

MTK 18.

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

Bagyinszki Gyula (Budapest)
Bitay Enikő (Kolozsvár/Marosvásárhely)
Czigány Tibor (Budapest)
Dávid László (Marosvásárhely)
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)
Máté Márton (Marosvásárhely)
Pokorádi László (Budapest)
Réger Mihály (Budapest)
Réti Tamás (Budapest)
Roósz András (Budapest)
Szántó Attila (Debrecen)
Talpas János (Kolozsvár)
Tolvaly-Rosca Ferenc (Marosvásárhely)

ISSN 2393 – 1280

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

18.

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



**ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2023**

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

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



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

*Minden jog a kiadvány kivonatos utánnnyomására, 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:
<https://eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.htm>
DOI: 10.33895/mtk-2023.18

TARTALOM

András József, Kovács József <i>A kőzetjövésztés energiaigény-csökkentésével kapcsolatos kutatások eredményei</i>	1
András József, Harrell Yannick, Eugène Tashchi <i>Zöld átállás hatása az ásványi nyersanyagokkal való ellátásra</i>	5
Bitay Enikő <i>Martin Lajos szerepe a kolozsvári magyar egyetemi oktatásban</i>	9
Dósa János, Tomuş Ovidiu-Bogdan <i>Különböző munkaközeggel működő hőszivattyúk összehasonlító exergetikai elemzése</i> .	18
Egyed-Faluvégi Erzsébet, Karácsony-Fejér Tamás, Jakab-Farkas László <i>Körköröségmérő berendezés szisztematikus hibáinak vizsgálata</i>	25
Gál Károly-István, Máté Márton <i>Egyenes fogú metszőkerekek profilhibájának tanulmányozása CAD-környezetben</i>	29
Harangus Katalin, Kakucs András <i>Véletlenszám-generátor</i>	37
Huszák Csenge, Schramkó Márton, Kovács Tünde Anna <i>Makro- és mikroszkópos vizsgálat a biztonság szempontjából kritikus alkatrészekben</i> ...	45
Kisfaludi-Bak Zsombor, Gobesz F.-Zsongor <i>A csíkszentimrei Olt-híd részleges árvízvédelmi vizsgálata</i>	49
Pásztor Judit, Miklós Előd, Farmos Rudolf-László, Popa-Müller Izolda, Egyed-Faluvégi Erzsébet <i>Függesztett munkagép vonóerőre gyakorolt hatásának vizsgálata</i>	53
Popa-Müller Izolda, Papp István <i>A hajtómű kinematikai elemzése kényszeregyenletek segítségével</i>	58
Sebestyén Pál György, Hangan Lia-Anca, Czakó Zoltán <i>Anomáliadetektálás mesterségesintelligencia-módszerekkel – Áttekintés</i>	63
SZERZŐK JEGYZÉKE	70

CONTENT

József ANDRÁS, József KOVÁCS <i>Results of Research Related to Reducing Energy Consumption in the Rock Wining Process</i>	1
József ANDRÁS, YANNICK Harrell, TASHCHI Eugène <i>The Green Transition Impact on Mineral Raw Materials Supply</i>	5
Enikő BITAY <i>The Role of Lajos Martin in Hungarian Academic Education in Cluj</i>	9
János DÓSA, Ovidiu-Bogdan TOMUŞ <i>Exergy Analysis of a Vapour Compression Heat Pump Using Environmentally Friendly Refrigerants</i>	18
Erzsébet EGYED-FALUVÉGI, Tamás KARÁCSONY-FEJÉR, László JAKAB-FARKAS <i>Examination of Systematic Errors of a Roundness Measurement Equipment</i>	25
Károly-István GÁL, Márton MÁTÉ <i>The Study of the Profile Errors of Straight Teethed Shaper Cutters in the CAD-Environment</i>	29
Katalin HARANGUS, András KAKUCS <i>Random Number Generator</i>	37
Csenge HUSZÁK, Márton SCHRAMKÓ, Tünde Anna KOVÁCS <i>A Macro- and Microscopic Inspection of the Safety Critical Components</i>	45
Zsombor KISFALUDI-BAK, F.-Zsongor GOBESZ <i>Flood Protection Partial Analysis of the Olt Bridge in Sântimbru</i>	49
Judit PÁSZTOR, Előd MIKLÓS, Rudolf-László FARMOS, Izolda POPA-MÜLLER, Erzsébet EGYED-FALUVÉGI <i>Investigation of the Effect of a Suspended Working Machine on Traction Force</i>	53
Izolda POPA-MÜLLER, István PAPP <i>Kinematics Analysis of Crank Mechanism with Constraint Equations</i>	58
Pál György SEBESTYÉN, Lia-Anca HANGAN, Zoltán CZAKÓ <i>Anomaly Detection with Artificial Intelligence Methods – An Overview</i>	63
LIST OF AUTHORS	70



A KÖZETJÖVESZTÉS ENERGIAIGÉNY-CSÖKKENTÉSÉVEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK EREDMÉNYEI

RESULTS OF RESEARCH RELATED TO REDUCING ENERGY CONSUMPTION IN THE ROCK WINNING PROCESS

András József,¹ Kovács József²

¹ Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék.
Petrozsény, Románia, iosif.andras@gmail.com

² Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék.
Petrozsény, Románia, kovacs@gmail.com

Abstract

Energy consumption is the main parameter describing the efficiency of the rock winning process in mechanical excavation. Because the rock winning process is a very complex one, the strength properties of rocks prescribed by classical rock mechanics is not sufficient: Knowledge of cutting forces values, and of the shape and volume of removed chips - based on tool geometry and cutting head kinematics - has significant importance in the optimal design of winning machines, and in improving their operating parameters. The paper deals with some results in research performed at the University of Petroșani on these issues, both in theoretical findings and experimental assays in laboratory and on site.

Keywords: *rock cutting, energy, mechanical excavation, mining machinery.*

Összefoglalás

Az energiaigény a fő paraméter, amely leírja a kőzetjövésztési folyamat hatékonyságát a mechanikai kitermelésben. Mivelhogy a kőzetnyerési folyamat nagyon komplex, csak a klasszikus kőzetmechanika által előírt kőzetszilárdsági tulajdonságok ismerete nem elegendő, a forgácsolóerők értékeinek, az eltávolított forgácsok alakjának és mennyiségének ismerete a szerszám-geometria és a jövésztőeszköz kinematikája alapján, jelentős súllyal bír a kitermelő gépek optimális kialakításában és működési paramétereik javításában. A tanulmány a Petrozsényi Egyetemen végzett kutatások néhány eredményével foglalkozik, mind elméleti kibontásban, mind laboratóriumi és helyszíni kísérleti vizsgálatokban.

Kulcsszavak: *kőzetjövésztés, energiaigény, gépi kitermelés, bányagépek.*

1. Bevezetés

A különböző kőzetek vagy hasznos ásványok kotrógéppel (1. ábra), jövésztő-rakodó géppel (2. ábra), vágathajtógéppel (3. ábra) stb. történő jövésztése jellemzőinek megállapítása egy fontos feladat, amely a kőzetforgácsolás jelenségének megismeréséhez, a jövésztőszerszám geometriai és technológiai paramétereinek, a forgács paramétereinek és a jövésztés jellemzőinek törvényszerű összefüggéseinek meghatározásához vezet.

A paraméterek közötti kölcsönhatás törvényszerűségeinek ismeretében a gyakorlatban olyan



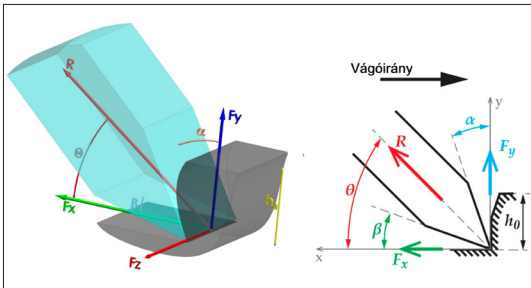
1. ábra. Marótárcsás kotrógép



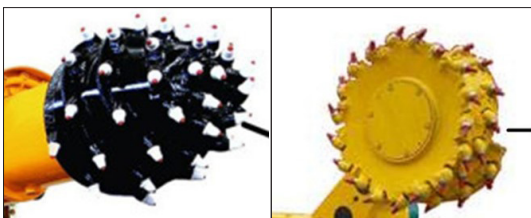
2. ábra. Maróhengeres fejtógép



3. ábra. Vágathajtó gép



4. ábra. A munkaeszköz (jövésztőkés, bontófog, vágóél) geometriai jellemzői (α – homlokszög, β – hátszög, θ – vágószög, h_0 – fogásmélység) és arra ható erők (F_x – vágóerő F_y – rányomóerő)



5. ábra. Különböző alkatú, forgó marófej típusok

kőzetjövésztési gépeket és technológiát lehet kialakítani, amelyek minimális fajlagos energiafogyasztást igényelnek, igénybe véve a jövésztógép maximális jövésztési teljesítményét, konkrét adott esetekben.

A mechanikus jövésztés a kőzetnek a természetes állapotú összetételből való lebontásában áll.

A forgácsok leválasztása a kőzetből valamely éles, megfelelő geometriájú (4. ábra) és szilárdságú munkaeszköz segítségével történik.

A munkaeszközök egy megfelelő elhelyezési rendszer szerint vannak elhelyezve, egy forgó marófejegységre (5. ábra), így a gép a teljes kőzettömeg lebontását végezheti, a marófej térbeli kinematikájának következtében.

A szén, a kősz vagy más hasznos ásvány és kőzet esetében nem elegendő ezeknek a különböző hagyományos kőzetmechanikai (nyomó, húzó, nyíró stb.) szilárdságát meghatározni, hisz a jövésztés egy igen bonyolult folyamat, amely számos tényező hatásától függ.

Ennek jellemzői közé tartoznak: a munkaeszközre (jövésztőkés, bontófog, vágóél) ható erők (4. ábra), a fajlagos vágóerő, a fajlagos energiaigény, a szükséges meghajtási teljesítmény stb.

A jövésztési erők, amelyek a forgácsolóeszközre (bontófog vagy jövésztőkés) hatnak, főként a vágóerő és a rányomóerő (4. ábra), azok az alapvető paraméterek, amelyeket a vágófej nyomatékának, a motorteljesítménynek és a kőzetjövésztési hatékonyságnak a kiszámításához használnak.

Másrészt a fajlagos energiát általában a kőzet forgácsolási képességének, jövésztetőségének értékelésére használják, és ez az egyik legjelentősebb paraméter, amelyet mind a teljesítményértékeléshez, mind a jövésztési rendszerek hatékonyságának értékeléséhez használnak.

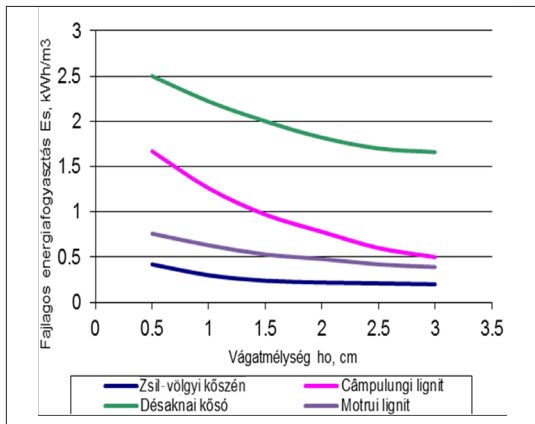
2. Különböző kőzetek jövésztésienergia-igény-vizsgálata

Az 6. ábrán a fajlagos energiafogyasztás görbéi láthatók, a már említett anyagok esetében, a vágatmélység függvényében, amelyeket labormérések eredményei alapján ábrázoltunk.

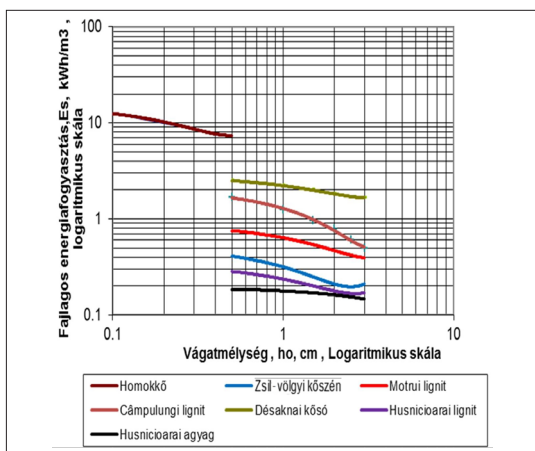
Ezek a görbék hiperbolaszzerűek, alkatukban hasonlítanak egymáshoz, de értékeikben lényegesen különböznek.

Észlelhető, hogy a kősz esetében $1,5...2,5 \text{ kWh/m}^3$ a fajlagos energiafogyasztás, a legkeményebb hazai lignit esetében $0,5...1,5 \text{ kWh/m}^3$, viszont a kőszén esetében csak $0,25...0,5 \text{ kWh/m}^3$.

