az elfordulás elleni biztosítás. A megoldás egy olyan reteszeltengely beépítése volt, amelyet egy pneumatikus munkahenger mozgat (8. ábra). Továbbá a frekvenciaváltót el kellett helyezni egy új kapcsolószekrényben, mert a régiben már nem fért el. Ennek a kábelezését, illetve a PLC-program módosítását is el kellett végezni (10. ábra).

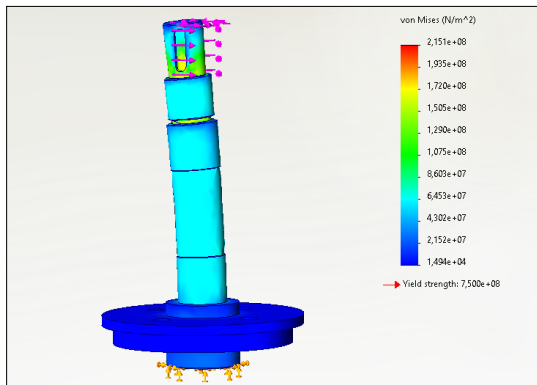
6. Végeselem-analízis

A fordítóműtengely méretezésének ellenőrzésére végeselem-analízist végeztem. Az alsó tengely lehajlását és a benne ébredő feszültséget vizsgáltuk 1500 N terhelés esetén. A terhelést a vulkanizálócsövek, illetve a lemez forgórésznyílásából számoltuk ki, amelyek az alsó tengelyhez kapcsolódnak. Ehhez kétszeres biztonsági tényezőt választottunk. A vizsgálat végrehajtása Solid-Worksben történt. Ahogyan a 11. ábrán is látható, a legnagyobb lehajlás a munkadarab alsó részében található, értéke 0,003 mm, amely elhanyagolható, a működést és a gyártási folyamatot nem befolyásolja.

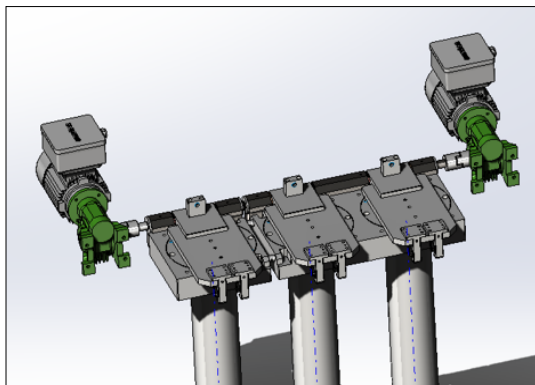
A fordítómű tengelyében a legnagyobb feszültség, a korábban számított értékkel összehangban, a legkisebb átmérőben ébredt, ennek értéke $6,454 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Ez a megengedett $7,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ alatt van, így megfelel (12. ábra).

A következőkben azt vizsgáltam meg, hogy a villanymotor nyomatéka milyen károkat okozna, ha esetlegesen megakadna valahogyan a fordítás folyamata, és maximális nyomaték terhelné a legszűkebb keresztmetszetet. Szimulációmban így a tengely alját befalaztam, és a korábban számolt csavarónyomaték kerekített értékével, 350 Nm-rel terheltem.

Ahogyan a 13. ábrán látható, a legnagyobb feszültség valóban a tengelykapcsolóba csatlakozó részt terheli, ennek értéke $2,15 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ volt, miközben a maximális megengedett feszültség a tengely anyagára $7,5 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$, így tehát a tengely erre is megfelel. A tengely így képes a ráterhelt súlyt deformáció nélkül megtartani, illetve esetleges géptörés, üzemzavar esetén képes elviselni a villanymotor által kifejtett maximális csavarónyomatékot.



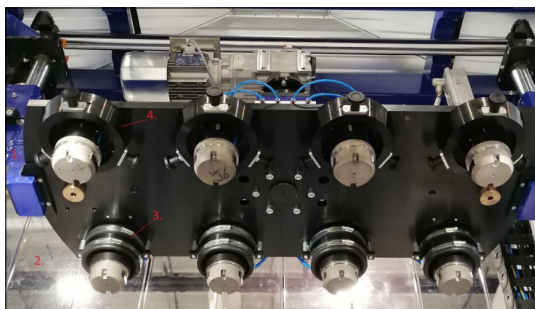
13. ábra. A fordítómű tengelyében ébredő feszültségek túlterhelés esetén



15. ábra. Fedélnyitó mechanizmus átalakítása



14. ábra. Pneumatikus munkahengerek



16. ábra. Az új prések megfogószerkezete

7. További fejlesztési lehetőségek és javaslatok a cég számára a vulkanizálóprés fejlesztésére

7.1. Fedélnyitó mechanizmus átalakítása

A további fejlesztési lehetőségek érdekében megvizsgáltam a gép további, pneumatikus működtetésű alkatrészeit, hogy esetleg mely mechanizmusokat lehetne villanymotoros vezérlésűvel kiváltani. Ami a legszembetűnőbb volt, hogy a kamrák zárása egyenként egy pneumatikus munkahengerrel történik (**14. ábra**).

Ezzel a konstrukcióval több probléma is volt: először is a pneumatikus munkahenger végszilapítás-tömítése a tartósan magas hőhatást nem bírta, ezért a csillapítás nem működik hosszú távon, így pedig ütősszerűen történik a zárás. Másodsorban a hegesztési varratok ridegsége miatt a konstrukció többször is eltört, ezeket gyakran

javítani kellett. Így ismét már több nyomós indok lenne a fejlesztésre. Az általam javasolt megoldás az lenne, hogy a kamrákat egy tengellyel kötném össze, amelyben a megfelelően beépített reteszek segítségével nyílnának a kamrafedelek, a tengely pedig egy gumibetétes tengelykapcsolóval csatlakozna a háromfázisú villanymotor csonkjához (**15. ábra**).

A fejlesztési terv szerint a kamratömbök is ki lennének cserélve. Elég nagy beruházást igényelne az átalakítás, így a 2024-es költségkeretbe nem fért bele a cégnél, de nincs elvetve az ötlet, hiszen nemcsak megtakarítással járna az átalakítás, hanem a gép élettartamát is meghosszabbítaná. Továbbá a fejlesztés megoldással szolgálna olyan problémákra is, mint a törött fedél vagy beszakadt csavarok által már menetjavítóval ellátott furatok megszüntetése.

7.2. Megfogószerkezetek átalakítása

Egy másik fejlesztési javaslat ötletét pedig az egyik új vulkanizálógépunk adta. Korábban még a vulkanizálóprés bemutatása pontban említettem, hogy az új préseknek más a megfogószerkezetük (**16. ábra**). Így kiegészült egy új funkcióval

a gép, mert létezik bennük egy úgynevezett készterméklehúzás-funkció. Az egyik sor alapvetően a felépítőcső megfogására képes (1.), míg a másik sor (2.) a felépítőcső megfogásán túl képes a termék megfogására is egy gumibalg (3.) segítségével. Azon a soron (1.), melyen kizárólag a felépítőcső megfogására képes szerszámok helyezkednek el, a megfogópofákhoz beépítésre került egy tartó (4.) is, mely a kamrákban lévő gumibalggal szerelt cső ki- és beemeléséhez szükséges készüléket, úgynevezett „koronát” képes fogadni. A termék lehúzás úgy történik, hogy a gép automatikusan megáll egy előre programozott magasságban, a gumibalgot felfújódnak, és az operátoroknak levegőpisztollyal a késztermék alsó részénél levegőt kell fújniuk a termék és a felépítőcső közé úgy, hogy közben a másik kezükkel, amelyen hőálló kesztyűt viselnek, kissé felfelé irányba tolják a terméket. Amikor kilépnek a veszélyes zónából (fényfüggönnyel elkerített területről), a zöld gomb megnyomásával a prés folytatja a folyamatot, és lerakja a felépítőcsöveket a hűtőtűskékre. Ezután a kocsizat ismét elindul felfelé, a korábbi magasságra, és közben lehúzza a terméket a csőről. Ezzel a módszerrel tovább lehet gyorsítani a folyamatot, hiszen jelenleg a már lerakott csövekről távolítják el a terméket egy hasonló folyamattal, ami nem éppen kényelmes. A fejlesztés nemcsak az automatizáltabb gyártási folyamat irányába tenne lépéseket, hanem biztonsági és ergonómiai problémákra is megoldást jelentene.

