

MTK 19.

**TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG/LEKTOROK
SCIENTIFIC ADVISORY BOARD/PEER REVIEWERS**

Bagyinszki Gyula (Budapest)
Bitay Enikő (Kolozsvár/Marosvásárhely)
Czigány Tibor (Budapest)
Dávid László (Marosvásárhely)
Dezső Gergely (Nyíregyháza)
Diószegi Attila (Jönköping, Sweden)
Dobránszky János (Budapest)
Domokos József (Marosvásárhely)
Dusza János (Kassa)
Erdei Timotei István (Debrecen)
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)
Horváth Sándor (Budapest)
Kakucs András (Marosvásárhely)
Kelemen András (Marosvásárhely)
Kovács Tünde (Budapest)
Kovács Zsolt (Szombathely)
Markó Balázs (Sopron)
Máder Patrik Márk (Pécs)
Máté Márton (Marosvásárhely)
Pokorádi László (Budapest)
Radu Sorin Mihai (Petrozsény)
Réger Mihály (Budapest)
Roósz András (Budapest)
Sikolya László (Nyíregyháza)
Szántó Attila (Debrecen)
Talpas János (Kolozsvár)
Tolvaly-Roşca Ferenc (Marosvásárhely)
Tóth László (Budapest)

ISSN 2393 – 1280

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

19.

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



**ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2023**

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

The publication of this volume was supported by the Hungarian Academy of Sciences,
by the Bethlen Gábor Fund, by the TMS – Department of Engineering Sciences,
by the Cluj-Napoca Mayor's Office and Local Council.



Copyright © a szerzők/the authors, EME/TMS 2023

*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-2023.19

DOI: 10.33894/mtk-2023.19

TARTALOM

Bakai Nándor, Zagorác Márk Balázs, Rák Olivér, Hillebrand Péter

Eszközfejlesztés a virtuális valóság (VR)-technológia felhasználási lehetőségeinek bővítésére, az építéshelyi zuhanásbiztonság területén 1

Bakos Levente Attila

Minőségmenedzsment és felelős vállalatirányítás a romániai ipari vállalatok webes kommunikációjában 6

Diós Szabolcs Sándor, Asztalos Gergő Tamás, Husi Géza

*KUKA KR3 ipari robotegység HMI-tervezése és vezérlése univerzális ipari PC-n
Sipy fejlesztőplatform segítségével* 14

Dósa János

Ipari létesítményekből származó hulladék hő kiaknázásának hatékonysága és ennek lehetséges felhasználása 22

Keresztes Kristóf, Gergely Attila Levente

Cserélhető betétes fröccsöntő szerszám tervezése 32

Máté Márton, Gál Károly-István, Tolvaly-Rosca Ferenc

Koszinusprofilú lefejtőléccelel gyártott fogaskerékpár szintézise és CAD-vizsgálata 37

Rezes Gábor, Szigeti Ferenc

Liftajtók és dekoratív elemeinek védőfóliával való burkolása 44

Szántó Attila, Garai Henrik András, Ádámkó Éva, Sziki Gusztáv Áron

Elektromos motorok vizsgálatára fejlesztett mérőrendszer hitelesítése, kalibrálásra 51

Tárkányi Sándor

Esettanulmányok az elmúlt 5 év soproni műemlékfelújítási munkáiból 55

Turi Olivér

A jászberényi középkori ferences templom barokk átalakítása 63

SZERZŐK JEGYZÉKE 67

CONTENT

Nándor BAKAI, Márk Balázs ZAGORÁCZ, Olivér RÁK, Péter HILLEBRAND

Development of Tools for Expanding the Use of Virtual Reality (Vr) Technology in the Field of Construction Site Fall Protection 1

Levente Attila BAKOS

Quality Management and Corporate Governance of Romanian Industrial Companies Through Their Web-Based Communication 6

Szabolcs Sándor DIÓS, Gergő Tamás ASZTALOS, Géza HUSI

KUKA KR3 Industrial Robot Unit HMI Design and Control with Universal Industrial PC in Sipy Development Environment 14

János DÓSA

Review of Possible Waste Heat Sources from Industrial Facilities and Their Potential Use 22

Kristóf KERESZTES, Attila Levente GERGELY

Design of an Injection Molding Tool With Exchangable Inserts 32

Márton MÁTÉ, Károly-István GÁL, Ferenc TOLVALY-ROȘCA

Synthesis and CAD-Examination of a Cylindrical Gear Pair Derived from a Cosine Profiled Rack 37

Gábor REZES, Ferenc SZIGETI

Covering Elevator Doors and Decorative Elements with a Protective Film 44

Attila SZÁNTÓ, Henrik András GARAI, Éva ÁDÁMKÓ, Gusztáv Áron SZIKI

Validation and Calibration of a Measurement System for Testing Electric Motors 51

Tárkányi Sándor

Case Studies from the Last 5 Years' Restoration Projects of Historic Monuments in Sopron 55

Olivér TURI

The Baroque Renovation of the Medieval Franciscan Church of Jászberény 63

LIST OF AUTHORS 67



ESZKÖZFEJLESZTÉS A VIRTUÁLIS VALÓSÁG (VR)- TECHNOLÓGIA FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGÉNEK BŐVÍTÉSÉRE, AZ ÉPÍTÉSHELYI ZUHANÁSBIZTONSÁG TERÜLETÉN

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR EXPANDING THE USE OF VIRTUAL REALITY (VR) TECHNOLOGY IN THE FIELD OF CONSTRUCTION SITE FALL PROTECTION

Bakai Nándor,¹ Zagorác Márk Balázs,² Rák Olivér,³ Hillebrand Péter⁴

¹ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki Ismeretek Tanszék, Breuer Marcell Doktori Iskola, bakai.nandor@mik.pte.hu

^{2, 3, 4} Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, BIM Skills Lab Kutatócsoport zagoracz.mark@mik.pte.hu

³ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, BIM Skills Lab Kutatócsoport, rak.oliver@mik.pte.hu

⁴ Pécsi Tudományegyetem, Műszaki és Informatikai Kar, Mérnöki és Smart Technológiák Intézet, BIM Skills Lab Kutatócsoport, PTE 3D Nyomatatási és Vizualizációs Központ, hillebrand.peter@pte.hu

Abstract

In the construction industry, the occurrence of work accidents is considered to be a critical issue. With advancements in technology, various innovative tools and methodologies have emerged that may provide solutions to mitigate this risk. One of these technologies could be virtual reality that has the potential to enhance worker safety by providing a controlled environment for practicing relevant safety tasks during safety training. The objective of the research and development was to create a system that links fall protection equipment in the physical environment with the virtual space. This study presents a comprehensive examination of the methodology, outcomes of the tool development, and the evaluation of this system.

Keywords: health and safety, fall protection, virtual reality, AEC industry.

Összefoglalás

Egy építkezésen a munkabalesetek bekövetkezésének kockázata kiemelten magasnak tekinthető. A technológia fejlődésével számos új eszköz és módszertan jelent meg, mely megoldást jelenthet az említett probléma csökkentésére. Az egyik ilyen technológia lehet a virtuális valóság, mely lehetőséget biztosíthat a munkabiztonság szempontjából releváns feladatok begyakorlásához, a munkavédelmi oktatás biztonságos környezetben történő megtartásához. A kutatásfejlesztés fő célja az volt, hogy létrejöjjön egy olyan eszköz, amely képes összekötni a fizikai térben létező leesésvédelmi eszközöket a virtuális térrel. Jelen tanulmány ismerteti az eszközfejlesztés és az ehhez tartozó kutatás módszertanát, valamint annak eredményeit.

Kulcsszavak: munkavédelem, zuhanásbiztonság, leesésvédelem, virtuális valóság, építőipar.

1. Bevezetés

Az építőiparban a munkabalesetek bekövetkezésének kockázata kiemelten magas. Kimutatásra került, hogy 2001 és 2020 között a magyarországi

munkabalesetek 5%-a az építőiparban következett be, valamint egy szűkebb, 5 éves időintervallumban, 2014 és 2018 között a balesetek 17%-át a munkavállalók alacsonyabban lévő szintre történő leesése okozta [1]. Ez az arány is jól mutatja,

hogy kiemelten fontos vizsgálni annak a lehetőségét, miként előzhetőek meg a leeséses munkabalesetek. A technológia fejlődésével számos olyan újítás jelenik meg, amely megoldást jelenthet a fent említett problémára. Ezek közül az egyik a virtuális valóság (VR)-technológia alkalmazása lehet. Kutatások vizsgálják a VR építőipari felhasználásának különböző lehetőségeit, melyek nagy számban az építészeti tervezés támogatására, építészeti vizualizációra, az építményinformációs modellezés (BIM) és a VR-technológia kapcsolatának megteremtésére, valamint minőség-ellenőrzésre és az oktatásra fókuszálnak [2]. Az utóbbi években jelentek meg olyan eszközfejlesztések [3] és publikációk, amelyek a VR-technológia leesésvédelmi felhasználására irányulnak [4]. Jelen tanulmány egy olyan kutatás és eszközfejlesztés részleteit ismerteti, amely azt vizsgálja, hogy összekapcsolható-e a virtuális tér valós leesésvédelmi eszközökkel, ezzel kibővítve a VR-technológia leesésvédelemre irányuló alkalmazási lehetőségeit.

2. A kutatás és eszközfejlesztés ismertetése

2.1. A megfelelő VR- és leesésvédelmi eszközök kiválasztása

A kutatás első lépéseként meghatározásra kerültek azok a VR- és leesésvédelmi eszközök, amelyek alkalmasak lehetnek a fejlesztési célok elérésére. A professzionális VR-eszközöket jellemzően két fő kategóriára bonthatjuk, a standalone VR-megoldásokra és PC VR-megoldásokra. A standalone VR-megoldások nagy előnye, hogy az alkalmazások futtatása az eszközön történik, ezért nem igényel számítógépes kapcsolatot. Ez a megoldás a vezetékes PC VR-szemüvegekhez képest sokkal nagyobb mozgásteret és szabadságot biztosít a felhasználók számára. A futtatott alkalmazások kezelésére két lehetséges megoldást alkalmaznak, az egyik a kontrollerek használata, a másik pedig a kéznymkövetés (hand tracking). A kéznymkövetéshez az eszközök jellemzően infrakamerát használnak, és ez alapján határozzák meg a kéz pozícióját. A fejlesztendő eszköz szempontjából ennek a megoldásnak az a hátránya, hogy a kéz követésén túl nehezen vagy egyáltalán nem alkalmazható más tárgyak követésére. A PC VR-megoldások esetén a VR-szemüveg vezetékekkel vagy, egyes eszközök esetén, vezetékek nélkül csatlakozik egy számítógéphez, és az alkalmazás futtatása a számítógépen történik. A futtatott VR-alkalmazás kezelése jellemzően ezeknél az eszközöknél is kontrollerral történik, de vannak olyan gyártók,

melyek biztosítanak különböző fejlesztői megoldásokat egyedi kiegészítők készítésére. Ezt figyelembe véve, a kutatáshoz és eszközfejlesztéshez a HTC cég által forgalmazott Vive PRO VR-szett került kiválasztásra, amely a mobilitás növelése miatt egy vezeték nélküli adapterrel került kiegészítésre.

A termék kibővíthető a VIVE Tracker 3.0 nevű érzékelővel, mely alkalmas lehet a zuhanásbiztonsági eszközök virtuális térbe történő integrálására.

A zuhanásbiztonsági eszközök közül az egyik legelterjedtebb megoldás az energiaelnyelővel ellátott heveder alkalmazása, melynek használata könnyen elsajátítható, és nem igényel előképzettséget. Az energiaelnyelővel ellátott heveder egyik vége a felhasználónál található testhez vagy derékhevederhez csatlakozik, a másik végét pedig egy kikötési ponthoz kell rögzíteni. A kikötési ponthoz történő rögzítés rugós vagy csavarzáras karabinerrel, illetve horogkarabinerrel vagy más néven állványkapoccsal történik. A lehetséges eszközöket megvizsgálva megállapítható, hogy a rugós vagy csavarzáras karabinerek mérete 10–15 cm között változik, amely nem elegendő a hozzávetőleg 8 cm méretű HTC Vive Tracker 3.0 rögzítésére úgy, hogy az a karabiner funkcionális működését ne befolyásolja. A horogkarabinerek mérete jelentősen nagyobb, átlagosan a hosszuk 21–35 cm, amely alkalmas lehet az érzékelő rögzítésére. A fenti paramétereket figyelembe véve a kutatáshoz a Portwest FP51-típusú Y heveder került kiválasztásra, amely FP 35-típusú horogkarabinerrel van ellátva.

A kutatás során felhasznált eszközök az 1. ábrán láthatók.



1. ábra. A kutatás során felhasznált eszközök: (1) HTC Vive PRO VR-szemüveg, (2) VIVE Wireless Adapter, (3) SteamVR Base Station 2.0, (4) Portwest FP51 Y-heveder, (5) Portwest FP35-horogkarabiner, (6) CADO AT 150 fix kikötési pont, (7) CADO AT 150 fix kikötési pont

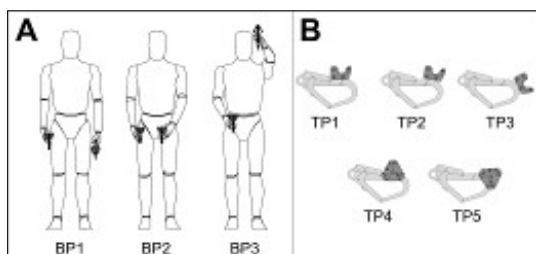
2.2. A lehetséges megoldások vizsgálata 3D-elemzéssel

A HTC Vive Pro a SteamVR Base Station 2.0-típusú bázisállomás segítségével képes lekövetni a felhasználó térbeli mozgását és ez alapján meghatározni a felhasználó pozícióját és mozgását a virtuális térben. Ehhez a VR-szemüveget a kontrollereken, valamint a Vive Tracker 3.0-érzékelőn található szenzorokról visszaverődő jeleket használja. A vizsgálat célja, hogy meghatározásra kerüljön a bázisállomások megfelelő helyzete, valamint az érzékelő pozíciója a karabineren.

A bázisállomás függőleges irányban 110° -os, vízszintes irányban 150° -os szögben képes érzékelni 7 m-es távolságból [5]. A „játéktér” mérete két bázisállomás felhasználásával 5 m^2 , amely 10 m^2 -re bővíthető 4 db bázisállomás alkalmazásával [6].

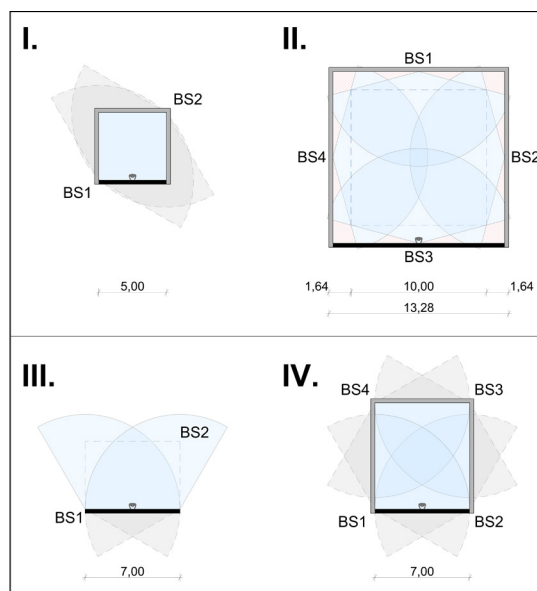
A lehetséges elrendezések háromdimenziós elemzése ArchiCAD 25 tervezőszoftverrel történt, amelyben megmodellezésre kerültek a vizsgálandó térbeli elrendezések (3. ábra), figyelembe véve a vizsgált testhelyzeteket és érzékelőpozíciókat (2. ábra).

A szoftverben található „kamera” eszköz lehetőséget biztosít a bázisállomások valós pozíciójának és pontos látóterének beállítására. A vizsgálat során a bázisállomások pozícióján felül elemzésre került az is, hogy három, a felhasználás közben előforduló testhelyzetből (2. ábra A) miként látszik a különböző lehetséges pozícióban a karabinerre rögzített érzékelő (2. ábra B). A megbízható működéshez arra van szükség, hogy legalább két bázisállomásból egy időben látszódjon az érzékelőn legalább 3 db szenzor. A vizsgálat során rögzítésre került, hogy az eltérő bázisállomás-elrendezések esetén (3. ábra), eltérő testtartásban és eltérő érzékelő pozícióban (2. ábra), a jobb és bal kézben lévő karabinereken hány darab szenzor látható az egyes bázisállomásokról. Az elemzés első lépéseként megvizsgáltuk a gyártói utasításban javasolt bázisállomás-pozíciókat (3. ábra I., II.). A bázisállomások javasolt helyzete



2. ábra. (A) Vizsgált testhelyzetek és (B) vizsgált érzékelő pozíciók

úgy van meghatározva, hogy a felhasználó lehetőség szerint a tér közepén álljon, ami a tervezett eszköz esetén nem megoldható, mivel a kikötési pontokat valamilyen függőleges felületre, például falra kell rögzíteni. A II. számú, 4 db bázisállomást tartalmazó beállítás esetén jól látszik, hogy a falfelületek mellett számos olyan térrész található, amely kívül esik a bázisállomások javasolt érzékelési tartományán. Az I. számú, két bázisállomást tartalmazó elrendezés esetén megállapításra került, hogy a három vizsgált testhelyzetben a hátsó bázisállomással (BS2) ellentétes kézben található karabiner, illetve az azon található érzékelő nem látható, így fennáll annak a veszélye, hogy használat közben a karabiner pozíciója pontatlan lehet a virtuális térben. Az elsődleges vizsgálat tapasztalatai alapján meghatározásra került két olyan elrendezés (3. ábra III., IV.), amellyel biztosítható a bázisállomások megfelelő rálátása az érzékelőkre. Megállapításra került, hogy a III. számú elrendezés esetén mindhárom testhelyzetből megfelelő számú szenzor látható a TP1 és TP2 érzékelő pozíciók esetén, illetve a BP2-testhelyzetben minden érzékelő pozíció esetén. A többi esetben a látható szenzorok száma nem érte el a 3 db-ot. A IV. számú elrendezés esetén az összes testhelyzetben az összes érzékelő elrendezés esetén biztosított volt az, hogy legalább két bázisállomásról legalább 3 szenzor látható legyen. Továbbá, az érzékelők lehetséges pozícióit vizsgálva megállapításra került az is, hogy a karabiner



3. ábra. A bázisállomások lehetséges elrendezései

felső síkján elhelyezett (TP1, TP2, TP3) érzékelők esetén kisebb az esélye annak, hogy a szenzorok kitakarásra kerülnek. A TP1, TP2, TP3 érzékelő pozíciókat vizsgálva megállapítható, hogy nincs közöttük számottevő különbség.

2.3. A lehetséges megoldások elemzése fizikai teszteléssel

A virtuális térben történő elemzést követően megtörtént az eszközök fizikai tesztelése, melynek fő célja az volt, hogy meghatározásra kerüljön, milyen módon rögzíthető fel az érzékelő a karabinerre úgy, hogy az nem akadályozza a karabiner működtetését, nem gátolja a karabiner kikötési pontba történő beakasztását, és nem áll fenn az érzékelő sérülésének kockázata. A tesztelés során a karabiner két különböző kikötési ponthoz történő rögzítése került megvizsgálásra annak érdekében, hogy megállapítható legyen, melyik lehet alkalmas a későbbi VR-fejlesztés során. Az első egy, egy ponton rögzíthető acéllemezből készült, CADO AT 180-típusú kikötési pont volt, a második pedig egy, két ponton rögzülő CADO AT 150-típusú kikötési pont. Annak érdekében, hogy elkerülhető legyen a Vive Tracker 3.0 sérülése a teszteléshez, az eszköz 3D-nyomtatott pontos mása került felrögzítésre a karabinerre (4. ábra). A fizikai tesztek során a 2. ábrán bemutatott érzékelő pozíciókat vettük alapul.

A tesztelés során a következők kerültek megállapításra:

- a TP1 rögzítési mód esetén az érzékelő nagymértékben zavarja a karabiner záró mechanizmusának kioldását, a karabiner kikötési pontba történő akasztását nem befolyásolja;
- a TP2 rögzítési mód esetén az érzékelő kismértékben zavarja a karabiner nyitását, a karabiner kikötési pontba történő akasztását nem befolyásolja;

- a TP3 rögzítési mód esetén az érzékelő nem befolyásolja a karabiner nyitását, viszont a karabiner akasztása közben az érzékelő sérülhet;
- a TP4 rögzítési mód esetén az érzékelő nagymértékben zavarja a karabiner záró mechanizmusának kioldását, a karabiner kikötési pontba történő akasztását nem befolyásolja;
- a TP5 rögzítési mód esetén az érzékelő nem befolyásolja a karabiner nyitását, viszont a karabiner akasztása közben az érzékelő sérülhet;
- az összes vizsgált rögzítési mód esetén megállapítható, hogy a rögzítést követően a karabiner elfordulása miatt fennáll az érzékelő sérülésének kockázata;
- továbbá megállapításra került, hogy az acéllemezből készült CADO AT 150-típusú kikötési ponton található lyuk, méretéből adódóan, megfelelő a horogkarabiner beakasztására, de túl kicsi ahhoz, hogy VR-szemüveg viselése közben pontos akasztást tegyen lehetővé.

2.4. Az eszközfejlesztés ismertetése

A háromdimenziós és fizikai térben végzett vizsgálatok eredményeit alapul véve Shapr3D szoftverben megtervezésre került az érzékelő karabinerre történő rögzítésére alkalmas kiegészítő (5. ábra). A tervezés során kiemelt szempont volt, hogy a kiegészítő csökkentse az érzékelő sérülésének kockázatát, és megfelelő helyet biztosítson a karabiner zárómechanizmusának működtetéséhez. Ezenfelül a gyártói utasításoknak megfelelően [7] meg kellett oldani azt is, hogy az érzékelő alsó síkjától legalább 30 mm-es távolságba kerüljön a karabiner. A karabiner virtuális térben történő integrálása Unity fejlesztői környezetben történt a horogkarabiner, HTC Vive Tracker 3.0 és a rögzítést biztosító kiegészítő mérethelyes 3D-modelljének felhasználásával.



4. ábra. Fizikai tesztelés



5. ábra. A tervezett eszköz 3D-modellje

2.5. Az eszköz prototípusának tesztelése

Egy nem reprezentatív felmérés részeként 5 fő próbálta ki az eszköz első verzióját (6. ábra). A felhasználók visszajelzése egyöntetűen az volt, hogy az eszköz megfelelően pontos és alkalmas a horogkarabiner virtuális térben történő integrálására, illetve alkalmas lehet a későbbi fejlesztésekhez. Hiányosságként emelték ki, hogy a karabiner nyitása jelenleg nem megoldott a virtuális térben, ami a karabiner beakasztása közben zavaró.

Megállapításra került az is, hogy a 3D-nyomtatással készült felfogatással kellő védelmet biztosít a HTC Vive Tracker 3.0 érzékelő a sérülések megelőzésére.

4. A kutatás további célkitűzései

A célok között szerepel az elkészült eszköz továbbfejlesztése, a nyitási mechanizmus megoldása a virtuális térben. Emellett cél olyan szimulációs pályák elkészítése, amelyek a fizikai és virtuális teret összekapcsolva alkalmasak különböző zuhanásbiztonsággal kapcsolatos feladatok elsajátítására és begyakorlására. A tervek között szerepel a szimulációs pályák oktatási célú felhasználási lehetőségeinek részletes vizsgálata és azok validálása tudományos módszerekkel.

5. Következtetések

A tanulmány a zuhanásbiztonsági eszközök és a VR-technológia közötti kapcsolat megteremtésére irányuló eszközfejlesztést és az ezzel összefüggő

kutatás részleteit ismerteti. Bemutatásra kerültek azok a háromdimenziós elemzések és fizikai tesztek, amelyek alapját képezték a fejlesztésnek. Ezek eredményei alapján bemutatásra került az eszközfejlesztés, és felvázolásra kerültek további kutatási irányok. A kutatás eredményeként megállapítható, hogy megfelelő VR-megoldások felhasználásával lehetséges a VR-technológia és a zuhanásbiztonsági eszközök összekapcsolása.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-3-II kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

A kutatáshoz használt HTC Vive Pro VR szettet a BIM Skills Lab kutatócsoport biztosította.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bakai N. et al.: Az építőipari munkabalesetek megelőzésére és csökkentésére irányuló beavatkozási területek – statisztikai adatelemzéssel történő – meghatározása. Magyar Építőipar, 3–4. (2021) 90–99.
- [2] S. Safikhani, S. Keller, G. Schweiger, J. Pirker: *Immersive Virtual Reality for Extending the Potential of Building Information Modeling in Architecture, Engineering, and Construction Sector: Systematic Review*. International Journal of Digital Earth, 15/1. (2022) 503–526.
<https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2038291>.
- [3] Bakai N., Etlinger J., Simon D. E., Rác V. N., Rák O., Zagorác M. B., Hillebrand P.: *Application of Virtual Reality Technology for Fall Protection in the AEC Industry*. In: 2022 1st IEEE International Conference on Cognitive Aspects of Virtual Reality (CVR), Budapest, Hungary, 2022, 000035–000036.
<https://doi.org/10.1109/CVR55417.2022.9967533>.
- [4] Y. Shi, J. Du, C. R. Ahn, E. Ragan: *Impact Assessment of Reinforced Learning Methods on Construction Workers' Fall Risk Behavior Using Virtual Reality*. Automation in Construction, 104. (2019) 197–214.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.04.015>.
- [5] Tips for Setting up SteamVR Base Station 2.0.
https://www.vive.com/eu/support/vive-pro2/category_howto/tips-for-setting-up-base-station2.html (letöltve 2023. február 26.).
- [6] What Things Should I Consider when Installing More than Two SteamVR Base Stations 2.0?
https://www.vive.com/eu/support/vive-pro2/category_howto/considerations-to-make-when-installing-more-than-two-base-stations.html (letöltve 2023. február 9.).
- [7] HTC_Vive_Tracker_3.0_Developer_Guidelines_v1.1_06022021(letöltve 2023. február 26). [Online]. <https://developer.vive.com/>



6. ábra. A fejlesztett eszköz működés közben



MINŐSÉGMEENEDZSMENT ÉS FELELŐS VÁLLALATIRÁNYÍTÁS A ROMÁNIAI IPARI VÁLLALATOK WEBES KOMMUNIKÁCIÓJÁBAN

QUALITY MANAGEMENT AND CORPORATE GOVERNANCE OF ROMANIAN INDUSTRIAL COMPANIES THROUGH THEIR WEB-BASED COMMUNICATION

Bakos Levente Attila

*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék,
Marosvásárhely, Románia*

Abstract

Contemporary quality management is a more complex issue than first impressions might suggest. In order to continuously assure a certain quality level, it is necessary, albeit far from sufficient, to create optimal technical conditions. Some non-productive activities can also be crucial in quality assurance. We considered the quality manager and the manager for public relations/social responsibility to be of particular importance in this issue. In our research, we examine to what extent the two roles are present in some Romanian organizations. The research sample is 158 companies, of which 92 are companies showing outstanding performance at the national level, and 66 are predominantly small and medium-sized local companies from Transylvania. The data show that there is little difference between the two types of company in the area of social responsibility, while there is a significant difference in the case of corporate governance based on OECD principles. While, at local level, the quality assurance details are somehow hidden, or less visible due to some kind of indolence, the lack of corporate governance is obvious, the companies -if they apply these principles- show transparency, accountability.

Keywords: *quality management, quality, corporate governance, corporate social responsibility, Public Relations in industry.*

Összefoglalás

A kortárs minőségmenedzsment komplexebb kérdéskör, mint amilyennek az első benyomásra tűnhet, hiszen ma a minőségbiztosítás a szervezet azon képességét feltételezi, hogy egy bizonyos minőségi szintet folyamatosan és fenntarthatóan tudjon biztosítani. Ehhez messzemenően nem elegendő az optimális műszaki feltételek megteremtése, hanem egyes nem termelő tevékenységek is lehetnek kulcsfontosságúak a minőségbiztosításban. Kutatásunk egyik lényeges kiindulópontját képezi az feltételezés, hogy a teljes körű minőség biztosítása érdekében világosan elkülönült (közép- és felsővezetői) szerepköröket kell kialakítani a minőségmenedzsment érdekében, amelyben kiemelt fontosságúnak ítéltük meg a minőségmenedzsment és a közkapcsolatokkal/társadalmi felelősségvállalással megbízott vezetőt. A kutatásunkban azt vizsgáljuk, hogy a romániai telephelyű vállalatokban, különösen a helyi kis és közepes méretű vállalatoknál, milyen mértékben tudatosul és tükröződik a szervezésben a két szempontrendszer. A kutatási minta 158 vállalat, ebből 92 országos szinten kiemelkedő teljesítményt mutató vállalat, illetve 66 helyi, túlnyomórészt kis és közepes vállalat. Az adatok azt mutatják, hogy a társadalmi felelősségvállalás területén alig van eltérés a két vállalat típus között, míg jelentős az eltérés az OECD-elveken alapuló felelős társaságirányítás esetében. A minőségmenedzsmentre vonatkozó adatok viszonylag kis mértékben vannak jelen a vizsgált vállalatoknál.

Kulcsszavak: *minőségmenedzsment, minőség, felelős társaságirányítás, társadalmi felelősségvállalás, közkapcsolatok az iparban.*

1. Bevezetés

A műszaki felszereltség, a gyártásszervezés, a gazdasági számítások, a rendelkezésre álló munkaerő és a menedzsment elkötelezettségének mértéke a termékek minőségét közvetlenül meghatározó tényezők. Ugyanakkor a minőség fogalma napjainkban sokrétűbb, mint valaha volt. Olyan, korábban nem vizsgált tényezőktől is függ, mint stakeholderek (érintettek) azonosítási pontossága, környezeti paraméterek, digitalizációs szint, szociálpszichológiai viszonyok, etikai és jogi normák. A minőség minden összetevője hozzájárul ahhoz, amit ma a minőség kifejezés alatt értünk. [1]

A teljes körű minőségmenedzsment ma már olyan módszereket feltételez, amelyek javítják a szervezeten belüli folyamatokat, és túlteljesítik a vevők jelenlegi és jövőbeli igényeit. [2] Tehát a minőség ma már nem csak a mérnökök és menedzserek, hanem a szervezetben dolgozó összes személy közvetlen felelőssége. Ezek olyan tevékenységek körök, amelyek olyan dimenziókra terelik a figyelmet, amelyekről korábban senki nem gondolta, hogy teljesítménytényezők lehetnek ipari rendszerekben.

2. A minőség és vezetés

A fejlett minőségmenedzsment alapelvei és az ezekhez kapcsolódó módszerek és technológiák, elsősorban az ipari rendszerekben, mára már természetes irányítási elvekké váltak. [3] A minőségmenedzsment módszerei, mint elmélet és gyakorlat, egyértelműen pozitív és közvetlen hatással vannak a termék- és a folyamatinnovációra. Emellett az olyan mutatók javulását is eredményezhetik, mint az ügyfelek/munkavállalók elégedettsége, vagy a piaci részesedés. [4]

A fentiek alapján is nyilvánvaló, hogy a minőségbiztosítás sokkal összetettebb mechanizmus, mint amilyennek az első benyomásra tűnhet. Míg a minőség elsősorban a tevékenység eredményét jelenti (az elkészített termék valós vagy a fogyasztó fejében indukált tulajdonságain alapszik), addig a minőségbiztosítás a szervezet azon képességét jelenti, hogy egy bizonyos minőségi szintet folyamatosan és fenntarthatóan tudjon biztosítani. Ehhez messzemenően nem elegendő az optimális műszaki feltételek megteremtése (pl. a felszereltség megléte, a szakszerű technológiai tervezés és a gépi beállítások és az öntudatos kivitelező), hanem megfelelő szervezési és anyagi feltételek is szükségesek.

A minőségmenedzsmenttel kapcsolatos tevékenységeket a köztudatban általában a technológiai folyamatokkal hozzák kapcsolatba. Valójában, a minőségmenedzsmenttel kapcsolatos tevékenységek és döntések csak egy töredéke vonatkozik a tényleges technológiai kérdésekre. A teljes körű minőség biztosítása feltételezi, hogy a technológiai folyamatokra való odafigyelés mellett, számtalan más – rendszerint finanszírozást és felsővezetői figyelmet igénylő – folyamatra kell odafigyelni. Egyes nem termelő tevékenységek finanszírozásának hiánya tulajdonképpen a minőségmenedzsment-alapelvek megszegését és a vezetői támogatás hiányát jelenti. A jelenlegi szabványok és koncepciók szerint a minőségbiztosítás felelőssége minden körülmények között a vállalkozás vezetésére hárul. A minőség irányába történő teljes elkötelezettség hiánya abban is megmutatkozik, hogy a vezetők nem hajlandók (elsősorban a minőségmenedzsmenthez kapcsolódó) közérthető munkaköröket kialakítani.

Kutatásunk egyik lényeges kiindulópontját képezi az feltételezés, hogy a teljes körű minőség biztosítása érdekében világosan elkülönült (közép és felsővezetői) szerepköröket kell kialakítani, amelyek a felsővezetők munkáját fogják segíteni. Léteznie kell egy külső és belső megfigyelő számára is világosan látható (a minőségért is felelős) vezetői csapatnak, amelyben kiemelt fontosságúnak ítéltük meg a minőségmenedzsment és a közkapcsolatokkal/társadalmi felelősségvállalással megbízott vezetőt.

3. Minőség és közkapcsolatok

Mára már számtalan kutatás által bizonyított, hogy az ipari környezetben tevékenykedő cégek CSR-kommunikációja jelentősen növeli cégértéküket. [5] Guo és társai azt is bizonyították, hogy ez a cégértéknövelés, bár kisebb mértékben, abban az esetben is jelen van és javítja a cég iparági hírnevét, ha ellentmondásos, konfliktusos kontextusba kerül egy adott pillanatban. [6]

A minőségi termelőtevékenységhez nem elegendő a technikai és szervezési feltételek, ezeket a képességeket meg kell mutatni, bizonyítani és bemutatni kell. Ha a termék mérhető műszaki paraméterei gyengébbek a versenytárs márkákhoz képest, akkor a piaci siker az értékesítőknél, a marketingeseken múlik, és nem utolsósorban azokon, akik a cég hírnevével, imázsával foglalkoznak. Az ő feladatuk, hogy a terméket versenyképessé tegyék még akkor is, ha a termék műszaki szempontból nem az. Ilyen körülmények között a

marketing és PR-szakember ugyanolyan fontos szereplővé válik, mint a gyártási folyamatokért felelős mérnök.

A minőségmenedzsment-módszerek gyakran olyan tudatos szervezeti kultúráváltást feltételeznek, amelyet világszerte a vállalatok japán vagy amerikai receptekkel próbálnak megvalósítani. Ezek jelentős mértékben eltérnek a hazai szervezeti kultúrától, olyan idegen kliséket, szlogeneket, munkamódszereket tartalmaznak, amelyeket nehezen lehet asszimilálni, különösen a munkások szintjén. Bizonyos mértékben kivételt képez az EFQM-minőségmenedzsment-modell [7], amely jellegzetesen az európai üzleti kultúrára épül. Azonban még az EFQM adaptálása esetén is fontos, hogy a minőségmenedzsmenttel foglalkozó műszaki vezetők munkájába bevonjanak olyan szakembereket, akik a kommunikáció területén jártasak. Egyes PR-technikák könnyíthetnek a változások bevezetésében, és segítenek a megfogalmazott célok elérésében. A PR-szakember a kommunikáció művészetében birtokolt ismeretei révén megkönnyítheti azoknak a munkáját, akiknek feladata ezeknek a modern vezetési koncepcióknak a megvalósítása. A minőségmenedzsment (QM- Quality Management) és PR-szakemberek együttműködésének első feltétele az, hogy mindkét szerepkör létezzen az adott szervezet struktúrájában. Kutatásunk során ennek meglétét is vizsgáltuk. Ezzel egy időben a kutatásunk során azonban egy kevésbé evidens arculatépítési kérdést helyeztünk előtérbe, és azt vizsgáltuk, hogy miként van egyidejűleg jelen az elkülönült műszaki értelemben vett minőségmenedzsment-tevékenység és a vállalati társadalmi felelősségvállalás, CSR (az angol Corporate Social Responsibility kifejezésből származó rövidítést fogjuk a továbbiakban használni). Nyilvánvalóan sarkított álláspont a CSR-tevékenységeket tudatos imázsépítőnek (netán akár PR-fogásnak) minősíteni, de kétségtelenül nem is lehet elvonatkoztatni a két dolgot egymástól. Viszonylag friss kutatások statisztikai mérésekkel igazolják, lásd például [8], hogy a vezetés által CSR-re, TQM-re és felelős vezetésre (be)fektetett idő és más erőforrások egyértelműen segítik a szervezet fenntarthatóságát.