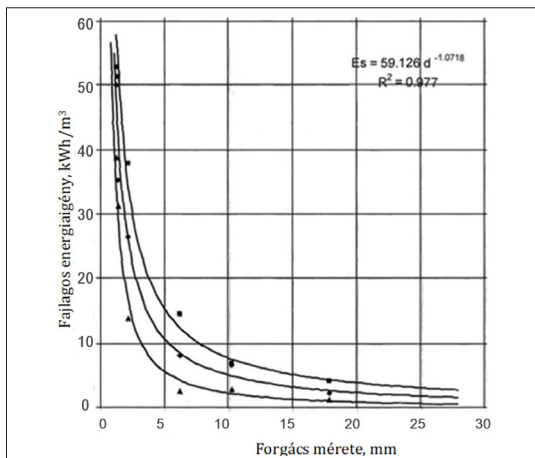
Mivel, hogy az elemzett kőzetek közötti különbség nem olyan nagy, ami a forgácsolási tényező-



6. ábra. A fajlagos energiafogyasztás görbéi a fogásmélység függvényében



7. ábra. A fajlagos energiafogyasztás görbéi a vágatmélység függvényében



8. ábra. A fajlagos energiafogyasztás a leválasztott forgácsméret függvényében

ket illeti, példaként ezeknél keményebb, illetve lágyabb anyagokat is figyelembe vettünk az összehasonlításnál.

Az előző keretet agyaggal, lágyabb Duna melléki lignittel és homokkővel bővítettük ki. Mivel a különbségek már nagyobbak, kénytelenek voltunk a logaritmusos skálát alkalmazni, amint ez a 7. ábrán is észrevehető.

Az 7. ábrán látható görbék alapján a fajlagos energiafogyasztást hasonlítottuk össze az előzően már felsorolt anyagokra vonatkozóan.

Itt is kitéjük a sorrend az agyagtól a homokkőig, a kettő között lévén a kősó görbéje, illetve a szénfélések görbéi.

Ha elvégezzük az összehasonlítást, a fajlagos energiaigény szempontjából, akkor észrevehető, hogy a homokkő 7...13 kWh/m³, a kősó 1.8...2,6 kWh/m³, a kemény lignit 0,5...1,8 kWh/m³, a kőszén 0,25...0,5 kWh/m³, míg az agyag csak 0,18...0,2 kWh/m³ fajlagos energiaigénnyel rendelkezik.

Ugyaninnen következik, hogy a désaknai só gépésített jövesztéséhez 4-5-ször kevesebb energia szükséges, mint a homokkő esetében, amely ipari szinten vágással nem jövesztethető, de 1,5–7-szer több a szénfélésekhez- és 10–13-szor több az agyaghoz viszonyítva.

A jövesztési folyamatot leíró egyik fő paraméter a fajlagos energiaigény, amely a jövesztési folyamat energiaigényességének mérőszáma.

A [3] dolgozat szerzője több mint 11 000 darab kőzetjövesztési kísérlet folytán robbantással és jövesztőgépekkel (vágathajtó gépek, alagútfúró gépek, hengeres fejtőgépek, fúróberendezések stb.) a fajlagos energiafogyasztás és a leválasztott részecskeméret függését állapította meg.

A mért vagy kiszámított E_s fajlagos energiafogyasztás a d leválasztott anyag átlagos dimenziója függvényében, a kísérleti pontfelhő két görbéje közötti sávon belül van elhelyezve, amely görbék megközelítik az egyenlő oldalú hiperbolát (8. ábra), amelyben az $E_s = f(d)$ függvényt ábrázoltuk.

Ennek leíró, regresszív egyenlete:

$$E_s = 59,126 d^{-1,0718} \text{ kWh/t} \quad (1)$$

Mint látható, az exponens $-1,0718$, amely egy kvázi egyenlő oldalú hiperbolát jellemez.

Másrészt azt eredményezi, hogy a fajlagos energiafogyasztás szorzata az előállított részecskék (forgácsok) méretével állandó, függetlenül az alkalmazott eljárástól, azaz:

$$E_s \cdot d \approx \text{konstans} \quad (2)$$

Előző [1] és [2] dolgozatainkban bebizonyítottuk, hogy ez az invariáns a fajlagos vágóerőnek felel meg.

Így a két lényeges paraméterek közötti – a fajlagos energiafogyasztás és a fajlagos vágóerő – összefüggést meg lehet határozni, és ebből kiindulva ki lehet számítani a fajlagos energiaigényt a fajlagos vágóerőre alapozva, amelyet kísérleti eszközökkel meg lehet állapítani.

3. Következtetések

Az energiaigény a fő paraméter, amely leírja a kőzetjövésztési folyamat hatékonyságát a mechanikai kitermelésben.

Annak ismerete és azt befolyásoló paraméterek számontartása a kitermelőgépek optimális kialakításában és működési paramétereik javításában fontos szerepet játszik.

Kirajzoltuk a kőszén, kétféle lignit és a kőszó fajlagosenergiafogyasztás-görbéit a vágatmélység függvényében, amelyek értékeit labormérések eredményei alapján állapítottuk meg.

Ugyanazt az elemzést végeztük el keményebb és lágyabb kőzetek esetében is, és mivel a különbségek már nagyobbak, kénytelenek voltunk a logaritmikus skálát alkalmazni az összehasonlítás céljából.

Bebizonyítottuk, a kísérleti eredmények feldolgozása alapján, hogy a fajlagos energiafogyasztás szorzata az előállított részecskék (forgácsok)

méretével állandó, függetlenül az alkalmazott eljárástól, és ez az invariáns a fajlagos vágóerőnek felel meg.

Így a két lényeges paraméter közötti összefüggésből kiindulva ki lehet számítani a fajlagos energiaigényt a fajlagos vágóerőre alapozva, amelyet kísérleti eszközökkel meg lehet állapítani.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] I. Andras, M. Lazar, A. Andras: *The Correlation between Physical-Mechanical Properties and the Cutting Characteristics in the Case of Unminable Rock Formations From Husnicioara Lignite Open Pit*. 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, Sofia, 869–876. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/13/S03.110>
- [2] M. S. Nan, I. Kovacs, I. Andras, D. Julia: *Study of the Working Regime of the Bucket Wheel Excavators in the Conditions of Romanian Open Pit Lignite Mines*. 8th WSEAS International Conference on Simulation, Modelling and Optimization (SMO'08), Santander, Cantabria, Spain, September 23-25, 2008. 83–88. https://www.researchgate.net/publication/262329172_Study_of_the_working_regime_of_the_bucket_wheel_excavators_in_the_conditions_of_Romanian_open_pit_lignite_mines
- [3] L. Ozdemir: *Comparison of Cutting Efficiencies of Single-Disc, Multi-Disc and Carbide Cutters for Microtunneling Applications*. No-Dig Engineering, 2/3. 2002.



A ZÖLD ÁTÁLLÁS HATÁSA AZ ÁSVÁNYI NYERSANYAGOKKAL VALÓ ELLÁTÁSRA

THE GREEN TRANSITION IMPACT ON MINERAL RAW MATERIALS SUPPLY

András József,¹ Harrell Yannick,² Eugène Tashchi³

¹ *Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék. Petrozsény, Románia, iosif.andras@gmail.com*

² *Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék. Petrozsény, Románia,*

³ *Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék. Petrozsény, Románia*

Abstract

Minerals are an essential component of many parts of today's fast-growing clean energy technologies – from wind turbines and power grids to electric vehicles. Demand for these minerals will grow rapidly as the clean energy transition accelerates. The paper examines some prospects for the transformation of the complex relationships between minerals and the energy sector in the green transition, focused mainly on electric vehicles expansion and related mineral resources demand increase.

Keywords: *green transition, mineral raw material, electric vehicles.*

Összefoglalás

Az ásványi anyagok a mai gyorsan növekvő tisztaenergia-technológiák számos részének alapvető alkotóelemei – a szélturbináktól és villamosenergia-hálózatoktól kezdve az elektromos járművekig. Az ezen ásványok iránti kereslet gyorsan növekedni fog, ahogy a tiszta energiára való áttérés felgyorsul. A jelen előadás az ásványok és energiaágazat zöld átállása közötti összetett kapcsolatok átalakulásának egyes kilátásait vizsgálja, főleg az elektromos járművek elterjedésére fókuszálva, és ehhez kötődő ásványi nyersanyag-igény növekedésére.

Kulcsszavak: *zöld átállás, ásványi nyersanyagok, elektromos járművek.*

1. Bevezetés

A tiszta energiára való globális átállás messze menő következményekkel jár majd az ásványkincsek iránti keresletre a következő 20 évben.

2040-re a tisztaenergia-technológiákból származó teljes ásványianyag-igény megduplázódik a fenntartható fejlődési (STEPS) stratégia szerint, és megnégyszereződik a fenntartható fejlődési (SDS) stratégia szerint. [1]

Mindkét foratókönyv szerint az elektromos járművek és az akkumulátoros tárolás a tisztaener-

gia-technológiákból származó ásványianyag-kereslet növekedésének mintegy felét teszi ki a következő két évtizedben, amit az akkumulátorok anyagai iránti növekvő kereslet ösztönöz.

Az elektromos járművek és az akkumulátoros tárolás ásványianyag-igénye tízszeresére nő a STEPS és több mint 30-szorosára az SDS-ben a 2040-ig tartó időszakban.

Tömeg szerint az ásványi keresletben 2040-ben a grafit, a réz és a nikkelt dominál. [2]

A lítium növekedési üteme a leggyorsabb, a kereslet több mint 40-szeresére nő az SDS-ben.

Az akkumulátorok esetében az alacsonyabb kobalttartalmú vegyi anyagok felé történő elmozdulás segít korlátozni a kobalt növekedését, amelyet a nikkellekreslet növekedése kiszorít. [3]

Az ásványi anyagok iránti igény a következő tisztaenergia-technológiák esetében aktuális:

- napelemes (közüzemi léptékű és elosztott);
- szél (szárazföldi és tengeri);
- koncentrált napenergia (parabolikus vályúk és központi torony);
- vízenergia;
- bioenergia;
- atomenergia;
- villamosenergia-hálózatok (átvitel, elosztás és transzformátor);
- elektromos járművek (akkumulátoros elektromos és plug-in hibrid elektromos járművek);
- akkumulátoros tárolás (közüzemi és lakossági);
- hidrogén (elektrolízisúton termelt és üzemanyagcellákkal értékesített).

Mindezek az energiatechnológiák fémeket és ötvözeteket igényelnek, amelyeket ásványi tartalmú ércek feldolgozásával állítanak elő.

Az ércek – a nyers, gazdaságilag életképes kőzetek, amelyeket bányásznak – előnyösek az érdeklődésre számot tartó ásványok felszabadítására és koncentrálására. Ezeket az ásványokat feldolgozzák a továbbiakban a szóban forgó fémek vagy ötvözetek kivonása érdekében. [4]

A feldolgozott fémeket és ötvözeteket ezután a végfelhasználási alkalmazásokban használják. Bár ez az elemzés lefedi a teljes ásványi és fémes értékláncot a bányászattól a feldolgozási műveletekig, az egyszerűség kedvéért az „ásványokat” reprezentatív kifejezésként használtuk.

Az ásványi anyagokat nemcsak a tisztaenergia-ágazatban használják, hanem széles körben alkalmazzák a teljes energiarendszerben, olyan technológiákban, amelyek javítják a hatékonyságot, és csökkentik az üvegházhatású gázok kibocsátást.

Például a leghatékonyabb széntüzelésű erőművek sokkal több nikkelt igényelnek, mint a legkevésbé hatékonyak, hogy magasabb égési hőmérsékletet tegyenek lehetővé.

Itt azonban kifejezetten az ásványi anyagok tisztaenergia-technológiákban való felhasználására összpontosítunk, mivel ezek általában lényegesen több ásványi anyagot igényelnek, mint a fosszilis tüzelőanyagokat alkalmazó technológiák korszerűsítése.

2. Kritikus ásványok és zöld átállás

Míg az ásványok létfontosságú szerepet játszanak a tiszta energiára való átállás támogatásában, az energia az ásványok előállításában is döntő fontosságú.

Részben a romló erőforrás-minőség miatt, az energetikai átállásból származó ásványok előállítása és feldolgozása egyre energiaigényesebb, és azonos mennyiségű termék előállításakor magasabb üvegházhatású gázok kibocsátásával jár. [5]

Az elmúlt években a bányászati és feldolgozó vállalatokra egyre nagyobb nyomás nehezedett, hogy foglalkozzanak ezekkel és más, társadalmi és környezeti teljesítményükkel kapcsolatos kérdésekkel.

Egyre több fogyasztó és befektető kéri a vállalatokat, hogy tegyék közzé az e kérdésekkel kapcsolatos célokat és cselekvési terveket.

A tisztaenergia-technológiákkal működő energiarendszer alapvetően különbözik a hagyományos szénhidrogénforrásokkal táplált rendszertől.

Bár a fotovoltaiikus naperőművek és szélerőműparkok működése nem igényel üzemanyagot, általában több ásványi anyagot igényelnek, mint a fosszilis tüzelőanyag-alapú társaik építéséhez, ami az ásványi anyagokra vonatkozik.

Tehát a tiszta energiára való áttérés az üzemanyag-intenzív rendszerről az anyagigényes rendszerre való áttérést jelenti.

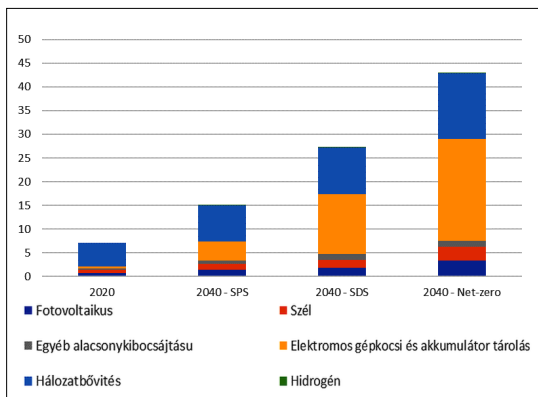
Mely ágazatokból származnak ezek a növekedések? A klímaváltozás-ideológia által vezérelt forgatókönyvekben az elektromos járművekben és az akkumulátoros tárolásban használt ásványi anyagok iránti kereslet jelentős dinamikát jelez, amely 2040-ig legalább harmincszorosára nő.