8. Következtetések

Az elmúlt időszakban két prés is sikeresen átalakításra került, amelyeknek minden lépését végig-

kísértük, kezdve az alkatrészek megrendelésével, külső vállalkozókkal való egyeztetésekkel, az alkatrészek gyártási folyamatának koordinálásáig. Az átalakítás utáni üzemeltetési tapasztalatok kedvezőek, hosszabb ideje jól működnek az átalakított prések, ezért kijelenthető, hogy sikeres volt az átépítés. Nem volt üzemzavar, leállás, a prések hozták a várt eredményeket, a korábbi fordítóművel kapcsolatos problémák teljesen eltűntek, és ezzel meg-hosszabbítottuk a gép élettartamát is. Várhatóan a következő évben megvalósulhatnak a fentebb említett további fejlesztési lehetőségek.

Köszönetnyilvánítás

A kutatómunkát a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa támogatta.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Agisys Kft., Motor katalogus, 2. kiadás.
<https://agisys.hu/up/docs/agisys-motor-katalogus.pdf>
- [2] Bonfiglioli shop, VF 49 P1 45 P71 B14 B3 Gear Specification.
https://shop.bonfiglioli.com/store/bonfigliolib2c/en/product/000000000200680279?srsId=Afm-BOopTCgMjWOSiFyk6xEuOA7HfJIn-UcI3Xn7fZT-tIF3_m26m6EyMr
- [3] SKF, C 2208 V Full complement CARB toroidal roller bearing.
<https://www.skf.com/my/products/rolling-bearings/roller-bearings/carb-toroidal-roller-bearings/productid-C%202208%20V>
- [4] SKF, 33208 Egysorú kúpgörgős csapágó.
<https://www.skf.com/hu/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row-tapered-roller-bearings/productid-33208>



AZ ADDITÍV GYÁRTÁSRA TERVEZETT TRANSZTIBIÁLIS FUTÓPROTÉZIS MODELLJÉNEK VIZSGÁLATA VÉGESELEM-MÓDSZERREL

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF A RUNNING-SPECIFIC TRANSTIBIAL PROSTHESIS DESIGNED FOR ADDITIVE MANUFACTURING

Szócs Krisztina,¹ Egyed-Faluvégi Erzsébet²

¹ Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, szocs.krisztina@student.ms.sapiientia.ro

² Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, yaluvegi.erzsebet@ms.sapiientia.ro

Abstract

This study explores the application of additive manufacturing in the design and testing of transtibial running prostheses. The research consists of two main phases: design and evaluation. The prosthesis model is created using Autodesk Inventor, incorporating different internal lattice structures—grid, triangular, and zig-zag patterns—optimally suited for 3D printing. These structures aim to balance weight reduction and load-bearing capacity. The model is then subjected to finite element analysis (FEA) using ANSYS software to assess its structural performance under three distinct loading conditions. The analysis examines deformation and stress distribution to determine the most effective internal pattern for maximizing strength while minimizing material usage. Identifying the optimal infill pattern could lead to more efficient manufacturing processes, reducing material and production costs while providing lighter, more comfortable prosthetic solutions for athletes.

Keywords: *running prosthesis, additive manufacturing, finite element method.*

Összefoglalás

A dolgozat célja az additív gyártás alkalmazásának vizsgálata transztibiális futóprotézisek tervezésében és tesztelésében. A kutatás két fő szakaszból áll: tervezés és kiértékelés. A protézismodellt Autodesk Inventor segítségével hozzuk létre, különböző belső rácsszerkezetekkel (rács, háromszög és cikcakkmintázatok), amelyek optimalizáltan alkalmasak 3D-nyomtatásra. Ezek a struktúrák a súlycsökkentés és a teherbíró képesség egyensúlyát hivatottak biztosítani. A modellt végeselemes analízis (FEA) segítségével, ANSYS szoftverben vizsgáljuk, három különböző terhelési szinten. Az elemzés célja a deformáció és a feszültségeloszlás vizsgálata, amely segít meghatározni az optimális, belső kitöltési mintázatot. A megfelelő szerkezet azonosításával lehetőség nyílik a gyártási folyamatok hatékonyságának növelésére, az anyagfelhasználás és a költségek csökkentésére, valamint a sportolók számára könnyebb és kényelmesebb protézisek elérhetővé tételére.

Kulcsszavak: *futóprotézis, additív gyártás, végeselem-analízis.*

1. Bevezetés

A protézisek készítésének történelme egészen az ókorig nyúlik vissza. Az emberiség már a kezdetektől igyekezett pótolni az elveszett végtagokat. A protézisek lehetőséget adtak, hogy a viselő

visszatérjen a mindennapi feladataihoz, ugyanakkor érzelmi megnyugvást adtak, és visszaadták egy részben azt a teljességérzetet, amelyet a viselőik tragikus módon elveszítettek. Számos ókori lelet árulkodik a protézisek hosszú múltjá-

ról, azonban azok a háborúk által váltak igazán elterjedté. A sérült katonák gyakran használtak művégtagokat, amelyek vasból, ritkább esetben fából készültek. A vasból készült karprotézisek az ókori időktől egészen a középkorig használatban voltak. Bár ezek a megoldások még kezdetlegesek voltak, mégis segítettek viselőjüket abban, hogy tovább folytassák feladatukat. Jelentős fordulópontot a protézisek készítése terén az amerikai függetlenségi háború jelentett. Ekkor jelent meg az első olyan műláb, amelynél egy gumit használtak a boka- és a sarokrészeknél, így kényelmesebbé téve annak viseletét [1].

Újabb jelentős áttörés a XX. század végén keletkezett, amikor a kompozitokat a protézisgyártás terén is elkezdtek használni, így könnyű és tartós protézislábakat és tokokat hoztak létre. 1984-ben Van Phillips létrehozta a „Flex-Foot” transztibiális protézist, széngrafitot felhasználva [2]. Ez a protézis volt az első, amely lehetővé tette a rugalmas energia tárolását és visszanyerését a járás során.

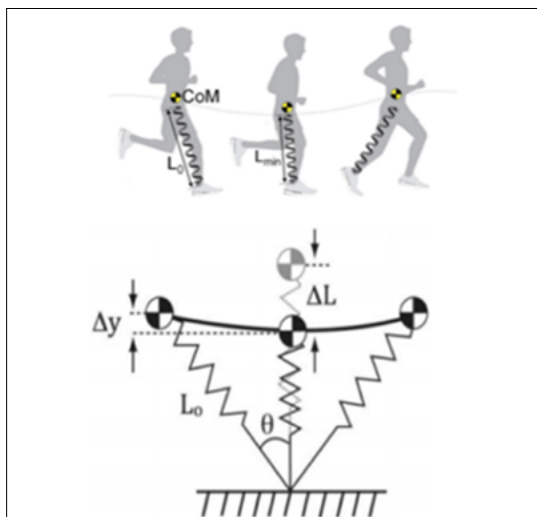
Napjainkban folyamatosan fejlesztik a protéziseket annak érdekében, hogy a viselőjük számára minél természetesebb érzetet adjon. Azonban még mindig számos problémával állunk szemben. Dolgozatomban a lábszári futóprotézisek tanulmányozásával foglalkozom. Futás alkalmával a boka úgy viselkedik, mint egy rugó: a kapott energiát, amelyet a talp földre érésekor kap, eltárolja, majd felszabadítja a következő lépés megtételéhez, ahogy azt a 1. ábra is mutatja [3].