Ma már senki számára nem vitás, hogy a CSR-nek a versenyképesség tekintetében jelentős szerepe van. A mi kutatásunkkal hasonló kutatásban a G&A Institute azt tapasztalta, hogy a S&P500-as listán levő cégek 92%-a rendszeres jelentést tesz a fenntarthatóság érdekében tevékenységükről [9]. Az S&P500-index az egyik legjobban követett

tőzsdeindex, és ennek a meghatározásában (egy nagyon leegyszerűsített megközelítésben) a világ 500 legnagyobb cégének pénzügyi mutatói állnak rendelkezésre. A mi kutatásaink során egyetlen olyan multinacionális céget sem találtunk, amelynek a honlapján ne jelent volna meg a CSR-re vonatkozó információ. Rendszerint az explicit CSR rövidítés megtalálható a honlap első oldalán.

A világos, közérthető CSR-tevékenységnek mérhető eredményei vannak nemcsak a pénzügyi és az ügyfélkapcsolatok területén, hanem a kockázatkezelés, az emberierőforrás-menedzsment és az innovációs kapacitás tekintetében is. Mindezeknek pedig közvetlen köze van ahhoz, amit ma a minőség fogalma alatt értünk. Ma már nem a társadalom óhaja, hanem a piacképesség feltétele, hogy a vállalatok tettekkel fejezzék ki a társadalom iránti felelősségüket [10]. Erre vonatkozóan mind az EU intézményei [11, 12] a nemzetközi szabványügyi szervezet, az ISO [13], mind az OECD is ajánlásokat [14], vezetőelveket, szabványokat fogalmaznak meg egy lehetőleg egységes, hasonló keretrendszer megteremtése érdekében.

4. A felelős társaságirányítás (corporate governance)-elvek és a CSR

A vállalatok társadalmi, szociális felelősségvállalásához szorosan kapcsolódik a felelős társaságirányítás fogalma, annyira szorosan, hogy tudományos elemzésekben érdemes elhatárolni egymástól a két területet. [15] Mi is ezt tettük a kutatásaink során, és a gyakorlat igazolta ezt a több ponton történő kapcsolódást, és persze az eltéréseket is. Az OECD-elvű társaságirányítás (corporate governance- CG) lényegesen jogi értelemben formalizált vezetési elvrendszer, szemben a CSR- koncepcióval, amely pont a jogi keretek feletti kötelezettségvállalás mellett érvel. Továbbá, a CG a belső mechanizmusokra figyel elsősorban, míg a CSR inkább a szervezet külső környezetére.

A felelős társaságirányítás pár évvel ezelőtt még a szakemberek számára is új volt, de jelenleg az Európai Unió, az OECD, a Világbank és a Nemzetközi Valutaalap érdeklődésének középpontjában van, szakirodalma exponenciálisan növekszik [15]. Romániai viszonylatban az OECD-elvű társaságirányítási elvek jellemzik az elterjedt standardot. Az OECD szervezet (az angol Organisation for Economic Co-operation and Development rövidítése) a világ egyik legjelentősebb országok közötti gazdasági együttműködési szervezete, jelenleg 38 tagállama van, és tagjának lenni presztiziskérdés. A szervezet célja a tagállamok lehető legjobb gaz-

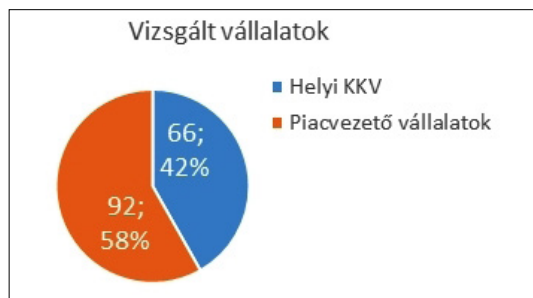
dasági és szociális politikájának összehangolása, s ebben az igyekezetben olyan konkrét kérdésekkel is foglalkoznak, mint például a vállalatok szintjén kigondolt, felelős társaságirányítás. [16] Romániában az állami tulajdonú vállalatok esetében, a 109-es Sürgősségi Kormányrendelet [17] alapján, és tekintve az ország OECD-tagságra való igyekezetét, kötelezővé vált a CG-elvű vezetés. Ettől függetlenül, a multinacionális cégek esetében, továbbá a tőzsdén jegyzett vállalatoknál, a vizsgált régióban is, szintén elterjedt ez a kiemelt átláthatóságot biztosító vezetés. Ma már nem ritka, amikor a potenciális partnerek az első közvetlen kapcsolatfelvétel előtt arról tájékozódni, hogy milyen irányítási modellt követnek a leendő partnerek, és ez ténylegesen hogyan valósul meg a gyakorlatban. Ebben a megközelítésben is jelen van tehát a három terület, a QM, hírnévmenedzsment/CSR és CG egyidejű vizsgálata. A QM elemzésén keresztül a műszaki értelemben vett kompatibilitás, az azonos (és független fél által tanúsított) standardok megléte és a minőség iránti elkötelezettség (vevőközpontúság) a vizsgálat tárgya. A hírnévmenedzsment és CSR esetében a közérdekű problémák iránti érzékenységet és a tudatos felelősségvállalásra való hajlandóságot elemzi a potenciális partner. S végül, de határozottan nem utolsósorban, a CG-irányítási modell tapasztalása megnyugtathatja a bizonytalan üzleti partnert, hogy az áttekinthető, jogilag is alaposan szabályozott, minden értelemben felelős kapcsolat fogja jellemezni az együttműködést. A fentiek tükrében nyugodtan állíthatjuk, hogy mindhárom szempontrendszer és tevékenység kiemelten fontos a vállalat imázsának kialakításában, nemcsak a vevők elvárásainak való megfelelésben, hanem a partneri viszonyok kialakításában is. A kutatásunkban azt vizsgáljuk, hogy a romániai telephelyű vállalatokban, különösen a helyi kis és közepes méretű vállalatoknál, milyen mértékben tudatosul és tükröződik a szervezésben a fenti három szempontrendszer, és milyen módon jelenik mindez meg a nyilvános szférában.

5. Kutatási eredmények

A kutatás a társadalomtudományok területén használt kutatási módszertan (lásd pl. [18]) alapján a tartalomelemzés kategóriájába sorolható. A megfogalmazott kutatási kérdés szerint azt szeretnénk volna vizsgálni, hogy a minőségmenedzsment és a közkapcsolatok/vállalati társadalmi felelősségvállalás szerepköre miként jelenik meg az általunk elemzett vállalatoknál. A tartalomelem-

zés során a kiválasztott vállalatok weboldalait vizsgáltuk. Amint az előzőekben is rámutattunk, a két szerepkör tevékenysége kiemelten fontos egy vállalat imázsának a kialakításában, valamint a vevők elvárásainak való megfelelésben.

Az adatgyűjtés 2022. augusztus–november hónapok között történt. A vizsgálati mintát 158 romániai telephellyel rendelkező vállalat alkotta. A kutatás során az első fázisban a hazai piacon tevékenykedő ipari nagyvállalatokat vizsgáltuk meg. A nagyvállalatok kiválasztása a nyilvánosan elérhető cégadatok alapján, több webes forrás felhasználásával történt [19, 20]. Nem törekedtünk feltétlenül egy toplistás keresésre, sem a forgalom, sem a korábbi évek eredménye, sem az alkalmazottak száma szerint, ugyanakkor felhasználtunk olyan adatbázist is, amely CAEN-kód (a romániai gazdasági tevékenységeket osztályozó kódrendszer) szerint is rangsorolja a romániai cégeket. [21] A honlap szerint az adatok forrása a hivatalosan elérhető pontos cégbírószági adatok, bár egyértelmű forrást nem tüntet fel. A talált adatok azonban összhangban vannak a más forrásokból származó adatokkal, illetve azokkal, amelyeket a cégek honlapján találtunk. Ismét hangsúlyozzuk, hogy nem célunk a (bármely paraméter szerint mért) legnagyobb ipari vállalatok azonosítása, s a pontos számveteli adatok sem lényegesek az elemzés szempontjából. A cél összehasonlítani az egyes iparágakban kiemelkedő/piacvezető vállalatok helyzetét a saját régióinkban (Maros és Hargita megye telephelyű), hasonló területen tevékenykedő vállalatokéval. A kutatás második felében ezeket a vállalatokat vizsgáltuk meg. Ezek a vállalatok, lévén termelővállalatok, nem tekinthetők helyi érdekeltégűnek, hiszen többen globális piacokon vannak jelen, azonban méretük alapján rendszerint kis és közepes méretű vállalatokról beszélünk. Az 1. ábra a vizsgált minta százalékos arányát érzékelteti. Láthatjuk, hogy a mintában a méret szerinti megoszlásban



1. ábra. A vizsgált vállalatok méret szerinti megoszlása

valamivel több a piacvezetőnek is nevezhető nagyvállalat, hiszen ezeket viszonylag könnyebb volt azonosítani a források alapján.

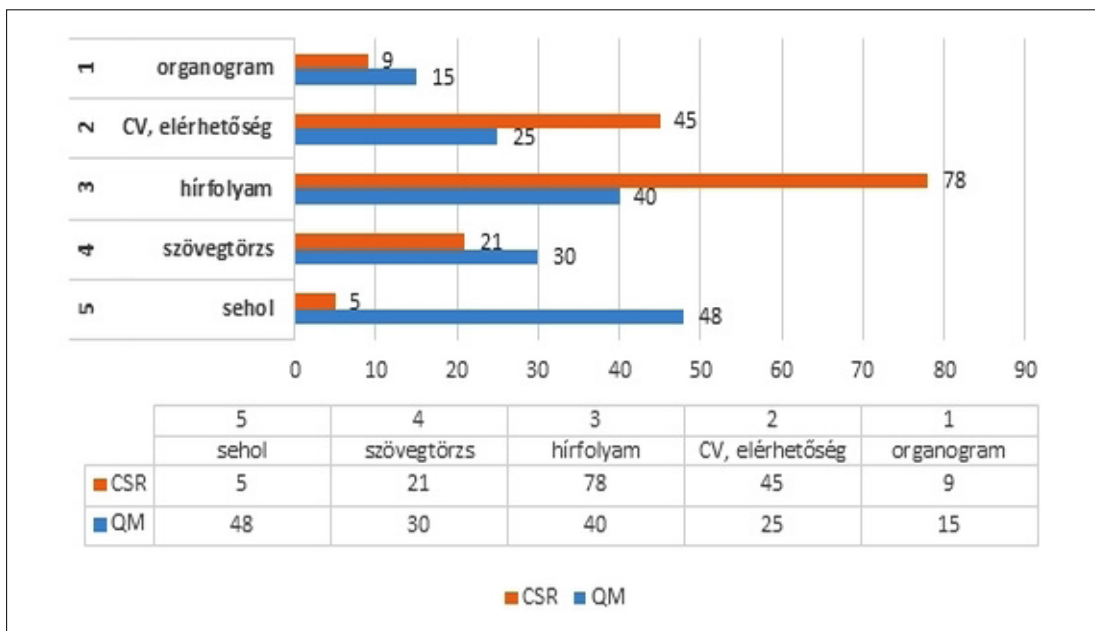
A vállalatok méret szerinti azonosítása után az elemzés során a minőségmenedzsmenttel és a társadalmi felelősségvállalással kapcsolatos tevékenységek meglétét kerestük. A honlapon fellelhető tartalmak között a keresést az alábbi sorrend alapján végeztük:

1. szervezeti ábra/organogram
2. vezetők/szervezeti alegységek megnevezése és egyéb adatai
3. hírfolyam
4. szövegtörzs

Először azt kerestük, hogy a honlapon megtalálható-e a vállalat szervezeti ábrája (organogram), és amennyiben igen, akkor a minőségmenedzsment és a társadalmi felelősségvállalás megjelenik-e az ábrán, mint elkülönült tevékenység. Az elemzés során azt tapasztaltuk, hogy a vállalatok szervezeti ábrája általában nem publikus, hiszen a vizsgált 158 cég közül csak 24-nél (15%) volt elérhető az organogram a honlapjukon. Ezek között azt tapasztaltuk, hogy 20 esetben világosan látható a QM-tevékenység (ez a teljes minta 13%-a), illetve 16 esetben jelenik meg egyértelműen elkülönült módon a CSR- és QM-tevékenység. Amennyiben a keresés során nem sikerült organogramot találni (tehát impliciten nem tudtuk elemezni, hogy van-e azonosítható, elkülönült minő-

ségmenedzsment vagy felelősségvállalással kapcsolatos szerepkör), akkor a második kereséskor a vezető személyekre vonatkozó adatokból (pl. CV), illetve a szervezeti alegységekre vonatkozó adatokból próbáltuk azonosítani a két funkciót. Amennyiben az első két szempont szerinti keresés nem szolgáltatott adatot, akkor a hírfolyamokban, illetve a weboldal tartalmi részében kerestünk adatokat. Az elért adatok forrását a **2. ábra** szemlélteti.

Felmérésünk során két szempont szerint elemeztük a honlapon elérhető információkat. Az egyik kritérium a CSR szerinti elemzés volt, amely során nemcsak a CSR-rel foglalkozó személyeket/tevékenységeket kerestük, hanem tágabb értelemben mindent, ami a köz(ös)ség)kapcsolatokkal, stakeholder-menedzsmenttel, lobbikapcsolatokkal, ügyfélkapcsolat-kezeléssel és más rokonterülettel kapcsolatos. Azért döntöttünk a CSR rövidítés mellett, mivel elsősorban a tudatos felelősségvállalás kérdéskörével kapcsolatos tevékenységeket kerestük. Amennyiben a vizsgálat során csak a felsorolt területek egyikével, azaz csak kizárólag imázssal, lobbikapcsolatokkal vagy ügyfelekkel kapcsolatos kommunikációt észleltünk, akkor a kutatás szempontjából a vállalatot nem tekintettük felelősnek, hiszen csak egyetlen szűk területre fókuszál, valószínűleg önszervezés által vezérelve.



2. ábra. Az adatok forrása

A második szempont a QM szerinti elemzés volt. Itt nem feltétlenül a műszaki kontextusban használt QM-t értjük, azaz nemcsak a termelési folyamatokra való összpontosító minőségirányítást/ellenőrzést, hanem a teljes gyártási tevékenység (beszerzéstől az értékesítés utáni vevőszolgálatig) minőségi szempontok szerinti követését, tehát a TQM- (Total Quality Management) és/vagy lean-elvű filozófiára épülő vállalatvezetést is.

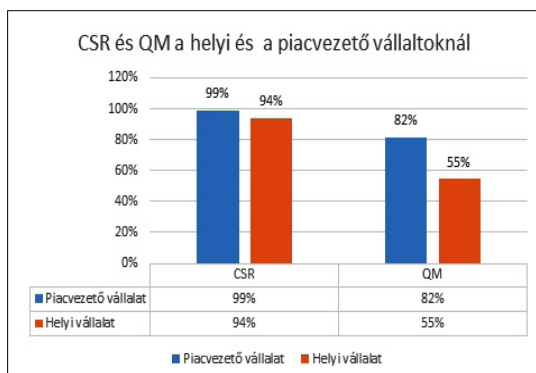
A második ábrán azt is érzékeltetjük, hogy a vizsgált vállalatok között több olyan is volt, amely egyáltalán nem tartalmazott adatokat a szervezet minőségmenedzsmentjére vagy a társadalmi felelősségvállalásra vonatkozóan. Ezek kivétel nélkül helyi kisvállalatok. Mivel a kutatás tulajdonképpen mozgatórugója a helyi vállalatok helyzetének megismerése volt, pontosabban ezen vállalatok összehasonlítása a minőségmenedzsment területén a hazai piacvezetőkkal, elsősorban a fenti két kérdéskörben történt az összehasonlítás. A 3. ábrán összehasonlítjuk a vállalatok honlapján talált adatok alapján, hogy milyen eltérés mutatkozik a CSR és QM között a két vállaltípus esetében.

Az adatok azt mutatják, hogy a CSR-re vonatkozóan, bár létezik valamilyen lemaradás a két vállaltípus között, ez az eltérés nem számottevő, hiszen 5% alatt van. Azok a vállalatok, amelyeket sikerült megvizsgálnunk, a weboldalaikat fontos eszközként kezelik a társadalmi felelősségvállalásukra vonatkozóan. A kisebb méretű helyi cégek is fontosnak vélik jelezni valamilyen szinten elkötelezettségüket a társadalmi környezet iránt, még akkor is, ha a szövegkörnyezetben nem található egyértelmű kapcsolat a CSR és minőségirányítás között. Ez tulajdonképpen jól is van így, hiszen nem is kellene ennek a viszonynak látszania, a CSR a teljes körű minőséghez pontosan úgy járul

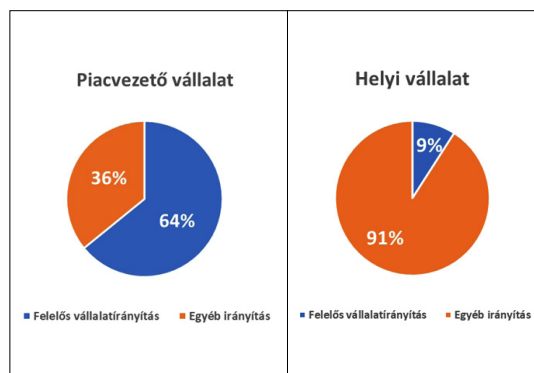
hozzá, hogy nem hozzuk kapcsolatba az alaptevékenység során előállított termékkel vagy szolgáltatással. Ami a QM területet illeti, lásd a 4. ábra jobb oldalát, lényegesen nagyobb a honlapok elemzése alapján az eltérés a két vállaltípus között. A vizsgált vállalatok, még a piacvezető vállalatok egy része is, pontosabban a vállalatok 18%-a, nem tartja fontosnak a minőségmenedzsmentre vonatkozó tevékenységüket népszerűsíteni. Ez az arány sokkal nagyobb a helyi vállalatok esetében, hiszen csak 55%-nál találtunk a QM-re vonatkozó adatokat. Ez az eredmény annál inkább érdekes, hogy valójában a vállalatok – valószínűsíthető módon – kivétel nélkül rendelkeznek tanúsított minőségbiztosítási rendszerrel. Ezek hiányában nem tudnának jelen lenni a B2B-típusú (ipar és viszonteladói) piacokon. Az, hogy ez nem jelenik meg a vizsgált vállalatok honlapján, tulajdonképpen azt sejteti, hogy magától értetődőnek vélik, s nem kívánnak erről beszámolni.

Egy érdekes vizsgálati kérdéskör volt a kutatás során az OECD-elvű társaságirányítás (corporate governance- CG) jelenléte a vizsgált vállalatoknál. Nem kerestünk kifejezetten állami tulajdonú vállalatokat, hiszen Románia esetében a 109-es kormányrendelet alapján rendszerint jelen van a CG-elvű vezetés, emiatt a vizsgált cégek inkább multinacionális, sok esetben a tőzsdén is jegyzett vállalatok. A 4. ábra a CG-elvű irányítás jelenlétét vizsgálja a tanulmányozott vállalatoknál.

A 4. ábra azt a várható eredményt mutatja be, hogy az OECD-elvű vállalatirányítás alig van jelen a helyi vállalatoknál, kevesebb mint 10%-os arányban találtuk ennek jeleit helyi szinten. Lényegesen nagyobb arányban van jelen a felelős vállalatirányítás a piacvezetőnek tekintett vállalatok esetében, ugyanis a vizsgált vállalatok 64%-a egyértelműen alkalmazza ezeket az elveket.



3. ábra. A QM és CSR tevékenység helyzete a két vizsgált vállaltípusnál.



4. ábra. A CG-elvű irányítás a vizsgált vállalatoknál

A kutatás során talán a legérdekesebb kérdéskör a QM-, CSR-helyzet elemzése a felelős társaságirányítás függvényében. Az **5. ábra** ezt a viszonyt mutatja be.

A táblázatban azt láthatjuk, hogy azoknál a vállalatoknál, ahol OECD-elvű társaságirányítás van jelen, ott kivétel nélkül megtalálható a CSR és QM is. Az egyértelműen elkülönült társadalmi felelősségvállalás és minőségmenedzsment mellett ezen a honlapokon világosan látható, kik a szervezet vezetői, a szervezeti ábrán vagy a vállalat kommunikációjából világosan látszik a tudatos elkötelezettség a felvállalt értékek mellett. Volt olyan cég, amely a CSR mellett esélyegyenlőségi vezetővel is büszkélkedett, amit ipari kontextusban, romániai szinten kétségtelenül a PR-szemponként érvényesítéseként értékelünk. Az is kiderült a kutatásból, hogy ahol nincs CG, ott rendszerint nincs könnyen azonosítható menedzsere a cégnek, azaz nem lehet tudni, rendszerint ki a tényleges felsővezető. Azt is megfigyeltük, hogy a stratégiai fontosságú állami vállalatoknál van szervezeti ábra, ebben jól látható, hogy vezető csapat, CG is van. Ezekben van élénknek bemutatott QM- és CSR-tevékenység is. A vizsgált többi, nemzeti szintűnek minősített, nem állami vállalatok esetében az látjuk, hogy ha van CSR, akkor van QM is, ugyanakkor ez fordítva nem igaz, CG-től függetlenül.

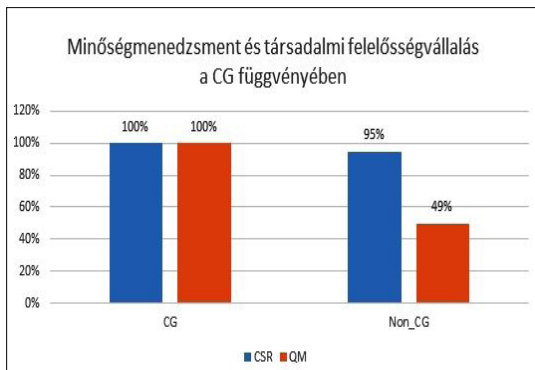
Ami a régiómintát illeti, látható a **4. ábra** jobb oldalán, hogy nincs CG szinte sehol. Ez társul azal, hogy nem látható sem a vezető csapat, sem a QM- és CSR-tevékenységért felelős személy sem. A kutatás során nem találtunk egyetlen szervezeti ábrát sem az összes, vizsgált helyi ipari vállalatnál. Itt is azt tapasztaltuk, ha van CSR, akkor van QM is, de fordítva itt sem igaz. Az vettük észre, hogyha alig van QM-re utaló információ, ugyan-

akkor szinte kivétel nélkül, minden biztonnal, rendelkeznek fejlett, tanúsított minőségirányítási rendszerrel, hiszen ISO9001- és ISO14000-tanúsítás nélkül – kiegészülve a szektorspecifikus szabványokkal – viszonylag nehéz már a hazai piacon is érvényesülni. Egyetlen helyen sincs explicit kiírva a CSR/PR vagy QC/QM. A honlapok rendszerint elavultak, illetve átirányítottak az anyavállalat honlapja felé. Ez utóbbi helyen azonban szinte minden tökéletes, tehát rendszerint jelentős eltérés van az anyavállalat és a leányvállalata által mutatott nyilvánosságnak szánt információ között.

6. Következtetések

A kortárs minőségmenedzsment komplexebb kérdéskör, mint amilyennek az első benyomásra tűnhet, hiszen ma a minőségbiztosítás a szervezet azon képességét feltételezi, hogy egy bizonyos minőségi szintet folyamatosan és fenntarthatóan tudjon biztosítani. Ehhez messzenemően nem elegendő az optimális műszaki feltételek megteremtése (pl. a felszereltség megléte, a szakszerű technológiai tervezés és a gépi beállítások és az öntudatos kivitelező), hanem megfelelő szervezési és anyagi feltételek is szükségesek. Ez felsővezetői figyelmet igényel egyes nem termelő tevékenységekre is, a minőség irányába történő teljes elkötelezettség jele az is, hogy a minőségmenedzsmenthez több munkakört is kialakít a szervezet. Kutatásunk egyik lényeges kiindulópontját képezi az feltételezés, hogy a teljes körű minőség biztosítása érdekében világosan elkülönült (közép és felsővezetői) szerepköröket kell kialakítani a minőségmenedzsment érdekében, amelyben kiemelt fontosságúnak ítéljük meg a minőségmenedzsment és a közkapcsolatokkal/társadalmi felelősségvállalással megbízott vezetőt.

A kutatásunkban azt vizsgáljuk, hogy a romániai telephelyű vállalatokban, különösen a helyi kis és közepes méretű vállalatoknál, milyen mértékben tudatosul és tükröződik a szervezésben a két szempontrendszer, és milyen módon jelenik mindez meg ez a nyilvános szférában. A tartalomelemzés során a kiválasztott vállalatok weboldalait vizsgáltuk. Az elemzés során azt tapasztaltuk, hogy a vállalatok szervezeti ábrája általában nem publikus, hiszen a vizsgált 158 cég közül csak 24-nél (15%) volt elérhető az organogram a honlapjukon. Ezek között azt tapasztaltuk, hogy 20 esetben világosan látható a QM-tevékenység (ez a teljes minta 13%-a), illetve 16 esetben jelenik meg egyértelműen elkülönült módon a CSR- és QM-tevékenység



5. ábra. A vállalatirányítás és minőségmenedzsment

Ami a régiómintát illeti, nincs CG szinte sehol, nem látható a vezető csapat, valamint QM- és CSR-tevékenységért felelős személy sem. A kutatás során nem találtunk egyetlen szervezeti ábrát sem egyik, vizsgált helyi ipari vállalat esetében. Itt is azt tapasztaltuk, ha van CSR, akkor van QM is, de fordítva itt sem igaz. Az vettük észre, hogy alig van QM-re utaló információ, ugyanakkor szinte kivétel nélkül, minden biztonnal, rendelkeznek fejlett, tanúsított minőségirányítási rendszerrel, hiszen ISO9001- és ISO14000-tanúsítás nélkül – kiegészülve a szektorspecifikus szabványokkal – viszonylag nehéz már a hazai piacon is érvényesülni.

A honlapok rendszerint elavultak, illetve átirányítottak az anyavállalat honlapja felé. Ami az OECD-elvű a társaságirányítást illeti, azt tapasztaltuk, ahol ez jelen van, ott kivétel nélkül megtalálható a CSR és QM is. Itt az egyértelműen elkülönült társadalmi felelősségvállalás és minőségmenedzsment mellett ezeken a honlapokon világosan látható, kik a szervezet vezetői, a szervezeti ábrán vagy a vállalat kommunikációjából világosan látszik a tudatos elkötelezettség a felvállalt értékek mellett. A felelős vállalatirányítás területén található a legnagyobb eltérés a helyi vállalatok és a piacvezetőnek nevezett nemzeti szintű nagyvállalatok között.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] M.-S. Akhmatova, A. Deniskina, D.-M. Akhmatova, L. Prykinac: *Integrating Quality Management Systems (TQM) in the Digital Age of Intelligent Transportation Systems Industry 4.0*. Transportation Research Procedia 63 (2022) 1512–1520.
- [2] Yu G. J., Park M., Hong K. H.: *A Strategy Perspective on Total Quality Management*. Total Quality Management & Business Excellence, 31/1-2. (2020) 68–81.
- [3] K. Canbay, G. Akman: *Investigating Changes of Total Quality Management Principles in the Context of Industry 4.0: Viewpoint from an Emerging Economy*. Technological Forecasting and Social Change, 189. (2023) 122358, <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122358>.
- [4] M. García-Fernandez, E. Claver-Cortes, J. J. Tar: *Relationships between Quality Management, Innovation and Performance: A Literature Systematic Review*. European Research on Management and Business Economics, 28/1. (2022).
- [5] Sang-Lin Han, Jong Won Lee: *Does Corporate Social Responsibility Matter Even in the B2B Market?: Effect of B2B CSR on Customer Trust*. Industrial Marketing Management, 93. (2021) 115–123.
- [6] ShuoJia Guo, Cheng Lu Wang, Seokyoung Hwang, Fei Jin, Liying Zhou: *Doing Bad by Doing Good? Corporate Social Responsibility Fails when Controversy Arises*. Industrial Marketing Management, 106. (2022) 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.07.009>.
- [7] EFQM (2019). *The EFQM Model*. Brüsszel: EFQM.
- [8] Talib Hussain et al.: *Examining the Role of Responsible Management, CSR, and TQM in Enhancing Renewable Energy Projects: An Empirical Analysis*. Acta Ecologica Sinica, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2023.06.010>
- [9] <https://www.ga-institute.com/index.php?id=9127>
- [10] Braun R.: *Vállalati társadalmi felelősségvállalás*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2015.
- [11] *** (2001). Green paper - Promoting a European Framework for Corporate Social Responsibility, Commission of the European Communities, Brussels, 18.7.2001, COM(2001) 366 final <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2001:0366:FIN:EN:PDF>
- [12] European Commission, Executive Agency for Small and Medium-Sized Enterprises, Uptake of Corporate Social Responsibility (CSR) by European SMEs and Start-ups – Executive Summary, Publications Office, 2021. <https://data.europa.eu/doi/10.2826/822248>
- [13] <https://www.iso.org/iso-26000-social-responsibility.html>
- [14] <http://mneguidelines.oecd.org/mneguidelines/>
- [15] Auer Á.: *Corporate governance. A felelős társaságirányítás jelenkori dimenziói*, Dialog Campus, Budapest, 2017.
- [16] OECD (2021), OECD Corporate Governance Factbook 2021, www.oecd.org/corporate/corporate-governance-factbook.htm
- [17] *** Ordonanța de urgență nr. 109/2011 privind guvernarea corporativă a întreprinderilor publice.
- [18] Krippendorff K.: *Content Analysis: An Introduction to Its Methodology*. Sage Publications, 2019.
- [19] <https://www.zfcorporate.ro/>
- [20] <https://www.topfirme.com/>
- [21] www.coduricaen.ro



KUKA KR3 IPARI ROBOTEGYSÉG HMI-TERVEZÉSE ÉS VEZÉRLÉSE UNIVERZÁLIS IPARI PC-N SIPY FEJLESZTŐPLATFORM SEGÍTSÉGÉVEL

KUKA KR3 INDUSTRIAL ROBOT UNIT HMI DESIGN AND CONTROL WITH UNIVERSAL INDUSTRIAL PC IN SIPY DEVELOPMENT ENVIRONMENT

Diós Szabolcs Sándor,¹ Asztalos Gergő Tamás,² Husi Géza³

¹ Debreceni Egyetem Műszaki Kar Mechatronika Tanszék, Debrecen, Magyarország,
dios.szabolcs@eng.unideb.hu

² Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, Magyarország, gergoasztalos.28@gmail.com

³ Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Mechatronika Tanszék, Debrecen, Magyarország, husigeza@eng.unideb.com

Abstract

The challenges presented by Industry 4.0 require an innovative, new type of thinking from the engineers. Connecting old machines into a network presents significant problems, as the switch cabinets for these are obsolete and non-upgradeable. This has made developing a solution necessary, that is later universally applicable for scrapped, but mechanically intact robot arms. During the realization of the project such an IoT compatible graphical interface was developed, which can control a KUKA KR3 industrial robot unit and can also Real-Time simulate it in virtual reality. The security functions of the robot are provided by a Pycom SiPy developer panel.

Keywords: KUKA KR3, C++, JavaScript, Pycom SiPy, HMI.

Összefoglalás

A projekt megvalósításra került, és az abban foglaltak megtervezése is megtörtént. A KUKA KR3 ipari robotkar új HMI-je megtervezésre került, amihez a robotegység valós 3D-modellje is elkészítésre és integrálásra került a virtuális környezetben. A Dead man's switch-hez a Pycom által fejlesztett SiPy vezérlő került felhasználásra, míg a Linuxot, egy egykártyás számítógépet, a Strato Pi Base Board és Raspberry Pi-t alkalmaztuk. A 3D-s KUKA KR3 HMI segítségével pontosan nyomon követhetjük a pozíciók változását, és a koordinációja is lehetséges a valódi KUKA KR3-asnak. További fejlesztési lehetőségek között szerepel egy megfogó integrálása a virtuális környezetbe, és annak 3D-modelljének megtervezése is.

Kulcsszavak: KUKA KR3, C++, JavaScript, Pycom SiPy, HMI.

1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Mechatronikai Tanszék, Cyber-Physical & Intelligent Robot Systems Laboratóriumában az oktatás mellett kerülnek végrehajtásra az elvégzett kutatások éles tesztelése [1]. A projektek egyik fő iránya az ipari robotkarok és azok vezérlőrendszereinek a teljes újratervezése, valamint, az új hálózati funkciók támogatásának megvalósítása. A régi, leselejtezett

gépegységek mechanikailag nem avulnak el, viszont vezérléstechnikailag igen. A laborban a hallgatók gyakorlati oktatásban vesznek részt Robottechnikai ismeretekből, viszont új ismeretanyagok átadása is történik, hiszen az egyes kutatások befejezésével integrálásra kerülnek az oktatásba. A laborban megtalálható ipari robotok közül sok felújítás alatt áll, többek között a KUKA cég által gyártott KR3 ipari robotok [2]. A gépegy-

ségek mechanikailag ép állapotban találhatóak, működő motorszabályzó áramkörrel, viszont nem lehetséges gyári ipari számítógéppel történő vezérlésük, mivel az üzemképtelen, és részegységei nem javíthatóak.

A fentiek miatt egy saját HMI került megtervezésre és megírásra a KUKA KR3 részére, mely 3D-pozíció megjelenést tesz lehetővé, Real-Time-környezetben, valamint a biztonsági szabványok figyelembevételével került a Dead Man-Switch is átértelmezésre.

2. KUKA KR3 ipari robotkar

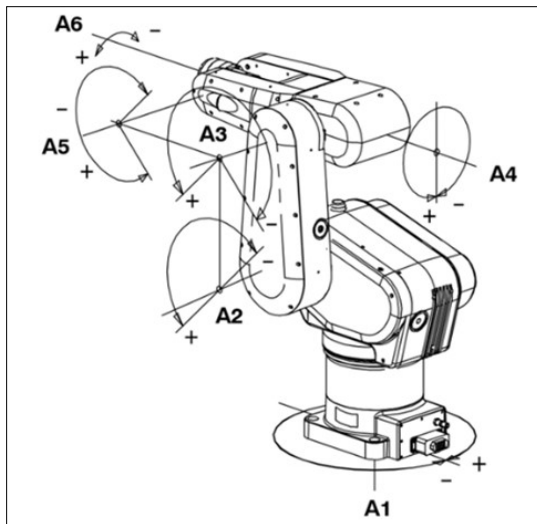
A KUKA cég által gyártott KR3-robot és annak variánsai hattengelyű ipari robotok, melyek kis súlyú, hasznos teher precíz mozgására vannak tervezve.

Szűk térben gyártandó kis alkatrészekhez alkalmazkodik, 3 kilogrammos, névleges hasznos terhet (payload) képes elmozdítani, a maximális kinyúlása 635 mm. Fő felhasználási területei: ívhegesztés, csiszolás, összeszerelés, laboratóriumi automatizálás, alkatrészek pakolása és beültetés [3].

A robotkar felépítése az 1. ábrán látható, ahol a tengelyek és azok elfordulásának szögtartományai, illetve irányai vannak feltüntetve.

A robotkar maga 6R-típusú robot, vagyis minden tengelyénél rotációs mozgást valósít meg, ez adja meg számunkra a gömb munkaterületet. Fontos megjegyezni, hogy a tényleges munkaterületet befolyásolja az adott gépegység axis-limitációja.

A KUKA KR3-robotkar és variánsai már nincsenek forgalmazásban, a hivatalos támogatás megszűnt.



1. ábra. A KUKA KR3-robotkar felépítése [3]

1. táblázat. KUKA KR3-axis-mozgástartományok [3]

A robot axisainak maximális szögsebességei:	Az axisok mozgástartománya °-ban:
Axis 1 (A1) 240°/s	Axis 1: $\pm 180^\circ$
Axis 2 (A2) 210°/s	Axis 2: $-45^\circ / +135^\circ$
Axis 3 (A3) 240°/s	Axis 3: $-225^\circ / +45^\circ$
Axis 4 (A4) 375°/s	Axis 4: $\pm 180^\circ$
Axis 5 (A5) 300°/s	Axis 5: $\pm 135^\circ$
Axis 6 (A6) 375°/s	Axis 6: végtelen

Az ipari számítógép egy olyan, ipari célokra tervezett számítógép, mely precíz szabványoknak kell, hogy megfeleljen, nagyobb megbízhatóságot, bővíthetőséget, hosszú távú támogatást nyújt, és általában drágább, mint a fogyasztói elektronikai cikkek.

Az Ipari PC-t elsősorban folyamatirányításra és/vagy adatgyűjtésre használják, vagy néhány esetben, ha elosztott feldolgozásról van szó, Front-Endként használják egy másik vezérlő számítógéphez.

A robotot irányító vezérlőrendszer az ipari számítógépből és a hozzácsatlakoztatott HMI-vezérlőfelületről áll.