A lítiumigény növekedése a leggyorsabb, a kereslet 2040-re több mint 40-szeresére nő az SDS szerint, ezt követi a grafit, a kobalt és a nikkell (különböző 20-25-szörösre van becsülve).

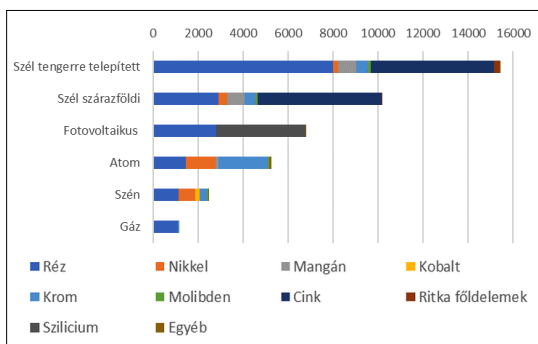
A villamosenergia-hálózatok bővülése iránti rézkereslet ugyanebben az időszakban több mint kétszeresére nő.

Az alacsony szén-dioxid-kibocsátású energiatermelés növekedése a klímaváltozáscélok elérése érdekében ahhoz vezet, hogy 2040-re megháromszorozódik az ágazat ásványi anyagok iránti kereslete (1. ábra).

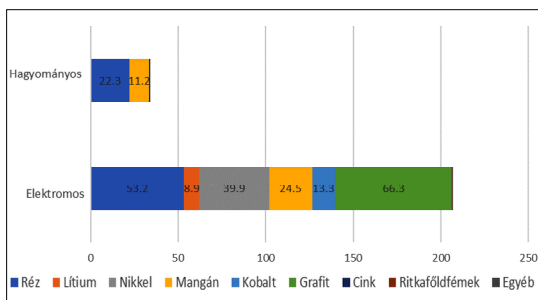
A keresletnövelés szempontjából, a szélenergia átveszi a vezetést, amelyet az anyagigényes tengeri szélenergia-berendezések támogatnak. A napelemes PV szorosan követi a hozzáadott kapacitás pusztá mennyisége miatt. (2. ábra)



1. ábra. Az ásványi anyagok iránti kereslet dinamikája különböző forgatókönyvek szerint



2. ábra. Különbözõ energiatermelõ technológiák fém-szükségleteinek összehasonlítása



3. ábra. Hagyományos és elektromos gépkocsik fém-szükségleteinek összehasonlítása

A vízenergia, a biomassza és az atomenergia csak csekély mértékben járul hozzá, tekintettel viszonylag alacsony ásványianyag-szükségletükre.

Más ágazatokban a hidrogén mint energiaforrás gyors növekedése alátámasztja az elektrolízisre szükséges nikkel- és cirkónium-, valamint az üzemanyagcellák platinacsoportú fémek iránti jelentős növekedését. [6]

Egy tipikus elektromos autó hatszor annyi ásványi anyagot igényel, mint egy hagyományos autó,

és egy szárazföldi szélenergia erőforrás annyira igényel, mint egy ugyanolyan kapacitású gáztüzelésű erőmű. (3. ábra)

2010 óta az új egységnyi villamosenergia-termelési kapacitáshoz szükséges ásványi anyagok átlagos mennyisége 50%-kal nőtt, mivel a megújuló energiaforrások részesedése a teljes kapacitásbővítésből nő. [7]

Ahogy ez az előbbiekből látható, nemcsak az úgynevezett kritikus ásványi nyersanyagokkal való ellátás okoz gondokat, hanem a hagyományos fémek szükségletére is komoly változásokat gyakorol a zöld átállás. [8]

Ilyen például az alumínium és a réz. Az alumínium főleg az elektromos gépkocsik súlycsökkentéséhez szükséges, ahhoz hogy az akkumulátorok súlyát kompenzálja.

A réz igény drasztikus növekedését pedig annak szükséglete, a megújuló energiatermelés és szállítástechnológiák kivitelezése okozza.

Mindkét fém termelése viszont energiaintenzív a termelési lánc mindegyik szakaszában, tehát a zöldenergia-többlet nagy részét ezek a folyamatok felemésztik, így a nettó kibocsátás csökkentése megkérdőjelezhető.

A réz esetében kritikus helyzet állhat elő amiatt, hogy a létező és előrelátható készletek alacsonyabb tartalmúak, ezek feldolgozásuk energiaigényesebb, és amúgy a Hubert szerinti csúcstermelés pár év alatt megvalósul. [9]

A tiszta energiára való áttérés az üzemanyag-intenzív rendszerről az anyagigényes rendszerre való áttérést jelenti.

3. Európa és a kritikus ásványi anyagok ellátása

2020 szeptemberében az Európai Bizottság egy sor dokumentumot tett közzé annak érdekében, hogy biztonságosabbá és fenntarthatóbbá tegye Európa nyersanyagellátását. Aktualizálta a korábbi tanulmányokból származó szakpolitikai irányait, hogy azok igazodjanak a 2030-ra és 2050-re vonatkozó új éghajlat-politikai törekvésekhez. [8]

A szakpolitikai csomag a 2011. évi 14-hez képest 30-ra bővítette a kritikus fontosságú ásványok listáját. A bauxittal, titánnal és stronciummal együtt a lítium 2020-ban került fel először a listára, tükrözve a régió azon törekvését, hogy támogassa az akkumulátor- és EV-gyártó ipart.

Néhány EU-tagállam erős fémfinomító és -gyártó bázissal rendelkezik. Finnország finomítja a világ finomított kobalttermelésének mintegy 10%-át. A régióban jelentős gyártók állítanak elő nape-

lemes alkatrészeket, szélturbinákat és elektromos járműveket.

A régió azonban szinte teljes mértékben a külső bányászati ellátástól függ, számos energiaátmenethez szükséges ásványi anyag, például a lítium, a kobalt és a ritka fémdelemek esetében.

Az Európai Unió azt tervezi, hogy keresi a kritikus fontosságú ásványok belföldi beszerzésének lehetőségeit, például a bányászat utáni régiókban a fokozott fémkitermelés lehetőségeinek kiaknázásával. Az uniós cselekvési terv becslése szerint ez azt eredményezheti, hogy 2025-re Európa lítiumkeresletének 80%-át európai forrásokból fogják fedezni.

A terv végrehajtása érdekében az Európai Unió létrehozta az Európai Nyersanyagszövetséget, amely magában foglalja az értéklánc szereplőit, a tagállamokat és régiókat, a szakszervezeteket, a civil társadalmat, a kutatási szervezeteket, a befektetőket és a nem kormányzati szervezeteket.

A szövetség célja az ellátási láncok diverzifikálása, a beruházások bevonása a nyersanyagértékláncba, a technológiai innováció előmozdítása és a körforgásos gazdaságot támogató keret létrehozása.

4. Következtetések

Az ásványi anyagok a mai gyorsan növekvő tisztaenergia-technológiák számos részének alapvető alkotóelemei – a szélturbináktól és villamosenergia-hálózatoktól kezdve az elektromos járművekig. Az ezen ásványok iránti kereslet gyorsan növekedni fog, ahogy a tiszta energiára való átállás felgyorsul.

A tiszta energiára való globális átállás a következő 20 évben messzemenő következményekkel jár az ásványkincsek iránti keresletre nézve.

A tisztaenergia-technológiákból származó teljes ásványianyag-igény megduplázódik a fenntartható fejlődési (STEPS-) stratégia szerint, és megnégyszereződik a fenntartható fejlődési (SDS-) stratégia szerint 2040-re.

Mindkét forgatókönyv szerint az elektromos járművek és az akkumulátoros tárolás a tisztaenergia-technológiákból származó ásványianyag-kereslet növekedésének mintegy felét teszi ki a következő két évtizedben, amit főleg az akkumulátorok anyagai iránti növekvő kereslet ösztönöz.

Az ásványi anyagokat nemcsak a tisztaenergia-ágazatban használják, hanem széles körben használják az egész energiarendszerben, olyan technológiákban, amelyek javítják a hatékonyságot, és csökkentik az üvegházhatású gázok kibocsátását.

A tiszta energiára való áttérés az üzemanyag-intenzív rendszerről az anyagigényes rendszerre való áttérést jelenti.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] *Total Mineral Demand for Clean Energy Technologies by Scenario, 2010-2040*. IEA, Paris. <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-mineral-demand-for-clean-energy-technologies-by-scenario-2010-2040-2>
- [2] Carrara S., Alves Dias P., Plazzotta B., Pavel C: *Raw Materials Demand for Wind and Solar PV Technologies in the Transition towards a Decarbonized Energy System*. EUR 30095 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020. <https://doi.org/10.2760/160859>
- [3] Fizaine F., Court V.: *Renewable Electricity Producing Technologies and Metal Depletion: a Sensitivity Analysis Using the EROI*. *Ecological Economics*, 110. (2015) 106–118. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.12.001>
- [4] Giurco D., Dominish E., Florin N., Takuma Watari, McLellan B.: *Requirements for Minerals and Metals for 100% Renewable Scenarios*. In: Teske S. (eds): *Achieving the Paris Climate Agreement Goals*. (2019) 137–457. https://doi.org/10.1007/978-3-030-05843-2_11
- [5] Yannick Harrel: *Electromobility in the Automotive industry. A Technological and Geopolitical Shift*. *Multidiszciplináris Tudományok*, 11/5. (2021) 428–437. <https://doi.org/10.35925/j.multi.2021.5.44>
- [6] Henckens T.: *Scarce Mineral Resources: Extraction, Consumption and Limits of Sustainability*, *Resources, Conservation and Recycling*, 169. (2021) 105511. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105511>
- [7] Ballinger B. et al.: *The Vulnerability of Electric Vehicle Deployment to Critical Mineral Supply*. *Applied Energy*, 255. (2019) 13844. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113844>
- [8] https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/STATEMENT_22_5523
- [9] <https://www.goldmansachs.com/insights/pages/gs-research/copper-is-the-new-oil/report.pdf>



MARTIN LAJOS SZEREPE A KOLOZSVÁRI MAGYAR EGYETEMI OKTATÁSBAN

THE ROLE OF LAJOS MARTIN IN HUNGARIAN ACADEMIC EDUCATION IN CLUJ

Bitay Enikő^{1, 2}

¹ Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék

² Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, bitay.eniko@eme.ro

Abstract

Lajos Martin (1827–1897) was a mathematician, engineer, corresponding member of the Hungarian Academy of Sciences (1861), founding member of the Transylvanian Museum Society, first appointed professor at the Hungarian University of Cluj founded in 1872, one of the Hungarian pioneers of aviation, and also warden of the Evangelical church. In 2022 was commemorated the 125th anniversary of his death and also the 150th anniversary of the founding of the University of Cluj, of which he was professor, from the foundation until his death. He was also the rector of the institution in academic year 1895/96. His legacy (the floating wheel, his collection of papers containing his research and the Martin folder) was bequeathed by his children to the Transylvanian Museum Society, the institution where he gave many lectures and published the results of his research. The present study aims to present in more detail not only the part of his life revealed by his commemorative research, but also that part of his life which highlights his role in Hungarian education in Cluj, as educator and institution leader, marked by his faith in science.

Keywords: *education, research, history of science, Lajos Martin.*

Összefoglalás

Martin Lajos (1827–1897) matematikus, mérnök, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja (1861), az EME alapító tagja, az 1872-ben megalakult kolozsvári magyar egyetem elsőként kinevezett egyetemi tanára, a repülés egyik magyar úttörője, az evangélikus egyházközség gondnoka – 2022-ben rá emlékeztünk halálának 125 éves, illetve a kolozsvári egyetem alapításának 150 éves évfordulója alkalmából, amelynek a megalakulásától egyetemi tanára volt haláláig, az 1895/96-os tanévben pedig rektora is. Hagyatékát (a lebegőkereket, a kutatásait tartalmazó iratgyűjteményét, a Martin-mappát) gyermekei az Erdélyi Múzeum-Egyesületre testálták, arra az intézményre, amelyben számos előadást tartott, illetve kutatásainak eredményeit kiadványaiban tette közzé. Jelen tanulmány nem csupán a megemlékezés, az évfordulók jegyében tett kutatások által feltárt életének azon részét szeretné részletesebben bemutatni, amely által a kolozsvári magyar oktatásban vállalt szerepe domborodik ki, mint oktató, mint intézményszervező s mint a tudományosságának szánt hite által.

Kulcsszavak: *oktatás, kutatás, tudománytörténet, Martin Lajos.*

1. Bevezetés

Martin Lajos matematikus, mérnök, a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja (1861), az EME alapító tagja, az 1872-ben megalakult kolozsvári magyar egyetem elsőként kinevezett egyetemi tanára, a repülés egyik magyar úttörője, az

evangélikus egyházközség gondnoka – 2022-ben rá emlékezünk halálának 125 éves, illetve a kolozsvári egyetem alapításának 150 éves évfordulója alkalmából, amelynek a megalakulásától egyetemi tanára volt haláláig, az 1895/96-os tanévben pedig rektora is. Hagyatékát (a lebegőkereket,



1. ábra. Martin Lajos-portré (foto: Elinger Ede, Budapest, 1881. Forrás: MTA–KIK, Ms. 10.206/91)

a kutatásait tartalmazó iratgyűjteményét, a Martin-mappát) gyermekei az Erdélyi Múzeum- Egyesületre testálták, arra az intézményre, amelyben számos előadást tartott, illetve kutatásainak eredményeit kiadványaiban tette közzé. Martin Lajos életének, munkásságának, hagyatékának kutatása több éve zajlik, ezek részeredményeit, érdekességeit, tanúságait kívánjuk időközönként közreadni.