A futóprotézisek működési elve is ezen alapul, és ez az oka annak, hogy a futóprotézisek felépítésükben eltérnek a hagyományos protézisektől,

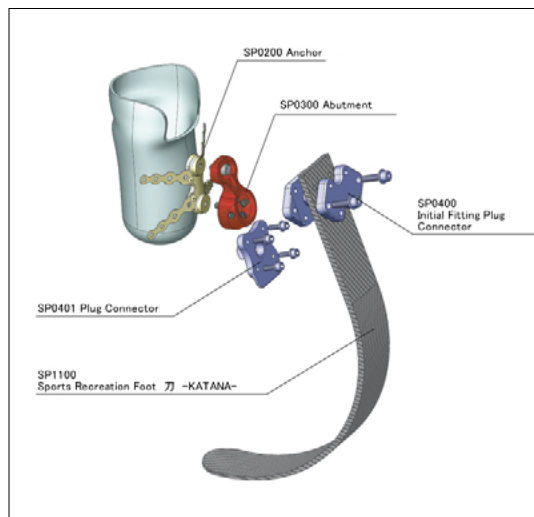
és egy „C” vagy „J” alakú formát öltenek. A „C” alakú a hosszútávfutóknak, míg a „J” alakú a rövidtávfutóknak kedvez, hiszen a „J” alak esetében nagyobb elasztikus és mechanikai energia szabadul fel, így a futó felgyorsulása rövidebb idő alatt történhet meg. Az utóbbi kialakítása a 2. ábrán látható [4].

Ahogy az ábrán láthatjuk, a protézistalpat csatlakozó elemek kötik a protézistokhoz, amelybe az amputált végtagcsontk illeszkedik. A protézistokot gyártótól és protézistípustól függően a protézistalppal együtt vagy külön készítik el. A futók esetében kifejezetten fontos, hogy a protézis könnyű, de egyben teherbíró és rugalmas is legyen, ezért is lényeges az anyagválasztás. A leggyakrabban szénszálas kompozitokat használnak a futóprotézisek készítéséhez, hiszen kiemelkedő a teherbírási és fáradási képességük a tömegükhöz viszonyítva. A szénszálas megerősítésű polimer (CFRP) és a szénszállal erősített nejlón (CFRN) a protézisek készítésénél gyakran használt anyagok.

A futóprotézisek készítése időigényes és nagy odafigyelést igénylő folyamat. Miután a szénszálat összerősítik, és a megfelelő hosszúságúra vágják, rétegenként egy formára helyezik. Az egymásra helyezett rétegeket gyantával fogják össze, különösen figyelve arra, hogy ne maradjanak levegőbuborékok a rétegek között. Gyártótól és típustól függően, 50–90 réteget helyeznek egymásra. Ezt követően, a rétegeket, amelyek még mindig a formán helyezkednek el, egy autoklávba helyezik, ahol 150 °C hőmérsékleten, és 10 bár nyomáson valósítják meg a rétegek egybeolvadását. Ez átlagosan két órát vesz igénybe. A kihűlt



1. ábra. A boka mint rugó



2. ábra. A „J” alakú futóprotézis felépítése

követően egy marógép segítségével adják meg a művégtag végső formáját. Ekkor kerülnek rá azok az összekötő elemek is, amelyek majd az amputált végtag tokjához csatlakoztatják az új talpat. Ezt követően számos tesztnek vetik alá az elkészült terméket [5].

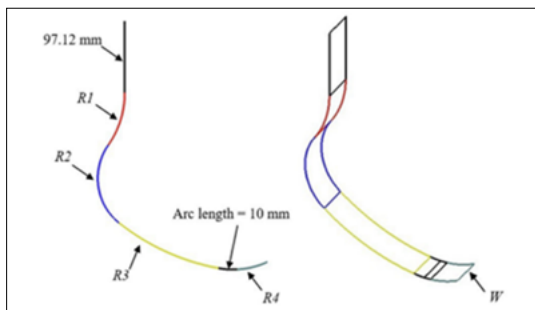
Manapság az additív gyártás lehetőséget kínál arra, hogy jelentős gyártási idő, ár- és tömegcsökkentést érjünk el a protézisgyártás terén. A háromdimenziós nyomtatók esetében több paraméter is beállítható. A dolgozatunkban a kitöltési mintával szeretnénk kísérletezni. Az alakzat, amely egyszerű vonalaktól a komplex geometriájú alakzatokig széles skálán változhat, nagyban befolyásolja a nyomtatási időt, az anyaghasználatot és a termék rugalmasságát. A különböző alakzatok eltérő komplexitással rendelkeznek, és különbözőképpen kezelik az anyagot. Attól függően, hogy milyen célra gyártunk egy terméket, fontos figyelemmel megválasztani a kitöltési alakzatot [6].

2. Célkitűzések

- A kutatásunk céljai a következők:
- a protézisek additív gyártásának vizsgálata;
 - egy transztibiális futóprotézis-modell létrehozása, amely egy háromdimenziós nyomtató által létrehozható kitöltési mintázatokból áll;
 - a kitöltési mintázatokkal rendelkező futóprotézis-modellek terhelhetőségének vizsgálata véges elem módszerrel;
 - egy olyan kitöltési mintázat találása, amely a transztibiális futóprotézisek additív gyártásában használható lenne.

3. Elméleti megalapozás

A kutatásunk két fő részből áll: a tervezés és a tesztelés. A tervezés a transztibiális futóprotézis Autodesk Inventor programban való megtervezését foglalja magában. A talp kialakításához a 3. ábrán látható futótalpat vettük alapul.



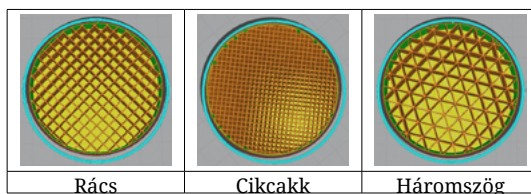
3. ábra. A tervezés alapjául szolgáló protézis [7]

A „J” alakú futóprotézis előnye, hogy a befektetett energia könnyebben, gyorsabban visszatérül, így a futók rövidtávon eredményesebben futhatnak. Fontos szempont tervezéskor, hogy a talp könnyű legyen, ugyanakkor stabilitást is adjon a használójának.

A következő fázis érdekében a modellt úgy hoztuk létre, hogy a belseje különböző, additív gyártással létrehozható mintázatok szerint legyen kitöltve. Esetünkben, egy BCN3D Epsilon W50-típusú nyomtató állt rendelkezésünkre, amely $420 \times 300 \times 400$ mm nyomtatási térfogattal és $1\text{--}1,25\text{ }\mu\text{m}$ pontossággal rendelkezik. A nyomtatóhoz a BCN3D Stratos tervezőprogram társul, amelyben megtervezhetjük és beállíthatjuk a nyomtatási paramétereket. A nyomtató független kettős extruder- (IDEX) kialakítással rendelkezik. Ez a kialakítás hozzájárul a gyártási idő jelentős csökkentéséhez. A nyomtató különböző anyagokkal képes dolgozni, mint például nejlón, szénszál, PLA vagy ABS filament.

Az általunk tanulmányozott háromdimenziós nyomtató tizennégy különböző kitöltési típussal képes dolgozni. Mivel a protézisnek nemcsak könnyűnek kell lennie, hanem teherbírónak is, ezért a következő kitöltésekkel szeretnénk kísérletezni: cikcakk, rács és háromszög (1.táblázat). Azért esett ezekre a mintákra a választásunk, mert ezeknek az teherbírása kimagasló, és nem változik drasztikusan a kitöltési sűrűség módosításával. A kitöltési sűrűség, akárcsak a mintázat, nagyban befolyásolja a darab minőségét. Esetünkben ezt az értéket igyekeztünk állandónak tekinteni, hiszen a célunk a mintázatok változtatásával járó következmények tanulmányozása volt, [8].