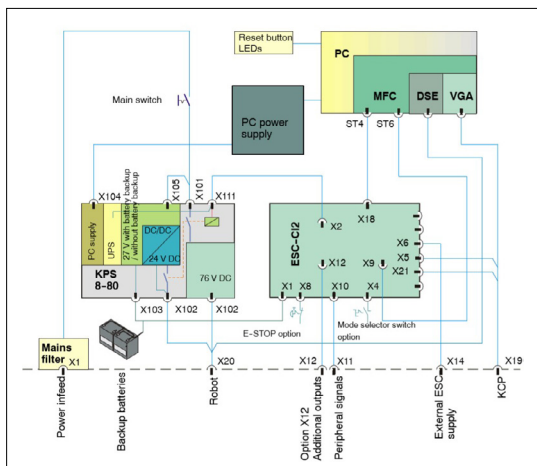
A fentiek az általános követelményeket sorolják fel, amelyeknek a tervezendő KUKA KR3 új vezérlőrendszerének is meg kell felelnie.

Ennek egyik fő oka, hogy a teljes vezérlés ugyan átértelmezésre kerül, viszont elvi szinten továbbra is ugyanazon funkciók használata válik lehetségessé. Többek között DeadMan Switch-, Joint-, World-, Tool-, Base-koordináta-rendszerek, sebességszabályozás és az axis-end-stopok használata.

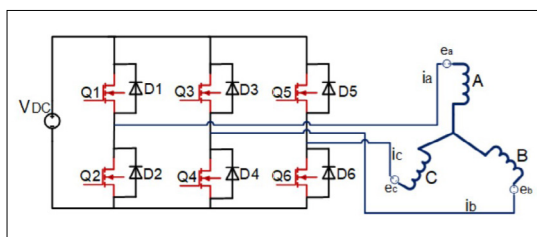
A jelenlegi KUKA KR3 állapota a projekt kezdésekor nem volt alkalmas a HMI-n keresztüli vezérlésre, annak hiánya miatt. Mindössze axisonként volt lehetséges a robotegység mozgása Step-Dir-paranccsal.

A fő problémát az jelentette, hogy a legtöbb iparban alkalmazott vezérlő vagy kapcsolószekrény cégspecifikus, vagyis nem lehet őket lecserélni és javítani sem. A tényleges életciklust a hivatalos gyártó supportja határozza meg.

A KUKA KR3-as által alkalmazott eredeti KR C3-as verziójú vezérlő (2. ábra) már nincs forgalomban, és üzemképtelen. Alapvető funkciók hiánya és szoftverfrissítés sem lenne lehetséges egy működő vezérlőszekrény esetén, ami limitációként szolgálna az elvégezhető feladatokra nézve. Az Embedded OS, amely elérhető rá a Windows 95, amely a Microsoft egy korábbi fejlesztése volt és a hivatalos



2. ábra. A KR C3-robotvezérlő felépítése



3. ábra. BLAC vezérlő áramkör kapcsolási rajza [4]

supportja 2001. december 31-én fejeződött be. Az akkor támogatott portok közül az USB 1.0 is csak utólagos OSR 2.1-frissítéssel került be, amelynek adatátviteli sebessége fizikai rétegben 1.5 Mbps volt. Valamint a szélessávú internet sem volt lehetséges [5].

Kijelenthetjük, hogy a fentiek tükrében az KR C3-as ipari vezérlő nem felel meg az Ipar 4.0 által támasztott követelményeknek és a hálózaton történő kommunikációnak sem.

Alapvetően a kapcsolószekrény alkalmas a KR3-szervomotorok vezérlésére, a gyári HMI futtatására, a sebesség állítására és a programkódok tárolására is. Maga az Ipari PC része, több tekintetben megegyezik egy általános felhasználású Desktop PC-vel, így megtalálhatóak benne olyan alapvető belső hardveres elemek, mint CPU, RAM, HDD, alaplap.

Az alkatrészek nem pótolhatók, mivel egyfajta hardveres kulcsként szolgálnak a gyári ipari HMI számára.

Az eredeti robotvezérlőben helyet kapott egy MFC-bővítőkártya, ez az I/O-kat kezeli, valamint a DeviceNet/CAN bus is, amely lehetővé teszi a kommunikációt a teach pendant (KCP2) és ipari PC között.

3. BLAC motor vezérlése

A KUKA KR3 ipari robotegységben szervomotorok találhatóak, melyek rotációs mozgást hajtanak végre a robot minden csuklópontjában. A motorok kefe nélküliek és váltóáramú motorok, vagyis a tekercselés az állórészen található, míg a forgórészen a mágnesek.

A szervomotor precíz működése érdekében szükség van egy HALL szenzorra is, hogy minden időpillanatban meghatározható legyen a motor pozíciója. A feszültség a tekercsekre a tranzisztorok vezérlésével kapcsolható a motorokra, így áll rendelkezésre a forgáshoz a mágneses tér [6].

Általánosan elmondható, hogy a BLAC-típusú motorok jobb hatásfokkal üzemelnek, mivel kefe nélküliek, és alacsonyabb a hőveszteség (3. ábra).

A tekercsek kivezetései az U, V, W, míg a HALL szenzoré VCC, GND, HU, HV, HW. Pozíciókra vonatkozó adatok szolgáltatását a motorok felől a Tamagawa TS5643 N 100 (11/24 bit) enkóderek teszik lehetővé [7].

A KUKA KR3-robotkar 24V egyenfeszültségen működő Inertia Dynamics M1701-2221 (FSB series)-fékeket használ, viszont nem mind a 6 axison (az A1, A2, A3, A4, A5 alkalmaz csak féket).

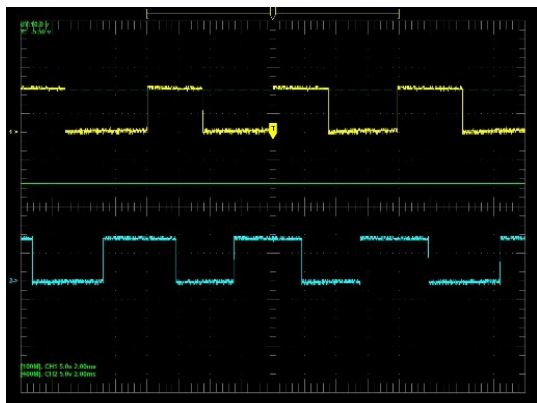
A fékek szerepe az ipari robotkarok esetében az, hogy a tápfeszültség megszűnését követően is biztosított legyen a pozíció és nyomatéktartás [8].

KR3-as robotkar esetében a korábbi motorvezérlők már lecserélésre kerültek Leadshine ACS606 [9] ipari szervomotor-szabályzókra (4. ábra). Ezeket a típusú szabályzókat többtengelyes ipari marókhoz szokták alkalmazni gyártási célokból, elsősorban kefe nélküli (BLAC) motorokhoz.

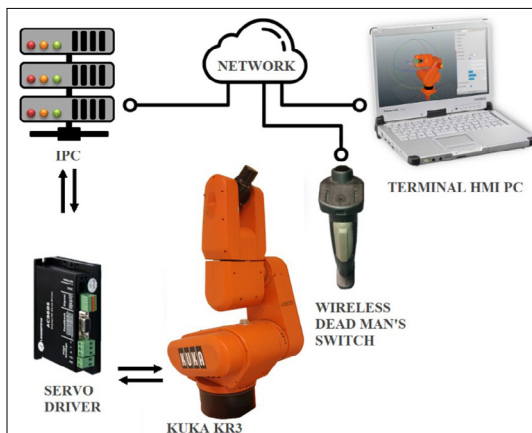
A szabályzó által biztosított egyenfeszültség a motorok számára +18V-tól +60V-ig terjed. Az U-, V-, W-kivezetéseken keresztül pedig lehetséges teszik a motorok tápellátását. Az axisokat vezérlő motorok pozícióinak feldolgozása egy 15 pin-es egyedi csatlakozón keresztül történik.



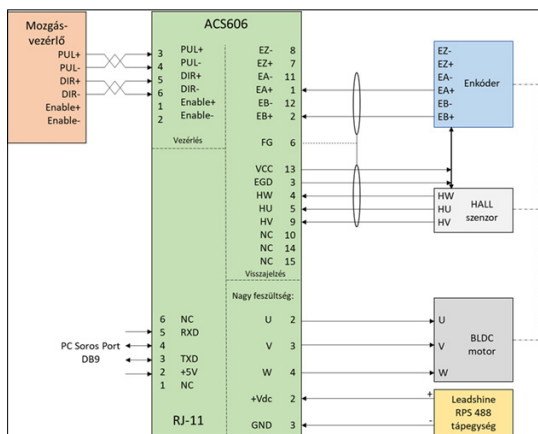
4. ábra. A LeadShine ACS606-szervovezérlő [9]



5. ábra. Enkóder EA+- és EB+-jelek



7. ábra. A rendszerblokk diagramja



6. ábra. ACS606-szervovezérlő és az érzékelők [9]

A négyoszögjelek, az enkóder által szolgáltatott EA+ és EB+, míg a HALL szenzor HU és HV és HW (5. ábra).

Az enkóderek az új HMI megtervezése előtt ellenőrzésre kerültek oszcilloszkóppal. Egy axis teljes fordulata 8192 impulzust jelent. Az 5. ábrán látható oszcilloszkóp X tengelyén, t idő van ábrázolva (2ms), míg az Y tengelyen feszültség. A motorok beállított fordulatszáma 0,915 fordulat/perc volt.

A vezetékezéshez felhasznált kábeltípus sodort érpár volt, amely gégecsőben került elvezetésre.

4. HMI tervezése és a követelményeknek való megfelelés

Ahogy az korábban leírásra került, a legtöbb eleme a KUKA KR3-nak nem cserélhető, mivel egyfajta hardware kulcsok is, a rendszerre nézve, illetve a laborban lévő KR C3-vezérlőszekrény

működésképtelen állapotban található. Viszont a HMI (Human Machine Interface) tervezésénél voltak bizonyos támpontok, amelyek, hogyha teljesülnek a saját HMI-nk kapcsán, akkor reprodukálásra kerül az eredeti HMI, elvi szinten. Ahhoz, hogy az új HMI megfeleljen az Ipar 4.0 követelményeinek, a 7. ábrán látható rendszer lett kialakítva [7].

A robotkar minden axisához egyenként a 6. ábra [9] szerint van csatlakoztatva egy motorvezérlő, amelyek egy számítógéphez csatlakoznak. Ez a számítógép egy ipari PC is lehet, ahogy esetünkben is történt. Ezen a számítógépen Linux operációs rendszer fut, mely úgy lett módosítva, hogy egy saját alkalmazást legyen képes futtatni valós időben.

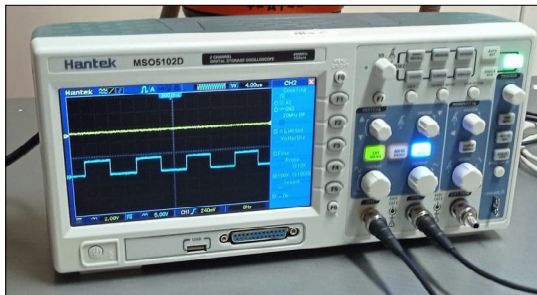
Továbbá egy webszerver található rajta, ahol a virtuális KUKA 3D-modellje, illetve a HMI felületért felelős weboldal van tárolva, ezáltal flexibilitás megoldást szolgáltat a felhasználó részére. Szemben a csak egy adott hardware kulccsal rendelkező Ipari PC-vel, így hálózaton belül szinte bármilyen számítógépen futtathatjuk a saját HMI-nket, ha rendelkezik egy JavaScript engedélyezett böngészővel.

Ha a webszerverhez szeretne kapcsolódni egy kliens, először ellenőrzi, hogy a valós idejű alkalmazás fut-e, ezek után a 3D-modell fájljait, illetve a HMI futtatásához szükséges JavaScript-kódot átadja a kliensnek.

Tehát a Human Machine Interface teljes egészében a kliensen fut, a parancsokat hálózaton küldi át a valós idejű alkalmazásnak, amely azt végrehajtja.



8. ábra. Strato Pi Base Board & Raspberry Pi [11]



9. ábra. Motorvezérlő jelalakok vizsgálata

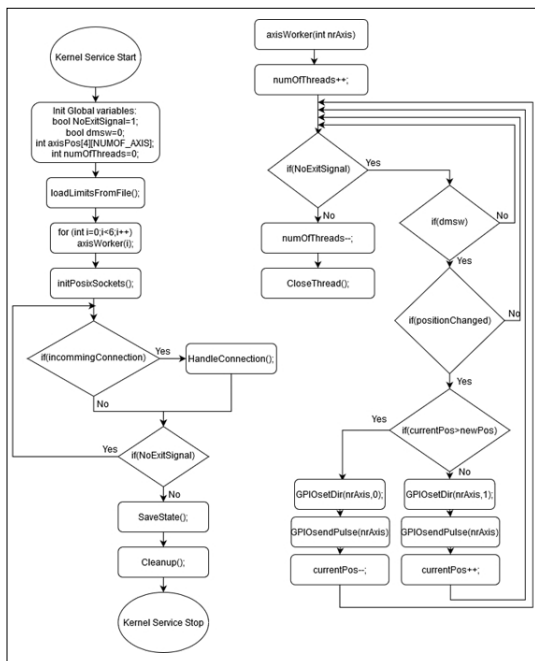
5. Ipari Compute Engine

A projekt megvalósítása céljából egykártyás számítógép került kiválasztásra, amely beágyazott rendszerként van jelen a használata során. A Strato Pi Base Board [10] egy Raspberry Pi-vel [11] került alkalmazásra (8. ábra), ami lehetségessé teszi számunkra a RS-232- és az RS-485-kommunikációt is.

A plusz bővítőkártya segítségével ipari feladatok ellátására teszi alkalmassá a Raspberry Pit. A webserver és a Linux operációs rendszer maga a Raspberry Pi-on fut, a Strato Pi Base Board [7] pedig a jelet küldi ki a motorvezérlőnek. A régi ipari PC kiváltása előtt szükségesnek bizonyult a motorszabályzó elektronikának küldött jelalakok vizsgálata.

A motorvezérlő STEP/DIR-típusú jelet kap, tehát minden axishoz tartozik két jelvezeték. A DIR-inputra kötött vezetéken a motor lépegetési irányának függvényében 0V vagy 5V feszültség jelenik meg (9. ábra).

A STEP-inputra egy 16us periódusidejű 5V csúcsfeszültségű impulzus van kapcsolva ahhoz, hogy lépjen egy egységet a DIR-jel által megadott irányba. A lépési egység függ az adott tengely mozgástartományától és a pozícióenkóder felbontásától, illetve a motor áttételeitől.



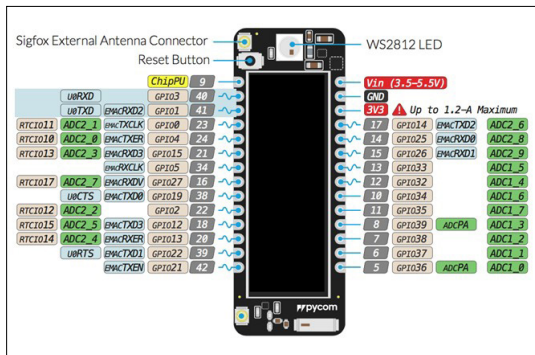
10. ábra. Folyamatdiagram

6. Valós idejű applikáció

Az alkalmazott operációs rendszer Linux kernelének verziószáma 5.4.51-v8+, illetve Preemptive-típusú kernel, mely kulcsfontosságú az applikáció valós idejű futtatásához.

A „core” program egy rendszerszintű service-ként indul el, a hálózati interfészek inicializálása után. A program azon az elven alapul, hogy a tengelyek konkrét pozícióját digitális kódként adja meg számunkra, vagyis az alkalmazott digitális enkóder miatt tudjuk, hogy pontosan hány lépés megengedett.

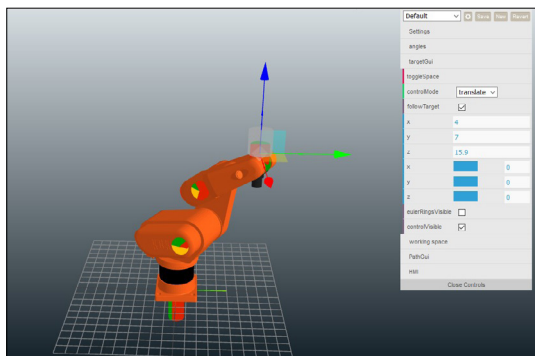
A „core” program indítását követően az elementett maximális pozíciószámokat olvassa be, majd az inicializálási folyamat történik meg, és létrehozza a megfelelő POSIX socket-erőforrásokat a hálózati kommunikációkhoz. A háttérben létrehozásra kerül 6 darab szál (thread), melyek mindegyik a KUKA KR3 ipari robot tengelyeinek felel meg egyenként. Abban az esetben, ha bejövő kapcsolat történik, létrehozásra kerül egy új szál (thread), amely azt végrehajtja. A tengelyeknek megfelelő threadek ellenőrzik, hogy a bejövő információ változás történt-e a tárolt állapothoz képest. Valamint a DeadMan Switch állapota ellenőrzésre kerül, ami ugyanúgy hálózaton keresztül történik (10. ábra).



11. ábra. Pycom SiPy Pinout [13]



12. ábra. Pycom SiPy Deadman Switch



13. ábra. KUKA KR3 3D HMI

7. A Dead Man's Switch kialakítása

A tervezés alatt felmerült az a probléma, hogyha a HMI elérhető bárhonnán a hálózathoz, akkor a robotoperátor nem biztos, hogy mindig a vészstop gomb közelében van, ami balesetveszélyes. Murphy törvényéből kiindulva, ami így hangzik: „Ami elromolhat, az el is romlik” [12], célszerű volt egy egyszerű, hálózat alatt bárhonnán elérhető vészstop gombra.

A megoldást a Pycrom cég által gyártott SiPy [13] fejlesztői modul adja, ez egy Micropythonnal programozható mikrokontrollert, mely az Espressif ESP32 chipsetre épül (11. ábra).

Két processzor található benne: a hálózati processzor, mely a Wifi rádiókapcsolatot kezeli, illetve egy főprocesszor, mely a felhasználó által felprogramozott programot futtatja. A Pycom SiPy tulajdonságai közt megtalálható még az ultraalacsony energiafogyasztás, 1 km hatótávolságú Wifi-rádió megvalósítása Pycom-eszközök között, illetve SigFox-kommunikáció létesíthető vele, egyéb IoT-eszközök között.

A kábel nélküli Dead Man's Switch csak a tápfeszültséget kapcsolja, illetve megszakítja a SiPy-panteltől (12. ábra). A mikrokontrolleren futó program mindenképp megpróbál kapcsolódni hálózaton a valós idejű applikációhoz, mely detektálja a kapcsolat állapotát és az eszköz MAC-címét.

8. 3D KUKA KR3 HMI

A HMI egyik alapfeltétele az volt, hogy 3D-s legyen a megjelenítése az adott robotegységnek. Ennek több oka is volt, az egyik, hogy könnyebben nyomon követhetővé válnak az egyéni axisok pozícióinak a változásai, illetve könnyebb mozgáskoordinációt tesz lehetővé a felhasználó számára.

KUKA KR3 ipari robot kar 3D-modellje 3D CAD (Computer Aided Design) programban került megtervezésre. Az egyik megoldást erre a SketchUp [14] szolgáltatja, amely alacsony poligonszámmal teszi lehetővé számunkra 3D-térbeli alakok modellezését, így nemcsak a 3D-modellek szeletelése válik könnyebbé a 3D-nyomtatások során, de a különböző szimulációs modellek tervezése is lehetséges.

A HMI felület a JavaScript-alapú ThreeJS 3D grafikai motor segítségével lett létrehozva. A HMI funkciói, mint például koordinátszámítás, robotpozicionálás ugyancsak JavaScriptben lettek megírva, tehát a HMI teljes egészében a kliens számítógépen fut (13. ábra).



14. ábra. 3D vs Real KUKA KR3 HMI

A HMI-n keresztül küldött jel a valódi KR3-s ipari robot kar felé lehetséges, így az leköveti a HMI-ben felvett pozíciót. Pozíciók felvételét a robotegység beállítható sebességen veheti fel (14. ábra).

Kliens PC-ként felhasznált laptop paraméterei a teszt során, egy ipari Panasonic Toughbook CF-C2, amely 8 GB DDR3 RAM, Intel Core i5 4300U-val volt felszerelve.

A Cyber-Physical & Intelligent Robot Systems Laboratory lehetőséget szolgáltatott korábban már más típusú kutatási feladatok ellátásához is, legyen szó képelemzésről, adott elemek detektációjára a munkaállomásokon [15], virtuális környezet megalkotására [16] vagy szingularitással kapcsolatos mérések elvégzésére [17]. Az imént említettek mellett, a fenti HMI-tervezés és vezérlési feladat ezen labort öregbíti.

9. Következtetések

A projektem megvalósításra került, és az abban foglaltak megtervezése is megtörtént. A KUKA KR3 ipari robotkar új HMI-je megtervezése megtörtént, amelyhez a robotegység valós 3D-modellje is elkészült és integrálásra került a virtuális környezetben. A Dead man's switch-hez a Pycom által fejlesztett SiPy vezérlő került felhasználásra, míg a Linuxot, egy egykártyás számítógépet a Strato Pi Base Board és Raspberry Pi alkalmaztuk. A 3D-s KUKA KR3 HMI segítségével pontosan nyomon követhetjük a pozíciók változását, és koordinációja is lehetséges a valódi KUKA KR3-asnak. További fejlesztési lehetőségek között szerepel egy megfogó integrálása a virtuális környezetbe, és annak 3D-modelljének megtervezése is.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2020-NKA-04. számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-4.1.1-TKP2020 pályázati program finanszírozásában valósult meg. Külön köszönet a Debreceni Egyetem Műszaki Karának, a Cyber-Physical & Intelligent Robot Systems Laboratorynak és Décei Rolandnak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Erdei T. I., Molnár Zs., Obinna N. C., Husi G.: *Cyber Physical Systems in Mechatronic Research Centre*. MATEC Web on Conferences, 126. (2017) 1006. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201712601006>
- [2] Erdei T. I., Molnár Zs., Husi G.: *Robot Visual and Virtual Control Technology in Industrial Environment*. WoS (Web of Science) (SIMS), Narvik, NORWAY- IEEE, Jun 21-24, 2016. <https://doi.org/10.1109/SIMS.2016.7802902>
- [3] KUKA KR3 | Eurobots, [Online]. Available: <https://www.eurobots.net/kuka-robots-kr-3-p248-en.html> [Accessed on: 10.08.2021].
- [4] Flah A., Lassaad S.: *Overview on BLAC and BLDC Motors: designs and Mathematical Modeling*. International Journal of Powertrains, 10/2. (2021) 204-215. <https://doi.org/10.1504/IJPT.2021.117470>
- [5] Win95 - INDIANA University [Online]. Available: <https://kb.iu.edu/d/aezf> [Accessed on: 12.10.2021].
- [6] K. R. GmbH, „KR C3 User Manual,” 11 november 2003. [Online]. [Accessed on: 06.06.2021].
- [7] L. Tamagawa Seiki Co., „Rotary Encoders,” 20.09.2021. [Online]. Available: https://www.tamagawa-seiki.com/assets/img/downloads/pdf/rotaryencoder/1228N58EJ_shusei3.pdf.
- [8] FSB Series, Spring Applied Brakes | Inertia Dynamics, Altra Industrial Motion Corp., 2019. [Online]. Available: <https://www.idicb.com/products/spring-applied-brakes/type-fsb>. [Accessed on: 01.10.2021].
- [9] User's Manual For ACS606 Digital AC Servo Drive, 2009. [Online]. Available: <http://www.leadshine.com.ua/pdf/acs606.pdf>. [Accessed on: 03.10.2020].
- [10] Sfera Labs S.r.l. Strato Pi Base User Guide Revision 024 [Online]. Available: <https://www.sferalabs.cc/files/strato/doc/stratopi-base-user-guide.pdf> [Accessed on: 11.01.2021].
- [11] Raspberry Pi Ltd. Raspberry Pi 3 Model B Plus [Online]. Available: <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-B-plus-Product-Brief.pdf> [Accessed date: 11.01.2021].
- [12] Spark N. T.: *A History of Murphy's Law*. Periscope Film (21 May 2006). ISBN 0-9786388-9-1
- [13] Pycom Ltd. „SiPy Datasheet” [Online]. Available: https://docs.pycom.io/gitbook/assets/specsheets/Pycom_002_Specsheets_SiPy_v2.pdf [Accessed on: 15.10.2021].

- [14] 3D CAD - SkechUp” [Online]. Available: <https://www.sketchup.com/> [Accessed on: 18.10.2021].
- [15] Kapusi T. P., Erdei T. I., Husi G., Hajdu A.: *Application of Deep Learning in the Deployment of an Industrial SCARA Machine for Real-Time Object Detection*. Robotics, 11/4. (2022) 69. <https://doi.org/10.3390/robotics11040069> .
- [16] Erdei T. I., Krakó R., Husi G.: *Design of a Digital Twin Training Centre for an Industrial Robot Arm*. Applied Sciences, 12/17. (2022) 8862. <https://doi.org/10.3390/app12178862>
- [17] Erdei T. I., Husi G.: *Singularity Measurement in the Cyber-Physical and Intelligent Robot Systems Laboratory*. International Review of Applied Sciences and Engineering, 11/2. (2020) 82–87. <https://doi.org/10.1556/1848.2020.20001>



IPARI LÉTESÍTMÉNYEKBŐL SZÁRMAZÓ HULLADÉKHŐ KIAKNÁZÁSÁNAK HATÉKONYSÁGA ÉS ENNEK LEHETSÉGES FELHASZNÁLÁSA

REVIEW OF POSSIBLE WASTE HEAT SOURCES FROM INDUSTRIAL FACILITIES AND THEIR POTENTIAL USE

Dósa János

Petrozsényi Egyetem, Gép és Villamosmérnöki Kar, Gépészeti, Ipari és Közlekedésmérnöki Tanszék,
Petrozsény, Románia, iondosa@upet.ro

Abstract

The aim of the paper was to review the main reusable sources of heat from industrial facilities and to analyze the most efficient way in which they can be exploited. In order to carry out some case studies, examples were chosen from fields of industry in which energy consumption is very high, namely the energy and mining industries. It was shown that although there are large amounts of energy that can be recovered, they are generally low temperature heat sources. Their efficient recovery can be achieved with the help of heat pumps, but due to the final temperature of the heat source, which is around 70 °C, they can be used mainly as heat sources for heating or hot water. This use greatly limits the research and projects for the reuse of these secondary energy resources, therefore future research should focus on obtaining higher temperatures, but also on the production of steam from these sources. The production of steam would facilitate an increase in projects for the recovery of these secondary energy resources for industrial use, which would lead to a superior valorization of them.

Keywords: waste heat, secondary energy resources, heat recovery, primary energy source savings.

Összefoglalás

A dolgozat célja az, hogy áttekintse az ipari létesítményekből származó főbb, újra felhasználható hőforrásokat, és elemezze azok főbb hasznosítási módjait. Néhány esettanulmány elkészítéséhez pár szemléltető példa lett kiválasztva az ipar azon területeiről, ahol nagyon magas az energiafelhasználás, nevezetesen az energiaiparból és a bányászatból. Kimutatták, hogy bár nagy mennyiségű energia nyerhető vissza, általában ezek alacsony hőmérsékletű hőforrások. Hatékony visszanyerésüket hőszivattyúk segítségével lehet elérni, de a hőforrás 70 °C körüli vég hőmérséklete miatt főként fűtés- vagy melegvíz-szolgáltatásra használható. Ez a felhasználás nagymértékben korlátozza ezen másodlagos energiaforrások újra felhasználásával kapcsolatos kutatásokat és projekteket, ezért a jövőbeni kutatásoknak a magasabb hőmérséklet elérésére, illetve az ezekből a forrásokból származó gőz előállítására kell összpontosítani. A gőztermelés elősegíti ezen másodlagos energiaforrások ipari felhasználásra történő visszanyerését célzó projektek számának növekedését, ami ezen hőforrások magasabb szintű felhasználását eredményezné.

Kulcsszavak: hulladékhő, másodlagos energiaforrás, hővisszanyerés, elsődlegesenergiaforrás-megtakarítás.

1. Bevezetés

Az EU által a fenntartható fejlődés szempontjából megfogalmazott irányvonalat konkretizálja az Európai Green Deal, amely kimondta, hogy az

első klímasemleges kontinens megvalósítására törekszünk.

A stratégia kiindulópontja, hogy a klímaváltozás és a környezetromlás egzisztenciális veszélyt jelent Európára és a világra.

E kihívások leküzdése érdekében az európai Green Deal megállapodás modern, erőforrás-hatékony és versenyképes gazdasággá alakítja az EU-t. A Green Deal főbb céljai a következőkben foglalhatók össze: 2050-re üvegházhatású gázok nettó kibocsátásának nullára való csökkentése; az erőforrás-felhasználástól független gazdasági növekedés; nem marad hátra egyetlen ember vagy közösség sem.

A cselekvési terv fontos részét képezi azon javaslatok sora, amelyek célja, hogy az EU éghajlat-, energia-, közlekedés- és adópolitikáját alkalmassá tegyék arra, hogy 2030-ra az 1990-es szinthez képest legalább 55%-kal csökkentsék az üvegházhatást okozó gázok nettó kibocsátását.

Az sem véletlen, hogy a kiemelt kezdeményezések közül kettő energiával kapcsolatos: a REPowerEU és az EU fellépése az energiaválság kezelésére.

Alapvetően ezek azok a feltételek, amelyek között Európa ipara a jövőben működni fog.

2. Az ipar és energia igénye

Az Európai Unió jelenlegi helyzetét energetikai szempontból elemezzük a következő részben.

Az **1. ábrán** [1] látható, hogy az EU primerenergia-fogyasztása 2005-höz képest csökkent. Ugyanakkor a COVID-járvány hatása is egyértelműen észrevehető.

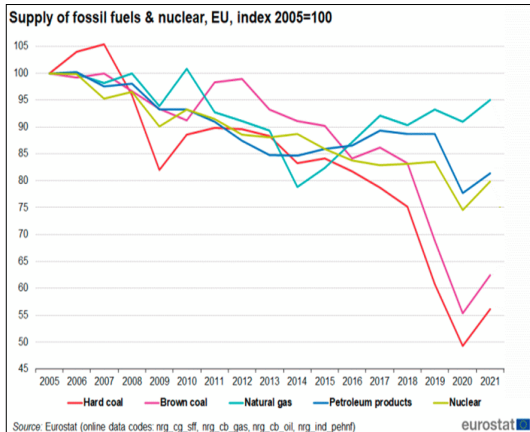
További fontos szempont, hogy a kőszén és a barnaszén felhasználása folyamatosan visszaesett, ennek következtében az energiaigény kielégítése érdekében nőtt a földgáz, a kőolaj és az atomenergia felhasználása. Általános tendencia a primerenergia-fogyasztás csökkenése.

A **2. ábrán** a bruttó villamosenergia-termelés van feltüntetve, és az adatok kiemelik azt, hogy a fosszilis tüzelőanyagok ismét a legfontosabb villamosenergia-termelési források voltak. A második helyen az atomenergia áll, de a vízenergia és a zöldenergia is az élen van.

A **3. ábrán** megjelenő adatok kiemelten fontosak a hővisszanyerés szempontjából. Ezen adatok elemzésével fel lehet mérni a megújuló energiaforrások felhasználásának jelenlegi állapotát.

Az első helyen az elsődleges szilárd bioüzemanyag-fogyasztás áll, ezt követik a biogázok.

Fontos megjegyezni, hogy a hőszivattyúk használata is jelentős szerepet játszik az elfogyasztott megújuló energiaforrások között, és részesedése idővel növekszik. Fontos szerepük van a megújuló és nem megújuló települési, illetve a nem megújuló ipari hulladékoknak, de van mit javítani ezek felhasználásán.



1. ábra. Primerenergia-ellátás [1]

	2017	2018	2019	2020	2021
Anthracite	4 103	4 013	680	715	636
Coking coal	11 164	8 805	13	81	64
Other bituminous coal	316 143	286 535	205 613	154 218	190 144
Sub-bituminous coal	3 170	2 384	1 554	572	389
Lignite	301 921	291 618	241 259	195 292	226 128
Brown coal briquettes	2 329	2 132	1 799	1 510	1 663
Coke oven gas	7 770	7 204	7 166	6 237	6 117
Gas works gas	1 939	1 803	1 734	1 250	1 42
Blast furnace gas	20 844	20 866	19 455	16 343	20 053
Peat	5 243	5 922	5 161	3 137	2 502
Oil shale and oil sands	9 912	9 380	4 318	2 247	3 444
Natural gas	525 178	491 689	569 312	560 997	551 794
Refinery gas	6 550	7 158	6 955	6 622	6 310
Liquefied petroleum gases	452	237	232	147	145
Gas oil and diesel oil	10 516	9 704	10 274	10 087	10 481
Fuel oil	28 737	25 614	24 894	21 345	23 388
Petroleum coke	2 280	1 577	621	517	465
Solid biofuels	74 261	76 252	80 560	82 959	92 752
Biogases	55 648	55 096	54 991	55 766	52 603
Industrial waste (non-renewable)	2 750	2 925	2 942	2 639	2 573
Renewable municipal waste	18 739	19 335	19 011	18 873	19 573
Non-renewable municipal waste	18 218	18 838	18 584	18 334	18 797
Hydro	322 463	370 234	345 643	375 487	374 849
Pure hydro power	281 813	326 819	306 478	331 709	330 758
Mixed hydro power	22 720	27 044	23 276	25 838	27 915
Mixed hydro power - pumping	10 187	9 981	9 494	10 367	10 355
Pumped hydro power	17 931	16 372	15 889	17 940	16 177
Geothermal	6 715	6 655	6 726	6 717	6 538
Wind	312 313	320 616	367 116	387 799	386 896
Solar thermal	5 883	4 867	5 683	4 992	5 176
Solar photovoltaic	102 052	108 200	118 202	140 125	158 598
Tide, wave, ocean	522	480	499	509	503
Nuclear	759 383	761 943	765 338	683 512	731 701
Heat from chemical sources	1 172	1 099	1 038	1 089	1 105
Other fuels (including non-specified)	22 551	20 860	19 848	19 560	16 081
Total (excluding pumped hydro)	2 932 807	2 916 698	2 881 840	2 761 371	2 885 010

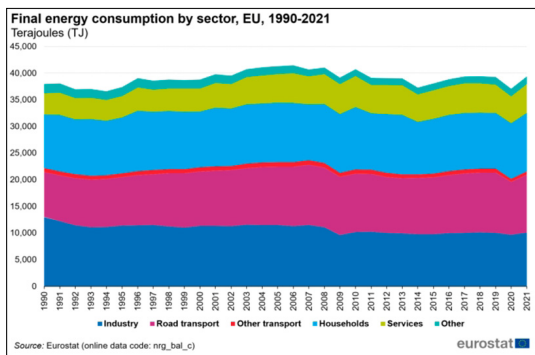
Source: Eurostat (online data codes: nrg_ind_pehn, nrg_ind_pehn)

2. ábra. Bruttó villamosenergia-termelés [1]

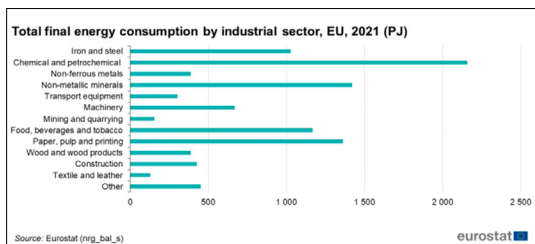
	2017	2018	2019	2020	2021
TJ Geothermal	283 521	284 082	288 813	288 822	284 292
TJ Solar thermal	190 137	179 916	194 623	197 563	190 553
TJ Ambient heat (heat pumps)	456 113	488 381	520 765	553 193	630 597
TJ Biogases	581 985	580 258	592 251	614 908	625 835
kt Biogasoline	3 839	4 118	4 356	4 339	4 411
kt Biodiesels	12 951	14 532	14 731	15 072	15 718
kt Bio jet kerosene	0	0	0	0	0
kt Other liquid biofuels	1 350	1 382	1 499	1 484	1 362
TJ Primary solid biofuels	3 889 241	3 984 029	4 057 549	4 025 668	4 359 881
kt Charcoal	517	528	500	444	437
TJ Renewable municipal waste	397 656	390 913	395 136	399 661	409 465
TJ Non-renewable municipal waste	393 219	386 537	390 248	395 068	399 305
TJ Industrial waste (non-renewable)	185 722	195 742	202 075	206 295	207 573

Source: Eurostat (online data code: nrg_cb_w)

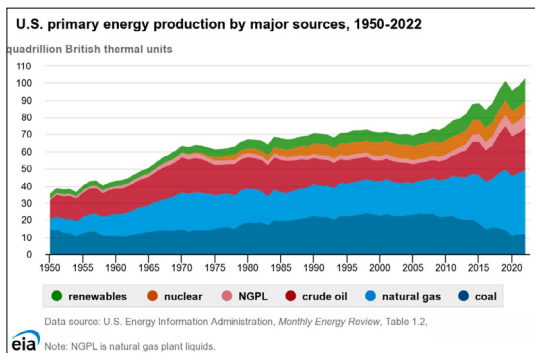
3. ábra. Megújuló energiaforrások fogyasztása [1]



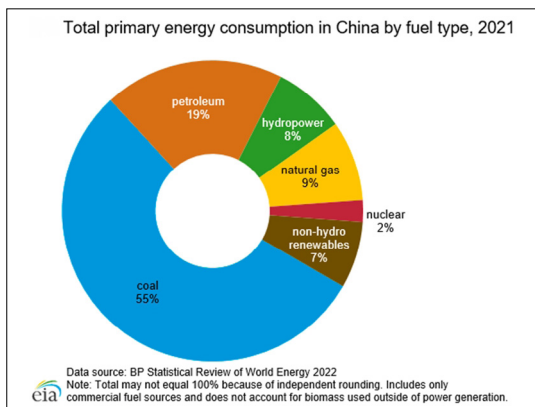
4. ábra. Végső energiafogyasztás ágazonként [2]



5. ábra. Végső energiafogyasztás ágazonként [3]



6. ábra. Az Egyesült Államok primerenergia-fogyasztása [4]



7. ábra. Kína primerenergia-fogyasztása [5]

A 4. ábra a végső energia felhasználásával kapcsolatos. Az adatok azt mutatják, hogy a három legnagyobb energiafogyasztó az ipar, a közúti közlekedés és a háztartások.