2. A tudós egyéniségek hagyatékának gyűjtése

Egy tudós tanár életpályájának kutatása mindig izgalmas feladat, főleg, ha a forrás- és adatgyűjtés olyan többletinformációhoz juttat, amely sok ismert, közölt adat átértelmezésére, alapos átvizsgálására kényszeríti az embert. Martin Lajos jellemzésére sok mindent fel lehet sorolni: tudásra szomjas egyéniség; a műszaki alkotásra irányuló figyelem; tudatos törekvés az újszerű megvalósítások iránt az álmoktól, ötletektől kezdve a felfedezésekig, majd ezek igazának bizonyítására irányuló törekvés erőfeszítés, az elért eredmény levédése, szabadalmaztatása, mindezek előadásokon való bemutatása; folyamatos publikálás több nyelven; oktatás, a tudásutánpótlás nevelése... Azt, hogy ki volt ő valójában, csakis úgy tudhatjuk meg, ha hagyatékát egybegyűjtjük, alkotásait, közléseit, a róla szóló irodalmat tüzetesen feldol-

gozzuk. A hagyatékgyűjtés az EME egyik jelentős feladata: felkutatni, gyűjteni, digitalizálni, őrizni, ápolni és kutathatóvá tenni a tudós egyéniségek kallódásra ítélt hagyatékait. Martin Lajos esetében ez annál is érdekesebb feladat volt, hiszen gyermekei 1913-ban átadták az EME-nek apjuk találmányát, a lebegőkereket, több irattal, rajzzal, dokumentummal, hogy ez ily módon megőrződjék, itthon maradjon. Az évek során hanyattatott sorsra voltak utalva a két világháború, majd az EME megszüntetése, gyűjteményeinek elkobzása miatt. Jelenleg ez a hagyaték két intézmény kezelésében van. Martin Lajos mappáját a Román Állami Levéltár Kolozs Megyei Igazgatósága őrzi, a lebegőkerék az Erdélyi Nemzeti Történeti Múzeumban található. Mindezek digitalizált változata a több éve gyűjtött anyagokkal együtt, Martin Lajos-gyűjteményként egy helyen, a róla szóló irodalommal együtt az EME által működtetett Erdélyi digitális adattár Tudóstárában található.[1]

3. Martin Lajos tanulmányai (képzései), (középiskolai) oktatói tevékenysége

Martin Lajos 1827. augusztus 30-án született Budán, tizenkét gyermekes család hetedik gyermekeként. Házi tanulóként kezdte tanulmányait, majd a budai evangélikus iskola diákjaként folytatta. Már ekkor, diákként nagy érdeklődéssel foglalkozott egyik tanára hatására a csillagászatall. Ezt követően a budai katolikus főgimnáziumban folytatta tanulmányait, ahol magas szintű matematikai tudását alapozta meg. Egyetemi éve alatt nagy érdeklődést mutatott a különböző szakterületek iránt, két évet tanult a budapesti tudományegyetemen, bölcsészeti szakon, két évet a műegyetemen, mérnöki szakon, majd az 1848-as szabadságharc kitörésekor félbeszakította tanulmányait. Martin Lajos önként jelentkezett a honvédséghez, fegyvert fogva a szabadság eszméjéért. A világo-si fegyverletétel után egy ideig a megtorló hatalom bosszúja elől bujdosott. 1849-ben elfogták, néhány hétig tartó fogság után besorozták közlegénynek az osztrák hadseregbe.

A forradalom leverése után, 1849–1851 között iskolaszolga volt Nápolyban az utász-katonaiskolában. Ezt követően átvezényelték a nápolyi műszaki tisztképzőbe iskolaszolgának, itt feleltesei hamarosan felismerték matematikai tehetségét – ugyanis kedvtelésből a növendékek számára matematikai előadásokat tartott –, ezért áthelyeztették a hadmérnöki akadémiára. A bécsi tiszti akadémián az utolsó évfolyamba osztották be kiemelkedő tudásának köszönhetően. Főhadnagy

lett, majd kinevezték a kremsi műszaki tanszázad mértan-, géptan- és építészettanárává, 27 évesen. Itt született első találmánya 1856-ban, a forgó hadirakéta tervezete. Ugyanekkor forgó röppentyűt készített hadászati célokra, amely annyira megnyerte a magas osztrák vezérkar tetszését, hogy megbízást kapott kormányozható léghajó szerkesztésére. Martin ezt nem vállalta el, mert a repülés jövőjét a dinamikus repülésben látta.

A hadseregből 1859-ben távozott, hazautazott Magyarországra. Budán magánmérnöki gyakorlatlalt próbálkozott. Egy középítkezési pályázatra benyújtott, kiváló műszaki tervére a városi tanács felfigyelt, és városi főmérnöké választották. „1860 végén budai főmérnök lett, a provizórium kezdetén azonban lemondott, s tanár lett a körmöcbányai reálnál, hol a kolozsvári egyetem föllállításáig szolgált.” [2]. 1859–1861 között Budapesten magánmérnöként dolgozott, majd megszerezte a tanári képesítést is.

Időközben Martin Lajost 1861. november 27-én a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagjává választotta, 1862-ben tartotta meg székfoglaló értekezését *A madárszárny erőzete* címmel.

Tanári képesítést szerzett, 1862. október 5–6-án záróvizgázott: írásbeli kérdésekre kellett választ adnia mennyiségtanból és erőműtanból, majd szóbelizett október 9-én, a fentebb említett tantárgyokon kívül német nyelvből, földrajzból és történelemből, a természettanból és természetrajzból.

1863-ban Körmöcbányán a reáliskola tanára lett. 1863. október 9-én Martin Lajos a körmöcbányai alreáltanodánál a mértan és mértani rajz tanítójelöltjeként bizottság előtt vizgázott. Mindezt a vizsgálati bizonyítvány tanúsítja: „Martin Lajos alreáltanodai tanító Úr, ezennel német és magyar nyelvű főreáltanodákhoz, a mennyiségtan, erőműtan és géptan tanítására teljesen képesítettnek nyilvánítatik!” [3].

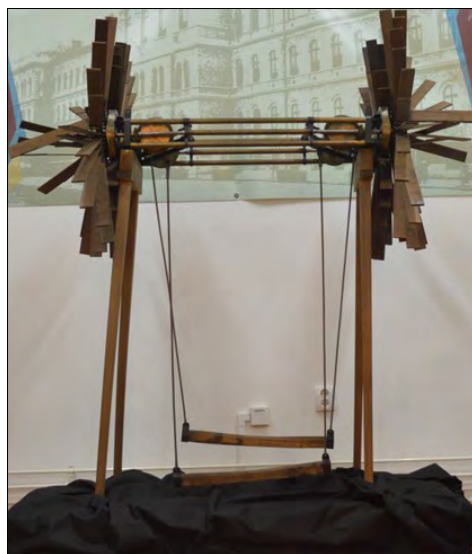
Ezt követően 1864–1868 között a pozsonyi reáliskolában és a Róm. Kat. Főgimnáziumban volt tanár. Martin Lajos az 1864–65-ös tanévben a vegyes vallású főreáltanodában mennyiségtant tanított a IV., V. és VI. osztályban, valamint gépészetet a VI. osztályban. Emellett pedig az V. osztályfőnöke is. [4] Ugyancsak a pozsonyi főreáltanodában tanított az 1866–67-es tanévben mennyiségtant a IV., V. és VI. osztályban, emellett pedig a IV. osztályfőnöke. [5] A közoktatásügyi miniszter megbízására magyar nyelvű mennyiségtan-, mértan- és ábrázolómértan-tankönyvet írt.

1868-ban Pesten távírdagondnok, majd 1869-ben Debrecenben a távírda helyettes igazgatója.

Martin Lajos 1871-ben költözött Kolozsvárra, ahol a távírda igazgatójává nevezték ki, majd 1872-ben, 45 évesen felkérték, hogy legyen a kolozsvári tudományegyetem felsőbb matematikai professzora. Haláláig, 25 évet állt az oktatás szolgálatában. Az 1890-es években Martin Lajos Kolozsváron, a Gyár utcában lakott a Fürdő utca felőli végén, vele rézsút szemben Gyulai Farkas barátja. Az utca a Lasky-féle repceolajgyárról volt elnevezve; korábban vasöntöde volt az olajgyár helyén, 1900 után az utcának már Fadrusz János lett a neve, ma pedig M. Eminescu)

4. Martin Lajos, a mérnök-kutató

A repüléssel életének utolsó évtizedében kezdett behatóbban foglalkozni. Terjedelmi korlátok miatt csupán néhány adatot tekintünk át kronológiai sorrendben, amelyek érzékeltetik kutatói munkásságát a repülés területén: 1871–1875-ben készítette első csapkodó szárnyú repülőgépmo-delljét; 1893. július elején készítette el lebegőkerekének modelljét; 1893. októberi ülésén Kolozsvárt az EME-nél Martin először mutatta be a „lebegőkerek” mintáját. 1893-ban szabadalmaztatta a lebegőkereket; 1894-ben adta ki *A lebegőkerek a Wellner-félel összehasonlítva* című munkáját; 1894. március 31-én a 81 303-as számú szabadalmát iktatták Németországban; 1895-ben rektori székfoglaló beszédében is a repülést jelölte meg a tudomány legfontosabb feladatául; 1896. augusztus 30-án próbálta ki a lebegőkereket a kolozsvári egyetem kertjében.



2. ábra. Martin Lajos lebegőkereke (2013, a szerző felvétele) [6]

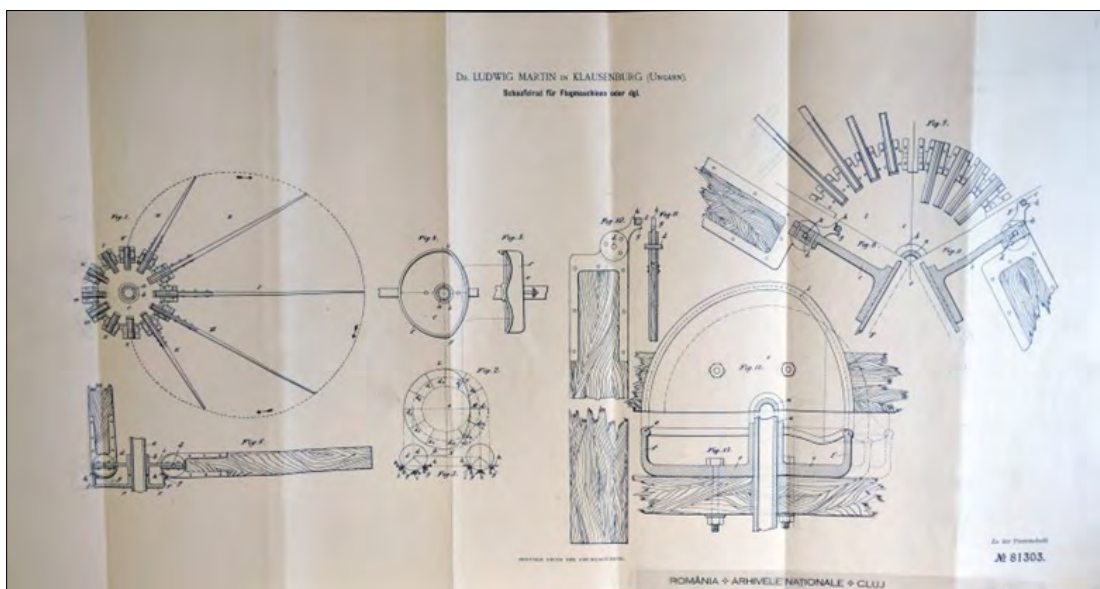
5. Martin Lajos és az Erdélyi Múzeum-Egyesület

Martin Lajos alapító tagja volt az EME-nek. Előszóval tartott előadásokat, illetve az EME tudományos kiadványaiban is publikálta kutatásainak eredményeit. Az EME hitvallását magának tekintette, s minden lehetőséget megragadott a rendezvényeken aktívan részt venni, de még a gyűjtemények fejlesztéséhez is hozzájárult, így pl. egy feljegyzésben találhatjuk, hogy 20 db ásványt ajándékozott a kolozsvári unitárius iskola ásványgyűjteménye számára [7]. Martin Lajos szoros kapcsolata az EME-vel nem volt hiábavaló, hiszen tanári, egyetemi munkássága mellett a szívügyének tekintett repülő kutatásainak itt megfelelő háttérrel találkozott, mind az eredményeinek bemutatására, mind ezek közlésére, terjesztésére. Ezt családja is jól tudta, amikor hagyatékát az EME-nél kívánták elhelyezni: a lebegőkereket és ehhez tartozó dokumentációkat, egy mappát. A Martin Lajos-mappa összesen 291 oldal gyűjtött dokumentumokból tevődik össze: életrajza, szabadalmak, levelezések, a találmányok leírása, rajzai, valamint ezzel kapcsolatos levelezései, az ő, illetve azonos nevű fiának levelezése. A dokumentumok nyelve zömmel magyar vagy német, de angol és francia nyelvű is található köztük. A mappa dokumentumainak időperiódusa 1871–1913 közötti.