1.táblázat. Rács, cikcakk, háromszög kitöltési típusok



4. Gyakorlati megvalósítás

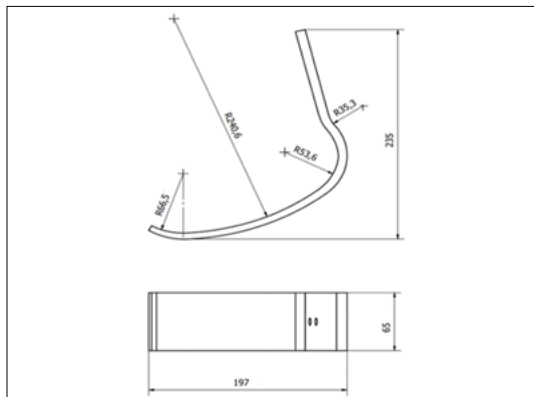
4.1. A tervezés

A kutatásunk első részeként megalkottunk egy transztibiális, J alakú futóprotézis vázlatát (4. ábra). Annak érdekében, hogy az elmozdulás az eszközön terhelés hatására minimális legyen,

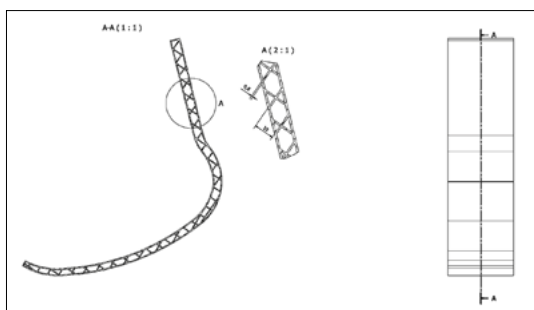
több körívből alkottam meg a talpat. A tervezés során megfigyeltük, hogy az R2 körív nagysága kritikus az elmozdulás szempontjából (3. ábra), hiszen annak a nagysága maga után vonja az elmozdulás növekedését azon a szakaszon. Ez a protézis kezelhetőségét nehezítheti, és csökkenti a komfort-érzetet viselés során, illetve a protézis teherbíró képességét is. A tervezés során fontos szempont volt annak a körívnek a minimalizálása, ahol a protézis a talajt éri, hogy a megfelelő energiafelszabadulás és -felhasználás megtörténhessen.

A vázlat elkészítését követően a darab modelljét Autodesk Inventor Professional szoftver segítségével hoztuk létre. Elsőként egy teljesen kitöltött darabot alkottunk meg annak érdekében, hogy a későbbiekben viszonyítási pontként szolgáljon. A következőkben a rács típusú mintázattal töltöttük ki a darab belsejét (5. ábra). A rács kitöltési minta kétdimenziós vonalakat hoz létre, amelyek mindegyik rétegben két irányba terjednek, egymással 90°-os szöget bezárva. Általánosan elmondható, hogy ez a mintázat anyagfelhasználása a többi mintához képest közepes, és a nyomtatásához szükséges időt tekintve az egyik leggyorsabb. A szerkesztésnél figyelembe vettük a nyomtató paramétereit és a hozzákapcsolható fűvókák átmérőjét. Ennek tudatában a vonalak vastagsága a fűvóka átmérőjének 100%–120%-os értékét veheti fel. Esetünkben, a vonalak vastagságának 0,8 mm értéket választottunk. A vonalak közti távolság 10 mm, így egy viszonylag sűrű mintázatot értünk el, amely szükséges a teherbírás szempontjából, ugyanakkor még a tesztelési fázisban használt program felismeri, mint üreges testet. A falvastagságot minimalizáltuk annak érdekében, hogy a mintázatok hatásai egyértelműbben látszódnak. A falvastagságnak a 1 mm értéket választottunk, amelyet a továbbiakban fenntartunk.

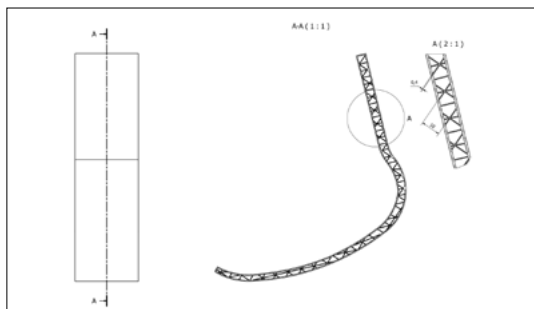
A következőkben elkészítettük a háromszögkitöltést (6. ábra). Ebben az esetben a vonalak három irányba ágaznak az XY síkban, és akárcsak az előzőnél, a vonalak keresztezik egymást egy rétegben, amely megerősítést ad a darabnak. Az anyagfelhasználáshoz és a nyomtatáshoz szükséges idő szempontjából közel áll a rácskitöltéshez. Mivel az volt a célunk, hogy a kitöltési sűrűség közel azonos legyen a vizsgált darabok esetében, viszont nem volt lehetőség ezt beállítani vagy direkt vizsgálni az adott szoftverben, ezért úgy választottuk meg a paramétereiket, hogy a darab térfogata a különböző kitöltések esetében megközelítőleg megegyező legyen. A rácskitöltés eseté-



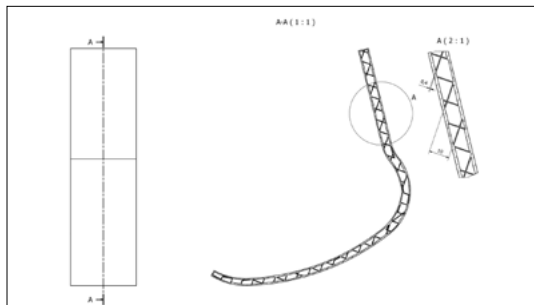
4. ábra. A protézis vázlata



5. ábra. A rácskitöltésű protézis



6. ábra. A háromszög-kitöltésű protézis



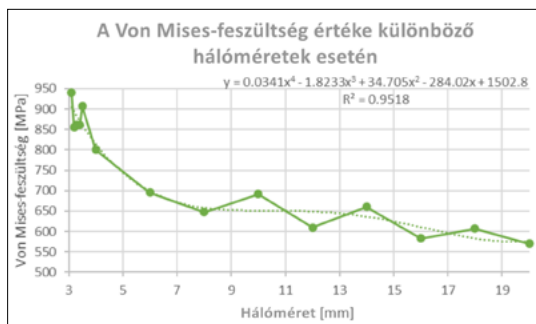
7. ábra. A cikcakkkitöltésű protézis

ben a térfogat $80906,7 \text{ mm}^3$. Ebben az esetben a párhuzamos vonalak, amelyeknek a vastagsága $0,4 \text{ mm}$, 10 mm -re helyezkednek el egymástól, a többi vonallal 60° -os szöget zárva be. Az így elért térfogat $77\,435 \text{ mm}^3$. A falvastagság ebben az esetben is 1 mm .

A harmadik kitöltési mintázat a cikcakk, amelynek felépítése nagyon hasonló a rácsmintához, viszont ebben az esetben nem történik meg a vonalak keresztezése egy rétegen belül (7. ábra). A vonalak teljesen összekapcsolódnak, hiszen a fűvóka visszafordul, ahogy eléri a külső falat, ahelyett, hogy új vonalat kezdene, így ez a kitöltési mintázat jelentős időt takarít meg. A $81\,152,6 \text{ mm}^3$ értékű térfogat eléréséhez ebben az esetben a vonalak közötti távolság 10 mm , és a vonalak vastagsága $0,4 \text{ mm}$.