Míg a közúti közlekedésben a hőviszanyerés műszakilag nagy kihívást jelenthet, addig a háztartások nagy részaránya a nagy számukból adódik (ami miatt a hőviszanyerés itt általában nem gazdaságos), tehát az iparra kell koncentrálnunk.

Az energiaigényes iparágak skálája nagyon széles, idetartoznak például: a vegyipar, az acél, papír, műanyag, bányászat, kitermelés és köfejtés, finomítók, cement-, fa-, gumi-, színesfém-, üveg- és kerámiaipar.

Részeseződésüket a végső energiafogyasztásban az 5. ábra mutatja be [3].

Az 5. ábrán bemutatott adatokkal kapcsolatban néhány dolgot tisztázni kell. Mivel a bemutatott számok abszolút értékkel bírnak, és ezeket az iparágakat energiatenzitási szempontból kívánjuk elemezni, figyelembe kell venni egy adott iparág részeseződését a teljes fogyasztásban.

Például a bányászat sokkal energiaigényesebb, mint ahogy arra következtetni lehetne az 5. ábra alapján.

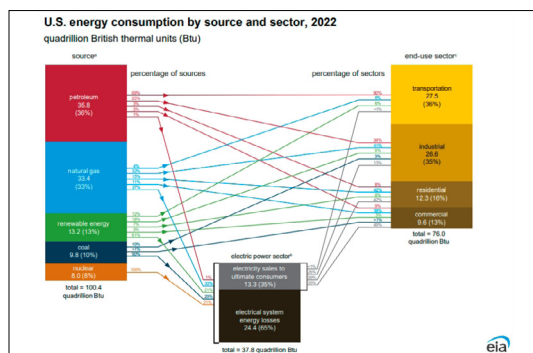
A jelenlegi helyezést annak köszönheti, hogy Európában szinte már nem létezik bányászat a bányák többségének bezárása miatt.

A teljes kép érdekében a továbbiakban az USA és Kína energiatermelési és -fogyasztási adatai kerülnek bemutatásra.

Ha összehasonlítjuk a 6. ábrát az 1. ábrával, jól lehet látni, hogy az adatok általában egyeznek.

A 7. ábrán viszont, a Kína primerenergia-fogyasztásában a szén az első helyen áll, és ez a felismerés nem elhanyagolható, mivel Kína energiapolitikáját nagyon jól szemlélteti.

Egy összetettebb képet mutat a 8. ábra [6], az energiafogyasztás forrásonkénti és ágazonkénti bontására vonatkozóan az USA esetében.



8. ábra. Energiafogyasztás forrás és ágazat szerint [6]

A **8. ábrán** látható adatok összhangban vannak a **4. ábra** adataival, mivel mindkét ábrán a fő végfelhasználói ágazatok a szállítás, az ipar és a lakossági (háztartás-) szektor.

Az **5. ábra** adatainak összehasonlítása a **9. ábrán** látható adatokkal azt emeli ki, hogy Kínában a bányászat részesedése a teljes energiafelhasználásból nagyobb, mint az EU esetében (**5. ábra**). Az is jól látható, hogy az elmúlt években részesedése az energiafogyasztásban meglehetősen állandó, mivel Kínának még mindig megvan a bányászata.

Ráadásul a bányászat energiafogyasztása a harmadik helyen áll, ami azt mutatja, hogy a bányászat energiaigényes iparág.

Egy másik fontos szempont az, amit a **10. ábra** szemléltet, ugyanis itt az energiaipar is jelentős fogyasztóként szerepel, mi több, a teljes energiafogyasztás arányát tekintve az első helyen áll.

Az EU és az USA esetében az energiaipar részesedése nincs feltüntetve a statisztikában.

Következésképpen az ipari fogyasztás fent bemutatott súlya, ezen belül az energia- és bányászat részesedése miatt a következőkben az ezeken belül hasznosítható hőforrások azonosításával foglalkozunk. Ugyanakkor a hőforrások értékelésre kerülnek nagyságrendjük és a hasznosításuk hatékonysága szempontjából.

3. Ipari hulladékhőforrások

A hulladékhő visszanyerése nem új keletű téma, így az ilyen hőforrásokat már feltérképezték különböző kutatók, illetve érdekelt intézmények [8].

Egy rövid felsorolás segítséget nyújt a hővisszanyerés szempontjából legjobb perspektívával

rendelkező hőforrás felfedezésének folyamatában.

A legjellemzőbb hulladékhőforrások és energiahasznosítási lehetőségeik a következők [8]:

- a 30% és 90% közötti technológiai kilépő levegő (füstgáz) használható fel;
- a hűtőrendszerekből származó hulladékhő – 35% és 95% között hasznosítható folyamatfűtés-ként;
- légkompressziós berendezések – az elektromos kapacitás akár 90%-a is visszanyerhető;
- szellőztetési technológia – 35–90% friss levegő előmelegítésre használható.

3.1. Hulladékhő az energiaiparban

A fent felsorolt hulladékhőforrások minden ipari szektorban megtalálhatók.

Mint fentebb említettük, az energiaszektor és a bányászat lett kiválasztva a hulladékhő-hasznosítás lehetőségeinek értékelésére.

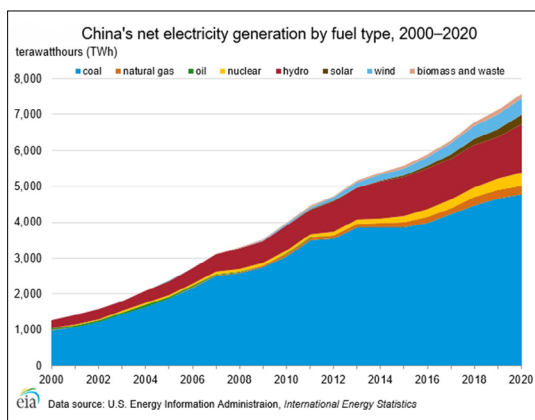
Az ipari hulladékhő hővisszanyerési szempontból igen magas potenciáljának kiemelésére kétféle hulladékhőforrás lett figyelembe véve:

- hűtőrendszerekből származó hulladékhő;
- a levegő sűrítéséből származó hulladékhő.

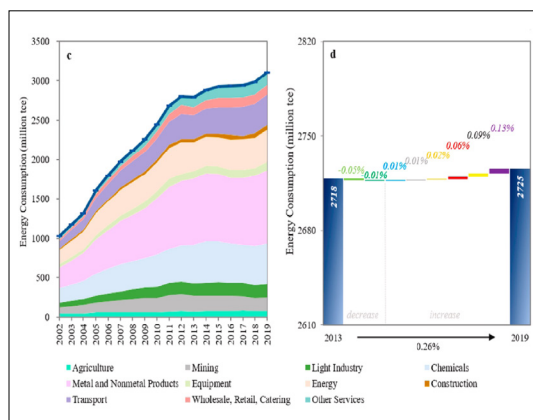
3.1.1. A kondenzátorhűtésből származó hulladékhő mennyisége

A szakirodalomban számos tanulmány található a hőerőmű működésével kapcsolatban.

A kondenzátoros hűtessel a környezetbe kibocsátott hőmennyiség Gajendra [9] szerint 66%, míg Kale [10] szerint a veszteség 34%. Más munkák során a kondenzátor által kibocsátott hő 39,11% és 42,87% között [11], illetve 45,02% és 45,98% között [12] volt, a terheléstől függően.



9. ábra. Nettó villamosenergia-termelés tüzelőanyag-típusonként (Kína) [5]



10. ábra. Energiafogyasztás ipari szektoronként (Kína) [7]

Ezek a számok magasak, és abszolút értékben 200 MW körüliek a [11] [12]-ben felsorolt adatok esetében.

A kondenzátorhűtés hulladékhőjéből visszanyerhető hőmennyiség felmérése a veszteségfeltárás során gyűjtött adatok felhasználásával végezhető el.

A 11. ábrán egy 200 MW-os hőerőmű egyszerűsített hőkapcsolását mutatjuk be.

Az ebben az erőműben működő gőzturbina egy kondenzációs típusú turbina és 3000 ford/perc, 13 MPa nyomás és 545 °C-on történő működésre tervezték, míg az újrahevített (reheat) gőz hőmérséklete 545 °C, 2,44 MPa nyomáson. A turbínából kilepő gőz nyomása (kipufogónyomás) 0,0034 MPa.

A turbina hét előmelegítő megcsapolással rendelkezik a tápvíz regeneratív fűtéséhez. A tápvíz maximális hőmérséklete 242 °C. A nagynyomású turbínából (HPT) 2,89 MPa nyomáson és 350 °C hőmérsékleten kilepő gőzt újrahevítik. A felhevített gőzt a középnyomású turbinarészbe (Reheat Turbine – RT) vezetik vissza. A kisnyomású turbinarész (LPT) kettős kiömlésű.

A turbínában használt gőzt egy Pp-330/140-P55-típusú, kényszeráramlású, széntüzelésű kazán biztosítja [13].

Ennél az erőműnél energetikai auditálás volt elvégezve. A veszteségfeltárás-számításokhoz a szabályozásoknak megfelelően legalább 3 különböző terhelésen kell méréseket végezni. A terhelési szintek a következőképpen voltak meghatározva: 460 t·h⁻¹ – 70%, 560 t·h⁻¹ – 85% és 640 t·h⁻¹ – 94% (gőztömegáram).

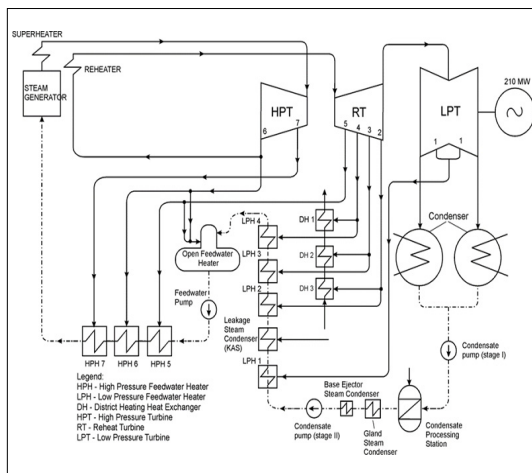
Az 1. táblázat adatai a kondenzátor által a környezetben leadott hőt, a hulladékhőként rendelkezésünkre álló hatalmas hőmennyiséget mutatja be. A megfelelő hővisszanyerési mód kiválasztásához a rendelkezésre álló hő mennyisége mellett a hőforrás hőmérséklete is fontos, ezért a 2. táblázat a hűtővíz belépési és kilépési hőmérsékleteit mutatja be.

A másik esettanulmány tárgya egy 150 MW névleges teljesítményű erőmű lesz.

A 150 MW-os hőerőmű egyszerűsített hőkapcsolása a 12. ábrán van bemutatva.

Ez az erőmű K 160-130-2PR-2-típusú gőzturbinával van felszerelve, amely a 150 MW-os hőerőmű egyszerűsített hőkapcsolási diagramján (12. ábra) van feltüntetve.

Ez a turbina egy kondenzációs típusú, szabályozatlan lecsapolású turbina, amelyet 12,8 MPa nyomáson és 540 °C hőmérsékleten való működésre



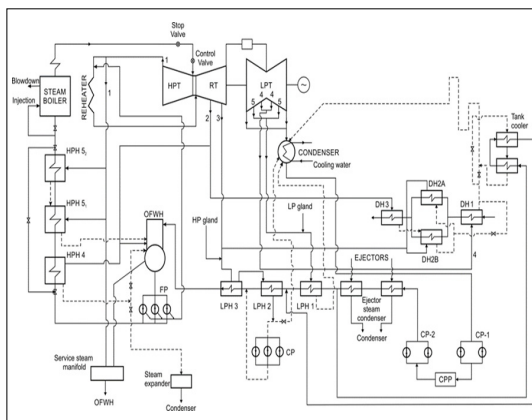
11. ábra. A 200 MW-os hőerőmű egyszerűsített hőkapcsolása [11]

1. táblázat. A kondenzátor vesztesége

Terhelés	A kondenzátor által a környezetben leadott hő P_{cd} , MW
70%	209,291
85%	259,989
94%	261,675
Átlagos veszteség	243,652

2. táblázat. Hűtővíz-hőmérséklet

Terhelés	Belépő hűtővíz hőmérséklete, °C	Kilépő hűtővíz hőmérséklete, °C
70%	26,00	32,74
85%	27,93	36,43
94%	26,19	35,15



12. ábra. A 150 MW-os hőerőmű egyszerűsített hőkapcsolása [12]

terveztek, míg az újrahevített (reheat) gőz hőmérséklete 540 °C, 3,41 MPa nyomáson.

A turbinából kilepő gőz nyomása (kipufogónyomás) 0,0038 MPa.

A felsorolt paraméterek mellett, 12 °C-os hűtővíz-hőmérsékleten a turbina teljesítménye elérheti akár a 170 MW-ot. Ezenkívül akár 175 MW (150 Gcal·h⁻¹) hőenergiát is képes szállítani a távhőhálózatban a szabályozatlan lecsapolóból 150/70 °C vagy 130/70 °C hőmérsékleten.

A 12. ábrán használt rövidítések a következők: HPT – nagynyomású turbinarész; RT – középnyomású (reheat) turbinarész; LPT – kisnyomású turbinarész; CP, CP-1, CP-2 – kondenzátumszivattyúk; LPH – kisnyomású tápvízmelegítő; HPH – nagynyomású tápvízmelegítő; FP – tápvízszivattyú; DH – távhőcserélő; CPP – kondenzátumkezelő.

A turbina öt előmelegítő megcsapolással rendelkezik a tápvíz regeneratív fűtéséhez. A tápvíz maximális hőmérséklete 235,4 °C. A nagynyomású turbinából (HPT) a 3,12 MPa nyomáson és 350,7 °C hőmérsékleten kilepő gőzt újrahevítik. A felhevített gőzt a középnyomású turbinarészbe (Reheat Turbine – RT) vezetik vissza. A kisnyomású turbinarész (LPT) kettős kiömlésű.

A gőzturbina működéséhez szükséges gőzt egy széntüzelésű kazán állítja elő. A frissgőz névleges tömegárama 540 t·h⁻¹, 13,85 MPa nyomáson és 541 °C hőmérsékleten, míg az újrahevített gőz tömegárama 471,4 t·h⁻¹, 2,96 MPa-on és 541 °C gőzhőmérsékleten. A tápvíz paraméterei a gőzkazán névleges terhelésekor: nyomás 18,8 MPa, hőmérséklet 235,4 °C.

3. táblázat. A kondenzátor vesztesége

Terhelés, MW	A kondenzátor által a környezetben leadott hő P_{cd} , MW
115	185,380
130	216,480
150	262,759
Átlagos veszteség	221,540

4. táblázat. Hűtővíz-hőmérséklet

Terhelés	Belépő hűtővíz hőmérséklete, °C	Kilépő hűtővíz hőmérséklete, °C
115	19,2	30,84
130	21,44	34,62
150	24,69	40,32

A veszteségfeltáráshoz szükséges adatok meghatározása érdekében a mérések a következő terhelési szinteken lettek elvégezve: 115 MW, 130 MW és 150 MW (gőzturbina-teljesítmény).

A 3. táblázat adatai a 150 MW-os erőmű kondenzátora által a környezetben leadott hőmennyiséget mutatják, amely hulladékhő, és bizonyos fokig visszanyerhető, különböző technológiák alkalmazásával. A hőmennyiség közel áll az 1. táblázatban szereplő értékhez.

A 150 MW-os erőmű hűtővizének hőmérsékletét a 4. táblázat mutatja be.

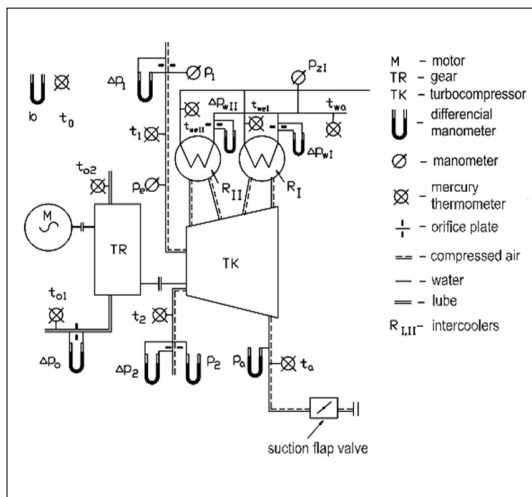
3.1.2. A turbókompresszor hűtéséből származó hulladékhő mennyisége

A bányászatban manapság használt modern kompresszorok csavarkompresszorok, de nagy levegőigény és a folyamatos sűrített levegő-előállítás szükségessége esetén turbókompresszorokat alkalmaznak.

A csavarkompresszor helyett a turbókompresszor választása a nagy sűrített levegő-hozamnak köszönhető, ráadásul a turbókompresszor jól alkalmazkodik a változó sűrített levegő-igényhez, mivel a turbókompresszor munkapontja elmozdul, mint minden ilyen áramlástechnikai örvénygép esetében, így nincs szükség szabályozásra, ha nincs jelentős változás a sűrített levegő-igényben.

A bányászat fénykorában a Zsil-völgyi bányák mind turbókompresszorokkal voltak felszerelve, néha akár három turbókompresszor is működött egy-egy bányában.

Ez a típusú turbókompresszor hét járókerékből áll, amelyek három testben vannak elrendezve,



13. ábra. A turbókompresszor felépítése [15]

az első két testnek két rotorja van, az utolsónak három. A hűtés két köztes hűtő (13. ábra) és egy végső hűtő segítségével történik, amelyek mindegyike cserélhető.

A műszaki könyv szerinti névleges jellemzők [14]:

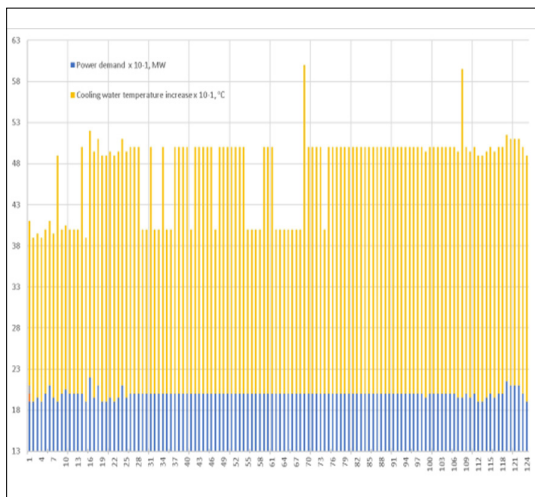
Beszívott levegő mennyiség	16000 m ³ ·h ⁻¹ ;
Szívónyomás	1 bar;
Szívási hőmérséklet	20 °C;
A kimeneti nyomás	8 bar;
Turbókompresszor fordulatszáma	9980 f/perc;
Motor fordulatszáma	1500 f/perc;
Levegő hőmérséklete a végső hűtők után	40 °C;
Hűtővíz bemeneti hőmérséklete	25 °C;
Hűtővíz áramlása:	
– a végső hűtőben	55 m ³ ·h ⁻¹ ;
– közbenső hűtőkben	95 m ³ ·h ⁻¹ ;
– az olajhűtőben	20 m ³ ·h ⁻¹ ;
A hajtómotor névleges teljesítménye	1800 kW;
Motor hatékonysága	0,9;
Átvitel hatékonysága	0,95.

A hulladékhő mennyiségének pontos kiszámítása érdekében 124 mérés lett elvégezve [15].

A mérési adatokat a 14. ábra mutatja be.

A hűtővíz belépő hőmérséklete változhat, hidegebb hónapokban (március) 15 °C lehet, sőt télen hidegebb, míg a nyári hónapokban elérheti a 28 °C-ot.

A hűtővíz hőmérséklet-emelkedése 2–4 °C között van (átlagosan 2,75 °C), és összhangban van a motor teljesítményével, ami egyenesen arányos a sűrítettlevegő-igény változásával.



14. ábra. Mért adatok [15]

A hűtővíz-tömegáram 170 m³·h⁻¹ áramlási sebességénél a belépő hőmérséklet a hűtőtorony kimeneténél, míg a hűtővíz kilépő hőmérséklete a hűtő bemeneténél volt mérve.

A hűtővíz által felvett hőmennyiség:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t = \rho \cdot V \cdot c \cdot \Delta t = \frac{997.05 \cdot 170 \cdot 4.186 \cdot 2.75}{3600} = 541,99 \text{ kW} \quad (1)$$

A hőmennyiség Q-val van jelölve, kW; V – térfogatáram, m³·h⁻¹; Δt – a hőmérséklet-változás; c – a víz fajlagos hőkapacitása 25 °C-on, kJ·kg⁻¹·K⁻¹; ρ – a víz fajsúlya, kg·m⁻³.

Mint látható, a hulladékhő mennyisége igen magas, 542 kW, és mindez a környezetbe kerül.

Arról nem is beszélve, hogy a magas hűtővíz-hőmérséklet a turbókompresszor nem megfelelő hűtését eredményezi, ami negatívan befolyásolja a hatékonyságát. A nem megfelelő hűtés másik hátránya, hogy a forró sűrített levegő megemeli a hőmérsékletet a bányában, ami negatívan hat az emberekre.

Alapvetően, ha megoldjuk a hulladékhő viszszaanyerését, akkor a megfelelő kompresszorhűtést is meg tudjuk oldani, valamint kinyerhetjük a kívánt mennyiségű hőt, ezzel biztosítva a turbókompresszor megfelelő hűtését. E problémák megoldása óriási energiamegtakarítást eredményezhet.

A legnagyobb kihívás a hulladékhő-felhasználás szempontjából ebben az esetben az, hogy a víz hőmérséklete nagyon alacsony, így más technológiai folyamatokban nem használható fel úgy, ahogyan az van.

3. A hőviszanyerés hatékonysága

A rendelkezésre álló hulladékhő mennyiségének jobb értékelése érdekében néhány számítást el kell végezni.

Egy átlagos háztartás hőigényét fűtésre és melegvíz-előállításra általában 28 kW-os kazán beépítésével lehet kielégíteni

Feltételezve, hogy a kondenzátor által a környezetben leadott hőt visszanyerjük, ami elméletileg 221.540,0 kW, ezzel 7912 háztartás fűtését tudjuk biztosítani, ha pedig a turbókompresszoros hűtővízből visszanyernénk a hőt, akkor 19 háztartás fűtését tudnánk biztosítani.

A hulladékhő visszanyerése többféle hulladékhő-viszanyerési technológiával történhet, de ezek alkalmazhatósága a forrás hőmérsékletétől függ.

A fent felsorolt példákban a hőforrás hőmérséklete mindenhol 10 °C télen és nyáron 40 °C között van. Ez azt jelenti, hogy a fent elemzett hulladékhő alacsony hőmérsékletű hőforrás.

Alacsony hőmérsékletű hőforrások hasznosítására a mechanikus gőzkompressziós, víz-víz típusú [16] hőszivattyúk (15. ábra) alkalmasak. Ezek visszanyerhetik a 40 °C alatti hőmérsékletű víz hulladékhőjét, és 50 és 80 °C közötti hőmérsékleten szállítják a felhasználónak, mindez 2,5 és 5,0 közötti COP-értékkel (teljesítménytényezővel).

Általában a hőszivattyú egy hőforrásból hőt von ki, például a környező levegőből, a talajban tárolt geotermikus energiából vagy a közeli tavakból, talajvízből vagy rétegvízből.

A hővisszanyerés hatékonyságának értékeléséhez tegyük fel, hogy a 150 MW-os erőmű kondenzátorának hűtővizéből nyerjük vissza a hőt.

Mivel a meleg víz szállítása általában csöveken keresztül történik, jelentős veszteségek fordulnak elő, ezért a hőszivattyú szükséges hőszállítását $Q_i = 700$ kW-ra határozzuk meg, ami a ma alkalmazott hőszivattyúk maximális teljesítményéhez közeli érték.

További szükséges adatok a számítások elvégzésére: $T_i = 70$ °C – a szállított meleg víz hőmérséklete, $T_a = 5$ °C – környezeti hőmérséklet, $\Delta T_c = 5$ °C – a kondenzátorban történő hőátadáshoz szükséges hőmérséklet-különbség (hőszállítás), $\Delta T_o = 5$ °C – az elpárologatatóban a hőátadáshoz szükséges hőmérséklet-különbség, $\Delta T_{sr} = 10$ °C – hőmérséklet-különbség az utóhűtéshez, mechanikai hatásfok $\neq 0,9$, alkalmazott R717-hűtőközeg (ammónia).

Meg kell jegyezni, hogy a környezeti hőmérséklet az elpárologatató átlagos hőmérséklete, figyelembe véve, hogy az elpárologatató kimeneténél a víz hőmérsékletének legkevesebb 5 °C-nak kell lennie a fagyás elkerülése érdekében, a bemeneti

hőmérséklet pedig a kondenzátor kimeneti hőmérséklete. A hulladékhő hőforrásként történő felhasználása hatásfokának összehasonlításához először egy vízhőforrást használó hőszivattyút számolunk ki, 5 °C hőforrás-hőmérsékletet figyelembe véve, ez lesz az összehasonlítási alap.

A 4. táblázatban a hűtővíz hőmérsékletére vonatkozó adatokat nyáron mértük.

Az eredményeket az 5. táblázat és a 16. ábra mutatja be.

Ezenkívül a hőszivattyú által elért primerenergiaforrás-megtakarítás kiszámítható a következő egyenlettel [17]:

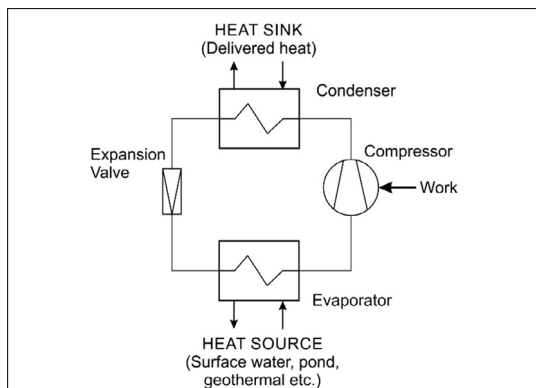
$$\Delta E = \left(1 - \frac{\eta_{CT}}{\mu_e \cdot \eta_{sis}}\right) 100, (\%) \quad (2)$$

A gyakorlati COP (teljesítménytényező) μ_e -val van jelölve; $\eta_{sis} = 0,35$ – a villamosenergia-termelés hatásfoka az országos villamosenergia-hálózatban; $\eta_{CT} = 0,85$ – a melegvíz-termelés energiahatékonysága kizárólag melegvizet előállító kazántelepeken.

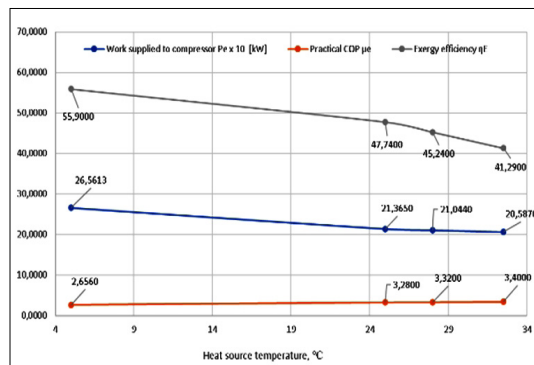
A 16. ábrában bemutatott adatok azt mutatják, hogy a hőszivattyú hatásfoka 55,90% és 41,29% között változik a vizsgált hőmérsékleti tartományban.

5. táblázat. A hőszivattyú hatásfoka

Hőforrás hőmérséklete, °C	Kompresszor teljesítmény P_e , kW	Tényleges COP μ_e	Exergia-hatásfok η_E
5	265,613	2,656	55,90
25	213,648	3,28	47,74
28	210,437	3,32	45,24
32,5	205,870	3,40	41,29



15. ábra. Gőzkompressziós hőszivattyú



16. ábra. Kompresszorteljesítmény, tényleges COP és a hőszivattyú exergia-hatásfoka.

A hőszivattyú COP-ja a hőforrás hőmérsékletével 3,40-ig növekszik, míg a kompresszor teljesítménye 265,613 kW-ról 205,87 kW-ra csökken. A (2) egyenlettel számított primerenergiaforrás-megtakarítás 8,56% és 28,57% között változik, a nagyobb érték magasabb hőforrás-hőmérsékletnek felel meg.

A melegvíz helyben előállítható 85% körüli energiahatékonyságú kis kazánokkal, vagy akár 80% energiahatékonyságú kapcsolt energiatermelő erőművekből.

Ahhoz, hogy ezeket az értékeket össze lehessen hasonlítani a hőszivattyú exergia-hatásfokával, meg kell határozni a kazánok és a kapcsolt energiatermelő erőművek exergia-hatásfokát. A szakirodalom olyan adatokat közöl a kapcsolt energiatermelő erőművekről, amelyek azt mutatják, hogy az exergia-hatásfok 23% és 30,7% között változhat [18] [19], míg a kazánok exergia-hatásfoka 16% és 25% között található [20].

4. Következtetések

Az iparban nagy mennyiségű hulladékhő áll rendelkezésre, hiszen a bemutatott példákön látható, hogy az erőművi kondenzátor által visszavezetett hő értéke a 200 MW-os erőműnél 243,652 MW, a 150 MW-os erőműnél 221,540 MW, míg a turbókompresszoros hűtésből visszanyerhető hő 542 kW.

Az elemzett hulladékhőhöz kapcsolódó fő probléma az, hogy alacsony hőmérsékletű hőforrás.

A hőszivattyús technológia alkalmazása a hulladékhő visszanyerésére nagyon jó megoldás, hiszen a hőszivattyú COP-értéke 2,65 és 3,40 között található, míg az exergia hatásfoka 55,90% és 41,29% között van.

A hőszivattyús technológia alkalmazása jelentős primerenergia-megtakarítást eredményez, 8,56% és 28,57% között.

Sajnos a visszanyert hő hőmérséklete 70 °C körül van, ami korlátozza a felhasználását fűtésre vagy melegvíz-ellátásra. Mivel az ipari létesítmények általában távol helyezkednek el az emberi településektől, hőszállításra van szükség. Így a visszanyerés általános hatékonysága a távolságtól függően drámaian csökkenhet.

Ez a hiányosság kiküszöbölhető néhány ipari park kialakításával ezen másodlagos hőforrások közelében.

Egy másik megoldás az lehet, hogy a kutatást a visszanyert hőforrás hőmérsékletének növelése irányába kell fejleszteni (hulladékhőből gőz), nö-

velve annak különböző irányú felhasználási lehetőségét az ipari létesítmények keretében.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_production_and_imports (letöltve: 2023. március 3.)
- [2] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_statistics_-_an_overview#Final_energy_consumption (letöltve: 2023. március 3.)
- [3] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Final_energy_consumption_in_industry_-_detailed_statistics#The_largest_industrial_energy_consumers_in_the_EU (letöltve: 2023. március 3.)
- [4] <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/> (letöltve: 2023. március 3.)
- [5] <https://www.eia.gov/international/analysis/country/CHN> (letöltve: 2023. március 3.)
- [6] <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/images/consumption-by-source-and-sector.pdf> (letöltve: 2023. március 3.)
- [7] Jiali Zheng, Gengzhong Feng, Zhuanzhuan Ren, Nengxi Qi, D'Maris Coffman, Yunlai Zhou, Shouyang Wang: *China's Energy Consumption and Economic Activity at the Regional Level*. Energy, 259. (2022) 124948. <https://www.doi.org/10.1016/j.energy.2022.124948>
- [8] <https://www.waste-heat.eu/about-waste-heat/waste-heat-sources> (letöltve: 2023. március 10.)
- [9] Gajendra Kumar Gaurav, Nitu Singh, Bijo Francis: *Exergy Analysis of a Thermal Power Plant*. Proceedings of Recent Advances in Interdisciplinary Trends in Engineering & Applications (RAITEA) 2019. <https://www.doi.org/10.2139/ssrn.3366867>
- [10] Rajesh Kale, Krishnakumar Dipak Pilankar: *Energy and Exergy Analysis of Steam and Power Generation Plant*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 5/6. (2016) <https://www.ijert.org/research/energy-and-exergy-analysis-of-steam-and-power-generation-plant-IJERTV5IS060478.pdf>
- [11] Dosa Ion, Petrilean Dan Codrut: *Efficiency Assessment of Condensing Steam Turbine*. Journal Advances in Environment, Ecosystems and Sustainable Tourism, 2013, 203–208. <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2013/Brasov/STAED/STAED-00.pdf>
- [12] Sorina Anutoiu, Ion Dosa, Dan Codrut Petrilean: *Steam Turbine Efficiency Assessment, First Step towards Sustainable Electricity Production*, MATEC Web Conf. 342 04007 (2021), <https://www.doi.org/10.1051/mateco-nf/202134204007>

- [13] Technical Instructions and Operation Manual for K 200-130-1 turbine.
- [14] Operation Manual of TK-R 16/8 turbocompressor.
- [15] Dosa I.: *Research on Energetics of Thermal and Fluid Dynamic Processes in Mining Pneumatic Installations*. Ph. D. thesis in Engineering; Specialty: Mining machines and installations; University of Petrosani, 1999.
- [16] Radcenco, V. et. al.: *Processes in Refrigeration Equipment*. Didactică și Pedagogică Publishing House, Bucharest, 1983, 372–390.
- [17] Berinde, T., Berinde, M.: *Energy Audits in Industrial Processes*. Tehnica Publishing House, Bucharest, 1985.
- [18] Mehmet Kanoglu, Ibrahim Dincer: *Performance Assessment of Cogeneration Plants, Energy Conversion and Management*. 50/1. (2009) 76–81.
<https://www.doi.org/10.1016/j.enconman.2008.08.029>.
- [19] S.C. Kamate, P.B. Gangavati: *Exergy Analysis of Cogeneration Power Plants in Sugar Industries*. Applied Thermal Engineering, 29/5–6. (2009) 1187–
<https://www.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.06.016>.
- [20] R. Saidur, J. U. Ahamed, H. H. Masjuki: *Energy, Exergy and Economic Analysis of Industrial Boilers*. Energy Policy, 38/5. (2010) 2188–2197.
<https://www.doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.087>.



CSERÉLHETŐ BETÉTES FRÖCCSÖNTŐ SZERSZÁM TERVEZÉSE

DESIGN OF AN INJECTION MOLDING TOOL WITH EXCHANGABLE INSERTS

Keresztes Kristóf,¹ Gergely Attila Levente²

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia

¹ keresztes.kristof@student.ms.sapientia.ro

² agergely@ms.sapientia.ro

Abstract

The aim of this work was to design an injection molding tool with replaceable inserts. The tool design is made for a BOY 15S injection molding machine. Based on the interpretation and comparison of the simulation results of the filling process, we optimized the plastic part design, the runner system and the location of the gates and cavities in order to maximize productivity and efficiency while minimizing cost. In the process of the tool design, we also considered the potential problems regarding the manufacturing process of the tool.

Keywords: *injection molding, tool design, optimization, simulation.*

Összefoglalás

A dolgozat célja egy cserélhető betétes fröccsöntő szerszámház és az ebbe illő betétpár tervezése. A tervezett szerszám a Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar Gépészmérnöki Tanszékéhez tartozó műhelyben található BOY 15S fröccsöntő gépre készül. A szerszámkitöltési szimulációk eredményeinek értelmezése és összehasonlítása alapján optimalizáltuk az alkatrészmodellt, a gátpozíciót, illetve a beömlőrendszert. A tervezési lépések során figyelem fordult a szerszámbetétek megmunkálása közben felmerülő költségekre, illetve gyakorlati problémákra.