6. Martin Lajos szerepe a kolozsvári magyar egyetemi oktatásban

1872. szeptember 29-én egyike az elsőként kinevezett ki rendes tanároknak: „Ő Felsője a kolozsvári egyetemhez Ischlben szept. 29-én tanárokká kinevezte ... 3) a bölcsészeti és mennyiségtan-természettud. karhoz pedig Szamosi Jánost, Hóman Ottót, Imre Sándort, Meltzl Hugót, Szász Bélát, Felméri Lajost, Szabó Károlyt, Ladányi Gedeont, Finály Henriket, Martin Lajost, Abt Antalt, Fleischer Antalt és Koch Antalt rendeseknek”. [8] A magyar minisztérium előterjesztésére az újonnan felállítandó kolozsvári egyetemről és kinevezett tanáraitól a Budapesti Közlöny [9] és a Kolozsváron a Magyar Polgár [10] is hírt ad.

Kolozsváron a csillagvizsgáló 1832–1872 között a piarista matematikus-csillagász tanárok irányítása alatt működött. Ezt követően a kolozsvári egyetem felállításakor a csillagvizsgáló felügyeletét és tudományos irányítását Martin Lajos matematikaprofesszorra bízták. Martin, megbecsülve a régi műszereket, igyekezett korszerű műszerekkel is kiegészíteni, két delelőcsővel, teodolittal, üstököskeresővel és egy ingás órával. 1872–1885 között az egyetem és a főgimnázium a csillagvizsgálót közösen használta. Martin Lajos az egyetemi hallgatóknak csillagászati gyakorlatot 1893-ig tartott a csillagvizsgálóban, amikor a régi egyetemi épülettel együtt ezt lebontották. Az újonnan felépült egyetemi épületben, a mai Babeş–Bolyai



3. ábra. Martin Lajos lebegőkerekének tervrajza [Forrás: Martin-mappa]

Tudományegyetem központi épületében már nem kapott helyet. Ekkor már nem is felelt meg a tudományos követelményeknek, elavult műszerei miatt. (Új csillagvizsgálót, korszerű berendezéssel, a Tordai úton létesítettek 1924-ben.) [11]

Martin Lajos a Matematika és Természettudományi Kar első prodekánja 1872–1873 között, elemi csillagásztant tanított heti 3 órában, felsőbb mennyiségtant heti 5 órában, egészleti hánylatot (ma integrálszámítás) heti 5 órában, gyakorlatot a felső mennyiségtanból heti 2 órában, csillagászati gyakorlatot heti 1 órában, külzeléki hánylat (ma differenciálszámítás) alkalmazását a mértanra heti 5 órában.

Martin Lajost az egyetem Almanachjában 1873–74 között „nyilvános rendes tanárként” említik, valamint a középtanodai tanárvizsgáló bizottság tagjaként, a magyar királyi természettudományi társulat és a magyar mérnökegylet rendes tagjaként. Lakhelyeként pedig a Linczeg utca 8. szám van feltüntetve. Az egyetemen 1918-ig folyamatosan tanították az ábrázoló geometriát [12]. Martin Lajos az 1972/73-as tanévben kezdte oktatni „leirati mértan”-ként, majd az 1873-as tanév második felében ő tanította az ábrázoló mértan tantárgyat heti két órában. 1875-ben még vetülettant, komplex függvények elméletét, variációszámítást és mértani rajzot is oktatott az egyetemen – olvashatjuk az egyetem Almanachjában [13].

7. Oktatásnak szánt kiadványai: könyvei, jegyzetei

A Martin Lajos hagyatékában fellelhető oktatásnak szánt kézíratai arról tanúskodnak, hogy nagy figyelmet és időt szánt az oktatási anyagok elkészítésére. Így találhatóunk jegyzetfüzetet, kéziratot, nyomtatott kézikönyvet is a mechanika, a mennyiségtan, az ábrázoló mértan és a variációszámítás területén. Tekintsük át az alábbi öt kéziratát:

- Jegyzetfüzet. Notizen-Buch [14]
- Mechanika. Kézirat [15]
- Útmutatás a szabadkézi mértani rajz előadására [16]
- A mértani rajz minták szerint. Reálgymnásiumok s ipartanodák számára [17]
- Variatio számítás [18]

7.1. A jegyzetfüzet, NOTIZEN-BUCH, 1852.

A jegyzetfüzet német nyelvű kézirat, amely 1 borító-, 49 írott és 9 üres oldalból áll (összesen 30 ívet tartalmaz). A jegyzetfüzet: NOTIZEN-BUCH 1852-ből származik, a benne foglalt írások nincsenek keltezve. Tehát csak azt tudhatjuk bizonyosan, hogy 1852-ben, avagy az azt követő időszakban keletkezhetek a beírások. Keletkezési dátuma és helyszíne nincs feltüntetve. Ebben az időszakban Martin a nápolyi műszaki tisztképzőben iskolaszolga volt.

A kézirat oktatásra szánt jegyzetnek vélhető.



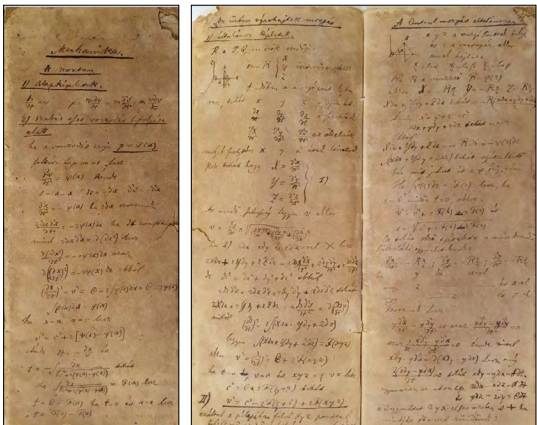
4. ábra. Martin Lajos jegyzetfüzetének borítója, valamint az első és 42. (minta)oldala (1852)

A jegyzet első részét a véges differenciák elméletének leírása teszi ki. Ezt egy vektorösszegzést vélhetően tárgyaló rész, majd pedig a permutációk elmélete követi. A „Fundamenten de Analysis” című, ezután következő fejezet függvények tulajdonságait tárgyalja. Ezt követi a statikus nyomtatók, majd különböző statikai feladatok, melyek között a kötélúrlódást felfüggesztett csigában, körszelet súlypontjának számítását, illetve a lejtőn mozgó hengeres test vizsgálatát vélem felfedezni. A jegyzet következő fejezete áramlástani alapismereteket vezet be. A jegyzetet a többváltozós függvények véges differenciáit tárgyaló rész zárja. Érdekes, hogy a jegyzet legnagyobb részben a véges differenciákat alkalmazza, míg az áramlástani rész a differenciálszámításra épül.

7.2. Mechanikajegyzet

Kézirat, a 42 (33 írott és 9 üres) oldalból álló füzetecskében (összesen 21 ív). Keletkezési dátuma és a helyszín – ahol akkoriban tartózkodott, és írta ezt a jegyzetet – nincs feltüntetve. Kézirat, amely oktatásra szánt jegyzetnek vélhető.

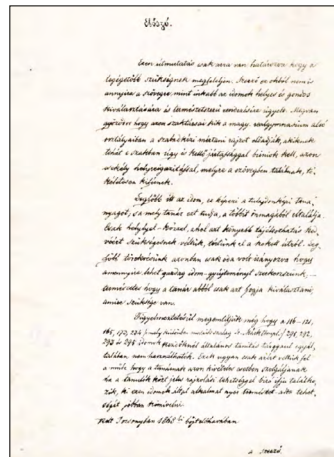
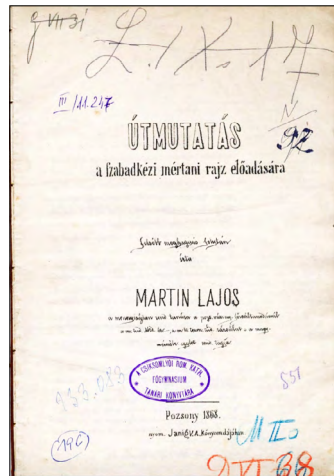
A mechanikajegyzet a dinamika alapfogalmainak bevezetésével kezdődik. Differenciálelmélet alapján fogalmazza meg a mozgás egyenleteit, majd rátér a központi erőterben való mozgás tárgyalására, amelyet „centrál-mozgásnak” nevez. Ezt a Naprendszer mozgástörvényeinek leírása követi. Ezeket követi a – vélhetően – bolygók elliptikus alakú pályán való mozgása, a ferde hajítás ellenállás nélküli, illetve ellenálló közegben, illetve gömb alakúnak vélhető testek különböző síkgörbékben való periodikus mozgása gravitáció hatása alatt. A fejezet neve „Az inga mozgásról”. A jegyzetet az anyagi pontrendszer mozgását tanulmányozó fejezet zárja.



5. ábra. Martin Lajos Mechanika című kéziratának első, illetve 6–7. oldala

7.3. Útmutatás a szabadkézi mértani rajz előadására

A könyv útmutató a szabadkézi mértani rajz tanításához, kézikönyv azoknak a tanároknak, akik már jártasak ebben a szakmában, de szükségük van az elméleti tudás mellé gyakorlatokra is. Ezért a könyv valójában egy gazdag idomgyűjtemény, melyből a tanár azt választhatja ki a tanításhoz, amely a tananyag gyakorlatba ültetéséhez leginkább megfelel. A 28 oldalas kézirat 295 (geometriai) idomot (rajzot) tartalmaz: I. Az egyenes vonal, II. A zárt kerületi idomok, III. A rendes sokszögek, IV. A rendes sokszögek legegyszerűbb alkalmazása, V. A csillagalakú sokszögek, VI. A rendes- és csillagalakú sokszögek alkalmazása, VII. Az összméretes vonalak, VIII. A körvonal alkalmazása, IX. Az egyenes vonalú rózsák című fejezeteket foglalva magában.



6. ábra. Martin Lajos Útmutatás a szabadkézi mértani rajz előadására című kézikönyve borítója és első oldala, az előszóval

7.4. A mértani rajz minták szerint

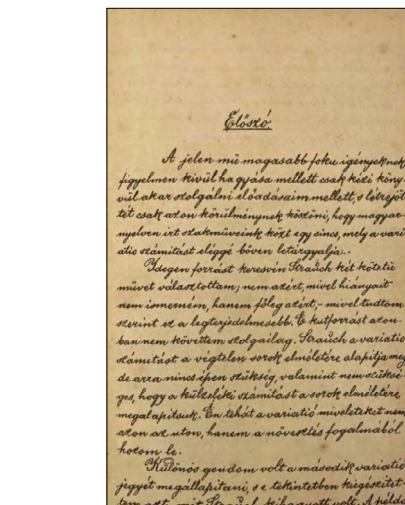
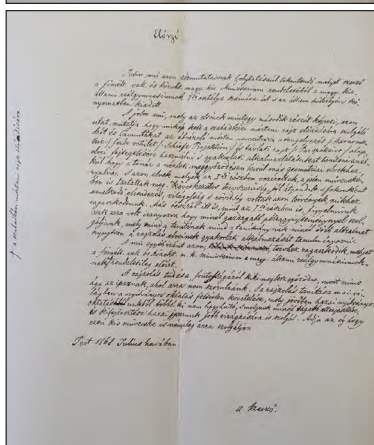
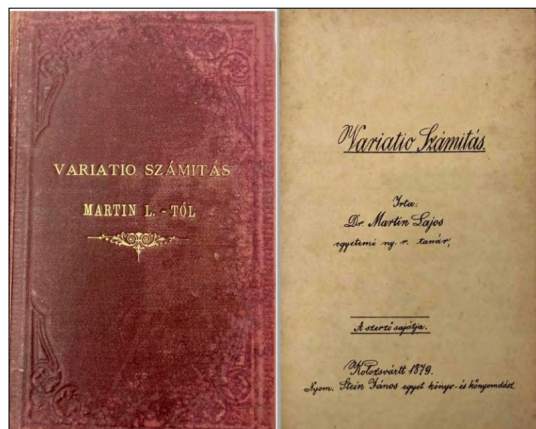
Eredetileg ennek a jegyzetnek ezt a címet szánta: Útmutatás A mértani rajz minták szerint előadására. Ezt áthúzva, erre javította: A mértani rajz minták szerint. A „reálgymnásiumok s ipartanodák” számára készült. Martin Lajos ekkor a pozsonyi főreáltanodának volt rendes tanára, a Mérnök-egylet rendes tagja, valamint a Magyar Tudományos Akadémia levelező tagja („Martin Lajos a mennyiségtan rend. tanára a pozs. vár. Főreáltanodának, a m. tud. Akadémia lev. –; a m.k. term.tud társulat s a magy. Mérnök-egylet rend. Tagja”).

A könyv, mely folytatása az előzőnek (Útmutatás a szabadkézi mértani rajz előadására), 13 ív szövegrészt és 200 geometriai idomot tartalmaz. Útmutatóul szolgál a mértani rajz minták szerinti

tanítására, arra, hogyan lehet a szabadkézi mértan tanítására szolgáló drót- és famintákat az ábrázoló mértan tanításában is felhasználni. Az útmutató gazdag példagyűjteményt tartalmaz, mely sok lehetőséget ad a rajzolás elveinek gyakorlatban való alkalmazására. Az útmutató a közoktatási minisztérium által előírt rendeleteknek megfelelően íródott. Fontosságát alátámasztja, hogy az ipar minden ágában szükség van a rajztudásra.