4.2. A tesztelés

A tesztelési fázisban az elkészített, különböző kitöltési alakzatokkal rendelkező, transzibiális futóprotézis-modellt az ANSYS szoftver segítségével vizsgáltuk, végelem-módszerrel. Az elkészült modellt három különböző terhelésnek tettük ki: 700 , 1400 és 2100 N , amelyek megfelelnek az állás-, járás- és futási állapotoknak [9]. E három értékkel történő elméleti kísérletezés segít abban, hogy pontosabb képet kapjunk a modell teherbíró képességéről és korlátairól. A modellben keletkező feszültségeket és elmozdulások mértékeit vizsgáltuk és értelmeztük. Annak érdekében, hogy minél pontosabb eredményt kaphassunk, a modellt számos háromszög alakú végelemre bontottuk fel, amelyek együttesen alkották a hálót. A háló méretének a meghatározása egy lényeges kérdés a végelem-analízisek esetén, hiszen, ha túl nagy, akkor pontatlan eredményt kapunk, viszont, ha túl kicsi, akkor a rendelkezésünkre álló programverzió nem tudja megfelelően kezelni. A kettő között kellett megtalálni a megfelelő hálóméretet.



8. ábra. A Von Mises-feszültség értéke különböző hálóméreteknél.

Megvizsgáltuk, hogyan változik a rács típusú protézisben fellépő Von Mises-feszültség értéke 2100 N terhelés esetén, amikor különböző hálóméretekre bontjuk fel a testet (8. ábra). Amennyiben a háló méretét növeljük, úgy csökken a feszültség értéke, egy polinomfüggvényt követve, amelynek az lehet az oka, hogy nagyobb egységeket tekintve nem dolgozza fel teljesen a mintázatot. A szimulációs szoftver korlátai végett $3,3 \text{ mm}$ hálóméretet választottunk, hogy minél pontosabb eredményt kaphassak a modell tulajdonságairól.

A modellben megkötést is alkalmaztunk azon a részen, ahol a talp és a talaj közti érintkezés megtörténik. A szimulációs szoftverben anyagválasztásra is lehetőség van, vagyis be lehet állítani, hogy miből fog elkészülni a darab. A futótalp anyagaként CFRP-t (Carbon Fiber-Reinforced Plastic) választottunk. Ez az anyag széles körben elterjedt a futóprotézisek gyártása terén, hiszen valamennyi feltételt teljesíti, amelyek fontosak ezen a téren: könnyű, teherbíró, magas fáradási határfeszültséggel. Az elmozdulást tekintve fontos, hogy a termék rugalmas legyen, azonban, ha túlságosan nagy a méretbeli változás, akkor a termék hamarabb fog deformálódni, ami gyorsabb tönkremenetelhez vezet.

5. Eredmények

5.1. A tömeg

A szimulációs szoftver a test térfogata és az anyag sűrűsége alapján képes meghatározni a protézis tömegét. A teljes kitöltéssel rendelkező modell esetén a termék tömege alacsonynak mondható, $m = 0,294 \text{ kg}$, viszont a kitöltések használatával ezt a tömeget a felére csökkenthetjük (9. ábra). Mivel nem az igazi testrészükről van szó, a páciensek érzékenyebbek a protézis tömegére, ezért igyekszünk azt minimalizálni. A kitöltések által a protézis tömegét kevesebb,



9. ábra. A protézis tömege különböző kitöltések esetén

mint a felére csökkentettük. Látható, hogy háromszögkitöltéssel rendelkező darab tömege a legalacsonyabb, $m = 0,111$ kg. Közel 180 g-mal csökkenthetjük a protézis tömegét, amely, bár nem tűnik soknak, egyben 60%-os anyagspórlást is jelent, amely gyorsabbá és kevésbé költségessé teszi a protézisek készítését.

5.2. A teljes elmozdulás

A következőkben megfigyeljük, hogyan reagáltak a különböző kitöltésekkel rendelkező modellek a rájuk ható terhelésekre. A terhelés hatására a darab egyes részei elmozdulnak eredeti pozíciójukból a terhelés irányának és a megtámasztás helyének és típusának függvényében. Esetünkben a lineáris irányú erő a darab tetejére hat, és a darab alsó részét rögzítjük, amely ahhoz vezet, hogy a legnagyobb elmozdulás a darab felső részén keletkezik. A deformáció a függőleges irányú terhelés növelésével lineárisan növekszik (10. ábra). Ez a növekedés a kitöltésekkel rendelkező darabok esetén gyorsabb, mint a teljesen kitöltött modellnél. A kitöltésekkel rendelkező modelleknek az alacsony terhelésen történő elmozdulás mértéke szinte megegyezik, minimális eltérés van. A maximális terhelésnél nagyobb a különbség, viszont ebben az esetben sem különösebben számottevő. A kitöltési mintázatok közül a maximális terhelésnél a cikcakkkitöltéssel rendelkező modellnél tapasztalható elmozdulás értéke a legkisebb, $d = 14,5$ mm, illetve a háromszög-mintázatú darabé a legnagyobb, bár csak közel 2,5 mm értékű különbségről beszélünk, $d = 17,1$ mm, amely több mint másfélszerese a teljesen kitöltött darabnál megfigyelhető deformációnak ($d = 10$ mm). A rács- és a háromszögmodellnél tapasztalható deformáció bármely terhelés esetén közel azonos.

A deformáció határának 50 mm-t veszünk, amely elég kicsi, hogy a talp ne sérüljön, ugyanakkor elég nagy ahhoz, hogy megfigyelhető legyen a

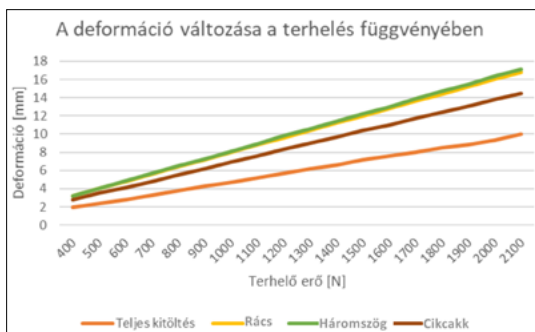
protézis viselkedése a terhelések során [10]. Ezt a határt egyik modell sem éri el, a maximális terhelés hatására sem. Ebben az esetben azt mondhatjuk, hogy amíg a maximális deformáció határát nem éri el a modell, a nagyobb méretű deformáció jobb az energiatárolás és gyorsulás szempontjából. Ez alapján, figyelem bevéve a 10. ábrát, a kitöltések által növelni tudjuk a protézisek energiatároló képességét.

5.3. A feszültségek

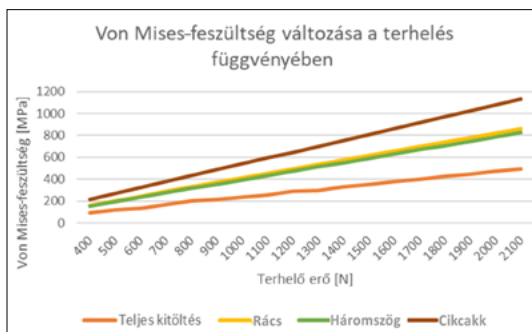
A feszültségértékek növekedése a terhelés függvényében lineáris természetű (11. ábra). A teljesen kitöltött modell esetében a Von Mises-feszültség lassan növekszik, amíg a maximális terhelésnél eléri a 494 MPa feszültségértéket. A többi modell esetében erőteljesebb növekedést tapasztalunk. A háromszög- és a rácskitöltéseknél ebben az esetben is hasonló eredményeket kaptunk a különböző terhelések esetén. A háromszögkitöltés esetén minimálisan csökken a feszültség, a maximális terhelés mellett is közel 30 MPa értékkel kisebb, mint a rácskitöltéssel rendelkező modellben keletkező feszültség.

A legnagyobb feszültség jól láthatóan a cikcakkkitöltésben keletkezik, amelynek az értéke már a 700 N értékű terhelésnél eléri a 377 MPa értéket, majd rohamosan növekszik, elérve a 2100 N terhelésnél a 1130 MPa feszültségértéket.

A CFRP egy kiválóan magas terhelhetőségű polimer, amelynek a szakítószilárdsága is igen magas, 1100 MPa, [11]. Általánosan azt mondhatjuk, hogy a darab nagy valószínűséggel el fog törni, ha a Von Mises-feszültség eléri vagy meghaladja a szakítószilárdság értékét. Látható, hogy ennek a kritériumnak a kitöltésekkel rendelkező darabok esetén a rács- és a háromszögkitöltéssel rendelkezők tesznek eleget, még a legnagyobb terhelés esetén is, hiszen a cikcakkkitöltés meghaladja a 1130 MPa feszültségértéket a maximális terhelés esetén.