Kulcsszavak: *fröccsöntés, szerszámtervezés, optimalizálás, szimuláció.*

1. Bevezetés

1.1. A fröccsöntés alapjai

A fröccsöntés alapelve az alacsony viszkozitású műanyagolvadék zárt szerszámba való „fecskendezése”. Ez egy szűk járatokon keresztül történik. Elengedhetetlen a kis viszkozitás a szerszám gyors és teljes kitöltése érdekében. A teljes kitöltést (hőre lágyuló műanyagok esetében) magas fröccsöntőnyomással is elősegítik. A fröccsöntési folyamat alapvető természete miatt az ömledék lehűlése másodpercek tartományába esik, illetve nagy méretpontosságú végterméket eredményez. Emellett előnyt jelent az, hogy a fröccsöntés bo-

nyolult formájú alkatrészek elkészítését is lehetővé teszi, melyek nem igényelnek további megmunkálást a vezetéksatornákban megdermedt műanyag eltávolításán kívül.

1.2. A fröccsöntő gép

A fröccsöntő gép felelős az általában granulátumformában megjelenő műanyag megömlesztéséért és ennek a szerszámba juttatásáért. Ugyancsak a gép feladata a szerszám osztósík menti szétnyitása és a kilökörendszer működtetése. Ennek mechanizmusa a gyors és hatékony fröccsöntésre, illetve a megszilárdulás utáni termékki-lökésre van optimalizálva.

A szerszámot a Sapia EMTE, Marosvásárhelyi Kar Gépészmérnöki Tanszékéhez tartozó műhelyben található BOY 15S fröccsöntő géphez tervezzük.

1.3. A fröccsöntő szerszám

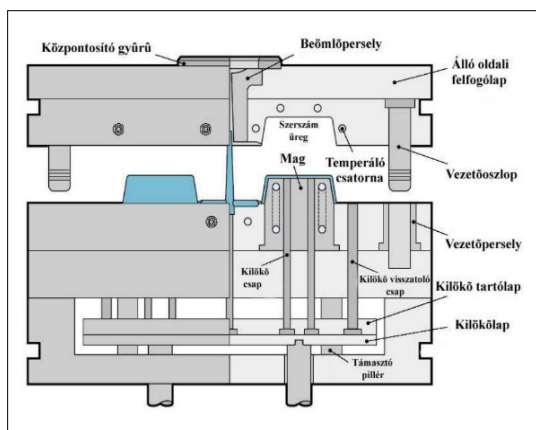
A fröccsöntő szerszám az a komponens, amely lehetővé teszi az alkatrész formájának kialakítását. Benne helyezkedik el a beömlőrendszer, illetve a szerszámüregek, amelyek kitöltése során létrejön a kívánt alkatrész. A fröccsöntő szerszám típusa az alkatrésztől függ. Komplexebb alkatrészek legyártása komplexebb szerszámok szükségét vonja maga után, ezért fontos a költséghatékony gondolkodás már az alkatrész tervezésének legelső lépéseitől. A tervezett szerszám egyszerű, kétlapos (egy osztósíkkal rendelkezik) (1. ábra).

Ugyancsak a szerszám feladata az ömledék eljuttatása a fröccsöntő gép fúvókájától a szerszámüregbe, ez a beömlőrendszer segítségével történik.

Azt a nyílást, amelyen keresztül a műanyagömledék a beömlőrendszerből a szerszámüregbe jut, gátak nevezik. A gátak mérete, illetve pozíciója igen nagy hatással van a végtermék minőségére. Esetenként különbséget tehet egy tökéletes és egy selejt alkatrész között, emiatt helyes méretezése és elhelyezése kimondottan fontos.

2. Módszertan

A műanyag alkatrész, betétek és a szerszámház összeszerelési modelljének elkészítésére, illetve a terhelési szimulációk elvégzésére az Autodesk Inventor programot használtuk. A fröccsöntési szimulációk elvégzése a SolidWorks Plastics programmal történt. A szimulációk futtatásához szükséges paraméterek a BOY 15S fröccsöntő gép paramétereinek függvényében lettek megválasztva.



1. ábra. Kétlapos fröccsöntő szerszám felépítése [1]

A számítások során a polietilén és polipropilén paraméterei közül, minden lépés során, a kevésbé kedvező volt kiválasztva, emiatt az eredmények egy számottevő túlméretezést biztosítanak.

2.1. Szerszámház

A szerszámház tervezése során a kiválasztott alkatrészek az egyszerű, kétlapos szerszám struktúrájának megfelelően voltak megválasztva. A két szerszámfél helyes mozgását szerszámnyitás, illetve szerszámmérés közben csapok és ezeknek megfelelő hüvelyek biztosítják, melyeknek 3D-modelljei a Meusburger GmbH & Co KG online alkatrész-katalógusából származnak.

2.2. Betétek

A betét tervezése több lépésből áll. Legelső sorban meg kell tervezni a szerszámüreg formáját, melyet a műanyag alkatrész határoz meg. Az alkatrész és ebből adódóan a szerszámüreg modelljének tervezése során is fontos a fröccsöntés szempontjából a problémásnak tekintett formák elkerülése. Ilyenek például a derékszögű sarkok, vékony mélyítések, lépcsősen változó falvastagságú szakaszok stb.

3. Eredmények

3.1. Szerszámkitöltési szimulációk

A szimulációk elvégzése érdekében szükség van egy műanyagalkatrész-modellre. Ez a modell képviseli a végterméket.

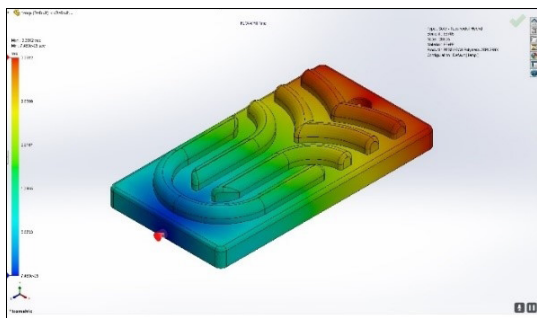
3.1.1. Optimális gátpozíció meghatározása

A szimulációk kiértékelésének első eredménye az optimális gátpozíció meghatározása. Ennek kiválasztása a szimulációkban megjelenő légzáratok, hegesztési vonalak alapján történt, hiszen ezek esztétikai hibákként nyilvánulnak meg a végterméken [2]. A kitöltés általános minősége is figyelembe volt véve.

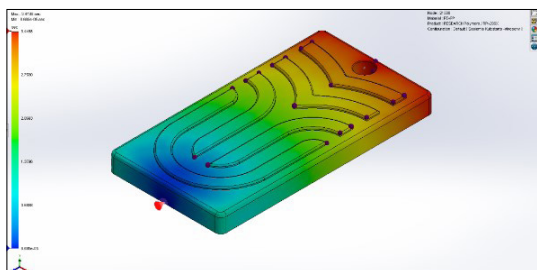
Az optimális gátpozíció meghatározása során fröccsöntési nyomást és állandó gátméretet szögeztünk le, így a kitöltés minősége a gát elhelyezése függvényében tanulmányozható.

A különböző gátpozíciókkal végzett szimulációk eredményei mellett a költséghatékony kivitelezés is fontos szerepet játszott a döntéshozásban.

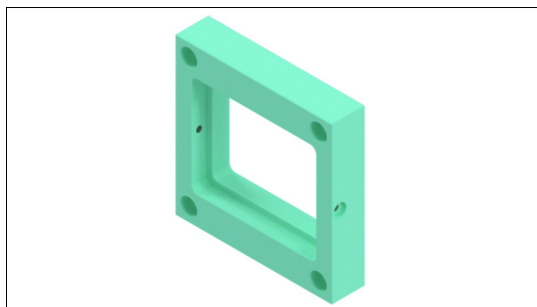
A 2. ábrán látható a végleges gátpozíció. Ez biztosítja azt, hogy az ömledékfront a modell kiemelkedéseit hosszanti irányban tölti ki, mely segít a hegesztési vonalak kiküszöbölésében. [3]



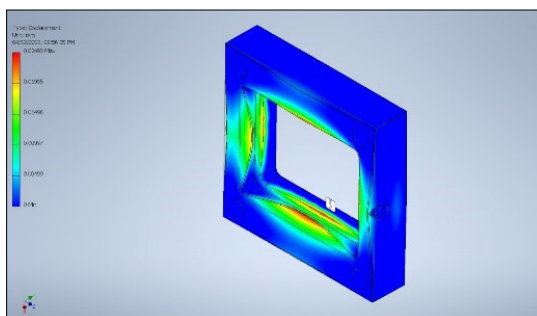
2. ábra. Optimalis, szimmetrikus kitöltést biztosító gátpozíció



3. ábra. Optimalizált modell csökkentett kiemelkedésekkel



4. ábra. Mozgó oldali formalap a betét beillesztéséhez, illetve a kilökörendszer működéséhez szükséges megmunkálásokkal



5. ábra. Mozgó oldali formalap alakváltozása 50 tonna terhelés esetén (AutoDesk Inventor-szimuláció)

3.1.2. Optimális modell meghatározása

A kezdetleges alkatrészmodell egy, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem logóját ábrázoló kulcstartó. A modell kiemelkedő részei számos geometriai sarok megjelenését vonják magukkal, melyek nehézségeket jelentenek fröccsöntés szempontjából. A modell optimalizálása során ezen problémás részek megváltoztatása volt a prioritás oly módon, hogy az eltérés az eredeti formától minimális legyen (3. ábra).

A szimulációk segítségével sikerült optimalizálni a műanyag alkatrészmodellt oly módon, hogy teljes üregkitöltést lehessen biztosítani. Ez a légzárványok, illetve hegesztési vonalakat eredményező geometriai sajátosságok módosításával történt. [3]

3.2. A fröccsöntő szerszám tervezése

3.2.1. Formalapok tervezése

A szerszám cserélhető betétes kialakítása miatt a formalapokban ki kell alakítani a betétnek szükséges helyet, melynek mérete 80×100 [mm × mm]. A 15 mm vastag betétek 13 mm mélyen helyezkednek el a formalapban, annak érdekében, hogy a betétek – és csak a betétek – teljes érintkezését tudjuk biztosítani a szerszám zárása során.

A kilökö rudak a mozgó oldali formalapon át kell, hogy hatoljanak annak érdekében, hogy a műanyag alkatrész kilököse lehetséges legyen. Ez megoldható furatokkal, viszont ez azt jelentené, hogy más betétek használata esetén az új elhelyezkedésű és különböző méretű kilökö rudak újabb és újabb furatok létrehozását igényelnék. Mivel az egyik fő szempont a betétek cserélhetőségének könnyítése, ez a megoldás nem ideális.

Annak érdekében, hogy a mozgó oldali formalap alkalmas legyen különböző betétek használatára, egy, a betét méreténél kisebb, áthaladó alakos részt kell kialakítani a formalapba, ahogy azt a 4. ábra mutatja. Ezt oly módon kell megvalósítani, hogy maradjon egy váll, amely egy támaszkodási felületet biztosít a betétnek.

A formalap működőképességének ellenőrzése érdekében terhelési szimulációkat futtattunk a formalap modelljén. A maximális terhelés a gép paramétereiből adódóan ismert (50 t), így elvégezhetőek a terhelésanalízis-vizsgálatok. A szimulációk az AutoDesk Inventor Stress Analysis programmal vannak végezve (5. ábra). A szimulációk elvégzéséhez használt anyag az AISI 1045 acél. Az említett anyag mechanikai jellemzői megtalálhatóak az AutoDesk Inventor anyagkatalógus-

sában, így a szimulációk elvégzésére is alkalmas. Az AISI 1045 Young Modulusa ~200 GPa.

A maximális alakváltozás 50 tonna terhelés esetén nem haladta meg a 25 μm -t. Ez az érték kellően alacsony ahhoz, hogy elhanyagolhatónak nevezhessük fröccsöntés szempontjából.

3.2.2. Osztósík meghatározása

A fröccsöntő szerszám tervezése során fontos figyelembe venni az osztósík pozícióját. Mivel a költséghatékony tervezés az egyik fő cél, osztósíknak az alkatrész alapjának síkja lett kiválasztva (6. ábra). Ez több előnyt jelent.

Elsősorban biztosítja azt, hogy az alkatrész, a szerszámnyitás ideje alatt, a szerszám mozgó oldali részében maradjon, így elősegítve a kilökést. Másodsorban, az osztósík helyzetéből adódóan a betétek közül csak az egyiket szükséges megmunkálni, minek köszönhetően lecsökken a gyártási költség és idő. A választott osztósík egy hátránnyal jár: az alkatrész azon éleit, melyek az osztósíkban vannak, nem lehet lekerekíteni.

3.2.3. Beömlőrendszer és üregek tervezése

A beömlőcsatorna átmérőjének 2 mm lett választva, mivel egy ekkora átmérőjű beömlőcsatorna az összes felsorolt műanyag fröccsöntésére alkalmas a tervezett szerszám esetében (1. táblázat), hiszen a maximális folyási út 70 mm (a fűvókától a gátak és alkatrészüreg találkozásáig).

A beömlőpersely és az elosztócsatorna átmérője közötti összefüggést a következő képlettel határozzuk meg:

$$D_{\text{előző}} = D_{\text{következő}} \cdot \sqrt{n} \quad (1)$$

ahol n az az elágazások számát jelöli, $D_{\text{előző}}$ az elágazás előtti átmérő és $D_{\text{következő}}$ az elágazás utáni átmérőt.

Az elosztócsatornák méretéből visszszámított perselyátmérő 2,82 mm. Mivel a beömlőpersely kúp (0,5° kúpszög), a kapott érték az átlagátmérőre érvényes. A Meusburger GmbH által forgalmazott beömlőperselyek között található egy, 2,91 mm átlagátmérővel ellátott alkatrész. Ez eleendően megközelíti a számított értéket.

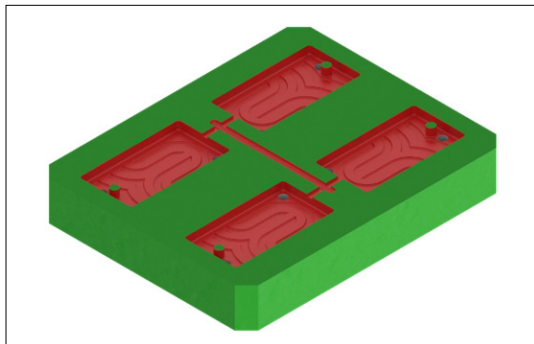
A fészkek elhelyezését meghatározzák a korábban leszögezett tényezők: a kiválasztott gátpozíció és a megmunkálható felület méretei. Mivel a betét méretei az osztósíkban 80 × 100 [mm × mm], négy üreg elhelyezése lehetséges úgy, hogy eleendően nagy (6 mm) maradjon a falvastagság a szerszámüregek, illetve a betét fala között (7. ábra).

1. táblázat. Maximális folyási út 2 mm átmérőjű csatornák esetében [4]

Műanyag	Max. folyási út 2 mm átmérőjű vezetékekben [mm]
Polietilén (LDPE)	720
Polietilén (HDPE)	400
Polipropilén	870
Polisztirol	670
Poliamid 66	560
Poliamid 6	510
ABS	370



6. ábra. Osztósík oldalnézetből (alkatrész alján, vonallal jelölve)



7. ábra. Megmunkált mozgó oldali betét modellje

A tervezett műanyag alkatrész 3D-modelljéből kiszámított térfogat 2.35697 cm³, így ennek négyeszerese 9.42788 cm³. A beömlőrendszer térfogata 3.80619 cm³, így egy fröccsöntéshez szükséges polimer térfogata 13,23407 cm³. A maximális fröccsöntési térfogat/fröccsöntési ciklus 96 cm³.

3.2.4. Gátak méretezése

A gátak méretezése során jellemző a gát méretének csökkentésére való törekvés. Ennek oka a beömlőcsatornában megdermedt műanyag eltávolításának könnyítése a fröccsöntött terméktől.

Határoló tényezők a maximális megengedett nyírási sebesség, illetve a gátakon számított nyomásesés. Ezek az értékek függenek a használt műanyagtól [5].

Az első méretezési lépés során a maximális nyírási sebességet vettük figyelembe: [5]

$$\dot{\gamma} = 6 \cdot \dot{V} / (w \cdot h^2) \quad (2)$$

ahol $\dot{\gamma}$ – nyírási sebesség [1/s], $\dot{V}$ – térfogatáram [cm^3/s], w – gát szélessége [m] és h – gát vastagsága [m].

A gátak végső méretei: $w=2$ mm, $h=0,75$ mm. Az így kapott nyírási sebesség: $\dot{\gamma}17645,426$ 1/s. A különböző polietilénfajták és polipropilén közül a legalacsonyabb maximális nyírássebesség-értéket a HDPE, illetve az LDPE paraméterei között találtam: 40 000 1/s [6], amelyet nem halad meg a számított eredmény.

Következő lépésként a teljes beömlőrendszeren számított nyomásesést vizsgáltuk. Szimulációk eredményeiből a nyomásesés < 75 MPa. A használt fröccsöntő gép képes előállítani a számított nyomás kétszeresét ($P_{\text{max}} = 168$ MPa).

3.2.5. Kilőkőrendszer tervezése

A használt kilőkő rudak hengeresek és sík homlokfelülettel rendelkeznek. A minimális átmérő kiszámításához meg kellett határoznunk a kilőkéshez szükséges erőt a 3. képlet [5] segítségével. Ennek az erőnek a felkerekített értéke 1970 N.

$$F = \mu \cdot \cos(\Phi) \cdot E \cdot CTE \cdot (T_2 - T_1) \cdot A_{\text{eff}} \quad (3)$$

ahol μ – súrlódási együttható, E – Young Modulus [Pa], CTE – hőtágulási együttható [1/°C], A_{eff} – a műanyagdarab zsugorodó felülete [m^2], ε – fajlagos megnyúlás, Φ – kúposági szöge a szerszámmal azon részének, amelyre ráfeszül a műanyag a zsugorodás során [°].

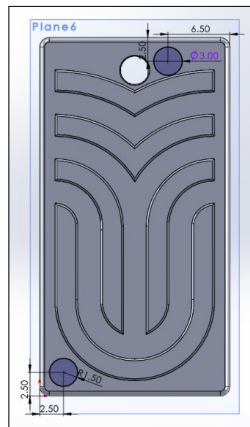
A kilőkéshez szükséges erő ismeretében kiszámítható a szükséges átmérő a műanyag alkatrész-nyíró igénybevételére. [5]

$$\Omega_{\text{kilőkők}} > 2 \cdot \frac{F_{\text{kilőkés}}}{\sigma_{\text{max}} \cdot h} \quad (4)$$

ahol $\Omega_{\text{kilőkők}}$ – kilőkő rudak kerülete [m] (nyírási vonal), σ_{max} – a folyáshatár [Pa] és h – műanyag alkatrész falvastagsága a kilőkő rúddal való érintkezés pontjában [m].

Az így kapott kilőkő rudak minimális összkörülete 41,042 mm. A tervezett betétpárhoz 8 kilőkő rúd jár, így a minimális átmérő 1,63301 mm. Biztonsági tényező beiktatásával a felkerekített érték 3 mm; ilyen kilőkő rudakat forgalmaz a Meusburger GmbH, mely könnyebbé teszi az alkatrész beszerzését.

A kilőkő rudak kihajlásra is ellenőrizve voltak: igénybevételük 34,83725 MPa, míg a maximális megengedett érték 2,86467 GPa.



8. ábra. Kilőkő rudak elhelyezése a műanyag alkatrészben

A kilőkő rudak elhelyezése során (8. ábra) a műanyag alkatrész formája állított fel határokat, hiszen a rudak kizárólag olyan helyen érintkezhetnek az alkatrészszel, ahol ennek felülete lapos.

4. Következtetések

Sikeresen elkészült egy cserélhető betétes fröccsöntő szerszám terve. A szerszám cserélhető betétes kialakításának köszönhetően lehetőség lesz más-más műanyag alkatrészek fröccsöntésére hossz- és költséges szerszámcserék elvégzése nélkül. A terv során elkövetett túlméretezéseknek köszönhetően a tervezett szerszám alkalmas lesz különböző műanyagok fröccsöntési folyamatának tanulmányozására.

Ez jelenti az első lépést annak érdekében, hogy az egyetem hallgatói számára tanulmányozhatóvá váljon a fröccsöntés folyamata egy ipari fröccsöntő berendezéssel.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Mikó B.: *Műanyagfröccsöntő szerszám tervezése és gyártása*. Budapest, 2006. 1–6.
- [2] Seow L. W., Lam Y. C.: *Optimizing Flow in Plastic Injection Molding*. Journal of Materials Processing Technology, 78/3. (1997) 333–341. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(97\)00188-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(97)00188-X)
- [3] Mehdi M.: *Intelligent Optimization of Mold Design and Process Parameters in Injection Molding*. Springer. Springer International Publishing, Cham, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03356-9>
- [4] Dunai A., Macskási L.: *Műanyagok fröccsöntése*. 2003. 357–358.
- [5] Kazmer O. D.: *Injection Molding Design Engineering*. Hanser Gardner Publications Inc, München, 2016. 176–178, 265–273.
- [6] Maximum of Shear Stress and Shear Rate. 2021.



KOSZINUSZPROFILÚ LEFEJTŐLÉCCEL GYÁRTOTT FOGASKERÉKPÁR SZINTÉZISE ÉS CAD-VIZSGÁLATA

SYNTHESIS AND CAD-EXAMINATION OF A CYLINDRICAL GEAR PAIR DERIVED FROM A COSINE PROFILED RACK

Máté Márton,¹ Gál Károly-István,² Tolvaly-Roşca Ferenc³

*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék,
Marosvásárhely, Románia*

¹ mmate@ms.sapientia.ro, ² gal.karoly@ms.sapientia.ro, ³ tferi@ms.sapientia.ro

Abstract

The problematic of gear profiles has again come to the fore during the power demands imposed by technical development. Nowadays gears have an almost involute profile because of their numerous advantages, the most important being that changing the center distance does not affect the transmission ratio. According to [1], a cosine gear drive has a lower slip coefficient and the contact and bending stresses by charge are significantly lower compared to an involute gear. In this paper, we present a study regarding the generation of a cosine profile rack in a CAD environment. The profile of the generating rack and the mathematical computations of the equations of gearing were performed in a Mathcad environment. The tool models were created in Autodesk Inventor. Then it was implemented in Autodesk AutoCAD and using its special programming language (Auto lisp), a simultaneous subtraction-rolling method was used to obtain a realistic simulation of the meshing of the cut gear with the rack. Implementing the generated gears in Autodesk Inventor environment, tests were performed in order to compare the cosine profile of the generated gears with the profile of the involute gears. In the near future, we intend to exploit the results obtained and compare the transmission quality of the involute gears with the cosine gears.

Keywords: *cosine profile, involute, CAD, Mathcad, Autolisp, cosine profiled rack, gear.*

Összefoglalás

A fogaskerékprofilok problémaköre a technikai fejlődés követelte teljesítménynöveléssel került újra előtérbe. Napjainkban a fogaskerekek nagy része evolvens profillal rendelkezik, mivel ezen fogazatok számos pozitív tulajdonsággal bírnak, melyek közül az egyik legfontosabb az, hogy a tengelytáv változtatása nem módosítja az áttételi arányt. Az [1] alapján a koszinuszos fogaskerékajtás kisebb csúszási együtthatóval rendelkezik, valamint a terhelés során ébredő érintkezési és hajlítási feszültségei csökkennek az evolvens fogaskerékhez képest. Dolgozatunkban egy koszinuszprofilú lefejtőlécet és az ezzel képzett fogaskerékpár generálását, valamint ennek CAD-környezetben való tanulmányozását végeztük el. A lefejtőléc profilját, valamint a kapcsolódási egyenleteket Mathcad-környezetben számítottuk ki. A szerszámmodelleket Autodesk Inventor-környezetben hoztuk létre. Az így kialakított modelleket AutoCAD-környezetbe illesztve, Autolisp nyelven megírva, egy egyidejű kivonásos-gördülési programot alkalmaztunk a fogaskerekek léccel történt lefejtésének valósághű szimulációjára. Az így generált fogaskerekeket Autodesk Inventor-környezetbe visszaüllesztve, vizsgálatokat végeztünk annak érdekében, hogy a generált fogaskerekek koszinuszprofilját azonos méretű evolvens fogaskerekek profiljával összehasonlítsuk. A közeljövőben szándékunkban áll az így kapott eredményeket hasznosítani, és összehasonlítani az evolvens fogazatú fogaskerekek átviteli képességét a koszinuszfogazatú kerekkel szemben.

Kulcsszavak: *koszinuszprofil, evolvens, CAD, Mathcad, Autolisp, lefejtőléc, fogaskerék.*

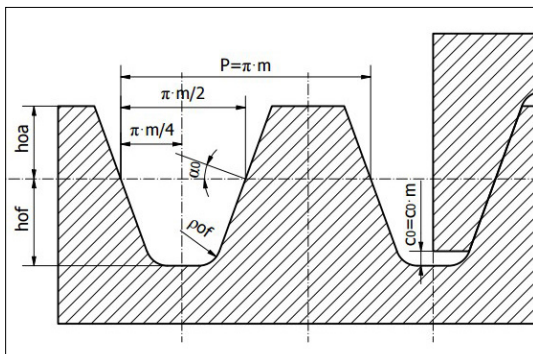
1. Bevezetés

A fogaskerek a fogak profilja szerint lehetnek evolvens, pálcs, ciklois vagy köríves kialakításúak. A leggyakrabban alkalmazott fogaskerékpofil az evolvens, amelynek számos előnye közé tartozik az áttételi arány tengelytávától való függetlensége és az egyszerű gyártás. Emellett hátrányai is vannak, mint például a korlátozott terhelhetőség és az interferenciára való hajlam. A numerikusan vezérelt gépek megjelenésének köszönhetően különböző speciális profilok is kialakíthatók.

A ciklois gyakorlati alkalmazottsága mára már visszaszorult, csupán az óraiparban és speciális szivattyúknál alkalmazzák. A ciklois profilnak számos előnye van: a profilok közti relatív csúszás nulla, a kopás kismértékű, nem igényel feltétlenül kenést, és a kapcsolószám nagyobb, mint az evolvens, pálcs vagy körívfogazatok esetében.

A pálcs fogazat a legrégebbi fogazattípus. Ez a fogazat újra virágkorát éli, óraművekben, bolygó-művekben, valamint emelőszerkezetekben alkalmazzák. A pálcs fogazatú hajtásokat fogak helyett kör keresztmetszetű pálcsakkal kialakított kerék és egy ezzel kapcsolódó ciklois profilú fogaskerék alkotja.

Lehetőség van arra, hogy a hengeres fogaskereket körívprofilal is tervezzük. Felhasználási területei: cementmalmok, kompresszorok, emelőgépek stb. Az USA iparában széles körben alkalmaznak körívprofilokat, amelyek a műanyag fogaskerek gyártásának legmegfelelőbb alappilérét jelentik. Erőátvitel szempontjából ezek nagyon előnyösek, nagy szilárdság jellemzi őket, valamint megfelelő kenés mellett kifejezetten jól működnek, az áttétel határfoka pedig felülmúlja a nem köszörült, evolvens profilú hajtásokat [2].



1. ábra. Szabványos alapprofil

2. Koszinuszléccel gyártott fogaskerékpár

2.1. Általános gyártóléc felépítése

Az általánosíthatóság érdekében az alapprofil (1. ábra) egységnyi m (modulra) határozzuk meg. A szabványos alapprofilszög értéke $\alpha = 20^\circ$. A fogtő szilárdságának növelése érdekében az előírt foglábgyömbületi sugár értéke legyen $\rho_{of} = 0,38 \cdot m$ [2].

2.2. Koszinusz-gyártóléckialakítás

A koszinuszprofilú lécc profilegyenletét az $O_S X_S Y_S$ koordináta-rendszerhez képest írtuk fel.

A kék és a zöld színű (2. ábra) koszinuszprofilú lécek a hajtás 1-es, illetve 2-es kerekét fejtik le. A közös profiljuk az ABCEFG piros színű jelölt koszinuszgörbe.

A profil egyenletét a következő alakban keressük:

$$y_{S1}(x) = a \cos(bx),$$

ahol

$$a = a_s = b_s = (ho^* + co^*)m$$

$$h_0^* = 1, co^* = 0,25$$

Koszinuszgörbe alkalmazásakor figyelembe kell venni a lécc osztását ($p = \pi m$), amelyet a függvény periódusához kell igazítani. Felírható, hogy:

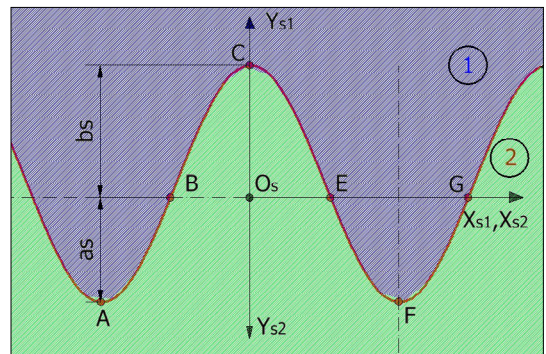
$$y_{S1}(x) = y_{S1}(x + p) \\ \Rightarrow a \cos(bx) = a \cos b(x + p)$$

A fenti egyenletet átrendezve és szorzattá alakítva, ez a következő alakot ölti:

$$\sin\left(bx + \frac{bp}{2}\right) \sin\left(\frac{bp}{2}\right) = 0$$

Ahhoz, hogy az egyenlőség mindig fennálljon, az alábbi feltételnek teljesülnie kell:

$$\sin\left(\frac{bp}{2}\right) = 0$$



2. ábra. Lécek közös profilja

A (4) kanonikus trigonometriai egyenlet megoldása:

$$\frac{pb}{2} = (-1)^k \arcsin(0) + k\pi, k \in \mathbb{Z} \quad (5)$$

ahonnan

$$b = \frac{2k\pi}{p} = \frac{2k\pi}{\pi m} = \frac{2k}{m} \quad (6)$$

Tehát a leghamarabbi ismétlődésre $k=1$, ezzel:

$$b = \frac{2}{m} \quad (7)$$

A koszinuszprofilú lécc kapcsolószöge ugyan változó, viszont az evolvenst generáló szabványos, $\alpha_0 = 20^\circ$ -os profilszögű léccel való összehasonlítás kedvéért ezt az osztóvonalon definiáljuk. Az 1. ábra alapján a kapcsolószög a profilnak osztóvonalai pontjában húzott érintő és az x tengely pozitív iránya által bezárt szög pótszöge. A derivált függvény geometriai értelmezésével

$$\operatorname{tg} \varphi = \operatorname{ctg} \alpha_c = \frac{dy}{dx} \Big|_{(x=-\frac{\pi m}{4})} = -ba \sin bx \quad (8)$$

$$\alpha_c = \frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}(-2.5) \approx 21^\circ 48'' \text{ juk, hogy}$$

Az 1-es kereket generáló lécc fogárkának szimmetriatengelye az y_{s1} tengely, amint az a 2. ábrán is látható. Így az 1-es lécc profilegyenlete a következő:

$$y_{s1}(x_{s1}) = a \cos\left(\frac{2}{m} x_{s1}\right) \quad (9)$$

A 2-es kerék generálóléce az y_{s2} tengelyhez képest fogra szimmetrikus. Feltételezzük, hogy sablon-ellensablon elv érvényesül a két lécc esetében, vagyis az s_2 -t az s_1 -ből származtatjuk úgy, hogy az x tengely körül elforgatjuk 180° -kal a profilt. Így a 2-es lécc profilegyenlete a következő lesz:

$$y_{s2}(x_{s2}) = -a \cos\left(\frac{2}{m} x_{s2}\right) \quad (10)$$

Ha $x_{s2} = x_{s2}^* + \frac{\pi m}{2}$, akkor

$$y_{s2}^*(x_{s2}^*) = a \cos\left(\frac{2}{m} x_{s2}^*\right), \text{ tehát az eredeti profilt}$$

kaptuk vissza, így bizonyítottuk, hogy a sablon-ellensablon elve érvényesül.

2.3. Koszinusz-fogaskerékpár generálása

A generálás szemléltetésének céljából a 3. ábrán illusztráltuk a kezdeti kiinduló, illetve egy, a kezdeti pozíciótól már eltérő helyzetű fogaskerékpárt, valamint feltüntettük az ezekhez tartozó koordinátarendszereket.

Felírjuk a koordinátarendszerek közti transzformációs mátrixokat.

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{M}_{10} \mathbf{M}_{0s1} \mathbf{r}_{s1}$$

$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{M}_{20} \mathbf{M}_{0s2} \mathbf{r}_{s2}$$

$$\mathbf{M}_{1s1} = \mathbf{M}_{10} \mathbf{M}_{0s1}$$

$$\mathbf{M}_{2s2} = \mathbf{M}_{20} \mathbf{M}_{0s2}$$

Jelen dolgozatban a mátrixos formákat nem közöljük, viszont, ha ezeket felírjuk, észrevehető lesz, hogy a két transzformációs mátrix azonos szerkezetű.

2.4. A kapcsolódási egyenletek

A kapcsolódási egyenletet két különálló, de egybevágó lefejtőléccel kapcsolódó 1-es és 2-es kerékre írjuk fel. A relatív sebességek a 4. ábrán feltüntetett helyvektorokból és szögsebességekből következnek.

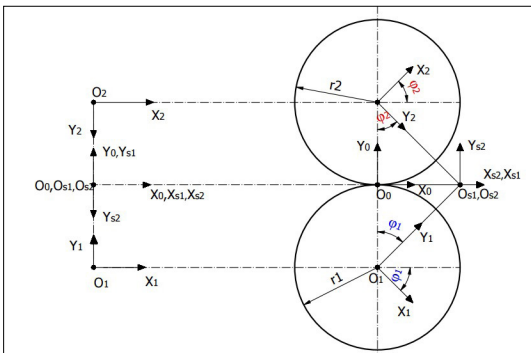
A relatív sebességek kifejezései a következőképpen alakulnak:

$$\mathbf{v}_{s1}^{(1,s1)} = \mathbf{v}_{s1}^{(1)} - \mathbf{v}_{s1}^{(s1)} =$$

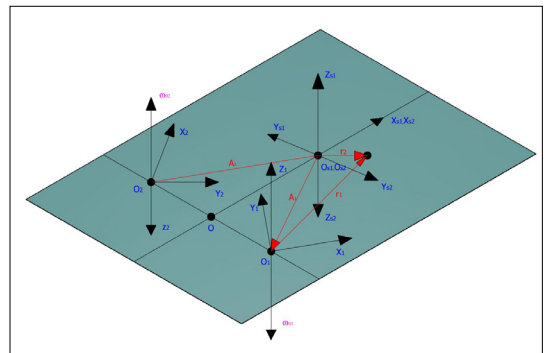
$$\boldsymbol{\omega}_{01}^{(1)} \times \mathbf{r}_{s1} + \mathbf{A}_1 \times \boldsymbol{\omega}_{01}^{(1)} - \omega_1 \mathbf{r}_1 \mathbf{i}_{s1} \quad (12)$$

$$\mathbf{v}_{s2}^{(2,s2)} = \mathbf{v}_{s2}^{(2)} - \mathbf{v}_{s2}^{(s2)} =$$

$$\boldsymbol{\omega}_{02}^{(2)} \times \mathbf{r}_{s2} + \mathbf{A}_2 \times \boldsymbol{\omega}_{02}^{(2)} - \omega_2 \mathbf{r}_2 \mathbf{i}_{s2}$$



3. ábra. Fogaskerékpár generálása



4. ábra. Kapcsolódás két, különálló léccel

2.5. Egyetlen szerszámmal történő fogazat-kialakítás

Mivel a 2.2-es pontban bizonyítást nyert a sablon-ellensablon elve, ezért egy fogaskerékpárt $\xi=0$ profilleltolás-érték mellett gyárthatunk ugyanazon szerszámmal. Így a lefejtőléc egyenlete azonos a 2.2-ben felírt egyenlettel.

A burkoláshoz felhasznált transzformációs egyenletek mátrixos alakjai a következők:

$$\mathbf{M}_{1s} = \mathbf{M}_{10} \mathbf{M}_{0s} \quad (13)$$

$$\mathbf{M}_{1s} = \mathbf{M}_{10} \mathbf{M}_{0s}$$

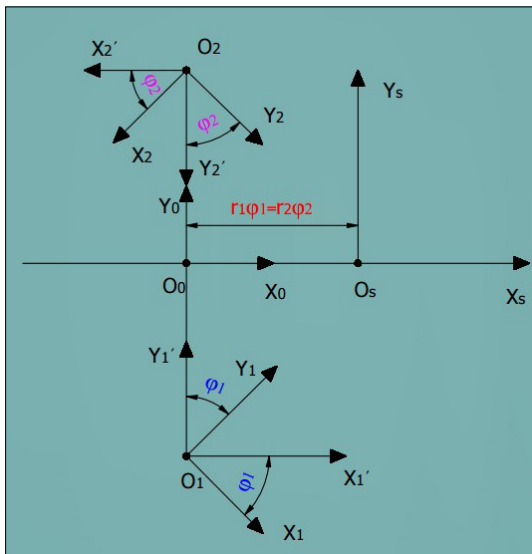
A szögsebességek és ezek ekvipolens eltolását meghatározó helyvektorok a következők:

$$\begin{aligned} \omega_{01s}^{(1)} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}; \mathbf{A}_{1s} = \begin{bmatrix} -r_1 \varphi_1 \\ -r_1 \\ 0 \end{bmatrix}; \\ \omega_{02s}^{(2)} &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ i_{21} \end{bmatrix}; \mathbf{A}_{2s} = \begin{bmatrix} -r_2 \varphi_2 \\ r_2 \\ 0 \end{bmatrix}; \end{aligned} \quad (14)$$

A (14) oszlopvektorokat behelyettesítjük a (12) sebességekfejezésekbe, és megkapjuk a sebességvektorok oszlopait:

$$\begin{aligned} \mathbf{v}_s^{(s1)} &= \begin{bmatrix} -y_s \\ x_s - r_1 \varphi_1 \\ 0 \end{bmatrix} \\ \mathbf{v}_s^{(s2)} &= \begin{bmatrix} y_s \\ x_s + r_2 \varphi_2 i_{21} \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (15)$$

Mindkét profil egyszerre kapcsol, tehát ha a kapcsolódási pont M, akkor $\mathbf{n}_1 = \mathbf{n}_2$, ugyanabban az időben, mindkét léckerékkapcsolás számára.