7.5. Variatio-számítás

Magyar nyelven írt jegyzetei azt tanúsítják, hogy fontosnak tartotta az anyanyelven való oktatást. Martin Lajos Variatio Számítás című kézikönyve előszavában ezt írta: „A jelen mű magasabb fokú igényeknek figyelmen kívül hagyása mellett csak kézi könyvül akar szolgálni előadásaim mellett, s létrejöttét csak azon körülménynek köszöni, hogy



7. ábra. Martin Lajos A mértani rajz minták szerint című kéziratának borítója és az első oldala az előszóval

8. ábra. Martin Lajos Variatio Számítás című kézikönyvnek külső és belső borítója, az előszó töredéke (Kolozsvár, 1879. május)

magyar nyelven irt szakműveink közt egy sincs, mely a variatio számítását eléggé bőven letárgyalja”.

A Variatio Számítás tehát egy kézikönyv az előadások mellé, mely egyben hiánypótló, ugyanis a magyar nyelven írt szakkönyvek között nem volt korábban olyan, amely megfelelő részletességgel tárgyalja a variációs számítását. Kézikönyve alapján a német matematikus, tanár, rektor és szakíró Georg Wilhelm Strauch kétkötetes művét [19] veszi alapul, de nem követi mindenben Strauch variációs számítási elméletét, és kiegészíti, ahol szükségesnek látja. Kézikönyvét forrásnak, segéd-eszköznek szánja egy jobb variációs számítási mű kidolgozásához.

8. Martin Lajos szerepe az egyetem irányításában

Martin Lajos az egyetem vezetőségében is vállalt szerepet, így „a matematikai és természet tud. karnak 1877/8., 1882/3., 1883/4. és 1891/2-ben volt dékánja. 1872/3., 1878/9., 1884/5., 1886/7., 1887/8. és 1892/3-ban volt pródékánja, az egyetemnek 1895/6. tanévi volt rektora” [20]. [13, 21, 22]

Mint már említettük, Martin Lajost az 1872–1873 közötti időszak első prodékánjának (dékánhelyettesének) nevezték ki a Matematika és Természet-tudományi Karon. [23] Tehát az egyetem alapítása óta töltött be időszakonként vezetői funkciókat, mint prodékán, dékán s végül 1895/96-ban rektor. A vezetői állások abban az időben egyéves ciklusok voltak, s úgy váltakoztak, hogy pl. a prodékánból lett dékán, majd a dékánból prodékán, ezáltal is fenntartva a vezetésben a folytonosságot, a kitűzött hosszú távú tervekhez, meghatározott irányelvekhez igazodva.

Az egyetem vezetésének csúcsára jutásakor, az 1895-ben megtartott rektori székfoglalójában a saját kutatási tudományterületéről értekezett, beszédében a repülést jelölte meg a tudomány legfontosabb feladatául. Azt gondolhatjuk, hogy ez egy örömlap lehetett számára, melyben a karrier csúcsára jutva, rektorként a kedvenc tudományosságáról is értekezhetett, azonban ez a nap nem nevezhető teljes sikernek örömteli pillanatnak. Mindezt egy szomorú családi tragédia árnyékolta be. Márki Sándor naplójában 1895. szeptember 15-én a következő beírást olvashatjuk: „... részt vettünk az egyetem megnyitóján, ezúttal már az egyetem saját középponti épületének elkészült keleti szárnyában. Az új rektort, Martin Lajost, utolérte az utóbbi időkből való rektorok végzete, rektori beköszöntőjét abban a tudatban kellett elmondania, hogy egyik leánya ravata-

lon fekszik ...”. [2] Ugyanis Martin Lajos legnagyobb lánya, másodszülött gyermeke, Zsuzsanna (sz.1866. 12. 12., Pozsony) életének 29. évében, 1895. szeptember 14-én hosszas szenvedés után hunyt el a megnyitó előtti napon. Temetése 1895. szeptember 16-án, délután volt, „nagy részvét mellett” [24].

Fontos kiemelnünk, hogy Martin Lajos nemcsak feltaláló, matematikus, mechanikus és a repülés eszméjének az úttörője volt, hanem kiváló pedagógusként is megállta a helyét. Fél évszázadon át (amiből 25 évet a kolozsvári tudományegyetemen töltött el) tanított és nevelt, több generációt, a természettudományos gondolkodásra. Életét végigkísérte az oktatás, akár mint iskolaszolga, katonatiszt, reáltanodai tanító, akár mint egyetemi tanár (professzor), elhivatottan állt az oktatás szolgálatába.

9. Martin Lajos a kolozsvári Házsongárdi lutheránus temetőben

Martin Lajos 1897. március 4-én reggel 5 órakor hunyt el. Temetése március 6-án volt a kolozsvári Házsongárdi lutheránus temetőben. A ravatalnál dr. Farkas Gyula, a matematika kar dékánja mondott búcsúbeszédet. Márki Sándor naplójában ezt a feljegyzést olvashatjuk: „A Kolozsvár mai számában névtelenül ezt írtam halálára: „Emberi mesterművei akart fölszállni a légbe / S míg maga lenn maradt, lelke az égbe röpt. / Ösmeri már az utat s megsúgja utódinak onnan / A nagy titkot, amely földit az égbe emeli!”. [2]



9. ábra. Martin Lajos felújított sírköve a Házsongárdi lutheránus temetőben

10. Összegzés

Egy műszaki alkotás sikeres életre keltéséhez nem mindig elegendő az alkotó zsenialitása, elhivatottsága és állhatatossága; ugyanolyan mértékben szükség van a konjunktúra megfelelő alakulására, a megfelelő személyek találkozására és a közös felismerés erejére, amely a találmányba éltető szikrát lehel, hogy ezzel elindítsa azt az alkalmazás világában.

Sajnos nem volt hazai érdeklődés a „találmány(ok)” iránt, a kutató pedig nem volt hajlandó mindezt külföldön értékesíteni, ezért korlátolt anyagi lehetőségek között küzdött a fejlesztéssel, amíg ereje engedte. A repüléshez kötött, igen gazdag tudományos munkássága eredményeit áttekintve olyan tudós képe jelenik meg, aki korát jóval megelőzte, habár egyes számításaiba tévedések is becsúsztak. A vitatott kérdésekben igyekezett nyíltan helytállni, de ez nem von le semmit abból az értékből, amelyet magáénak tudhatott, a megbecsülés, az értékelés és emlékének mindenkor megőrzése a mi feladatunk, az utókor feladata. Fontos a birtokunkban levő műszaki örökség feltárása, rendszerezése és megőrzése. Elsősorban a fiatal nemzedék számára ösztönző példa, de gazdag ötlettár is, további kutakodások forrásnyaga.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetemet fejezem ki az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának a jelen publikáció megjelenéséhez nyújtott támogatásért. Ugyanakkor köszönet illeti Székely Adrienn és Talpas János kollégákat, akik a Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeumban feltárt dokumentumokat segítettek digitalizálni.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bitay E.: *Szemelvények Martin Lajos (1827–1897) műszaki hagyatékából*. Műszaki tudományos közlemények, 6. (2017) 27–38.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2017.06.03>
- [2] Erdész Á. (szerk.): *Márki Sándor naplói II. 1893–1903*. Gyula, 2018. 99., 115., 171.
- [3] *Martin Lajos vizsgálati bizonyítvány*. Magyar Műszaki és Közlekedési Múzeum Műszaki Tanulmánytár, Témagyűjtemény 264, 6. boríték, 182.
- [4] Érdemsorozat az 1864/65 tanév második felében. Pozsony, 1865. 1.
- [5] Érdemsorozat az 1867/68 tanév második felében. Pozsony, 1867. 1.
- [6] Bitay E., Máté M.: *Martin Lajos a feltaláló mérnök és lebegőkereke*. Műszaki Tudományos Füzetek - FMTÜ, 18. (2013) 74–82.

<https://doi.org/10.36243/fmtu-2013.11>

- [7] Kovács J.: *Értesítés az unitárius iskolákról. 1. A kolozsvári főtanodáról*. Keresztény Magvető, 14/4. (1879)
<https://eda.eme.ro/handle/10598/19319>
- [8] Márki S.: *Az egyetem eszméjének s a kolozsvári M. Kir. Ferencz-József-tudomány-egyetemnek története*. In: *A kolozsvári Magyar Királyi Ferencz-József-tudomány-egyetem története és statisztikája*. Kolozsvár Acta Reg. Scient. Universitatis Claudiopolitanae Francisco-Josephinae Anni MDCCCXCV—VI. Fasciculus II. Ajtai K. Albert könyvnyomdája. 1896. 33.
- [9] Budapesti Közlöny, 6. évf. 226. szám, 1872. október 3. csütörtök, 1805. 1.
- [10] Magyar Polgár, VI. évf. 227. szám, Kolozsvár, 1872. október 4. péntek. 2.
- [11] Józsa J.: *Tanulmányok Erdély régi csillagvizsgáló tornyai*. Kriterion, Kolozsvár, 2016. 162–163.
- [12] Oláh-Gál R.: *Az ábrázoló geometria erdélyi oktatásának történetéhez*. Természet Világa, 2012. 143/10. 458.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/27193>
- [13] *A kolozsvári Ferencz-József Tudományegyetem Almanachja* MDCCCLXXIII–MDCCCXCVI-ról. (1873–1896).
- [14] Martin L.: *Jegyzetfüzet/Notizen-Buch*. 1852 (?).
<https://eda.eme.ro/handle/10598/33388>
- [15] Martin Lajos: *Mechanika*. Kézirat. .
<https://eda.eme.ro/handle/10598/33386>
- [16] Martin L.: *Útmutatás a szabadkézi mértani rajz előadására*. Janig V. A. könyvnyomdája, Pozsony, 1868. február.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/27004>
- [17] Martin L.: *A mértani rajz minták szerint. Realgymnásiumok s ipartanodák számára*. Pest, 1868.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/33387>
- [18] Martin L.: *Variatio számítás*. Stein János egyet. könyv- és könyvnyomdász, Kolozsvár, 1879.
<https://eda.eme.ro/handle/10598/27003>
- [19] Strauch G. W.: *Theorie und Anwendung des sogenannten Variationscalculus*, 1–2. kötet. Verlag u. Meyer & Zeller, Zürich, 1854.
- [20] *Gyászrovat: Martin Lajos*. Kolozsvár, Magyar Polgár, XI. évf. 1897. márc. 5., 52. sz. 3. p.
- [21] *Acta Reg. Scient. Universitatis Claudiopolitanae Francisco-Iosephinae Anni*. MDCCCLXXII–MDCCCXCVI. (1872–1896).
- [22] *A kolozsvári Ferencz-József Tudományegyetem Tanrendje az MDCCCLXXII–MDCCCXCVI. tanév I-ső felére*. (1872–1896).
- [23] *A kolozsvári M. Kir. Ferencz-József-Tudomány-Egyetem története és statisztikája*. Kolozsvár, 1896. 36.,100.
- [24] *Gyászrovat. Kolozsvár*, 9/211. 1895. szeptember 16.



KÜLÖNBÖZŐ MUNKAKÖZEGGEL MŰKÖDŐ HŐSZIVATTYÚK ÖSSZEHASONLÍTÓ EXERGETIKAI ELEMZÉSE

EXERGY ANALYSIS OF A VAPOUR COMPRESSION HEAT PUMP USING ENVIRONMENTALLY FRIENDLY REFRIGERANTS

Dósa János,¹ Tomuş Ovidiu-Bogdan²

¹ Petrosényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépészeti, Ipari és Közlekedésmérnöki Tanszék, Petrosény, Románia, iondosa@upet.ro

² Petrosényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépészeti, Ipari és Közlekedésmérnöki Tanszék, Petrosény, Románia, bogdantomus@upet.ro

Abstract

The paper presents the comparative exergetic analysis of heat pumps using refrigerants with different ozone depletion potential and global warming potentials. Globally, the air conditioning of houses is seen as a major energy challenge as the economic development of countries, the majority situated in hot climates, will lead to a growing demand for chilling. Added to this is the increasingly widespread use of heat pumps in areas with a temperate climate to increase energy efficiency. As a result, the environmental impact of refrigerants from ozone depletion potential and global warming potential point of view cannot be overlooked. On the other hand, an environmental benefit of high energy efficiency is the reduction of greenhouse gas emissions from fossil fuel combustion for various purposes. The purpose of this approach is to highlight how the use of different types of refrigerants will impact the exergy efficiency of heat pumps.

Keywords: *heat pump, exergy efficiency, refrigerants, environmental impact.*

Összefoglalás

A dolgozat bemutatja a különböző ózonlebontó potenciállal és globális felmelegedési potenciállal rendelkező hűtőközegeket használó hőszivattyúk összehasonlító exergetikai elemzését. Világviszonylatban a házak légkondicionálását nagy energiaügyi kihívásnak tekintik, mivel a túlnyomórészt forró éghajlaton elhelyezkedő országok gazdasági fejlődése a hűtés iránti kereslet növekedéséhez vezet. Emellett a hőszivattyúk egyre elterjedtebb alkalmazása a mérsékelt éghajlatú területeken az energiahatékonyság növelése érdekében tovább növeli a hűtőközegek széles körű felhasználását. Ennek eredményeként nem szabad figyelmen kívül hagyni a hűtőközegek környezeti hatását. Másrészt a magas energiahatékonyság környezeti előnye a fosszilis tüzelőanyagok különféle célú elégetése során keletkező üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Ennek a megközelítésnek az a célja, hogy rávilágítson arra, hogy a modern környezetkímélő hűtőközegek használata milyen hatással van a hőszivattyúk energiahatékonyságára.

Kulcsszavak: *hőszivattyú, energiahatékonyság, hűtőközeg, környezeti hatás.*

1. Bevezetés

Az energiatakarékosság napjainkban egyre fontosabb, mert a világ a 70-es évek óta gyakorlatilag állandó energiaválságban van, ami időről időre súlyosbodik.