10. ábra. A deformáció változása a terhelés függvényében



11. ábra. A Von-Mises-feszültség változása a terhelés függvényében

6. Következtetések

Az eredmények alapján arra következtetésre juthatunk, hogy a kitöltési mintákkal készített darabok nem olyan teherbíróak, mint a teljes kitöltéssel rendelkező darab. A terhelések hatására jobban deformálódnak, a teherbírásuk jelentősen csökken. Viszont, az eredmények alapján a háromszög- és a rácskitöltési minták ígéretes megoldást jelenthetnek a futóprotézisek additív gyártásában, hiszen általuk nemcsak tömegcsökkenést és anyagmegtakarítást tudunk elérni, de azok megfelelően ellenállnak a terheléseknek, és megfelelő energiatárolási tulajdonságokkal is rendelkeznek. Ez lehetőséget teremt a jövőben, további kutatások mellett, a könnyebb, költség-hatékonyabb és testreszabottabb futóprotézisek fejlesztésére.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] NIH Medline Plus Magazine. Prosthetics through the Ages. (megtekintve: 2024. 12. 12.)
<https://magazine.medlineplus.gov/article/prosthetics-through-the-ages>
- [2] Hobara H.: *Running-Specific Prostheses: The History, Mechanics, and Controversy*. Journal of the Society of Biomechanisms, 38. (2014) 105–110.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/so-bim/38/2/38_105/_pdf (letöltve: 2023. 11. 15.)
- [3] Martín-Sacristán, A.L.: *Biomechanical Model to Optimize Unilateral Blade Running*. TU Delft Repositories, 2021. (letöltve: 2023. 12. 05.)
<https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3Aff408e81-f996-4914-9bd4-4b1cfc78b401>
- [4] Imasen Engineering Corporation, Lapoc Sports Samuray Assembly. (megtekintve: 2023.11.15.)
<https://www.imasengiken.co.jp/en/lapoc/sport.html>
- [5] National Paralympic Heritage Trust. Running Blades and Their Evolution.
<https://www.paralympicheritage.org.uk/running-blades-and-their-evolution>
- [6] Akhoundi, B., Behraves, A.H.: *Effect of Filling Pattern on the Tensile and Flexural Mechanical Properties of FDM 3D Printed Products*. Experimental Mechanics, 59. (2019) 883–897
<https://doi.org/10.1007/s11340-018-00467-y>
- [7] Solis, M.J.R., Ramírez, J.O.D., Salazar, J.M., Ochoa, J.A.R., Roa, A.G.: *Optimization of Running Blade Prosthetics Utilizing Crow Search Algorithm Assisted by Artificial Neural Networks*. Journal of Mechanical Engineering, 67. (2021) 88–100.
<https://doi.org/10.5545/sv-jme.2020.6990>
- [8] Perneta, B., Nagelb, J.K., Zhang, H.: *Compressive Strength Assessment of 3D Printing Infill Patterns*. Procedia CIRP, 105. (2022) 682–687.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.02.114>
- [9] Siddiqui, I.H., Arifudin, L., Alnaser, I.A., Hassan, A., Alluhydan, K.: *Static Behavior of a Prosthetic Running Blade Made from Alloys and Carbon Fiber*. Journal of Disability Research, 2/1. (2023) 63–74.
<https://doi.org/10.57197/JDR-2023-0010>
- [10] Tip Composite. CFRP Specification. (megtekintve: 2025.02.06.)
<https://tip-composite.com/en/product-information/cfrp/cfrp-specification/>
- [11] Élodie Doyen, Fabien Szmytka, Jean-François Semblat: *A Novel Characterisation Protocol of Mechanical Interactions between the Ground and a Tibial Prosthesis for Long Jump*. Scientific Reports, 13. (2023) 5226.
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-31981-2>



VENYIGESZÜRKE SZÍNŰ TAGOZATOK ELŐFORDULÁSA NAPJAINKBAN SOPRON BAROKK HOMLOKZATAIN

OCCURRENCE OF VINE GREY-COLOURED RELIEFS ON THE BAROQUE FAÇADES OF MODERN-DAY SOPRON

Tárkányi Sándor

Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Kreatívipari Intézet. Sopron, Magyarország,
tarkanyi.sandor@uni-sopron.hu

Abstract

During the renovation of the façades of historic buildings in the Baroque old town of Sopron, researchers have recently found traces of vine grey paint on several occasions on stone carvings. One of the earliest occurrences of this colour dates back to the Jesuit reconstruction of St. George Church in 1714. In the following decades, the natural pigment produced by burning vine twigs, mixed with lime, was also used on the Esterházy Palace and several residential buildings in the city centre. This study presents four façade renovations where the original Baroque colouring was restored as a result of the reconstruction process.

Keywords: *historic monuments, Sopron, Baroque, restoration, façade.*

Összefoglalás

A Sopron barokk belvárosában álló műemlék épületek homlokzatainak felújítása során napjainkban a kutatók több alkalommal találtak venyigeszürke festéknyomokat a kőfaragványokon. A szín egyik legkorábbi előfordulása a Szent György-templom 1714-es jezsuita átépítésének idejére tehető. A következő évtizedekben az Esterházy-palotán, illetve több belvárosi lakóházon is alkalmazták a szőlővenyige elégetésével előállított, természetes festékpigmentet, amelyet mészszebe kevertek. Jelen tanulmányomban négy olyan homlokzatfelújítást ismertetek, ahol a rekonstrukció eredményeként az eredeti barokk színezést állították helyre.

Kulcsszavak: *műemlék épületek, Sopron, barokk, felújítás, homlokzat.*

1. Bevezetés

Az elmúlt 10 évben Sopronban több mint 80 műemlék épület homlokzata újult meg. A felújítások során a homlokzatok új színezésének meghatározását helyszíni festő-restaurátori kutatások előzték meg. Az épülettagozatokon feltárt festékmарadványok eredményeként jó néhány ház frontja új színezést kapott. Az újabb kutatások ráirányították a figyelmet egy – a 18. században alkalmazott – természetes festékpigment gyakori előfordulására, melyet az Országos Műemléki Felügyelőség (továbbiakban: OMF) által vezetett helyreállítások során nem mindig vettek figyelembe. Jelen írás célja röviden bemutatni azt a négy épületet, ahol a venyigeszürke színt a kuta-

tók napjainkban megtalálták és újraalkalmazták a homlokzatok rekonstrukciójánál.

2. A venyigefekete pigment eredete és soproni előfordulása

A venyigefekete növényi eredetű, természetes szerves pigment, melyet eredetileg a kiszáradt szőlővenyige elégetésével, szénésítésével állítottak elő. Nagyon könnyű, lágy, tapadós por, melynek fényállósága és fedőképessége is kiváló. A legrégebbi feketepigment, amelyet az ókori rómaiak is ismertek. Raffaello Borghini (1537–1588) 1584-ben már megnevezte, majd 1630 körül Théodore de Mayerne (1573–1655) is leírta. [1] Sopronban a 18. századi barokk épületeken fordult elő,

jellemzően a kőből faragott homlokzati tagozatokat festették le a mészbe kevert venyigefekete pigmentfestékekkel, amely sötét tónusú venyigeszürke felületet eredményezett. A kiszáradt szőlővenyige helyben nagy mennyiségben rendelkezésre állt, mivel a város többségében német anyanyelvű polgárai szőlőtermesztéssel és borkészítéssel foglalkoztak.