5. ábra. Ugyanazon léccel való gyártás

Tehát:

$$\mathbf{v}_s^{(s1)} \cdot \mathbf{n}^{(1)} = 0 \quad (16)$$

$$\mathbf{v}_s^{(s2)} \cdot \mathbf{n}^{(2)} = 0$$

A koszinuszprofil normálvektorának felírása az u paraméter segítségével a következő (5. ábra):

$$\mathbf{n}(u) = \begin{bmatrix} \frac{2a}{m} \sin\left(\frac{2}{m}u\right) \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Az első kapcsolódási egyenlet, a (15) és (17) képletek behelyettesítésével a (16)-ba, a következő lesz:

$$-y_s \frac{2a}{m} \sin\left(\frac{2}{m}u\right) + (x_s - r_1 \varphi_1) \cdot 1 = 0 \quad (18)$$

Innen

$$\varphi_1(u) = \frac{2}{mz_1} \left(x_s - y_s \frac{2a}{m} \sin\left(\frac{2}{m}u\right) \right) \quad (19)$$

Hasonlóképpen, a második kapcsolódási egyenlet:

$$y_s \frac{2a}{m} \sin\left(\frac{2}{m}u\right) - (x_s - r_2 \varphi_2) \cdot 1 = 0, \quad (20)$$

melynek megoldása

$$y_s \frac{2a}{m} \sin\left(\frac{2}{m}u\right) - (x_s - r_2 \varphi_2) \cdot 1 = 0, \quad (21)$$

A fenti egyenleteket Mathcad-környezetbe illesztve, létrehoztuk a bal (piros), illetve jobb (kék) fogárokprofilokat (6. ábra).

A bal és a jobb fogoldal kapcsolódási vonalai, ra_i és tr_i között, azaz az fr_i lábkörsugárnál c_0^* -m-mel nagyobb úgynevezett belső kör sugáron (7. ábra).

3. Működésszimuláció

Annak érdekében, hogy szimulációt végezzünk, szükséges a lefejtőléc modelljének elkészítése.

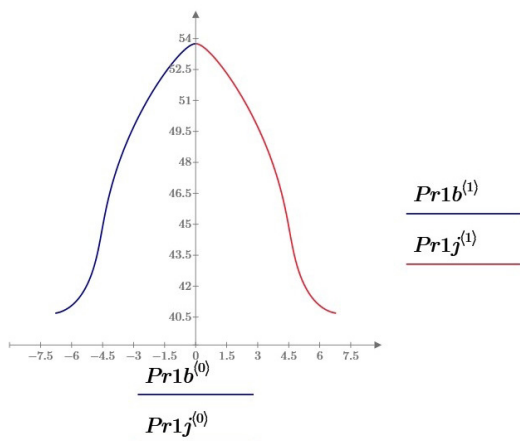
A kiinduló adatok:

$$\begin{aligned} m &= 5 \text{ mm}; h_0 = 1; c_0 = 0,25; z_1 = 19; z_2 = 27; b = 2/5 \\ a &= (h_0 + c_0) m = 6,25 \text{ [mm]} \end{aligned} \quad (22)$$

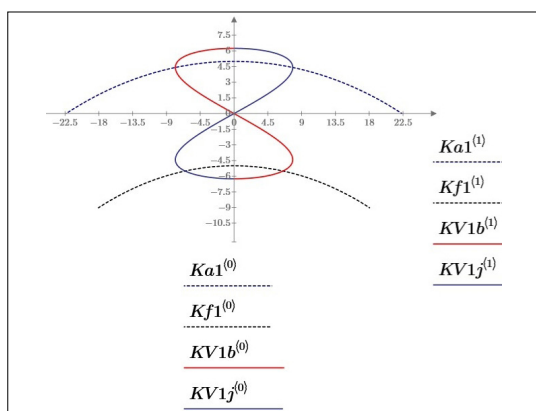
A meglévő egyenleteket és a kiinduló adatokat Mathcad-környezetbe implementálva létrehoztuk a koszinuszprofil (8. ábra).

A kapott profilpontokat Autodesk Inventor-környezetbe implementálva létrehoztuk a lefejtő lécc 3D-testmodelljét (9. ábra).

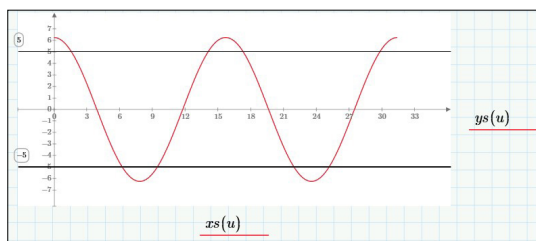
A gyártási szimulációt Autodesk AutoCad-környezetben végeztük, mivel az Autodesk Inventor nem tud 3D-Solid objektumokkal megfelelő kivonást elvégezni. Az AutoCad specifikus programozási felületét használva egy Autolisp [3] programot írtunk, amely egy egyidejű legördülést és kivonást valósít meg.



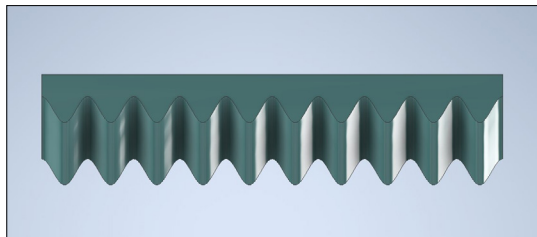
6. ábra. Fogárokprofilok



7. ábra. A bal és a jobb fogoldal kapcsolódási vonalai



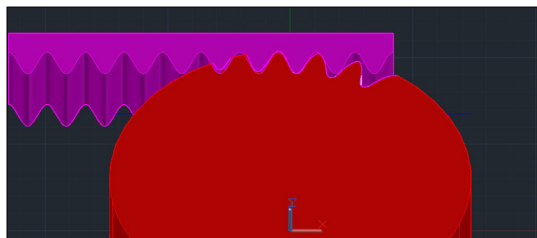
8. ábra. Lefejtőléc koszinuszprofilja



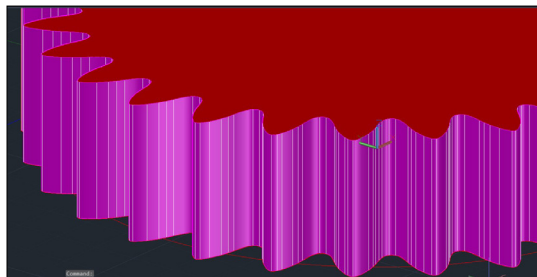
9. ábra. Léc 3D-Solid modell

4. Összehasonlító vizsgálatok és ellenőrzések

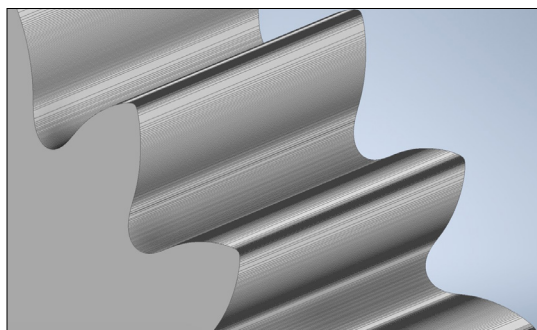
A lefejtőléc segítségével generált fogaskerékpáron végeztünk vizsgálatokat. A vizsgálatokhoz szükséges volt elkészítenünk két, azonos kiinduló adatokkal rendelkező evolvens profilú fogaskereket. Annak érdekében, hogy megfelelő méréseket végezzünk, mind a négy esetben a profileltolás értéke $\xi=0$ -ra volt állítva. Annak érdekében, hogy a koszinuszlécprofil minél pontosabban közelítsük, az Autodesk Inventor által megengedett maximális 500 pontot vettük fel, majd ezeket Spline-görbékkel kötöttük össze. A kapott profilból létrehozott léccel az Autolisp-környezet segítségével generáltuk a $z_1=19$, illetve $z_2=27$ fogú koszinusz-fogaskerekeket. A kivonásos-gördülési módszer alkalmazásakor a megadott pontosság értéke csupán 0,2mm volt, mivel ez a módszer



10. ábra. Legördülő-kivonó művelet



11. ábra. AutoCad-ben generált fogaskerék



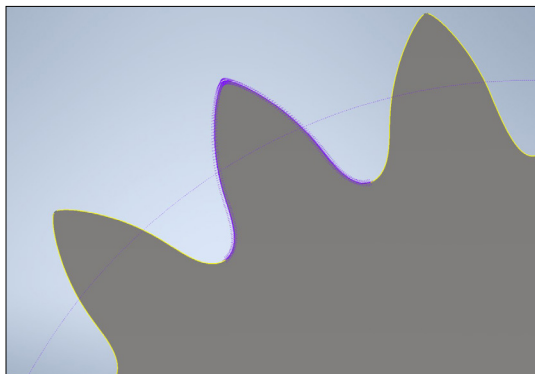
12. ábra. AutoCAD-ben generált fogfelület-szemléltetés

igen nagy hardverigényű (a lépésenkénti kivonás és felületképzés komplex művelet). A 12. ábrán megfigyelhetők a gyártóléc által generált egyenesek a fog felületén.

4.1. Matematikai modell grafikus ellenőrzése

Első lépésben megvizsgáltuk, hogy a matematikai modell milyen mértékben egyezik a generált fogaskerek profiljával.

A 13. ábra esetében a Mathcad-környezetben generált profilt tökéletesen illesztettük a gyártott fogaskerék profilvetületéhez. Amint az az ábrán is látható, a Mathcad-környezetben generált profil tökéletesen illeszkedik a generált profilra, tehát a matematikai modell helyes.

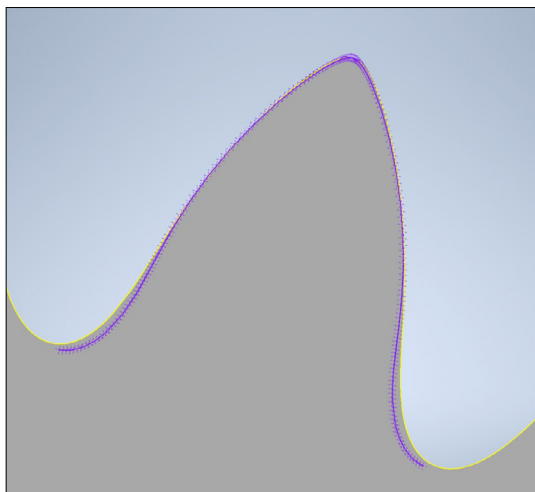


13. ábra. Matematikai modell helyességének vizsgálata

4.2. Fogszám hatása a koszinuszprofil alakjára

Az evolvens profilok esetében megfigyelhető, hogy a fogaskerék fogszámának növelése vagy csökkentése hatással van a profil alakjára, az alapkör sugár változása miatt. Ez a koszinuszfogazat esetében is igaz, amint az a 14. ábrán is látható.

A 13. ábrán a $z=19$ (lila), illetve $z=27$ (sárga) fogú fogaskerek profiljai láthatóak. Ha az osztókörtől a fejkör irányába haladunk, azt tapasztaljuk, hogy a kisebb fogszámú kerék fogát közrezáró profilok hamarabb összetartanak, ebből eredően nagyobb a fogkihegyesedés veszélye. Ugyanakkor, ha az osztókörtől a lábkör irányába haladunk, akkor a profilok ismét záró tendenciát mutatnak (lila görbék), tehát a fogláb görbe íve meredekebb, ami maga után vonja a fogtő gyengülését.



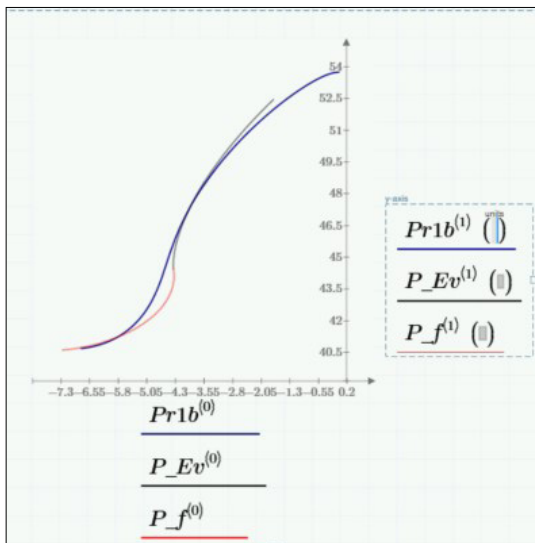
14. ábra. Fogszámhatás

4.3. Evolvens és koszinuszprofilok összehasonlítása

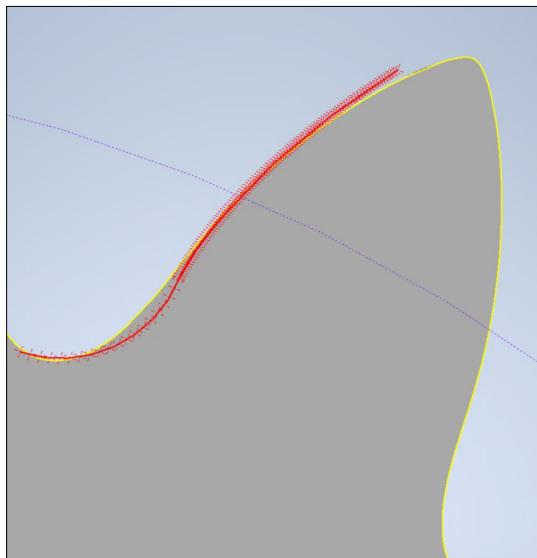
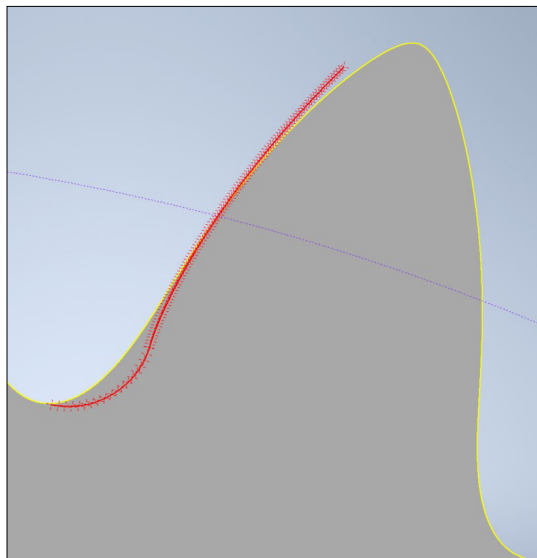
Ahhoz, hogy összehasonlítást végezzünk, szükségünk volt két evolvens fogazatú kerékre. A fogaskerek profilját Mathcad-környezetben generáltuk. A profilok két részből épültek fel: egy fogláb görbéből, valamint egy evolvens szakaszból. Ezen profilok lekerekítetlen fejélszalagú lefejtőléccel voltak generálva. Mathcad-környezetben egymásra helyeztük a két profilt, az osztókört használva referenciának. A Mathcad-számításokra nem fogunk kitérni.

Grafikus vizsgálatokat is végeztünk a profilok összehasonlításához (16. ábra és 17. ábra).

Mindkét esetben az evolvens profilhoz tartozó fogláb görbe gyengébb fogtövet eredményez, amely csökkenti a fogaskerek élettartását. Ha az osztókör és a fejkör közti szakaszt vizsgál-



15. ábra. Koszinusz-, evolvens profilok

16. ábra. $Z=19$ eset17. ábra. $Z=27$ eset

juk, mindkét esetben a koszinuszprofil összezárt az evolvenshez képest, amely fogkihegyesedés eredményezhet.

5. Következtetések

A koszinuszfogazat szintézisekor a lécek egybevágók, és ugyanakkor sablon-ellensablonként érintkeznek, ami az egyetlen szerszámmal való kialakítást lehetővé teszi.

A fogszám erőteljesen befolyásolja a fogaskerék profiljának alakját.

Ugyanazon modulú, de két különböző fogszámú kerék gyártása esetén a nagyobb fogszám előnyösebb, mivel ebben az esetben a koszinuszgörbe erősebb fogtövet eredményez.

A koszinusz-fogaskerek, fogláb görbék alakját tekintve, előnyösebbek, mint az evolvens fogazat, mivel az evolvens esetében gyengébb fogtő fog kialakulni, amely hangsúlyosan befolyásolja az élettartamot.

A koszinuszfogazat esetében, kis fogszámoknál a fejkör felé haladva, erőteljesen csökken a profilok közötti távolság, így fennáll a kihegyesedés veszélye.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Shanming Luo, Yue Wu, Jian Wang: *The Generation Principle and Mathematical Models of a Novel Cosine Gear Drive*. Mechanism and Machine Theory, 43 (2008) 1543–1556.
- [2] Pálfi K., Prezenszky T., Csibi V., Antal B., Gyenge Cs., Balogh F.: *Fogazott alkatrészek tervezése, szerszámai és gyártása*. Gloria Kiadó, Kolozsvár, 1999.
- [3] Tolvaly-Roşca F.: *A számítógépes tervezés alapjai: AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-07>
- [4] Máté M.: *Hengeres fogaskerek gyártószerszámai*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016. <https://doi.org/10.36242/mtf-12>
- [5] Hollanda D.: *Aşchiere şi scule*. Reprografia. I.I.S.Tg.Mureş, 1994. 234–240.
- [6] Szeniczai L.: *Az általános fogazás*. Nehézipari Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958. 49–50.
- [7] Máté M.: *Az egyenesfogú metszőkerék szer számkapcsolószögének optimalizálása*. Műszaki Tudományos Füzetek – FMTÜ I. (1996) 12–15. <https://doi.org/10.36243/fmtu-1996.03>



LIFTAJTÓK ÉS DEKORATÍV ELEMINEK VÉDŐFÓLIÁVAL VALÓ BURKOLÁSA

COVERING ELEVATOR DOORS AND DECORATIVE ELEMENTS WITH A PROTECTIVE FILM

Rezes Gábor,¹ Szigeti Ferenc²

¹ Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártás-technológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, rgaborezes@gmail.com

² Nyíregyházi Egyetem, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártás-technológia Tanszék. Nyíregyháza, Magyarország, szigeti.ferenc@nye.hu

Abstract

In today's world, in order to maintain competitiveness, all companies strive to meet deadlines and sell their products to their customers in the best possible quality. Also, they want to produce these products as cheaply as possible. This is no different in the elevator industry. At Wittur Hungária Kft., we produce thousands of elevator doors or their decorative elements every year, which must be provided with a protective film on a painted or structured surface, thus ensuring that the customer receives the quality product they expect. The main reason for the design of the machine is to speed up and automate the foiling process, while increasing productivity and reducing costs. Therefore, we set out to design a machine with which we can make the work of the workers easier and faster, since this operation is currently carried out manually, and we also ensure a consistent quality with the least possible human intervention.

Keywords: *elevator, foiling machine, machine design, finite element method, automation.*

Összefoglalás

A mai világban a versenyképesség fenntartása érdekében minden vállalat arra törekszik, hogy a határidők betartásával a lehető legjobb minőségben adják el a termékeiket az ügyfeleknek. Valamint, hogy ezeket a lehető legolcsóbban gyártsák. Ez nincs máshogy a liftiparban sem. Évente több ezer liftajtót vagy annak dekoratív elemeit gyártjuk a Wittur Hungária Kft.-nél, amelyeknek festett vagy strukturált felületét védőfóliával kell ellátni ezzel is biztosítva, hogy a vevő a tőle elvárt minőségben kapja meg a megrendelt terméket. A gép tervezésének célja a fóliázás gyorsítása és automatizálása, ezzel pedig a termelékenység növelése és a költségek csökkentése. Ezért egy olyan berendezés tervezését tűztük ki célul, amivel a dolgozók munkáját könnyítjük, gyorsíthatjuk, mivel ezt a műveletet jelenleg manuálisan végzik, valamint egy stabil minőséget biztosítunk az emberek lehető legkisebb beavatkozásával.

Kulcsszavak: *felvonó, fóliázógép, géptervezés, végeelem-módszer, automatizálás.*

1. A jelenlegi technológia jellemzői, a tervezett fejlesztés előnyei

A vállalatnál jelenleg alkalmazott technológia teljesen manuális. A dolgozónak kézzel kell a fóliát végigvezetni a burkolni kívánt elemeken, majd levágni. A műveletet megnehezíti az, hogy a dolgozó az állvány mellett sétálva tudja csak felvin-

ni a fóliát, ami a dolgozónak kényelmetlenséget okoz. Az új fóliázógéppel a munkavégzés színvonalát is tudjuk növelni, mert fejlesztjük az ergonómiát is.

A jelenlegi technológiánál nehézséget jelent, ha egy nagyon széles vagy nagyon magas elem kerül az asztalra, ugyanis ezek az elemek lelógnak az asztalról. A nagyobb szélesség miatt ilyenkor

plusz fóliát kell használni a teljes fedettség eléréséhez, amihez az elemet többször el kell mozdítani, és ez lassítja a fóliázás folyamatát.

A kézi technológiával jelenleg csak egy elemet lehet egyszerre burkolni, a tervezett fóliázógéppel azonban akár négy elemet is lehetne egy teljes ütem alatt, ezzel megnövelve a termelékenységet, és csökkentve a műveleti időt (**1. táblázat**).

A jelenleg alkalmazott technológiával elkészült burkolások minősége gyakran nem megfelelő, sok helyen meggyűrődhet a fólia, összeragadhat, indokolatlanul megnő a fóliafelhasználás. A dolgozók gyakran ferdén burkolják az elemeket, és ezért több fóliát is elhasználhatnak, ami a környezetre is káros, valamint növeli költségeket.

1.1. Jelenlegi technológia részletes bemutatása

A dolgozó kézzel felrakja a burkolni kívánt elemet a fóliázóasztalra. Ezután a fóliázandó tételt pozicionálja a fóliatekerccs elé, úgy, hogy kellő mennyiségű védőfólia kerüljön az elem felső és oldalsó részéhez egyaránt, nagyobb elemek esetén mind a két fóliát használja. Először a dolgozó végighúzza a fóliát a burkolni kívánt elem felett, majd a végén ráhelyezi és körben lesimítja a fóliát. Nagyobb elemek esetén ezt a műveletet meg kell ismételni addig, amíg teljesen el nem látják fóliával a fóliázandó elemet. A lesimítás végén a felesleges védőfóliát kézzel vágják le egy szike segítségével, majd az elem másik oldalán is lesimítják a fóliát (**1. ábra**) [1].

2. Az új gép konstrukciójának megalkotása

Kiindulási adatként a vállalatnál gyártott legmagasabb és legszélesebb ajtót vettem alapul. Ennek az ajtónak a magassága 3020 mm, szélessége pedig 930 mm. Ezért a gyártandó fóliázógépnek (**2. ábra**) [2] a méreteit valamivel nagyobbra vettem, hogy a védőfóliával való burkolás minden méretre gond nélkül megvalósítható legyen.

2.1. Az asztal tervezése és igénybevételei

Az asztalt végeelem-módszerrel ellenőriztem először álló helyzetben, terhelés nélkül, majd később több liftajtó terhelése esetén és egyéb terhelések esetén.

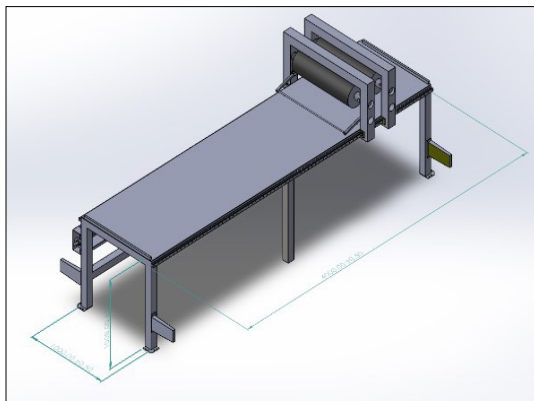
A vizsgálat ezen részében a később bemutatásra kerülő szerelvényt nem jelenítettem meg az egyszerűbb számítás érdekében. Az ellenőrzés során a szerelvény súlyából adódó terhelést végig számításba vettem, mint megoszló terhelés (**3. ábra**) [3].

1. táblázat. Technológiák összehasonlítása

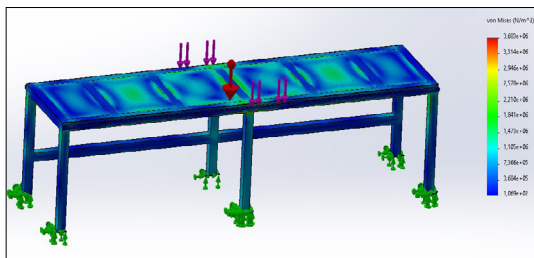
Technológia-paraméterek	Jelenlegi kézi fóliázás	Bevezetendő gépi fóliázás
Termelékenység	2 db/perc	3-4 db/perc
Maximális elem-szélesség	795 mm	1000 mm
Maximális elem-hosszúság	2450 mm	3300 mm



1. ábra. Jelenleg alkalmazott technológia



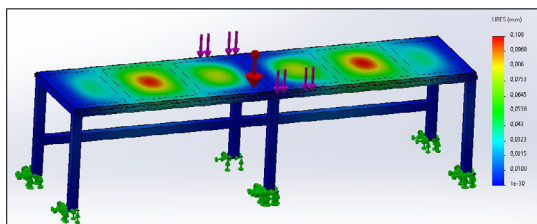
2. ábra. Fóliázógép



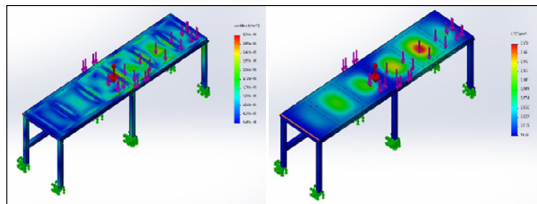
3. ábra. Asztalterhelés üresjáratban

2. táblázat. Az asztal igénybevételei különböző terhelések esetén

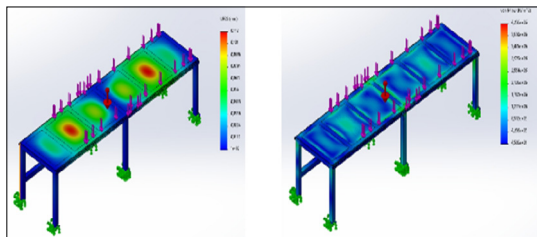
	Átlagos liftajtó	Legnagyobb liftajtó esetén
Nyomófeszültség	4,27 N/mm ²	4,26 N/mm ²
Elmozdulás / lehajlás	0,18 mm	0,112 mm
	Terhelés üres-járatban	Egyéb terhelés
Nyomófeszültség	3,68 N/mm ²	4,27 N/mm ²
Elmozdulás / lehajlás	0,108 mm	0,18 mm



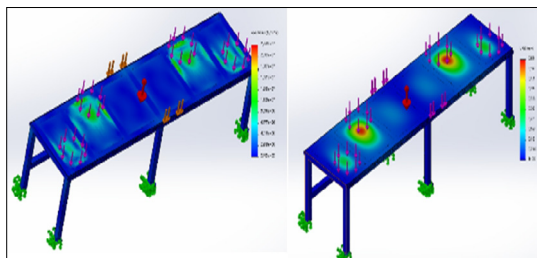
4. ábra. Asztal lehajlása üresjáratban



5. ábra. Átlagos liftajtó terhelése esetén



6. ábra. Legnagyobb liftajtó terhelése esetén



7. ábra. Egyéb terhelések esetén

Látható, hogy az állványt nem terheli meg túlságosan az üresjárat még akkor sem, ha mind a két szerelvény az állvány közepén helyezkedik el, ezzel a maximális feszültség: 3,68 N/mm². Ahogy a **4. ábrán** [3] is látható, a szerkezet a 0,1 mm-es lehajlást is alig éri el.

Az eredmények vizsgálata során (**2. táblázat**) szembetűnő lehet, hogy egy átlagos panel (**5 ábra**) [3], szinte ugyanakkora maximális nyomófeszültséget (4,26N/mm²) képes létrehozni, mint a legnagyobb panel (4,27N/mm²) (**6. ábra**) [3]. Ez azért lehetséges, mert a nagyobb panel nagyobb felületen fekszik fel, és annak súlya nagyobb területen tud eloszlani, és több merevítőbordát is érint, ami csökkenti az egyes elemekre jutó terhelést.

Az egyéb terhelés alatt egy olyan esetet vettem, amikor négy 80 kilogrammos személy ül (**7. ábra**) [3] a szerkezeten, és amint az az adatokból kivehető, a szerkezetet ez sem terheli meg kritikusan.

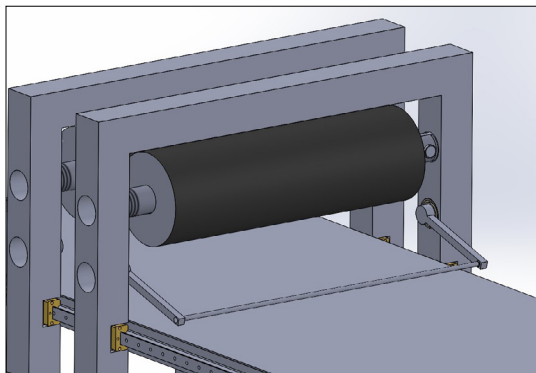
2.2. Szerelvény tervezése és terhelései

A szerelvény feladata a fólia megvezetése, tartása, valamint ezen az elemen fog elhelyezkedni a fólia simításáért felelős henger (**8. ábra**) [2].

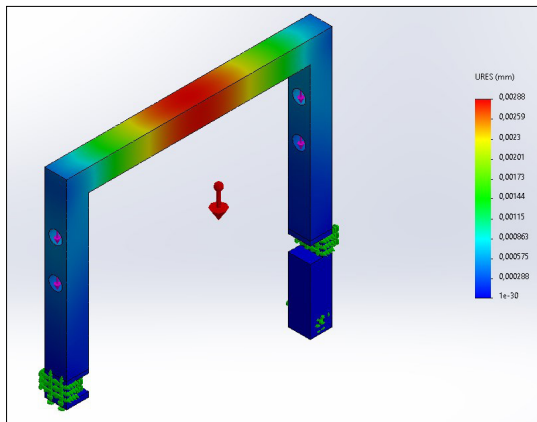
A szerelvényre ható terhelések közé tartozik a saját súlyából adódó erő, a tekercstartó tengely és annak perselyei, csapágycsúcsok, valamint a fóliatekerccs súlya és annak lehúzásával járó erő.

A fólia lehúzásához 15 N erő szükséges, ezt az értéket egy rugós erőmérő segítségével állapítottam meg, több lehúzási szöget is kipróbálva. A maximális erő 20 N volt, ezért a terheléseknél ezt vettem figyelembe.

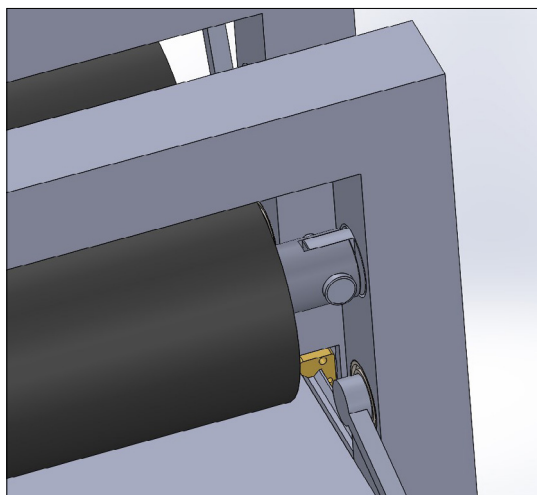
A szerelvényt terhelő legnagyobb nyomófeszültség 1,032 N/mm² volt (**9. ábra**) [3]. Méretei miatt túlbiztosított, a későbbi verziókban megpróbáljuk a lehető legnagyobb súlycsökkenést elérni. A legnagyobb lehajlás közepén látható, ez a szerelvény hossza miatt is lényeges, de a lehajlás mér-



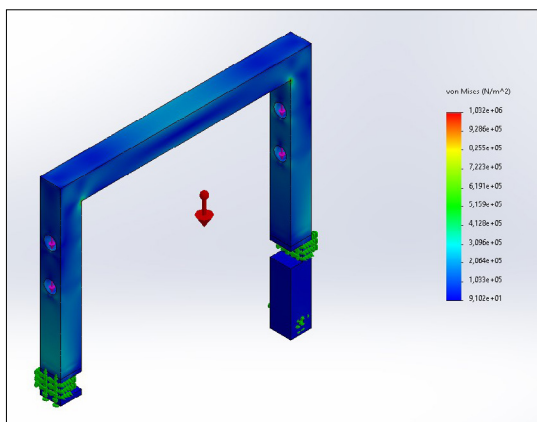
8. ábra. Szerelvény



9. ábra. Szerelvény lehajlási ábrája



10. ábra. Szerelvény nyomófeszültségi ábrája



11. ábra. Csuklós tengely

téke nem éri el 0,01 mm értéket sem (10. ábra) [3]. A szerelvény vizsgálatakor nem feltételeztem egyéb lehetséges terheléseket.

2.3. A szerelvény működése

A dolgozó felhelyezi a burkolni kívánt elemet az asztalra, majd a fóliát átvezetve a simítógörgő alatt befűzi az asztalon található befogópofák közé. Ezután az operátor elindítja a gépet, amely a fóliának a befogása miatt elkezd az eltekerni a tekercsről. A simítógörgő ekkor a szerelvénygel együtt halad, és lesimítja a fóliát. A burkolás végétével a dolgozó levágja az elemén túlnyúló fóliát, és leemeli az elemet.

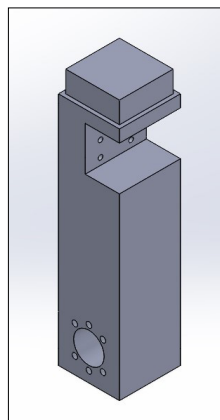
A termelékenység növelése érdekében a gép mindkét oldalán el van helyezve egy ilyen szerelvény, amelyek együtt mozognak. Az egyik elem fóliázása után amint a dolgozó elvette az elemet, és befűzte a másik oldali fóliát, a szerelvény a gomb megnyomása után már el is indul a másik irányba, ezzel leburkolva a következő elemet.

A tekercsek cseréjét egy kiforgatható tengellyel oldottam meg (11. ábra) [2]. Ennek a tengelynek az egyik vége egy csuklóval van ellátva, amit könnyen ki lehet hajtani és cserélni a tekercsokat. A tengely másik vége egy könnyen oldható szorítógyűrűvel van ellátva.

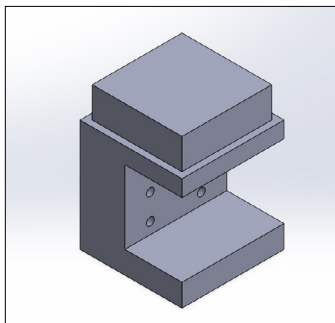
2.4. Szerelvénybetétek

A szerelvénybetétekre azért van szükség, hogy megkönnyítsem a lineáris kocsi kapcsolódását a szerelvénygel. Ugyanis, ha csak zárt szerelvényből állna a szerelvény, akkor csak a zárt szerelvény falvastagságán tudna felfeküdni a kocsi, ami nem tenné lehetővé a kocsi biztonságos és stabil mozgását.