Az energiaválságot egyre égetőbb környezeti problémák súlyosbítják, emiatt az új, környezet-

barát energiatermelési technológiák egyre nagyobb teret hódítanak.

Egy ilyen technológia a hőszivattyú, amely egy olyan hőerőgép, mely arra szolgál, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű környezetből hőt vonjon ki, és azt magasabb hőmérsékletű környezetbe leadja. Használatának célja a hőenergiával való

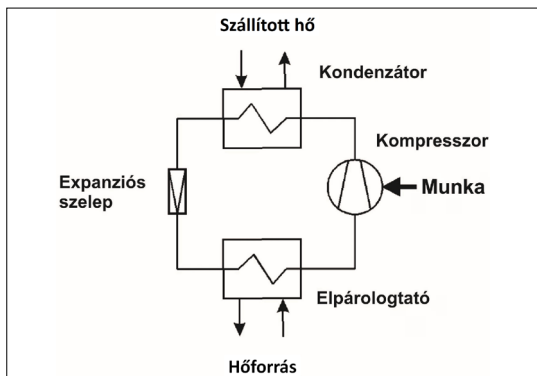
gazdálkodás, melynek során a hűtési energiát és hulladékhőt fűtésben és melegvíz-készítésben fel lehet használni, illetve a környezeti hőt lehet hasznosítani.

Világviszonylatban a házak hűtését jelentős energiakihívásnak tekintik, mivel a többségében meleg éghajlaton fekvő országok gazdasági fejlődése a klímaberendezések iránti kereslet növekedéséhez vezet. Ehhez járul a hőszivattyúk egyre elterjedtebb alkalmazása a mérsékelt éghajlatú területeken, az energiahatékonyság növelése érdekében. Ennek eredményeként a hűtőközegek környezeti hatásait nem lehet figyelmen kívül hagyni.

Másrészt a magas energiahatékonyság környezeti előnye a fosszilis tüzelőanyagok különféle célú elégetése során keletkező üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Ennek a megközelítésnek az a célja, hogy rávilágítson arra, hogy a modern környezetkímélő hűtőközegek használata milyen hatással van a hőszivattyúk exergiahatékonyságára.

2. Gőzkompressziós hőszivattyúk

A gőzkompressziós hőszivattyúk talán a legszélesebb körben használt hőszivattyútípusok. Ezek közül az első típusok R-717 (ammónia-) hűtőközeggel dolgoztak, és ez a hűtőközeg ma is elterjedt a nagy hűtőrendszerekben. Az ammónia a környezetre és az emberekre egyaránt veszélyes vegyület, mivel mérgező és robbanásveszélyes. Később alkalmaztak propánt (C_3H_8), metil-kloridot (CH_3Cl), kén-dioxidot (SO_2), és több más vegyületet. A Freon vegyületcsalád a halogénezett szénhidrogének kereskedelmi neve, mely általánosan elterjedt a hűtőgépiparban kiváló tulajdonságai miatt. A freonokat vagy, ahogy még ismeretek, CFC-ket, széles körben használták kiváló stabilitásuk és biztonságos használhatóságuk miatt:



1. ábra. A gőzkompressziós hőszivattyú

nem gyúlékonyak és kevésbé mérgezőek, mint más hűtőközegek. Sajnos, egy tulajdonságuk igen veszélyessé vált: ha a freon a felső atmoszférába jut, klórtartalma erősen rombolja az ózonsztréteget, mely a Nap erős ibolyántúli sugárzásától védi a föld felszínét.

A CFC-hűtőközegeket újabb és kevésbé környezetszennyező hűtőközegek váltották, a hidrokloro-fluorokarbonok (HCFC), ilyen például az R-22, melyet a legtöbb mai háztartási hűtőszekrényben használnak, és a HFC-k (például az R-134a), amelyek a gépkocsikban terjedtek el. Jelenleg ezek a közegeket is ki akarják vonni, tehát egyre több kutatás foglalkozik ezzel a témakörrel.

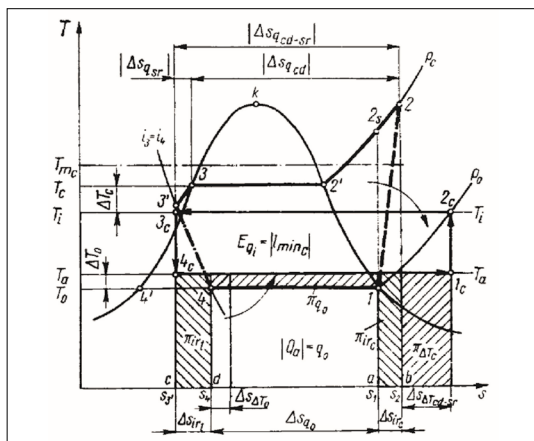
Egy ilyen közeg, amely teljesen semleges környezet védelmi szempontból, és nem is mérgező, a vízgőz. Tehát, a továbbiakban, az ammónia (R-717), egy modernebb környezetbarát hűtőközeget (R-134a) és a vízgőzzel működő hőszivattyúkat mutatjuk be.

2.1. A gőzkompressziós hőszivattyú

Az alacsony hőteljesítményű energiaforrások kiaknázására alkalmas hőszivattyúk a gőzkompressziós, víz-víz rendszerűek [1] [2].

Ez a típusú hőszivattyú (1. ábra) alkalmas arra, hogy $40^\circ C$ alatti hőmérsékleten lévő vízből származó hulladékhőt hasznosítson, a használati meleg vizet $50-80^\circ C$ -ra felmelegítve. Az ilyen hőszivattyú matematikai modellje a [3] értekezés keretén belül volt kidolgozva, tehát a továbbiakban annak a modellnek az alapján számítjuk ki a hőszivattyú hőtani jellemzőit.

A 2. ábra a gőzkompressziós hőszivattyú körfolyamatát mutatja be [4]. Ezen a körfolyamaton alapul a gőzkompressziós hőszivattyú matematikai modelljének a kidolgozása.



2. ábra. A gőzkompressziós hőszivattyú körfolyamata

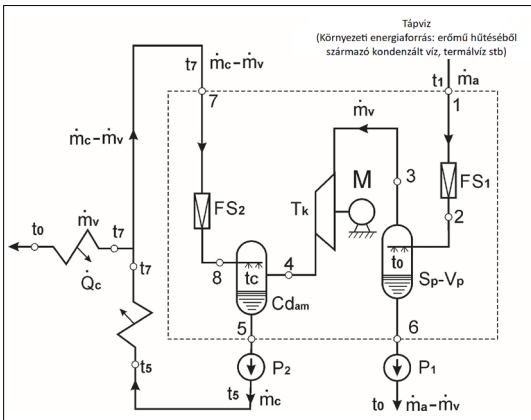
2.2. A gőzkompressziós vízgőz (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú

A **3. ábra** egy gőzkompressziós vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyút mutat be.

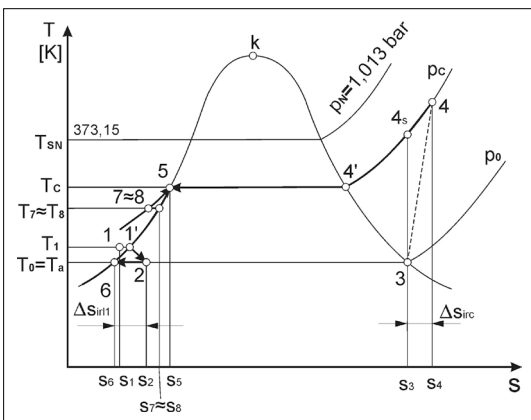
Ennek a körfolyamatát láthatjuk a következő ábrában (**4. ábra**).

Mindkét ábrán felismerhetők a közös elemek, mint például a szelepek, (a **3. ábrán** FS1-gyel és FS2-vel vannak jelölve a fojtószelepek) és a kompresszor, amely a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú esetében egy turbókompresszor, és Tk-val van jelölve.

A használt hűtőközeg miatt a második hőszivattyú felépítése sokkal bonyolultabb, és ebből adódóan a hőszivattyú hőtani jellemzői közül az összehasonlítás céljából kiválasztunk pár közös jellemzőt, nevezetesen: a működtetéshez szükséges teljesítményt Pe [kW], a tényleges teljesítménytényezőt, $COP \mu_e$ és az exergia-hatásfokot η_E .



3. ábra. A gőzkompressziós vízgőz- (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú



4. ábra. A gőzkompressziós vízgőz- (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú körfolyamata

3. A hőszivattyú hatékonysága

A gőzkompressziós hőszivattyú matematikai modellje a [3] értekezés keretén belül volt bemutatva, és ennek alapján számítjuk ki a hőszivattyú hőtani jellemzőit, feltételezve azt, hogy ammónium-hűtőközeggel (R-717), illetve R-134a-hűtőközeggel működik.

A vízgőzhűtőközeggel (R-718) működő hőszivattyú matematikai modellje különböző dolgozatokban [4–6] található, tehát a továbbiakban annak a modelleknek az alapján számítjuk ki a hőszivattyú hőtani jellemzőit.

A hőszivattyú hőtani jellemzői a következő kezdeti adatok használatával lesznek kiszámolva:

- a szükséges hőszállítás, Q legalább annyi kell, hogy legyen, mint a hűtővíz által felvett hőmennyiség, $Q = 30$ kW (ami elegendő egy közepes háztartás fűtési igényeinek kielégítésére);
 - $T_i = 55$ °C – a használati meleg víz hőmérséklete;
 - T_a – a környezeti hőmérséklet (hőforrás), amelyet rendre 30, 35 és 40 °C-ra határozzunk meg.
- Ezenkívül a hőszivattyú típusának függvényében a következő kezdeti adatokkal végezzük el a számításokat:

- a gőzkompressziós hőszivattyú kezdeti adatai:
 - $\Delta T_c = 10$ °C – a kondenzátor hőtadásához szükséges hőmérséklet-különbség (hőszállítás);
 - $\Delta T_0 = 5$ °C – a párologtató hőtadásához szükséges hőmérsékleti különbség;
 - $T_{sr} = 5$ °C – alul hűtéshez szükséges hőmérsékleti különbség;
 - az alkalmazott hűtőközeg R-717 (ammónia), illetve R-134a;
 - $\eta_{em} = 0,9$ a kompresszor hatásfoka.
- a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú kezdeti adatai:
 - a kondenzált leválasztó hőmérséklete $t_0 = t_a = 20, 25$, illetve 30 °C, a hőforrás hőmérséklete függvényében;
 - a turbókompresszor hatásfoka $\eta_i = 0,72$,
 - a mechanikai hatásfok $\eta_{em} = 0,9$.

Az **1. táblázat** az ammónia (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzőit, a **2. táblázat** a R-134a hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői, míg a **3. táblázat** a vízgőz (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzőit mutatja be. A táblázatokban levő adatok a **5–10. ábrában** lettek feltüntetve ahhoz, hogy jobban lehessen látni a függőségeket és könnyebben össze lehessen hasonlítani a három típusú hűtőközeggel működő hőszivattyúk működését.

1. táblázat. Az ammónia- (R-717) hűtőközzel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges teljesítmény, P_e [kW]	5,03	4,30	3,59
Exergiavesztés a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%]	9,11	8,57	7,46
Exergiavesztés az expanziós szelepleben π_{irt} [%]	5,55	4,90	4,22
Exergia veszteség az elpárolgatóban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{q0} [%]	9,43	11,12	13,45
Exergiavesztés a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi\Delta T_c$ [%]	26,09	29,20	33,82
Elméleti teljesítménytényező, $COP \mu$	6,62	7,74	9,29
Tényleges teljesítménytényező, $COP \mu_e$	5,96	6,97	8,36
Exergia-hatásfok ηE	50,48	47,17	42,47

2. táblázat. R-134a-hűtőközzel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges teljesítmény, P_e [kW]	5,54	4,52	3,75
Exergiavesztés a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%]	12,15	9,21	7,61
Exergiavesztés az expanziós szelepleben π_{irt} [%]	15,56	14,58	12,37
Exergiavesztés az elpárolgatóban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{q0} [%]	8,40	10,51	12,81
Exergiavesztés a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi\Delta T_c$ [%]	16,96	21,87	25,35
Elméleti teljesítménytényező, $COP \mu$	6,01	7,37	8,89
Tényleges teljesítménytényező, $COP \mu_e$	5,41	6,64	8,01
Exergia-hatásfok ηE	46,91	43,82	41,86

3. táblázat. A vízgőz (R-718) hűtőközzel működő hőszivattyú hőtani jellemzői

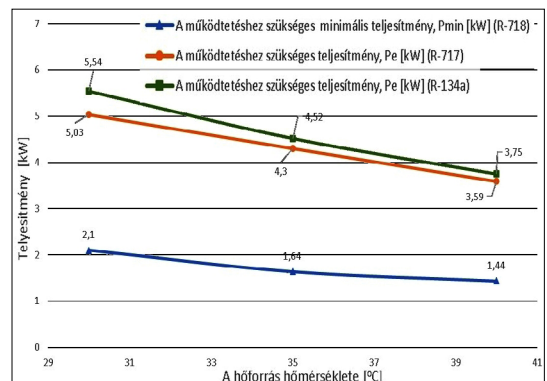
A hőforrás hőmérséklete, T_a [°C]	30	35	40
A működtetéshez szükséges minimális teljesítmény, P_{min} [kW]	2,1	1,64	1,44
Exergiavesztés a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%]	16,47	17,86	19,34
Exergiavesztés a fojtószelepleben π_{irt} [%]	8,90	10,71	13,11
Exergiavesztés a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi\Delta T_c$ [%]	29,91	30,30	31,67
Elméleti teljesítménytényező, $COP \mu$	6,37	7,51	9,1
Tényleges teljesítménytényező, $COP \mu_e$	5,62	6,60	7,95
Exergia-hatásfok, ηE	44,63	41,13	35,87

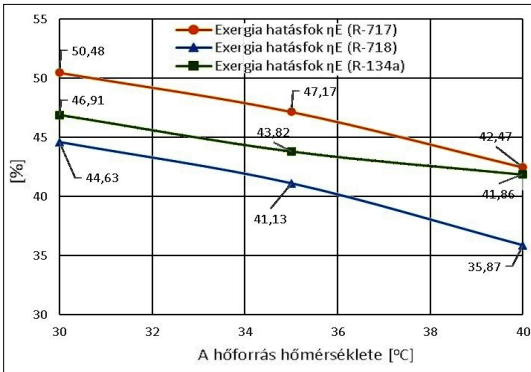
Az 5. ábrában jól látszik, hogy a hőmérséklet emelkedésével, a körfolyamat működtetéshez szükséges teljesítmény mértéke csökken.