3. A Sopron, Templom utca 4. szám alatti, volt Esterházy-palota helyreállítása 1993-ban

Az ingatlan legkorábbi tulajdonosa 1481-től ismert, a 16. században Oláh Miklós humanista érsek családjáé volt. 1614 előtt Hettyey Ferenc birtokolta az ingatlant. 1614-ben a későbbi nádor, Esterházy Miklós hozományként kapta Dersffy Orsolyával kötött házassága révén. Mai megjelenését 1750 körül nyerte el, 1945-ig az Esterházy család birtoka volt. [2]

Az OMF soproni kirendeltsége által kivitelezett helyreállítás részletes műemléki feltárással kezdődött, amelyet Dávid Ferenc művészettörténész kezdett el, majd G. Lászlai Judit fejezett be. Az 1986–1992 között zajló kutatás tisztázta a ház építéstörténetét, és jó néhány értékes középkori részletet tárt fel az épületben (lásd az 1. ábrán). A régészeti munkálatokat Gömöri János régész vezette. A helyreállítás során az északi szárny emeletén az egyik utcai szoba felületén késő középkori, secco technikával készült kváderes falfestést restauráltak, a déli szárny emeletén kapcsolt középkori ablakot rekonstruáltak. A felújítási terveket M. Kaló Judit építész készítette, aki az épület helyreállítását

sát a Műemlékvédelem szemle 1993. évi első számának hasábjain ismertette. A szakfolyóirat borítóján a soproni Templom utca színes fotója jelent meg a helyreállított Esterházy-palotával, melynek világos rózsaszín, sgraffitós homlokzatán a kapu, valamint az ablakok kökeretezésének sötétszürke színe is látható volt. [3] Tudomásom szerint ez az első olyan, az OMF által felújított soproni épület, melynek frontján a kutatás során megtalált venyigeszürke színt rekonstruálták. G. Lászlai Judit szerint „a keretek eredetileg faszénnel festett feketék voltak, a frízek indás, szőlőfürtös motívumai viszont színesek. Valamennyi, a rekonstrukcióhoz kevés, sárga, okker és zöld pigment maradt meg a felületeken”. [4] A fentiek alapján Esterházy Miklós nádor épületének korabeli megjelenése igen karakteres és attraktív lehetett.

4. Venyigeszürke színű tagozatok helyreállítása napjainkban

A 2017 és 2022 közötti időszakban a Modern Városok Program keretén belül Sopronban 25 épület homlokzatát újították meg. Ezen műemlék házak frontján három esetben alkalmazták a venyigeszürke színt a tagozatok újrafestésénél. Az egyik épület a korábban már bemutatott Templom utca 4. szám alatti, egykori Esterházy-palota. A következő a Templom utca 15. számú lakóház, a harmadik, immár szakrális funkciójú ingatlan a Szent György-templom. 2024-ben újult meg a Várkerület 57. szám alatti lakóház homlokzata is, ahol ugyancsak szürke tónusban rekonstruálták a kőfaragványokat.

4.1. A Sopron, Templom utca 4. szám alatti, volt Esterházy-palota kőszerkezeteinek helyreállítása 2019-ben

Az utcai homlokzat kártérképét és felújításának terveit Fekete Szilárd okl. építészmérnök készítette el 2016-ban, a kőfaragványok restaurátori javaslatát Sütő József kőszobrász-restaurátor jegyezte 2019-ben. [5] Az 1993-ban történt helyreállítás óta a lábazati zóna felett a vakolat kb. 0,5 méteres sávban roncsolódott. A kőfaragványok közül a kapu szárkövei és a két középkori résablak kökeretei mutattak korrózióra utaló jeleket. A felújítás során azokat az ablakkereteket, melyek a talajvíz, illetve a sók fölszívódásának határa fölött helyezkedtek el, előbb alacsony nyomású, száraz mikroszemeszórásal tisztították. Ezt követően felületüket kovásv-észteres konzerválószer hígabb oldatával szilárdították, a kisebb repedéseket restaurátorhabarccsal tömítették. A tisztított, szilárdított és tömített kőfaragványo-



1. ábra. A Templom utca 4. számú épület homlokzata a kutatás közben, 1986-ban (Galacanu Efstia felvétele)

kat venyigeszürke tónusú szilikát fedőfestékekkel látták el (lásd az **2. ábrán**).

A kapu jobb és bal oldali lábazati elemein, valamint a kerékvetőkön a kisózódás rendkívül nagymértékű, a sók utánpótlása pedig folyamatos volt. Az építészeti terv a kőfaragványok visszabontását és maszkolással történő újrifaragását írta elő, 10 cm-es vastagságban. Az új faragványok a meglévővel azonos anyagból, lajtamészkből készültek. A visszahelyezés előtt a falszerkezetben maradt kőcsonkot szigetelték, majd az új elemeket szilárdították, az illesztéseket tömítették. A restaurált kapuépítményt ugyanolyan módon színezték, mint a kőkeretes ablakokat.

4.2. A Sopron, Templom utca 15. szám alatti lakóház utcai homlokzatának helyreállítása

A szóban forgó épület középkori eredetű lakóház, melyet a 17. század első felében és a 18. században is átépítettek. Udvarán reneszánsz loggia található. Az ingatlan 1481 és 1492 között Dresinger Tamás birtokában állt. [6] 1732–1757 között Ringmayer alezredesé, a következő évben Örtl Erzsébet neve szerepelt a telekkönyvben. 1782-ben fia, dr. Örtl János Károly ügyvéd, Sopron első főlevéltárosa a ház tulajdonosa, ekkor nyerte el a homlokzat mai alakját. 1796-ban Török István patikus vásárolta meg az ingatlant, aki 1841-ben az evangélikus konventre hagyományozta azt. [2] Az OMF az épületet 1976–77-ben állította helyre, ekkor mutatták be az utcai homlokzatán látható, késő reneszánsz, festett felületeit.

Az utcai homlokzat felújításának tervdokumentációját Fekete Szilárd okl. építészmérnök rajzolta meg 2016-ban, a kőszervezetekre vonatkozó restaurátori javaslatot Sütő József kőszobrász-restaurátor 2019-ben nyújtotta be az engedélyező hatósághoz. [7] Az emeleti ablakok kőfaragványai a felújítás előtt is jó állapotban voltak, kőszzerű színezéssel rendelkeztek. Egyetlen díszük a szemöldökpárkány, illetve az ablakkeretezés közötti keskeny mezőben lévő tükrös sáv volt, amely jobb és bal oldalon egyaránt félkörívben záródott. A tükrökereten belüli mező sötétszürke színű volt. A bejárati kapu szárköveinek állapotát a szakértő kritikusként ítélte, a jobb oldali kerékvető cseréjét az építészterv is előírta. A bal oldali kerékvető sótalanítására vonatkozóan a restaurátor elektrolízises eljárást javasolt, amely képes 30 cm-es mélységig kifejtetni a hatását.

A homlokzat felállványozása után Nemes András művészettörténész kutatószondákat készített, melyek alapján megállapította, hogy az emeleti ablakok eredeti keretezése szürke, az ablakszemöldök alatti tükrös sáv pedig okker színű volt. [8] A kapu színezését szintén szürke árnyalatúra javasolta, azonban a földszinti ablakok keretezésén szürke színt nem talált. Így a felújítás eredményeképpen az emeleti ablakok venyigeszürke színt kaptak okker betéttel, míg a földszinti faragványok kőszínűben maradtak. A Templom utca 15. számú épület homlokzatának alapsíkja a kutatás eredményével összhangban törtfehér lett, emeleti ablakainak szürke és okker festése visszaidézi a barokk kori díszítést (lásd az **3. ábrán**).



2. ábra. A Templom utca 4. szám alatti épület 2019-ben felújított homlokzata (Tóth Richárd és a szerző felvétele)



3. ábra. A helyreállított Templom utca 15. számú épület homlokzata (Tóth Richárd és a szerző felvétele)

4.3. A soproni Szent György-templom homlokzatának 2017-es megújulása

A zárt sorú, eredetileg egyhajós gótikus magánkápolna a 15. század végén épült. A 16–17. században az épületet a protestánsok használták, majd 1674-ben a jezsuiták szerezték meg. Az 1676-os tűzvészben elpusztult, ezt követően oldalkápolnás, egyhajós templommá építették át. Nyugati homlokzatát 1714-ben alakították ki. 1780-ban a káptalan kapta meg a helyet. A szentély mögötti eklektikus tornya 1882-ben készült, Spach Ferdinánd tervei alapján. Az épületben az 1944-es bombázások nagy károkat okoztak, azonban az 1948-as műemléki helyreállítás során több gótikus részlet is előkerült, stukkós boltozatait restaurálták. [2] Főhomlokzatát azonban csak 1961-ben állították helyre, Sedlmayr János tervei alapján.