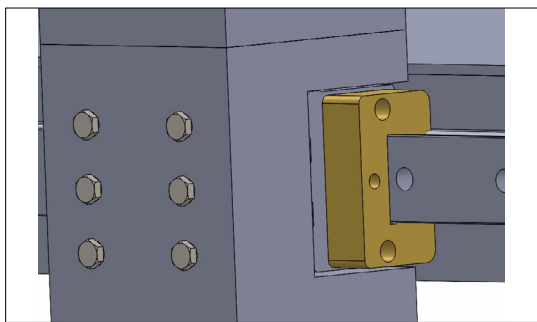
A szerelvénybetét 02 (12. ábra) [2] nevű alkatrész tartalmazza majd a golyósanya felfogásához



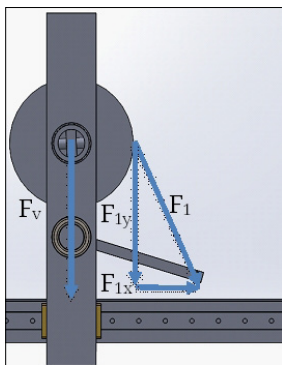
12. ábra. Szerelvénybetét 02



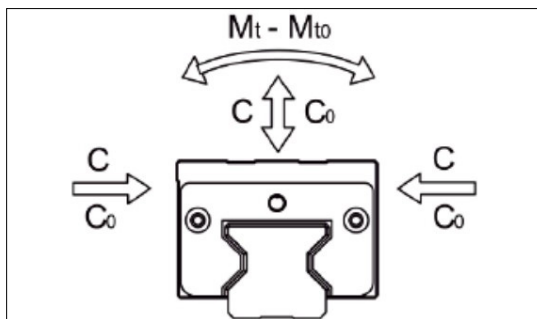
13. ábra. Szerelvénybetét 01



14. ábra. Szerelt szerelvény és lineáris kocsi



15. ábra. Lineáris vezeték terhelése



16. ábra. Lineáris kocsi terhelhetőségei [4]

szükséges felületeket. Ez az alkatrész fog kapcsolódni a golyósorsóhoz és golyósanyához, ez fogja átvinni a szükséges mozgást a fóliázáshoz. A szerelvénybetét 01 (13. ábra) [2] nevű alkatrész az ellentétes oldali megvezetésben segít.

3. Lineáris vezeték és lineáris kocsi méretezése

A lineáris vezetéken csúszik a szerelvény a lineáris kocsi segítségével. A lineáris kocsikat 6 db M10-es csavarral rögzíttem a szerelvényhez, ezzel biztosítva a megfelelő szilárdságú kötést (14. ábra) [2].

A lineáris vezeték a szerelvény súlya terheli üresjáratban, de a fóliázás közben a fólia lehúzósa is kifejt némi erőt a vezetékre (15. ábra) [2].

Lineáris kocsi maximális terhelése:

$$C_{max} = 53\,000\text{ N} [4]$$

$$C_{max} = 53\,300\text{ N}$$

$$F_{1y} = F_1 \cdot \sin \alpha$$

$$\rightarrow F_{1y} = 20\text{ N} \cdot \sin 20^\circ$$

$$\rightarrow F_{1y} = 6,84\text{ N}$$

$$C = (m_{\text{szerelvény}} + m_{\text{fólia}} + m_{\text{egyéb}}) \cdot g \cdot F_{1y}$$

$$\rightarrow C = (42,5\text{ kg} + 7,5\text{ kg} + 5\text{ kg}) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 6,84\text{ N}$$

$$\rightarrow C = 546,39\text{ N}$$

ahol:

C_{max} : lineáris kocsi terhelhetősége

C : terhelés

F_1 : fólia lehúzásához szükséges erő

α : fólia lehúzási szög

$m_{\text{szerelvény}}$: szerelvény súlya

$m_{\text{fólia}}$: fóliatekeres súlya

$m_{\text{egyéb}}$: gépelemek és a simítóhenger súlya

g : nehézségi gyorsulás

$$C < C_{max} \rightarrow C = 546,39\text{ N} < C_{max}$$

Tehát a választott lineáris kocsi megfelel.

4. Golyósorsó és golyósanya méretezése

A golyósorsót az elhanyagolható axiális terhelések miatt csak a kritikus fordulatszámra méretezem (katalógusadatok és képletek alapján).

$$n_{max} = f \cdot \frac{dr}{L^2} \cdot 10^7$$

$$\rightarrow n_{max} = 21,9 \cdot \frac{29,825\text{ mm}}{4000\text{ mm}^2} \cdot 10^7$$

$$\rightarrow n_{max} = 408 \frac{1}{\text{perc}} = 6,8 \frac{1}{s}$$

ahol:

n_{max} : maximális fordulatszám

f : A golyósorsó szerelési módja alapján meghatározott együttható

d_r : Orsó magátmérője

L : Szerelési távolság

32 mm-es menetemelkedéssel számolva a maximális sebesség:

$$v_{max} = n_{max} \cdot P$$

$$\rightarrow v_{max} = 6,8 \frac{1}{s} \cdot 32 \text{ mm}$$

$$\rightarrow v_{max} = 217,6 \frac{\text{mm}}{s}$$

A szükséges sebesség az, amellyel elérjük a kívánt termelékenységet. Ehhez az egy elem burkolására jutó idő 15 s (t_{max}) lehet. A szükséges sebesség kiszámításához egy 2200 mm (l) hosszú ajtópanelt veszek alapul.

$$v = \frac{l}{t_{max}} \rightarrow v = \frac{2200 \text{ mm}}{15 \text{ s}} \rightarrow v = 146 \frac{\text{mm}}{s}$$

$$v < v_{max} \rightarrow v = 146 \frac{\text{mm}}{s} < v_{max}$$

Tehát a választott golyósorsó megfelelő.

5. Motorválasztás

A motor kiválasztásához először meg kell határoznunk a maximális terhelőerőt (17. ábra) [2], amely a szerelvény súlyából adódó súrlódási erő és a fólia lehúzásához szükséges erő összege. Ezután meghatározom a forgatónyomatékot és ez alapján választok motort. Motornak egy léptetőmotort fogok választani a további automatizálási lehetőségek biztosítása és a nyomaték tartása miatt.

5.1. A motort terhelő erők és nyomaték meghatározása

$$F_v = (m_{szerelvény} + m_{fólia} + m_{egyéb}) \cdot g \rightarrow$$

$$\rightarrow F_v = (42,5 \text{ kg} + 7,5 \text{ kg} + 5 \text{ kg}) \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \rightarrow$$

$$\rightarrow F_v = 539,55 \text{ N}$$

$$F_s = F_v \cdot \mu \rightarrow F_s = 539,55 \text{ N} \cdot 0,2 \rightarrow F_s = 107,91 \text{ N}$$

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos \alpha \rightarrow F_{1x} = 20 \text{ N} \cdot \cos 20^\circ \rightarrow$$

$$\rightarrow F_{1x} = 18,79 \text{ N}$$

$$F_t = F_s + F_{1x} \rightarrow F_t = 107,91 \text{ N} + 18,79 \text{ N} \rightarrow$$

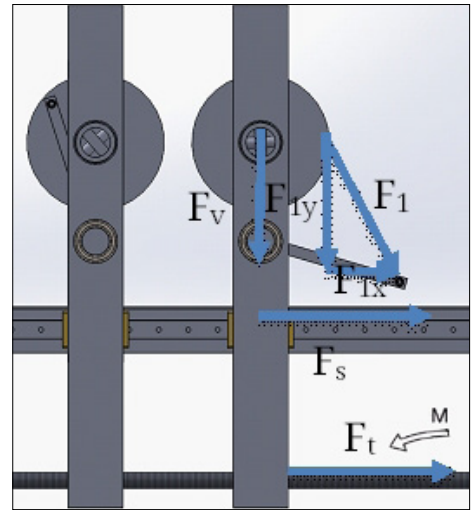
$$\rightarrow F_t = 126,7 \text{ N}$$

$$M = \frac{d}{2} \cdot F_t \rightarrow M = \frac{0,032 \text{ m}}{2} \cdot 126,7 \text{ N} \rightarrow$$

$$\rightarrow M = 2,0272 \text{ Nm}$$

ahol:

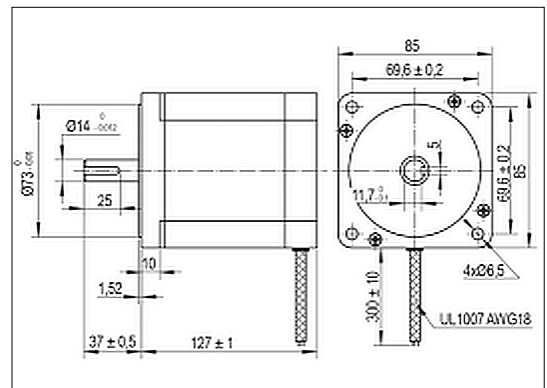
F_v : vontatott elemek súlyából adódó erő



17. ábra. A motor terhelései



18. ábra. NEMA 34-típusú motor



19. ábra. A NEMA 34-típusú motor rajza [6]

F_s : súrlódási erő

μ : csúszási súrlódási együttható

F_t : terhelőerő

M : forgatónyomaték

d : golyósorsó átmérője

Mivel két szerelvény mozgatása szükséges, ezért ennek az értéknek a kétszeresét kell venni.

Tehát: $2,0272 \text{ Nm} \cdot 2 = 4,054 \text{ Nm}$

Ezért a következő, NEMA 34 (6,6Nm) [6] típusú motort ($M_{\max} = 6,6 \text{ Nm}$) választottam (18, 19. ábra).

6. Következtetések

A konstrukció tervezésének ellenőrzése során a végelem-módszer kiértékelése után rájöttem, hogy a szerkezet nagyon túl van méretezve, ezért a következő időszakban a gazdaságos gyártásra/tervezésre fogok koncentrálni.

A különböző részegységek, például a lineáris vezeték vagy az azon futó lineáris kocsi kiválasztása során rájöttem, hogy ezeket az egységeket nagyon kicsi kihasználtsággal tudom működtetni, mivel a terhelőerők is alacsony értékeket vesznek fel. Azonban a további méretezés során megállapítható volt, hogy például a maximális sebesség és fordulatszám meghatározásakor a golyósorsót és a golyósanyát majdnem maximális kihasználtsággal lehet működtetni, a nagy hosszúság miatt.

A továbbiakban meg kell tervezni a szerelvény további alkatrészeit, betéteket és perselyeket, amelyek szükségesek a megfelelő működtetéshez. Ugyanígy a biztonságos munkavégzés feltételeit, ezért fénykapukkal, érintés- és elakadásvédelemmel, valamint túlterhelés elleni védelemmel kell ellátni a gépet.

Fejlesztési irányként kijelöltük a teljes automatizálhatóságot. Ez azt jelenti, hogy a fóliatekeres cseréjén és egyszeri befűzésén kívül minden művelet automatizálása szükséges. Ehhez automata

levágórendszer szükséges, hogy a dolgozónak csak anyagmozgatást kelljen végeznie. A fólia vágásához egy vágási rendszert és pályát kell tervezni, programozni. Ezért egy könnyen kezelhető, érintőképernyővel ellátott, programozott PLC-t szeretnénk bevezetni. Ezzel szeretnénk elérni, hogy a dolgozó néhány érintéssel tudja majd a fóliázást elvégezni, a lehető legrövidebb idő alatt.

Alternatív burkolási módszereken is gondolkodunk, megfogalmazódott egy meleg levegős lefűtőrendszer, amellyel a bonyolultabb alakcsatossággal rendelkező elemeket is be tudnánk vonni védőfóliával. Az ezt ellátó rendszert még ki kell építeni és további konstrukciós megoldásokat találni.

Köszönetnyilvánítás

A dolgozat közzétételét támogatta a Nyíregyházi Egyetem Tudományos Tanácsa.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Wittur Hungária Kft. vizuális munkautasítás (letöltve: 2016.03.15)
- [2] Solidworks. <https://www.solidworks.com>
- [3] Solidworks Simulation. <https://www.solidworks.com/product/solidworks-simulation>
- [4] Power Belt: Rosa Sistemi Hengergörgős megvezetés. (letöltve: 2022.11.23) https://www.powerbelt.hu/uploads/source/catalogs/5901_recirculating_linear_rollers_and_bearings.pdf
- [5] Power Belt: Golyósorsó technikai katalógus. (letöltve: 2022.11.23) https://www.powerbelt.hu/uploads/source/catalogs/tbi_motion_golyosorso_techikai_katal%C3%B3gus.pdf
- [6] Power Belt: Bipoláris léptető motorok katalógus. (letöltve: 2022.11.2) https://www.powerbelt.hu/uploads/source/catalogs/6746_stepper_motor_catalogue.pdf

ELEKTROMOS MOTOROK VIZSGÁLATÁRA FEJLESZTETT MÉRŐRENDSZER HITELESÍTÉSE, KALIBRÁLÁSRA

VALIDATION AND CALIBRATION OF A MEASUREMENT SYSTEM FOR TESTING ELECTRIC MOTORS

Szántó Attila,¹ Garai Henrik András,² Ádámkó Éva,³ Sziki Gusztáv Áron⁴

¹ Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, szanto.attila@eng.unideb.hu

² Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, henrik.andras.garai@gmail.com

³ Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, adamko.eva@eng.unideb.hu

⁴ Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország, szikig@eng.unideb.hu

Abstract

The authors have been dealing with the modelling and simulation of electric vehicles and motors for many years. Knowing their electromagnetic and dynamic characteristics is essential for the simulation of electric motors. These data have to be determined experimentally because the manufacturers usually do not provide them. In the last two years, we have designed and realised a measurement system for testing electric motors at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen. In this publication, we present the validation and calibration of the individual components of the above system, the applied methods and procedures, and the obtained results.

Keywords: *measurement system, electric motor, validation, motor test bench, sensors.*

Összefoglalás

A szerzők már évek óta foglalkoznak elektromos járművek és motorok modellezésével és szimulációjával. Az elektromos motorok szimulációjához fontos ismerni a motor különböző elektromágneses és dinamikai jellemzőit. Ezek többségét a gyártók általában nem adják meg, így azokat kísérleti úton kell meghatározni. Az elmúlt két évben a Debreceni Egyetem Műszaki Karán egy saját fejlesztésű mérőrendszert valósítottunk meg. Jelen publikációban a fenti mérőrendszer egyes elemeinek a hitelesítését, kalibrálását, valamint az ehhez alkalmazott módszereket és a vizsgálatok során kapott eredményeket mutatjuk be.

Kulcsszavak: *mérőrendszer, elektromos motor, hitelesítés, motortesztpad, szenzorok.*

1. Bevezetés

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán már évek óta foglalkozunk elektromos járművek és motorok szimulációjával [1, 2]. Az elektromos motorok szimulációjához fontos ismerni a motor elektromágneses és dinamikai jellemzőit. Ezek többségét a gyártók általában nem adják meg, így kísérleti úton kell meghatározni őket. Erről a kutatási tevékenységünkről korábban több közleményünk is megjelent [3, 4]. Az elmúlt három év során egy saját fejlesztésű mérőrendszert hoztunk létre (1. ábra), amelynek részletes leírása az [5] közle-



1. ábra. A saját fejlesztésű mérőrendszer [5]

ményben olvasható. Jelen publikációban a fenti mérőrendszer egyes elemeinek a hitelesítését, kalibrálását, valamint az azokhoz alkalmazott módszereket és a vizsgálatok során kapott eredményeket mutatjuk be.

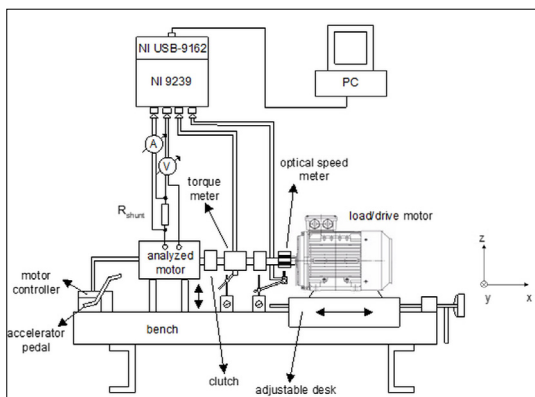
A vizsgálatok során először az optikai elven működő fordulatszámmerőt (2. ábra) hitelesítettük. Ehhez a mérőrendszer részét képező 2,2 kW teljesítményű, háromfázisú aszinkron motor fordulatszámát mértük, miközben azt meghajtómotorként üzemeltettük. Itt meg kell jegyezni, hogy a motor üzemelhet meghajtómotorként, ha egy frekvenciaváltó alkalmazásával háromfázisú váltóárammal, vagy terhelőmotorként, ha szabályozott egyenárammal tápláljuk. A hitelesítéshez egyrészt magát a mérőrendszerbe épített frekvenciaváltót, másrészt egy mágneses indukciós elven alapuló saját készítésű eszközt, harmadrészt egy kézi, optikai elven működő fordulatszámmerőt használtunk.

Egy második vizsgálat során meghatároztuk a terhelőmotorként üzemeltetett, háromfázisú aszinkron motoron átfolyó egyenáram erősségének és az általa kifejtett terhelőnyomatéknak a kapcsolatát.

A harmadik vizsgálat során megmértük a mérőrendszerünkben terhelő ellenállásként alkalmazott nagy teljesítményű indító ellenállás teljes elektromos ellenállását.

2. Az optikai fordulatszámmerő hitelesítése

A mérőrendszerben a fordulatszám mérése egy ROS-P, Monarch Instrument-típusú optikai LED szenzorral történik, amely 6V egyenáramról üzemel, és a kimenetén 6V vagy 0V nagyságú feszültségjelet ad ki, attól függően, hogy a fénysu-



2. ábra. A mérőrendszer sematikus rajza [5]

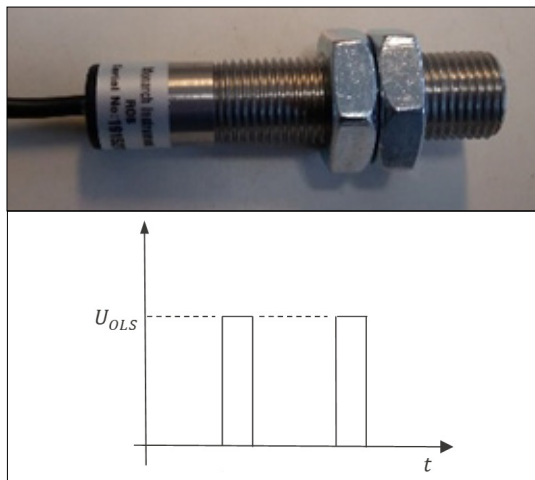
gár visszaverődik-e a forgó felületen (pl. a motor tengelyén) elhelyezett fóliacsíkról a szenzorba vagy sem. A szenzor által maximálisan mérhető fordulatszám 250 000 min⁻¹, de több fényvisszaverő csík használata esetén ez az érték arányosan csökken. Az említett fordulatszámmerő eszköztől készült fotó és annak kimenetifeszültség-jelei a 3. ábrán láthatók. [5]

A kimenetifeszültség-jeleket egy, a kutatócsoportunk által NI LabVIEW-környezetben kifejlesztett program [6] számolja, és egyben kiszámítja a szögsebességet a felragasztott csíkok (N_strip) és egy rövid Δt idő alatt észlelt feszültségjelek (N_signal) számából, a következő összefüggéssel [5]:

$$\omega = \frac{2\pi}{\Delta t} \cdot \frac{N_{\text{signal}}}{N_{\text{strip}}} \quad (1)$$

Az eszköz hitelesítését több független eljárással is elvégeztük:

- A frekvenciaváltón beállított és kijelzett értékkel összehasonlítva.
- Egy saját készítésű, mágneses indukció elvén működő eszköz alkalmazásával: egy állandó mágnest rögzítünk a motor tengelyére, amely elhalad egy tekercs előtt, így abban minden fordulaton feszültséget indukál. A tekercs kivezetéseit az NI 9239 analóg-digitál feszültségmodulba csatlakoztatjuk, amely méri az indukált feszültséget az idő függvényében. Egy adott időtartam alatt keltett feszültségjelek számából meghatározható a fordulatszám, amelyet összehasonlítottunk az optikai eszközzel mért fordulatszámmal.



3. ábra. Az optikai LED szenzorról készült fotó és annak kimenetifeszültség-jelei [5]

– Optikai elven működő, kézi fordulatszámmerő eszközzel (típus: DT2234C+, mérési tartomány: 2,5-99999 RPM, pontosság: $\pm 0,05\% + 1$ digit).

Az **1. táblázat** a különböző eljárásokkal mért fordulatszámokat tartalmazza:

1. táblázat. A mért fordulatszámok

A frekvencia-váltón beállított értékek:	5 Hz (300 min^{-1})	10 Hz (600 min^{-1})	20 Hz (1200 min^{-1})	30 Hz (1800 min^{-1})	40 Hz (2400 min^{-1})	50 Hz (3000 min^{-1})
Az optikai LED szenzorral mért érték (min^{-1})	291	585	1187	1789	2390	2983
A mágneses indukciós elven mért érték (min^{-1})	291	587	1188	1788	2390	2992
A kézi optikai fordulatszám-mérővel mért érték (min^{-1})	292	587	1187	1789	2390	2991

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a frekvenciaváltó által beállított fordulatszámértékek általában magasabbak az egyéb eljárások alkalmazásával kapott értékeknél. A frekvenciaváltó értékei 0,01 Hz pontossággal állíthatók. A három másik eljárással mért fordulatszámok egymással jó egyezést mutatnak. Itt meg kell jegyezni, hogy az optikai elven történő mérés csak akkor működik tökéletesen, ha a felületre ragasztott fényvisszaverő csík teljesen elkülönül a felülettől. A túl fényes vagy egyenetlen felület könnyen megzavarja az érzékelőt. Természetesen az általunk végzett méréseknél erre figyeltünk.



4. ábra. A terhelő ellenállás [5]

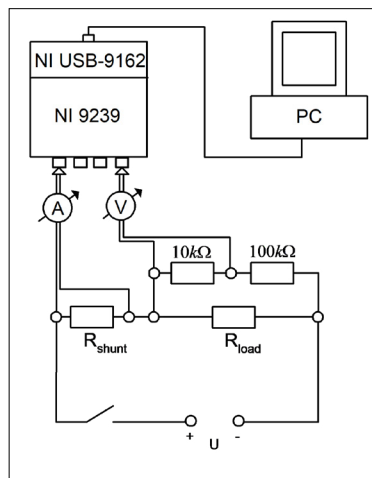
A legnagyobb relatív eltérés 0,5 %-on belüli, így megállapítható, hogy mindhárom eljárás alkalmas a fordulatszám megfelelő pontosságú mérésére. Az optikai fordulatszámmerés előnye, hogy a legkisebb módon sem befolyásolja a vizsgált forgó test mozgását.

3. A terhelő ellenállás értékének meghatározása

A terhelő ellenállás egy nagy teljesítményű, vilamosokban használt indító ellenállás (**4. ábra**). A feltekercselt ellenálláshuzalok 8 db különálló lapra vannak felszerelve, ezek a lapok pedig a mérőrendszer alapjához rögzítve 4 db menetes szár segítségével. Célunk a teljes rendszer elektromos ellenállásának meghatározása volt. Ez a maximálisan alkalmazható terhelő ellenállás értéke, amelyet igény szerint csökkenteni tudunk.

A rendszer teljes ellenállásának mérése (**5. ábra**), mivel relatíve nagy érték, digitális multiméter alkalmazásával kivitelezhető. A rendszer egyes kisebb részellenállásainak mérése esetén az alábbi mérőelrendezés alkalmazása javasolt. Mérjük a részellenálláson eső feszültséget, a rajta átfolyó áramerősséget pedig egy söntellenálláson mért feszültségből határozzuk meg. A mért feszültség és áramerősség hányadosa megadja a keresett elektromos ellenállás értékét.

A mérés alapján a teljes rendszer terhelő ellenállásának értéke 7,2 Ω . A nagy teljesítményű terhelő ellenállás alkalmazásának előnye, hogy nagy áramerősségek mellett is csak elhanyagolható mértékben melegszik.



5. ábra. Mérőelrendezés az alacsony értékű terhelő ellenállások méréséhez

4. A terhelőmotor által kifejtett forgatónyomaték és a rajta átfolyó áramerősség kapcsolatának meghatározása

Ha az aszinkron motort terhelőmotorként üzemeltetjük, akkor arra egyenáramot kapcsolunk, amelynek erősségét a mérőrendszer vezérlőpultjáról tudjuk szabályozni. Az áramerősség növelésével a motor terhelőnyomatéka arányosan növekszik. Viszont arra figyelni kell, hogy tartósan ne lépje túl az áramerősség értéke a motor névleges áramerősségét, mivel akkor a motor károsodhat. Ez határt szab a maximálisan előállítható terhelőnyomatéknak.

A célunk az volt, hogy meghatározzuk, hogy a különböző áramerősségekhez mekkora terhelőnyomaték tartozik. A vizsgálatok során a terhelőmotort egy forgótengelyes nyomatékmérőn keresztül összekapcsoljuk egy másik motorral, amelyet meghajtottunk (2. ábra). Ezt követően kis lépésekben növeljük a terhelőmotoron átfolyó áram erősségét, és minden egyes áramerősség esetén leolvassuk a forgótengelyes nyomatékmérő által mutatott értéket. Ezáltal meg tudjuk határozni a terhelőmotor nyomaték-áram karakterisztikáját.

Sajnos, a nyomatékmérő meghibásodása miatt a méréseket a későbbiekben tudjuk csak elvégezni.

5. Következtetések

Az ismertetett vizsgálatok során egyrészt két független eljárással hitelesítettük a mérőrendszerünkbe épített optikai elven működő fordulatszámérőt. A különböző eljárásokkal mért fordulatszámok relatív eltérése kisebb volt, mint 0,5%. Így az általunk telepített eszköz megfelelő pontossággal alkalmazható elektromos motorok fordulatszámának mérésére a vizsgált 0–3000 min⁻¹ fordulatszám-tartományban.

A terhelő ellenállásként alkalmazott indító ellenállás teljes elektromos ellenállását is meghatá-

roztuk, valamint eljárást adtunk az egyes részellenállásainak pontos mérésére.

Szintén eljárást adtunk a terhelőmotor áram-terhelőnyomaték karakterisztikájának mérésére, de sajnos, a nyomatékmérő meghibásodása miatt a méréseket csak egy későbbi időpontban fogjuk majd elvégezni.

Köszönetnyilvánítás

A Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-22-3 kódszámú új nemzeti kiválóság programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alaphól finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Szántó A., Hajdu S., Sziki G. Á.: *Dynamic Simulation of a Prototype Race Car Driven by Series Wound DC motor in Matlab-Simulink*. Acta Polytech. Hung. 17/4. (2020) 103–122.
- [2] Sziki G. Á., Szántó A., Mankovits T.: *Dynamic Modelling and Simulation of a Prototype Race Car in MATLAB/Simulink Applying Different Types of Electric Motors*. International Review of Applied Sciences and Engineering, 12/1. (2021) 57–63.
- [3] Sziki G. Á., Sarvajcz K., Kiss J., Gál T., Szántó A., Gábora A., Husi G.: *Experimental Investigation of a Series Wound Dc Motor for Modeling Purpose in Electric Vehicles and Mechatronics Systems*. Measurement, 109. (2017) 111–118.
- [4] Szántó A., Kiss J., Mankovits T., Sziki G. Á.: *Dynamic Test Measurements and Simulation on a Series Wound DC Motor*. Applied Sciences, 11/10. (2021) 4542.
- [5] Sziki G. Á., Szántó A., Kiss J., Juhász G., Ádámkó É.: *Measurement System for the Experimental Study and Testing of Electric Motors at the Faculty of Engineering University of Debrecen*. Applied Sciences, 12/19. (2022) 10095.
- [6] Ádámkó É., Szántó A., Sziki G. Á.: *Software Developments for an Electric Motor Test Bench Developed at the Faculty of Engineering of the University of Debrecen*. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1237/1. (2022) 012012.



ESETTANULMÁNYOK AZ ELMÚLT 5 ÉV SOPRONI MŰEMLÉKFELÚJÍTÁSI MUNKÁIBÓL

CASE STUDIES FROM THE LAST 5 YEARS' RESTORATION PROJECTS OF HISTORIC MONUMENTS IN SOPRON

Tárkányi Sándor

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

Abstract

During the period between 2017 and 2022, the facades of 25 buildings were renovated within the framework of the Modern Towns Program in Sopron. Due to the development supported by the Hungarian Government, the Lenck House was born again and a Museum Quarter was established by the joint opening of the buildings at 6-7-8 Fő tér. This study describes the restoration process of the facades of three historic buildings, giving an insight even into the processes of authorization and execution. The aim is to present the work of the Hungarian authorities in the field of the protection of historic monuments (with special regard to Sopron), and to highlight the results of such renovations of historic buildings that have been carried out lately.

Keywords: *historic monuments, Sopron, Modern Towns Program, restoration.*

Összefoglalás

A 2017 és 2022 közötti időszakban, a Modern Városok Program keretén belül Sopronban 25 épület homlokzata újult meg. A kormány által támogatott fejlesztés során újjászületett a Lenck-villa, és megvalósult a Fő tér 6—8. számú épületek összenyitásával a Múzeumnegyed is. Tanulmányomban három műemlék épület homlokzatfelújításának a menetét ismertetem, bemutatva az engedélyeztetés és kivitelezés folyamatát is. Szándékom a magyarországi, soproni műemlékes hatósági munka ismertetése, valamint a közelmúltban megvalósult műemléki felújítások eredményeinek a bemutatása.

Kulcsszavak: *műemlék épületek, Sopron, Modern Városok Program, felújítás.*

1. Bevezetés

Magyarország vidéki városai közül Sopron rendelkezik a legtöbb országosan védett műemlékkel, több mint 400 ingatlannal. 1945 és 1975 között a történelmi belvárosban magas színvonalú műemlékes kutató és helyreállító munka folyt, melyet a hamburgi F. V. S. Alapítvány 1975-ben Műemlékvédelmi Európa díj aranyéremmel ismert el [1]. Az európai kvalitású, tudományos alaposságú, Dávid Ferenc művészettörténész által irányított műemlékes szakmagyakorlás egészen az 1990-es évek elejéig folytatódott.

2001-től a Kulturális Örökségvédelmi Hivatal látta el a műemlékekkel kapcsolatos hatósági teendőket, amelyeket tíz évvel később a kormányhivatalok vettek át. Dávid Ferenc és tanítványainak szemléletmódja, iskolája napjainkig meghatározza a helyi örökségvédelmi szakmagyakorlás irányvonalát és módszertanát.

A 2017 és 2022 közötti időszakban a Modern Városok Program keretén belül Sopronban 25 épület homlokzata újult meg. Tanulmányom célja az elmúlt öt év restaurációs munkáinak a rövid bemutatása és értékelése három megvalósult példán keresztül.

2. A Modern Városok Program soproni vonatkozásai

A Modern Városok Program (továbbiakban: MVP) a megyei jogú városok kiemelt fejlesztési programja, amelynek keretében 4200 milliárd forint értékben zajlik 23 megyei jogú várost érintő fejlesztés. A MVP-ot 2015. március 15-én Sopronban indította útnak Orbán Viktor miniszterelnök, a soproni fejlesztés alapkövét a Kolostor utca elején helyezték el 2017-ben.

A projekt lényege, hogy meghatározza a megyei jogú városok kiemelt fejlesztéseit, melynek az egyik fontos eleme Sopronban a történelmi belváros műemlék épületeinek – a közterület felé néző homlokzatainak – a felújítása. Jelen tanulmány a soproni fejlesztési projektet közül a műemléki helyreállításokra fókuszál. [2]

Az MVP keretén belül felújított ingatlanok kiválasztásának kritériuma az volt, hogy állami, illetve önkormányzati tulajdonban legyenek. A program elején felmerült egy olyan eshetőség is, hogy a belváros magántulajdonban lévő ingatlanjainak a felújítását a magyar állam egyharmad-, az önkormányzat egyharmadarányban támogatná, de sajnos a felújítások közben felmerült többletköltségek miatt ez az opció elmaradt.

A soproni belvárosban lévő 25 épület, melyek (többnyire) utcai homlokzatait a program keretén belül felújították, az alábbiak voltak: Előkapu 1–3.; Fegyvertár utca 2.; Fő tér 1. és 5.; Hátsókapu 2.; Orsolya tér 5.; Petőfi tér 3.; Szt. György utca 7. és 9.; Templom utca 2., 4., 7., 15., 21. és 26.; Új utca 4., 8., 11., 12., 14., 16., 22–24., 26. és 28.; Várkerület 54–56. (lásd az 1. ábrán)

Az Új utca 22–24. számú épületnél – a középkori közösségi zsinagóga udvari épületéhez kapcsolódó, jobb oldali ispotály épülete és a bal oldali templomszolga háza – utcai homlokzatának felújítása mellé javaslatomra az utcáról látható két oldalsó homlokzatot is bevették a programba. A MVP részeként felújították a múzeumként működő Lenck-villát (Deák tér 1.) és elkészült a Múzeum negyed is (Fő tér 6–8.).

A Fegyvertár utca 2., Hátsókapu 2., Petőfi tér 3. és a Várkerület 56. számú épületek esetében a tetőhéjalás és a tetőszerkezet – az elkészült faanyagvédelmi szakvélemények alapján – nagyon rossz állapotban volt. Sopron Megyei Jogú Város Önkormányzata mint megrendelő részéről az a döntés született, hogy csak a Hátsókapu 2. és a Várkerület 56. házak tetőszerkezetét erősítik meg, és cserélik ki a tetőhéjalást. A Hátsókapu 2. számú épületnél



1. ábra. A MVP által felújított épületek Sopron barokk belvárosában, vastag vonallal jelölve a helyreállítással érintett homlokzatokat (rajz: Veőreös András, Tárkányi Sándor)

a tetőhéjalás-csere csak az utcáról látható tetőfelületeket és kéményeket érintette.

A továbbiakban három épület felújítását ismertetem, bemutatva a MVP folyamatát és elért eredményeit. A válogatás során arra törekedtem, hogy legyen egy olyan példa, ahol a tetőfedést is felújították, a második épületnél a korábbi homlokzat-helyreállítást csak frissítették, a harmadik háznál a korábbi felújítás eredményeit felülvizsgálták és változtattak a homlokzat megjelenésén.

3. Példák a soproni MVP helyreállítási munkáiból

3.1. A Sopron, Hátsókapu 2. számú épület utcai homlokzatainak és részleges tetőhéjalásának felújítása

Az épület utcai homlokzatainak felújítására vonatkozó első örökségvédelmi engedély iránti kérelmet Sopron Megyei Jogú Város Önkormányzata (továbbiakban: önkormányzat) 2017. február 13-án nyújtotta be a Győr-Moson-Sopron Megyei Kormányhivatalhoz (továbbiakban: kormányhivatal). A tervdokumentációt az ARCHI.DOC Építésziroda Kft. készítette 2016 decemberében, Jó-

zsa Dávid okl. építészmérnök vezetésével. A terv a két utcai homlokzat (Hátsókapu és Szt. György utcai) meglévő és tervezett állapotát tartalmazta, a meglévő állapot rajzán részletes kártérképpel.

A Hátsókapu u. 2. számú épület felújítása során az alábbi munkákat kívánták elvégezni:

- kémények felújítása (7 db);
- utólagos vegyi falszigetelés a lábazati zónában;
- az utcai oldalon lévő tető felújítása, héjalás és bádogozás cseréje;
- vakolatcsere a földszinti zónában a feltáskásodott részeken, a megmaradó vakolat szilárdítása, javítása, kiegészítése;
- a talajpára mozgása által terhelt felületeken WTA-vakolat készítése;
- homlokzatok újrafestése;
- a homlokzati kőfaragványok tisztítása, szilárdítása, kiegészítése, hidrofobizálása;
- a tönkrement lábazat cseréje.

Az örökségvédelmi engedélyt a kormányhivatal az alábbi négy feltétellel adta meg:

- kiviteli tervek benyújtása a munkálatok megkezdése előtt, amely tartalmazza az utcai homlokzatok értékleltárát is;
- a felújítás során alkalmazott színek, anyagok, szerkezetek és szerelvények a hivatallal előzetesen, mintadarab vagy mintafelület bemutatása mellett egyeztetendők;
- a kivitelezés közben tervezői művezetés szükséges;
- a homlokzati (gótikus fragmentumok és barokk kori) köelemek helyreállítását csak kőrestaurátori bejelentés alapján lehet végezni.

A kiviteli terveket és az értékleltárt az építető 2017. április 20-án nyújtotta be, a jóváhagyást a kormányhivatal azzal a feltétellel adta ki, hogy a homlokzat korábban feltárt, eredeti tanúfelületeit, kőfaragványait meg kell őrizni (a tervlapok nem tartalmazták maradéktalanul a fragmentumokat). A munkálatokat egy éven belül nem kezdték meg, az engedély meghosszabbítását sem kérte a tulajdonos, ezért 2018. március 5-én az önkormányzat újabb kérelmet nyújtott be, melyhez a korábban már jóváhagyott tervdokumentációt csatolta.

Az újabb engedély három feltételt szabott:

- a kivitelezés során tervezői művezetés és kutatói szakfelügyelet szükséges;
- a felújításra váró homlokzati felületeken vakolat és színmintát kell készíteni, a tervező által jóváhagyva;
- az eredeti homlokzati köelemek helyreállítását külön kőrestaurátori bejelentés alapján végezhető.

Az önkormányzat 2018. december 18-án az épültre vonatkozóan faldiagnosztikai vizsgálat készítésére vonatkozó örökségvédelmi bejelentést tett. A kutatási tervet Szecskő Heléna okl. építészmérnök, műemléki épületdiagnosztikai és épületszerkezeti szakértő készítette. A kormányhivatal a bejelentést december 19-én vette tudomásul, melyről hatósági bizonyítványt állított ki.

2019. január 24-én érkezett a homlokzati kőfaragványokra vonatkozó kőrestaurátori helyreállítási javaslat, melyet Sütő József kőszobrász-restaurátor jegyzett. A 14 oldalas javaslatban a restaurátor ismertette a meglévő állapotot, majd a tisztítás, feltárás, sótalánítás, szilárdítás, kiegészítés, színezés és hidrofobizálás munkafolyamatait írta le. A fotódokumentációt a homlokzatok köfelületeinek a kártérképe egészítette ki. A homlokzati köelemek restaurálására vonatkozó bejelentést a kormányhivatal 2019. január 28-án vette tudomásul.

A Hátsókapu 2. számú épület utcai homlokzatainak az utólagos vízszigetelésére vonatkozó örökségvédelmi kérelmét az önkormányzat 2019. február 25-én indította. A felújítási javaslatot Luthár Erika épületfelújítási és szigetelési szaktanácsadó készítette, és Szecskő Heléna ellenjegyezte. A dokumentációban a szakértő a vízszintes vízzár kialakítására a Oxal HSL nevű sziloxán mikroemulziót javasolta, melyet injektálásos eljárással juttatnak a falakba. A furatokat egysoros kivitelben, egymástól 12-15 cm távolságra kellett elhelyezni, 30-45°-os lejtéssel fúrva. A lábazati bevonatszigetelést szulfátellenálló szigetelőiszappal, Oxal DS-HS-sel kellett elkészíteni.

2019. február 20-án örökségvédelmi művészettörténeti és falkutatói helyszíni bejárás történt az épületnél, amelyről emlékeztető készült. A bejárason jelen volt Nemes András művészettörténész és falkutató, Eszes Tibor felelős műszaki vezető és Degovics Richárd statikus szakértő. A kutató a földszinti, rovátkolt vakolatmezőkön függőleges tanú felületsáv megtartását kérte 50-60 cm szélességben, a rövid homlokzaton a sarokerkélytől az 1. és 2. ablakengely között. A hosszabb, Hátsókapu utcai oldalon a kapu jobb és bal oldalán is egy-egy 50-60 cm-es függőleges tanúsáv megtartását kérte. A kutató jelezte, hogy a vakolateltávolítás – a lábazati cementes homlokzatrész kivételével – kizárólag kézi eszközökkel történhet, továbbá az emeleti, lizéna- és ablakmellvédzónában egy vízszintes tanúvakolatsáv maradjon meg, mintegy 0,9-1,0 méteres szélességű sávban. A tanúfelületek vakolatcseréje menet közben, szakaszoltan volt lehetséges. Nemes András az eredeti szín és

régi festés kutatását a zárt erkély alatti konzolos vakolatfelületen és az ablakkönyöklők alatti vakolat tükörös mezőkben kívánta végezni. Tudomása szerint az épület színe a 60-as években zöld földfesték volt. Az építtető a munkakezdés-bejelentést 2019. február 26. napján tette meg.

A Szabó és Társa Kft. kivitelező kérésére Degovics Richárd tartószervezeti szakvéleményt készített a ház tetőszerkezetéről és a homlokzati falak és a párkányok repedéseiről. A szakvélemény a tetőszervezeti és falrepedési problémákat feltárta, orvoslásukra az alábbi beavatkozásokat szorgalmazta: a falazatok stabilizálására, a repedések megállítására falvarrást javasolt, ismertetve a falvarrás kivitelezési módját is.

A feszítőműves, két állószeke tetőszervezetet érintő munkák a következők voltak:

- a csonka kötőgerendák és sárgerendák összekapcsolása ácskapoccsal;
- a szarufák és derékszelemen összekapcsolása fordított ácskapoccsal;
- taréjszelemen és fogópárok beépítése, valamint torokgerenda beépítése szaruállásonként;
- kéménykiváltások kialakítása;
- a 85 cm-nél nagyobb távolságra lévő szarufák közé pótszarufa beépítése;
- korhadt szarufák felső részének bárdolása, megerősítése;
- héjalás cseréje.

Az épület tetőfedése az udvari szárnyon hornyolt cserép, az utcai oldalon kettős hód farkú cserép volt. A szakvélemény az utcai tetőszakaszra hornyolt egyszeres cserépfedést javasolt, statikai okok miatt (szimmetrikus tetőteher kialakítása a korábbi aszimmetrikus erőjáték helyett).

A Sopron, Hátsókapu 2. alatti épület munkaterület átadásáról szóló jegyzőkönyvet a kivitelező 2019. március 6-án adta át a kormányhivatalnak. Március 13-án újabb örökségvédelmi helyszíni bejárás történt az épületnél, melynek tárgya a hatóság azon kérése volt, hogy a homlokzati vakolás hagyományos vakolási móddal történjen. A jegyzőkönyv szerint a művészettörténeti kutatás eredményeként beazonosított korábbi homlokzatszínezést, az építésztervező javaslata alapján egyhetes határidővel készítette el a kivitelező, színminta és terv felhasználásával.

Nemes András művészettörténész beszámolóját és javaslatát a belvárosi homlokzatok színvizsgálatáról – amely a Hátsókapu 2., a Szt. György u. 9. és a Várkerület 54–56. épületekre vonatkozott – 2019. április 9-én nyújtották be a kormányhivatalhoz. A kutató az alábbiakat javasolta a tár-

gyi ingatlannal kapcsolatban: „A ház történelmi elnevezésében is 'zöld ház' néven szerepel. Az 1963-64-es helyreállítások kapta az okker-zöld színezést, feltehetően az előzmények alapján... A házat az említett felújításkor a korábbi vakolatoktól megszabadították, így a 20. század előtti színeket nem ismerünk. Javaslat: Az 1963-64-ben felhordott színeket kell felhordani, a jelenlegi kiosztás szerint.”

A kivitelező 2019. március 11-i keltezéssel változásbejelentőt nyújtott be a tetőhéjalás anyagára vonatkozóan. A költségvetésben, illetve műszaki leírásban szereplő hód farkú cserép helyett – a műemléki szakügyintézővel való egyeztetést követően – Creaton hornyolt „Róna” cserép lett jóváhagyva, natúr (33%), antik (33%) és rézvörös (33%) színben, véletlenszerű rakásmódban, 26 cm-es tetőléctávolsággal. A műemléki szakügyintéző a tetőhéjalás elhelyezését kb. 2 m²-es min-tafelület jóváhagyása után engedélyezte.

2019. március 28-i keltezéssel a kivitelező újabb változásbejelentőt nyújtott be, ezúttal az alkalmazni kívánt vakolatrendszerre vonatkozóan. A költségvetésben szereplő Keim Porosan felújító vakolatrendszer helyett 1,5 méteres magasság alatt az MC OXAL DS-HS szigetelő iszapot kívánta alkalmazni (csatlakozó terepszint felett 20 cm magasságig), fölötte pedig az LB-Knauf Eurosan vakolatrendszert irányozta elő. 1,5 méteres magasság felett az LB-Knauf Kontakt gúzolt és Prémium kézi alapvakolatot képzelte el (lásd a **2. ábrán**). A változásbejelentőt a szakügyintéző jóváhagyta.

2019. április 11-én a műemléki szakügyintéző megtekintette a homlokzatra felfestett színmintákat. Korábban az önkormányzat részéről egy erős okker szín alkalmazásának az igénye érkezett,



2. ábra. A Hátsókapu 2. épület Szt. György utcai párkányának kialakítása húzókocsival (a szerző felvétele)

amelyet a homlokzatra felfestett színmintafelület megtekintése után a megrendelő képviselője, Németh Gergely főépítész is elvetett. A műemléki szakügyintéző végül kiválasztotta a felfestett színárnyalatokból az alapszínét és a mezők színét. Ezen a napon a lábazati műkö színe is kiválasztásra került. A lábazati műkö mintastruktúrája és színe 2019. április 29-én lett véglegesítve, és beépítésre jóváhagyva.

Az utcai homlokzatok festése és az állványzat bontása tárgyában a hivatal és a kivitelező képviselőjének a jelenlétében jegyzőkönyv készült 2019. június 7-én. A műemléki szakügyintéző az állványról megtekintette az elkészült emeleti homlokzatszínezést és a tetőhéjalást. A munkálatokat a kivitelező I. oszt. minőségben elvégezte, ezért az állványzat elbonthatóvá vált (lásd a **3. ábrán**). A hivatal képviselője kérte, hogy a középkori kőkeretek párkányára galambriasztó kerüljön, melyek elhelyezését a kivitelező vállalta.

2020. május 27-én az önkormányzat kérelmet nyújtott be a kormányhivatalhoz a Hátsókapu 2. számú épület utcai homlokzatai és tetőhéjalása elkészült munkálatainak a tudomásulvételére vonatkozóan. A hivatal a tudomásulvételtől szóló hatósági bizonyítványt 2020. június 2-án állította ki.



3. ábra. A helyreállított Hátsókapu 2. épület homlokzatának részlete a Szt. György utca felől (a szerző felvétele)

3.2. A Sopron, Új u. 16. számú épület utcai homlokzatának helyreállítása

A Sopron, Új utca 16. számú épület utcai homlokzatára vonatkozó engedélykérelmet az önkormányzat 2016. december 5-én nyújtotta be a kormányhivatalhoz. A felújítási tervet az A2 Építész Iroda Kft. készítette, Fekete Szilárd okl. építésszáműnök vezetésével. A tervdokumentáció a helyszínrajz mellett a meglévő homlokzat felmérési rajzát (kártérképpel) és a felújítási tervet tartalmazta.

A tervező a homlokzatfelújítás során az alábbi munkálatokat irányozta elő:

- tönkrement lábazat cseréje;
- talajnedvesség elleni utólagos falszigetelés injektálásos eljárással;
- a lábazat feletti vakolat leverése és újvakkolása WTA-vakolattal a földszinti ablakok könyöklőjéig;
- a homlokzat festésének lekaparása, új simítóvakolat készítése, anyagában színezett kőporos dörzsölt felülettel, majd vörös mészglettsimítás;
- ereszcatornák mázolósa;
- homlokzati nyílászárók festése;
- tetőhéjalás alsó sorának átrakása, gerinc és csatlakozó habarcsolások újrakészítése;
- tetőfelépítmények barna pácolása;
- kőszerkezetek felújítása külön restaurátori engedély alapján.

A kormányhivatal az örökségvédelmi engedélyben öt feltételt kötött ki:

- kiviteli terv és értékleltár készítése;
- a kivitelezés során tervezői művezetés és kutatói szakfelügyelet biztosítása;
- a végleges színek kiválasztásához színminta készítése;
- a homlokzati köelemek helyreállítására vonatkozóan külön restaurátori bejelentés benyújtása.

Az önkormányzat a kiviteli tervdokumentációt, valamint az épület homlokzatára vonatkozó értékleltárt és építéstörténeti tudományos dokumentációt 2017. március 16-án nyújtotta be, a kormányhivatal a kiviteli terveket 2017. április 3-án hagyta jóvá. Mivel a munkálatokat egy éven belül nem kezdte meg a kérelmező, az örökségvédelmi engedély hatálya lejárt.

Az újabb beadványt 2018. március 6-án nyújtották be, a kormányhivatal az örökségvédelmi engedélyt március 9-én adta ki. A feltételek az alábbiak voltak:

- a kivitelezés során tervezői művezetés és kutatói szakfelügyelet biztosítása;

– a végleges színek kiválasztásához színminta készítése;

– a homlokzati köelemek helyreállítására vonatkozóan külön restaurátori bejelentés benyújtása.

A homlokzati köelemek restaurálására vonatkozó bejelentést az önkormányzat 2018. október 4-én indította el. A kőrestaurátori tervdokumentáció szerzője Sütő József kőszobrász-restaurátor volt, aki javaslatában a homlokzati köelemek tisztítását, szilárdítását és hidrofobizálását javasolta. A kapu alsó szárkövei esetében – a nagyfokú kimosódás okozta károsodások miatt – azonos anyagösszetételű tömbökre történő cserét irányozott elő. A kormányhivatal a bejelentést 2019. október 8-án vette tudomásul.

Az építési tevékenység megkezdését az önkormányzat 2019. február 22-én jelentette be. Ezen a napon történt meg a munkaterület átadása-átvétele is, amelyről jegyzőkönyv készült.

Az Új u. 16. számú épület utcai homlokzatának utólagos vízszigetelésére vonatkozó örökségvédelmi kérelmet az önkormányzat 2019. március 19-én nyújtotta be. A felújítási javaslatot Luthár Erika épületfelújítási és szigetelési szaktanácsadó készítette, és Szecskő Heléna ellenjegyezte. A hatóság az utólagos vízszigetelési bejelentést április 11-én hagyta jóvá.



4. ábra. Az Új utca 16. számú épület helyreállított utcai homlokzata (a szerző felvétele)

2019. július 31-én történt meg a homlokzat alapszínének, a kapukeretnek, a fa nyílászáróknak és a lakatosszerkezetek színének a kiválasztása. Az Új utca 16. számú épület utcai homlokzat felújítási munkálatainak a befejezését az önkormányzat 2020. április 27-én kezdeményezte. A kormányhivatal a befejezésről szóló tudomásulvételi hatósági bizonyítványt 2020. május 5-én állította ki.

A kivitelező a felújítás során az engedélyezett terv tartalmától két ízben tért el. A homlokzatot nem anyagában színezett, hanem fehér simító vakolattal látta el, és nem mészglettel simította, hanem lefestette. Ezért a kisebb vakolati sérülések a fehér simító vakolat miatt nagyon látszanak. A másik eltérés pozitív volt, mivel a meglévő ereszcatornák nem lefestette, hanem újakra cserélte (lásd a **4. ábrán**).

3.3. A Sopron, Új u. 8. számú épület utcai homlokzatának helyreállítása

A Sopron, Új utca 8. számú épülete utcai homlokzatának a felújítására vonatkozó engedélykérelmet az önkormányzat 2016. december 5-én nyújtotta be a kormányhivatalhoz. A felújítási tervet az A2 Építész Iroda Kft. készítette, Fekete Szilárd okl. építészmérnök vezetésével. A tervdokumentáció a helyszínrajz mellett a meglévő homlokzat felmérési rajzát (kárterképpel) és a felújítási tervet tartalmazta.

A tervező a homlokzatfelújítás során az alábbi munkálatokat irányozta elő:

- tönkrement lábazat cseréje, magasabb, átszelőltetett lábazat készítése a pincszellőzők kőkeretének felső vonaláig;
- talajnedvesség elleni utólagos falszigetelés injektációs eljárással;
- a lábazat feletti vakolat leverése és újravakolása WTA-alapvakolattal a földszinti ablakok szemöldökmagasságáig, rajta hússzínű, sima, kőporos alapvakolat, felette fedő gördülőszemcsés, kőporos, dörzsölt vakolat;
- a homlokzat két szélén lévő álsgraffito sarokarmírozás újrafestése;
- a homlokzati tanú felületek változatlanul maradnak;
- ereszcatornák mázolása;
- homlokzati nyílászárók festése;
- tetőhéjalás alsó sorának átrakása, gerincharcsolások újrakészítése;
- tetőfelépítmények barna pácolása;
- kőszerkezetek felújítása külön restaurátori engedély alapján.

A kormányhivatal a 2016. december 16-án kelt örökségvédelmi engedélyben öt feltételt kötött ki, amelyek megegyeznek az Új u. 16. számú épület engedélyében foglaltakkal. A kiviteli tervdokumentációt és az értékleltárt az önkormányzat 2017. március 6-án adta át a kormányhivatalnak, melynek jóváhagyása március 24-én történt meg.

Az örökségvédelmi engedély hatályának a lejárat miatt az önkormányzat újabb engedélykérelmet nyújtott be 2018. március 5. napján. A kormányhivatal az új örökségvédelmi engedélyben ezúttal már három feltételt szabott:

- a kivitelezés során tervezői művezetés és kutatói szakfelügyelet biztosítása;
- a végleges színek kiválasztásához színminta készítése;
- a homlokzati köelemek és az ún. tanú felületek helyreállítására vonatkozóan külön restauratori bejelentés benyújtása.

A homlokzat kőrestauratori dokumentációját Sütő József készítette, aki javaslatában a homlokzati köelemek tisztítását, szilárdítását és hidrofobizálását javasolta. A kapu szárkövei esetében azonos anyag-összetételű tömbökre történő cserét ajánlott. A kormányhivatal a bejelentést 2019. október 1-én vette tudomásul. Az építési tevékenység megkezdésének a bejelentését az önkormányzat 2018. október 8-án jelentette be.

Az Új u. 8. számú épület utcai homlokzatának az utólagos vízszigetelésére vonatkozó örökségvédelmi bejelentését az önkormányzat 2019. március 19-én indította. A felújítási javaslatot Luthár Erika épületfelújítási és szigetelési szaktanácsadó készítette, és Szecső Heléna ellenjegyezte. A dokumentációban a szakértők az Új u. 16. számú épület szakvéleményében leírt anyagokat és eljárásokat javasolták ennél az épületnél is. A hatóság az utólagos vízszigetelési bejelentést április 11-én vette tudomásul.

A homlokzat meglévő tanúfelületeinek bemutatása tárgyában Nemes András művészettörténész 2019. június 13-án írt szakvéleményt. Tíz nappal korábban a tanulmány írója Baranyai Gábor kivitelező társaságában helyszíni szemlét tartott Nemes András kutatóval együtt. A szakvélemény rögzítette, hogy: „A korábban készített értékleltár alapján tudott, hogy a jelenlegi vakolat 1961-ben készült. Az ún. tanúfelületeket is ekkor hagyták meg, konzerválva azokat. Az 1990-es években újabb homlokzat helyreállítás következett, ekkor – sajnos – nem szakszerűen kezelték a tanúfelületeket. Szilárdításukon túl lazúros átkenést kaptak, ezzel eredeti jellegüket elveszítették. A felületek széléit körbeszegték, ezzel a megmaradt ede-

ti felületek 'térkép szerű' rajzolatot kaptak. Mai összehatásuk inkább zavaró, mert a homlokzat egységét megbontja. A nagyon visszafogott, szélein és a párkány vonalában sgraffitóval díszített egységes homlokzat a tanúfelületek hatására szét-törik.”

A kutató a szakvéleményben az alábbi javaslatokat fogalmazta meg:

- a sgraffitós felületeket fel kell újítani (tisztítás, konzerválás, restaurálás, szükséges minimális kiegészítések);
- az amorf homlokzati tanú felületeket konzerválás után, szakrestaurátor közreműködésével vissza kell takarni, egységes homlokzati felületeket kialakítva. Ezáltal élvezhető homlokzati összképet nyerünk.

A kivitelező a szakvélemény ismeretében a felújítás során alkalmazott anyagokat és technológiákat módosította, amit a hatóság jóváhagyott. 2019. július 10-én a homlokzatra korábban felvitt mintaszínek ismeretében ki lettek választva a homlokzat végleges színei, amely egy alapszínt, valamint a sgraffitók, kőkeretek és a főpárkány színét tartalmazta.

Az Új utca 8. számú épület utcai homlokzatán történő felújítási munkálatok befejezését az önkormányzat 2020. április 27-én jelentette be. A kormányhivatal a befejezésről szóló tudomásulvételi hatósági bizonyítványt 2020. május 5-én állította ki.

A felújítás eredményeként megállapítható, hogy az épület korábbi helyreállítása során elkövetett hibákat, rossz döntéseket a mostani felújítás szakmailag korrigálta, kijavította. Az épület utcai homlokzata a kivitelező lelkiismeretes és körültekintő, a hatósággal és a szakértőkkel együttműködő hozzáállása és munkája következtében példértékűen megújult (lásd az [5. ábrán](#)).



5. ábra. Az Új utca 8. számú épület helyreállított utcai homlokzata (a szerző felvétele)

4. Következtetések

A tanulmány a MVP keretében Sopronban megvalósult homlokzatfelújítási munkálatokból három példát ismertetett. A bemutatott esettanulmányokból megállapítható, hogy a helyreállítások – habár zömében csak az utcai homlokzatokat érintették – megfelelő szakmai előkészítéssel és minőségben készültek el. A kivitelezők a műemléki hatósággal, valamint a szakértőkkel együttműködve végezték munkájukat. Amikor az épület állapota indokolta, többletmunkákat is bevállal-

tak a kívánatos végeredmény érdekében. Ezért a MVP homlokzatfelújításai műemléki szempontból sikeresnek mondhatók.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dercsényi Dezső: *Sopron műemlékvédelmi Európa-díja*, Soproni Szemle XXX/1. (1976) 39–46.
- [2] Gajzágó Gergő: *Modern városok programja: új fejezet a magyar várospolitikában*, Tér és Társadalom 33/3. (2019) 29–48.
<https://doi.org/10.17649/TET.33.3.311>



A JÁSZBERÉNYI KÖZÉPKORI FERENCES TEMPLOM BAROKK ÁTALAKÍTÁSA

THE BAROQUE RENOVATION OF THE MEDIEVAL FRANCISCAN CHURCH OF JÁSZBERÉNY

Turi Olivér

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Építésmérnöki Tanszék. Debrecen, Magyarország. turioliver25@gmail.com

Abstract

This study discusses the Franciscan church in Jászberény, originally built in the Middle Ages. The methods of Bauforschung/building archaeology were used in the attempt to create a theoretic reconstruction of the church's former appearance, involving laser scanning and point cloud data. The re-search focused mainly on the attic space, more specifically, on the question of the former vaults of the church.

Keywords: Baroque, Franciscan order, laser scanner, Jászberény, Gothic.

Összefoglalás

Tanulmányomban a középkorban épült jászberényi ferences templom vizsgálatával foglalkozom. A Bauforschung-módszertan segítségével kísérletet tettem a templom egykori megjelenésének elvi rekonstrukciójára, lézerszkenneres felmérés és pontfelhő-feldolgozás alkalmazásával. Kutatásom nagy részben a padlástérre irányult, hogy választ találjak az egykori középkori boltozatot érintő kérdésekre.

Kulcsszavak: barokk, ferences rend, lézerszkennér, Jászberény, gótika.

1. A templom vizsgálata

1.1. Történelmi háttér

A tanulmányomban vizsgált templom a jászberényi barátok temploma, az egykori ferences kolostor részét képező templom. A város a mai Jász-Nagykun-Szolnok megyében, a Jászság központjában helyezkedik el. A terület a középkorban nem képezte részét a Szent István által alapított 48 vármegyének. A Jászkun kerület független területi egység volt, adómenetességgel rendelkezett, és közvetlenül a király alá tartozott. A török hódoltság alatt olvadt be a vármegyerendszerbe, majd a Dózsa György-féle felkelésben való szerepvállalás miatt elvesztette adómentességét, és a XVIII. században vált önálló adózó kerületté. Mai nevének utolsó tagját vélhetőleg a Szent Gellért-mondból ismert, Gellért kísérőjeként megjelenő Szaunik ispánról, a megye első számú várispánjára

ról kaphatta. Nevének első két tagja pedig a Zagya menti térségre letelepített jász és kun népcsoportoktól eredeztethető. [1] Vélhetőleg már a domonkos szerzetesekkel egyidejűleg megkezdtek a pogány népek térítését. Erre bizonyítékként szolgál többek között III. Miklós pápa 1278. október 7-én írt bullája is, amelyben a pápa utalást tesz a térségben működő ferencesekre. Végül a ferences rend ért el kimagasló sikert a jászkunok integrálásában. A templomépítés részben az I. Mátyás idejében bekövetkező gazdasági növekedésnek is volt köszönhető. A jászok az építés megkezdése előtt I. Mátyástól kértek engedélyt. Ezt bizonyítja a vatikáni levéltárban őrzött korabeli hiteles levél másolata, melynek címzettje IV. Sixtus pápa volt, és Mátyás király küldte a ferences rend magyar tartományának magas rangú alakjával, Igali Fábiánnal 1472-ben. Habár a templom építésének körülményeiről sok konkrétumot nem tudunk,

újabb művészettörténeti kutatások arra tesznek utalást, hogy létezett Magyarországon egy ferenccs rendi építóműhely, amely a visegrádi udvar támogatását is élvezte. [2] 15–17. p.

1.2. A templom helyszíni vizsgálata

1.2.1. Témaválasztás

A templomválasztás során a személyes kötődésen kívül nagy szerepet játszott az a teljes egészében máig meg nem válaszolt kérdés, miszerint a templomhajó boltozott, vízszintes fáfödémrel fedett vagy nyitott fedélszékes volt-e. A kérdésre folyóiratokat és építéstörténettel kapcsolatos publikációkat olvasva nem találtam egyértelmű választ, ezért ez vált kutatásom fő kérdésévé. Vizsgálataimat Bauforschung-módszertan segítségével végeztem, mely során az épületet tekintettem tanulmányom elsődleges forrásának. A templom egyhajós, a hajónál keskenyebb poligonális szentéllyel, középkori falakkal, amelyeket nagy méretű, lépcsős támpillérek támasztanak kívülről.

1.2.2 A középkori boltozat

A legfontosabb megfigyelhető nyom ezzel kapcsolatban a padlástérben, a jelenlegi boltozat csatlakozási vonala fölött 2,15 -m magasságban, a hajó falának vakolt volta. Tényként kezelhetjük, hogy a középkorban a padlást nem vakolták.

Ez arra enged következtetni, hogy a templomhajó belmagassága eredetileg magasabb volt. Ezt az állítást az is alátámasztja, hogy a hajó déli falában megfigyeltem a középkori, gótikus csúcsíves ablak maradványait is. Az épület nyugati oldala felé haladva még két másik ablakrészletet találhatunk, ami valószínűvé teszi egyrészről, hogy a

középkori templom hajóját három ablak világította meg déli oldalról, másrészről pedig egyértelművé teszi, hogy a templomtér belmagassága valóban magasabb volt a mai állapotához képest. Ezt a megfigyelést követően boltvállakat vagy egyéb, boltozatra utaló jeleket kerestem a falon, de keresésem eredménytelenül zárult. Tehát ha elfogadjuk, hogy a templom belmagassága megközelítőleg 2,15 m-rel magasabb volt, ám a szakszon egyáltalán nem találhatunk boltozásra utaló jeleket, véleményem szerint levonhatjuk azt a következtetést, miszerint a templom hajója ténylegesen boltozatlan volt. Ehhez hozzájárul az a tény is, hogy a tornyon keresztüli megközelítéskor a szentély feletti padlásrészből a hajó feletti padlásrészbe való eljutáshoz egy magas tűzfalon kellett átmászni.

A tűzfal funkciójából adódóan a tűz terjedését gátolja, ám amennyiben a teljes templomtér boltozva van, nincs rá ezen a helyen feltétlenül szükség. Mivel az északi és déli falakon nem találunk gerendafészkeket, valószínűbb, hogy nyitott fedélszéke volt a hajónak, de ennek alátámasztására nem találtam konkrét bizonyítékot.

1.2.3. A nyugati oromfal vizsgálata

A padlás további vizsgálata során részletesen szemrevételeztem a nyugati oldal oromfalát. A háztörténet alapján tudjuk, hogy a fal szélei eredetileg meredekebb szöveget zártak be, de a XVII. században az oromfal tetejét lerobbantották. A fal nem szenvedett nagyobb károkat, de a tető dőlésszögét kisebbre vették, így csökkentették a fal magasságát is. Megfigyelve az oromfalat, több érdekesség is feltűnhet. Egyrészt a fal két oldalán 3-3 gerendafészeknek tűnő lyuk található, ám ami



1. ábra. A padláson található befallazott, csúcsíves középkori ablak maradványai



2. ábra. A padlás oromfalán található három kisebb és egy nagyobb áthidaló funkciójú kővel kitámasztott rés

érdekesebb, hogy a gerendafészkek alatt két nagyobb méretű lyukat figyelhetünk meg. Az egyik felett jellegzetesen faragott, nagy méretű követ is találhatunk, amely első ránézésre áthidalónak tűnik. Közelebről megvizsgálva a déli fal felőli gerendafészkeket, látható, hogy egy fagerenda fut keresztül rajtuk. Úgy gondolom, nem zárhatjuk ki annak a lehetőségét, hogy a falban lévő nagyobb lyukak kis méretű, gótikus padlásbevilágítók lehettek.

1.2.4 A falak szerkezeti biztosítása

A padláson megfigyelhető, hogy a templom északi és déli falát és a hevederíveket vonóvasak húzzák össze, hogy megakadályozzák a falak további nyílását. Az 1868. június 21-én bekövetkezett földrengés nagy károkat okozott az épületben, ezt követően júliusban, augusztusban és szeptemberben is földrengések rázták meg a templomot.

A korabeli leírások alapján a templomot az összeomlás fenyegette. A ferences rend Szódy József építésszel kötött szerződése alapján 1868 októberében kezdték el a vonóvasak felhelyezését, hogy az elszennvedett károk javítását először a falak összehúzásával kezdjék. A munkálatokat október 10-re fejezték be.

1.2.5 A déli kapuzat

A templomhajó déli oldalának falában 1925-ben gótikus pálcatagos kapuzatot tártak fel. A kapuzat alja a templom mai padlószintjénél 1,4 m-rel mélyebben helyezkedett el. Későbbi vizsgálatok bebizonyították, hogy a kapuzat a kolostorból történő bejárást biztosította, és nem kriptalejáratként szolgált, ahogy azt először feltételezték. [2] 35–51. p. A padlószint megemelése vélhetőleg a

Zagyva folyó közelségének volt köszönhető. Mivel a kolostor a folyóparti mocsaras területre épült a védelhetőség miatt, így a talajvíz okozta problémák lehettek a padlószint megemelésének okai. A Jász Hírlap 1939. december 30-án megjelent számában olvashatjuk Komáromi József cikkét, amelyben említést tesz arról, hogy a frissen feltárt, jó állapotú kaput a templom gyóntatófolyosóján dolgozó festő lelkesen bevakolta, ezáltal a kapuzat károkat szenvedett, amelyeket a restaurálással sem lehetett helyreállítani. [3]

1.3. A templom története

1.3.1 A barokk átalakítás történelmi háttere

A török hódoltságot és a Rákóczi-szabadságharcot követően a Magyar Királyság lakosságának száma meglepő módon nem mutatott nagymértékű csökkenést, ám Európa további országainak növekedéséhez képest stagnált. I. Lipót és Mária Terézia betelepítési politikája során az országban elterjedtek a nemzetiségek, ám a betelepítésnek fontos aspektusa volt, hogy a betelepült nemzetiségek keresztény vallásúak legyenek. Ez pedig egyértelműen az egyházközösségek növekedéséhez vezetett, ami a templomok bővítésének szükségét vonzotta magával.

1.3.2 Barokk újjáépítés

A templom újjáépítése a XVIII. században vette kezdetét. Az újjáépítésre hatással volt Luther Mártonnak 1517. október 31-én a wittenbergi vártemplom kapujára kiszögeezett 95 tétele. Ez a cselekedet indikátorként szolgált az Európán végigsöprő reformációs mozgalmak kialakulásában. Luther tanai építészeti szempontból fontos adalékot jelentenek, a középkori puritán értékrend megőrzése szempontjából. Válaszként a katolikus egyház ellenreformációs mozgalmat indított, mely értékrendjében közelebb állt a barokk által képviselt fényűzéshez. A templom középkori részének átalakítása főleg tönkremenetelének és megsemmisülésének volt betudható, néhány elemet viszont a barokk stílusba való integrálás miatt alakítottak át. A barokkban nagy szerepet játszó fény bejutása érdekében a hajó és a szentély északi oldalán 3 és 2 nagy méretű ablakot alakítottak ki, ugyanakkor az új boltozat miatt bekövetkező belmagasság-csökkenés következtében a hajó déli oldalának három gótikus ablakát be kellett falazni. Helyükön kisebb ovális ablakok kerültek kialakításra. A pálcatagos gótikus kapuzat befalazása a padlószint megemelése miatt történt. Az átjárás érdekében a déli fal nyugati irányú, 2. és 3. pillére között került kialakításra



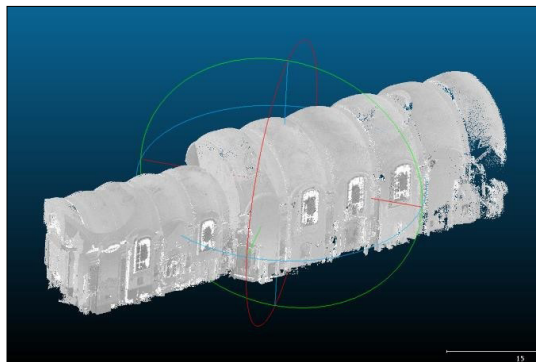
3. ábra. A falak, a boltozat és a tetőszerkezet kapcsolatát biztosító vonóvasak. A szerző fotója.

az új kapuzat. A torony újjáépítését a háztörténet szerint az orgonakarzattal egyidejűleg, 1715 előtt már elkezdték. A középkori alapokra épített barokk tornyot vélhetőleg az 1720-as évre befejezték, mivel ekkor helyezték fel rá a barokk toronysisakot. Végül a legjellegzetesebb barokk átalakítás az orgonakarzat kialakítása volt, mivel az orgona fontos szerepet játszott a szertartások során. Az orgonakarzat kialakítása párhuzamba hozható szinte minden, ma is használatba lévő középkori templommal. 1769-ben a szentély boltzatát is, a hajóhoz hasonlóan, csehsüvegboltzatra cserélték. A templom 1780-ban érte el az ellenreformáció által megkívánt, impozáns barokk kinézetét. [2] 65–72. p.

1.4. A templom felmérése

1.4.1 Lézerszkenneres felmérés

A templom belsejében lézerszkenneres felmérést végeztünk. A felmérést a Debreceni Egyetem Építőmérnöki Tanszékének tulajdonában lévő Stonex lézerszkennerral hajtottuk végre. A belső felmérés során két állást rögzítettünk a szentélyben, és két állást a hajóban. Minden állás során 360°-os felvételt készítettünk. A folyamat működése úgy zajlik, hogy a vízszintezett, állványra állított szkennert 360°-os szögben lézert vetít, amely a felületről visszaverődik. A visszaverődés idejéből a lézer meghatározza a pont távolságát. A rögzített pontokból pontfelhőt hoz létre. Fontos a minél több állásból való felvétel készítése, mivel takarás esetén egyes részekről nem tud pontot felvenni a rendszer, ezért a későbbi pontfelhő-generáláskor a területről nem kapunk felhasználható adatot. A rögzített pontokat a szkennert saját programja segítségével PTX-formátumba formáztam, majd Cloud Compare szoftver használatával a négy részleges pontfelhőből egy egészet hoztam létre. Az elkészült pontfelhő alakítása és egyszerűsítése a Meshlab nevű programmal történt, majd az elkészült modellt elmentettük Blender



4. ábra. A szkennerről rögzített pontok pontfelhőbe való egyesítésével létrehozott háromdimenziós modell. A szerző munkája

3D segítségével, és a 3D-nyomtatáshoz egy hasáb belsejébe helyeztük, negatív térként, a templom belterének metszetét.

2. Következtetések

Megfigyeléseim alapján a középkori templomok barokk átalakításait két csoportra tudjuk bontani: a helyreállításból és a korszerűsítésből adódó átalakításokra. Ezen túlmenően pedig beszélhetünk additív átalakításokról is, melyek bővítéssel járnak. Továbblepési lehetőségek: az itt kialakított módszertannal további, hasonló templomok vizsgálata.

Köszönetnyilvánítás

Szeretném megköszönni Dr. Bereczki Zoltán és Bíró Edina Anita munkáját, akik nélkül ez a cikk nem jöhetett volna létre.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kristó Gy.: *Fejezetek az Alföld középkori történetéből*. Szeged: Dél-alföldi Évszázadok. Csongrád Megyei Levéltár, Szeged, 2003. 104–110.
- [2] Szántó K.: *A jászberényi ferences templom története*. Ecclesia. Budapest, 1974.
- [3] Komáromi J.: *Jász Hírlap*. In: Műemlékek Országos Bizottsága, 20/1940.

SZERZŐK JEGYZÉKE

LIST OF AUTHORS

A–B

ASZTALOS GERGŐ TAMÁS 14
ÁDÁMKÓ ÉVA 51
BAKAI NÁNDOR 1
BAKOS LEVENTE ATTILA 6

D

DIÓS SZABOLCS SÁNDOR 14
DÓSA JÁNOS 22

G–H

GÁL KÁROLY-ISTVÁN 37
GARAI HENRIK ANDRÁS 51
GERGELY ATTILA LEVENTE 32
HILLEBRAND PÉTER 1
HUSI GÉZA 14

K–R

KERESZTES KRISTÓF 32
MÁTÉ MÁRTON 37
RÁK OLIVÉR 1
REZES GÁBOR 44

S–SZ

SZÁNTÓ ATTILA 51
SZIGETI FERENC 44
SZIKI GUSZTÁV ÁRON 51

T–Z

TÁRKÁNYI SÁNDOR 55
TOLVALY-ROSCA FERENC 37
TURI OLIVÉR 63
ZAGORÁCZ MÁRK BALÁZS 1