A templom barokk főhomlokzatának felújítási terveit Jakab Attila okl. építészmérnök készítette el. A szondázó festőrestaurátori vizsgálat azt alapította meg, hogy az 1961-ben elvégzett homlokzatfelújítás során teljes vakolatcserére került sor. Mindazonáltal a kőből faragott ablakkeretek „gondos” tisztítása során a korábbi festésnyomok számos helyen megmaradtak. [9]

Általánosan a következő rétegrendet tárták fel a kutatók: (1) lazúros fehér meszelés (alapozás), (2) sötétszürke meszelés, (3) világosabb, meleg szürke színű meszelés, (4) 4-5 réteg fehér meszelés, (5) zöld színezés, (6) okkersárga meszelés, (7) pasztellsárga meszelés, (8) vörös meszelés 1961-ből, (9) műanyag bázisú vörös homlokzatfestés.

A fentiek alapján megállapítható, hogy az 1961-ben alkalmazott, a fehér homlokzaton megjelenő, vörös színű tagozatok színezésének nem voltak történeti előzményei. A legkorábbi homlokzatalkalításnál a fehér, meszelt felületről kiemelkedő architektúrát sötétszürke (venyigeszürke) meszeléssel fedték el. Ez a színezés illeszkedett a korabeli jezsuita templomok színezési gyakorlatába.

A tervező kérésére a festőrestaurátorok néhány apró szondával megvizsgálták a templom ablakainak, ajtóinak festékrétegét. A legkorábbi feltárt réteg egy rézzölddel színezett olajfestés volt, amelyet közvetlenül a fa felületére festettek fel. A 2017-es felújítás során azonban a homlokzati nyílászárókat a venyigeszürke színnél sötétebb, melegebb árnyalatú szürke festékekkel fedték (lásd a 4. ábrán).



4. ábra. A Szent György-templom helyreállított utcai homlokzata (Tóth Richárd és a szerző felvétele)

4.4. A Sopron, Várkerület 57. számú lakóház homlokzati felújítása 2024-ben

A zárt sorú, U alakú beépítésű, egyemeletes rokokó lakóház mai alakját a 18. század 70-es éveiben nyerte el. [2] 1715-től Hartmann Sámuel, 1784-ben Thirring Lajos nevén volt az ingatlan. 1885-ig a Thirring család leszármazottjainak tulajdonában állt, 1898-ban Fend Józsefnek és nejének, 1920-tól Kopstein Lipótnak és feleségének a neve szerepelt a telekkönyvben. [10]

Az önkormányzati tulajdonban lévő lakóház várkerületi homlokzatának felújítási terveit Jakab Attila okl. építészmérnök készítette el. Az épület földszintjét korábban nem lélegző, hőszigetelő táblákkal borították, az emeleti szinten a vakolat nagy felületeken hiányzott már. A homlokzat felállványozása után a rokokó kőfaragványokon a kivitelező kutatást végzett, ahol a legalsó festékréteg szintén sötétszürke színű volt. A lakóház felújított frontja törtfehér színezést, míg a kőfaragványok venyigeszürke színt kaptak (lásd az 5. ábrán).



5. ábra. A Várkerület 57. számú épület helyreállított utcai homlokzata (a szerző felvétele)

5. Következtetések

A tanulmányban ismertetett négy műemléki védelem alatt álló épület közelmúltban történt homlokzatfelújítása során az alapsíkot törtfehér színre, a kőből faragott építészeti tagozatokat venyigeszürke színre festették. Az új színezés a festő-restaurátori kutatások eredményeként jött létre, amelyek felszínre hozták az eredeti festékrétegeket. A Szent György-templom 1714-ben kialakított barokk színezése mintául szolgálhatott a lakóházak homlokzati kialakításánál, ahogy azt az 1750 körül épült, Esterházy Miklós nádor barokk palotájánál (Templom utca 4.) vagy dr. Örtl János Károly ügyvéd 1782-ben kialakított lakóházánál (Templom u. 15.) láttuk. A színezés megjelent a középkori várfalakon kívül, a Várkerület külső házsorán is, ahol a rokokó stílusban megalkotott homlokzaton (Várkerület 57.) még ugyancsak dívatosnak bizonyult.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kurt W.: *A festészet nyersanyagai és technikái*. Balassi Kiadó–Magyar Képzőművészeti Főiskola, Budapest, 1996. 182–183.
- [2] Csatkai E., Dercsenyi D., Entz G., Gerő L., Héjj M., Mollay K., Radnóti A.: *Sopron és környéke műemlékei*. II. javított és bővített kiadás. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1956. 278, 283, 233–243, 312.
- [3] Kaló J.: *A soproni Esterházy-palota műemléki helyreállítása*. Műemlékvédelem, XXXVIII/1. (1994) 43–46.
- [4] G. Lászlai J.: *Néhány barokk homlokzat. Rekonstrukciók – kérdések*. Magyar Műemlékvédelem, Az Országos Műemléki Felügyelőség Kiadványai 14. Budapest, 2007. 249–256.
- [5] Sütő J.: *Modern Városok Program – Sopron, Templom utca 4. kőrestaurátori javaslat*. Sós-kút, 2019, kézirat.
- [6] Dávid F., Goda K., Thirring G.: *Sopron belvárosának házai és háztulajdonosai 1488–1939*. Győr-Moson-Sopron Megye Soproni Levéltára, Sopron, 2008. 206–207.
- [7] Sütő J.: *Modern Városok Program – Sopron, Templom utca 15. kőrestaurátori javaslat*. Sós-kút, 2019, kézirat.
- [8] Nemes A.: *Jelentés homlokzati színvizsgálatról – Sopron, Templom u. 15.* Sopron, 2019, kézirat.
- [9] B. Juhász Gy., Lángi J.: *Sopron, Szent György templom kutatási dokumentáció és helyreállítási javaslat a homlokzatokon elvégzett szondázó festőrestaurátori vizsgálatok alapján*. Székesfehérvár, 2017, kézirat.
- [10] Thirring G.: *Sopron házai és háztulajdonosai 1734-től 1939-ig*. Székely és Társa Könyvnyomdája, Sopron, 1941. 59–60.

SZERZŐK JEGYZÉKE**LIST OF AUTHORS****A, B**

ARMUTH MIKLÓS
BÉNI EMESE 1
BODNÁR ILDIKÓ 50

D, E

DAN PATRICK 67
DIMÉNY ZALÁN 11
EGYED-FALUVÉGI ERZSÉBET 80

F

FEKETE MÁTYÁS 19
FORGÓ ZOLTÁN 11

H, I, J

HARANGUS KATALIN 28
IZBÉKINÉ SZABOLCSIK ANDREA 59
JANKÓ JÓZSEF ATTILA 23

K, L

KAKUCS ANDRÁS 28
KIRÁLY ZSOLT 28
KOTELKO MARIA 67
L. SZABÓ GÁBOR 1

M

MIHOLCSA GYULA 38
MIKÓ BALÁZS
MISKI ZOLTÁN MILÁN 50

N

NAGY ZSOLT 67
NUSSEER GYÖNGYVÉR BOGLÁRKA 59

P, R

PÁL ANITA 67
RÁCZI VIKTOR GERGELY

S, SZ

SÁNDULY ANNABELLA 67
SKORCOV GERGŐ 73
SZIGETI FERENC 73
SZŐCS KRISZTINA 80

T

TÁRKÁNYI SÁNDOR 23, 87