Ugyanakkor jól látszik, hogy a vízgőzhűtőközzel működő hőszivattyú kevesebb energiát igényel a körfolyamat működtetéséhez.

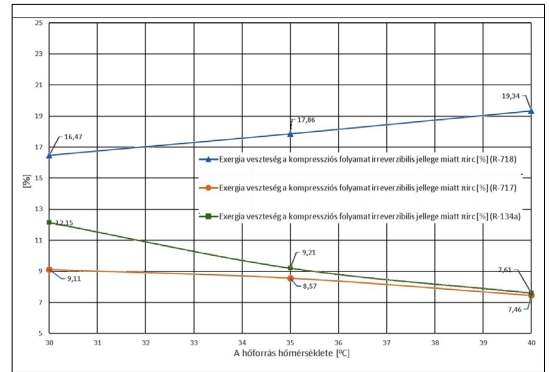
A körfolyamat működtetéshez szükséges teljesítmény az R-134a-hűtőközzel működő hőszivattyú esetében a legnagyobb (5. ábra).

A 6. ábrán látszik, hogy ugyanaz a függőség van a hőforrás hőmérséklete és az exergia-hatásfok között, mint a teljesítmény esetében, a hőmérséklet emelkedésével az exergia-hatásfok csökken. Ebből a szempontból is az ammónia- (R-717) hűtőközzel működő hőszivattyú jobban teljesít, az exergia hatásfoka jobb minden esetben, míg

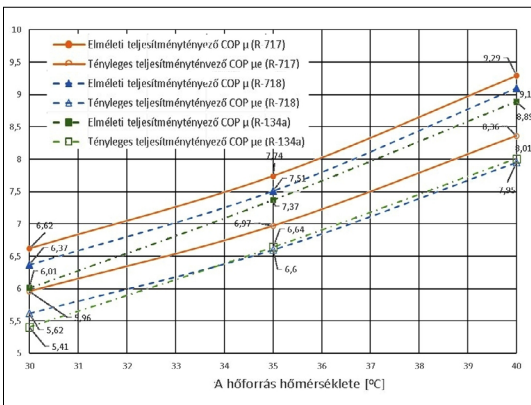
**5. ábra.** A működéshez szükséges teljesítmény



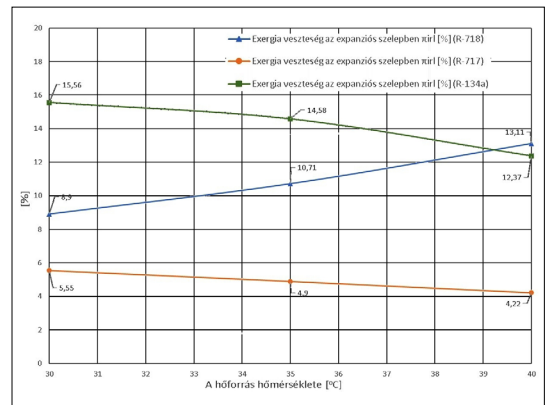
6. ábra. Az exergia-hatásfok



8. ábra. Exergia veszteség a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc}



7. ábra. Az elméleti és a tényleges teljesítménytényező (COP)



9. ábra. Exergiaveszteség az expanziós szelepből π_{irl}

az R-134a-hűtőközeg esetében a kettő között helyezkedik el, de magas hőforrás-hőmérsékleten majdnem egyenlő az ammónia-hűtőközeg exergia-hatásfokával.

A hőszivattyú legfontosabb hőtani jellemzői az elméleti teljesítménytényező, (COP) μ és a tényleges teljesítménytényező, μ_e .

A 7. ábrán az elméleti teljesítménytényező, μ és a tényleges teljesítménytényező, μ_e változása lett ábrázolva a hőforrás hőmérséklete függvényében. A háromtípusú hűtőközeg használata esetében a hőforrás hőmérséklete emelkedésével, az elméleti teljesítménytényező és a tényleges teljesítménytényező, COP is növekedik.

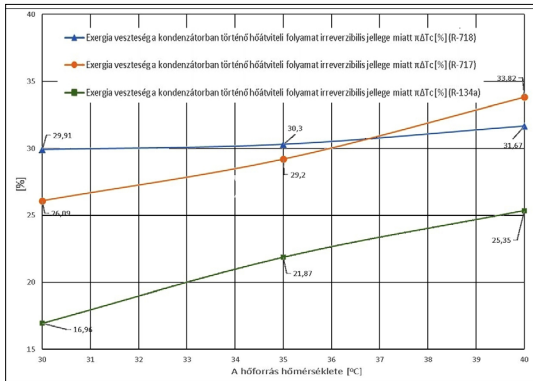
Amint a 7. ábra mutatja, az elméleti teljesítménytényező az ammónia (R-717) esetében a legnagyobb, utána következik a vízgőz (R-718) és R-134a. Ami a tényleges teljesítménytényezőt illeti, magasabb hőforrás-hőmérsékleten az R-134a teljesítménytényezője jobb, mint az R-718-hűtőközeg (vígőz).

A 8., 9. és 10. ábrán a következő exergiavesztések vannak feltüntetve: az exergiavesztés a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} [%], az exergiavesztés a fojtó-, illetve az expanziós szelepből π_{irl} [%], az exergiavesztés a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt $\pi_{\Delta T_c}$ [%].

Az exergia-hatásfok arra enged következtetni, hogy a veszteségek aránya megmarad, tehát a legnagyobb exergiavesztések a vízgőz- (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében állnak elő, ezt követi az R-134a hűtőközeggel működő hőszivattyú, míg az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében a legkisebb exergiavesztésekkel számolunk.

Ez így is van a 8. ábra esetében, ahol az exergiavesztés a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} van megjelenítve.

Az exergiavesztés értéke a kompressziós folyamat irreverzibilis jellege miatt π_{irc} , a vízgőz- (R-718) hűtőközeg esetében a legnagyobb, és nő a



10. ábra. Exergياvesztéség az kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt, $\pi\Delta T_c$

hőforrás hőmérsékletével, míg az R-717 és R-134a esetében csökken.

Meg kell jegyezni, hogy vízgőzt használó hőszivattyú felépítése a használt hűtőközeg miatt sokkal bonyolultabb, így hát csak azok a veszteségek vannak feltüntetve, amelyek minden esetben előállnak.

A 9. ábrában a veszteségek nagyságrendje a különböző hűtőközegek használata mellett, a hőforrás mérsékelt hőmérséklete függvényében a következő: a R-134a, a vízgőzhűtőközeg (R-718) és ammónia (R-717).

A magasabb hőforrás-hőmérséklet esetében a vízgőzhűtőközeggel (R-718) működő hőszivattyú vesztesége nagyobb, mint az R-134a-hűtőközeg esetében, és mint az ammónia (R-717) esetében.

A 10. ábra esetében az exergياvesztéség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt, $\pi\Delta T_c$ minden típusú hűtőközeg esetén megnövekszik.

Alacsonyabb hőforrás-hőmérsékleten az exergياvesztéség a kondenzátorban történő hőátviteli folyamat irreverzibilis jellege miatt, $\pi\Delta T_c$ magasabb az R-718-hűtőközegnél, míg magasabb hőforrás-hőmérsékleten ez a veszteség nagyobb az R-717-hűtőközegnél, míg az R-134a minden esetben a legalacsonyabb.

4. Következtetések

Az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői jobbakként, mint a vízgőz- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői, míg az R-134a-hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzőinek értékei általában a kettő között vannak.

Kivételt képez a működtetéshez szükséges teljesítmény, amely a vízgőz- (R-718) hűtőközeggel

működő hőszivattyú esetében sokkal kisebb, például a 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően kb. 2,5-szer kisebb, 3,59 kW az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében, a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyúhoz viszonyítva, amely csak 1,44 kW-ot igényel. Ami a R-134a-hűtőközeggel működő hőszivattyút illeti, a teljesítmény 3,75 kW.

Az elméleti teljesítménytényező, $COP\mu$ a 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően 9,29 az ammónia- (R-717) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében, míg a vízgőz- (R-718) hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében 9,1, tehát csak 2%-kal nagyobb, és az R-134a esetében is nagyon közel van, 8,89.

A tényleges teljesítménytényező, $COP\mu e$ a 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően 8,36 az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében, míg a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú esetében 7,95, tehát 5,2%-kal nagyobb, és ebben az esetben az R-134a tényleges teljesítménytényező értéke 8,01, tehát a két érték között helyezkedik el.

Ezek az értékek a teljesítménytényező esetében azt mutatják, hogy bár az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú hőtani jellemzői jobbakként, nem jelentősen jobbakként, mint az R-134a-hűtőközeg esetében, sőt a vízgőzhűtőközeg eredményeihez viszonyítva se mutatnak nagy eltéréseket.

Ha az exergia-hatásfokot elemezzük, itt is jobb értékeket lehet felmutatni az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú esetében. A 40 °C hőforrás-hőmérsékletnek megfelelően az ammónia-hűtőközeggel működő hőszivattyú exergia-hatásfoka $\eta E = 42,47\%$, míg a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú esetében $\eta E = 35,87\%$, tehát 18,4%-kal nagyobb. Az R-134a-típusú modern hűtőközeg használata esetében ez az érték $\eta E=41,86\%$, ami alig észlelhetően kisebb.

Az értékek közötti különbségek (a tényleges teljesítménytényező, $COP\mu e$, illetve exergia-hatásfok) magasabbakként, mint a megengedett hibahatár az energiamérleg készítése esetében, ami 3% [7], tehát nem lehet figyelmen kívül hagyni.

Még egy utolsó összehasonlítási kritérium maradt, a hűtőközeg hatása a környezetre.

Ebből a szempontból a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyú messze a legjobb választás. Ugyanis baleset esetén a vízgőz teljesen semleges a környezetre gyakorolt hatás szempontjából, míg az ammónia kifejezetten káros, mérgező, és ráadásul robbanásveszélyes.

Ami az R-134a-t illeti, ez egy modern hűtőközeg, globális felmelegedési potenciálja (GWP) 1430

(CO₂-hoz viszonyítva), és ózonlebontó potenciálja (ODP) nulla [8]. Itt meg kell említeni, hogy az ammónia bár mérgező és gyúlékony, globális felmelegedési potenciálja (GWP) nulla, és ózonlebontó potenciálja (ODP) is nulla [9].

Tehát abban az esetben, amikor hőszivattyú használata szükséges olyan helyeken, ahol a hűtőközeg-szivárgás kockázatot jelent, mint például bányákban, alagutakban stb. a vízgőzhűtőközeggel működő hőszivattyúk használata biztonsági szempontból tökéletes megoldás, és nem eredményez sokkal magasabb energiaköltségeket.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Radcenco, V. et. al.: *Processes in Refrigeration Equipment*. Didactică și Pedagogică Publishing House, Bucharest, 1983, 372–390.
- [2] Energy Department of the USA <https://www.energy.gov/eere/buildings/downloads/water-source-heat-pumps> (letöltve 2022 szeptember 15)
- [3] Dosa, I.: *Power Plant Waste Heat Recovery for Household Heating Using Heat Pumps*. Multiscience-XXVIII. microCAD International Multidisciplinary Scientific Conference, Miskolc, 10-11 april 2014, 1–8.
<https://doi.org/10.13140/rg.2.1.2616.2406>
- [4] Radcenco, V. et. al.: *Heat Pumps*. Tehnica Publishing House, Bucharest, 1985, 65–211.
- [5] Radcenco, V. et. al.: *Refrigeration Installations and Cryogenics: Problems and Applications*. Tehnica Publishing House, Bucuresti, 1987, 75–100.
- [6] Laza I.: *Refrigeration Plants*. Universitatea Tehnica, Timisoara, 1995, 60–125
- [7] *** *Guide to Development and Analysis of Energy Balance*. M.O. of Romania, part. I, nr.792/11.11.2003.
- [8] Gasservei SA (letöltve: 2022. szeptember 30.)
<https://gas-servei.com/shop/docs/technical-data-sheet-r-134a-gas-servei.pdf>
- [9] Danfoss (letöltve: 2022. szeptember 30.)
<https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/our-businesses/cooling/refrigerants-and-energy-efficiency/refrigerants-for-lowering-the-gwp/ammonia-nh3/>



KÖRKÖRÖSSÉGMÉRŐ BERENDEZÉS SZISZTEMATIKUS HIBÁINAK VIZSGÁLATA

EXAMINATION OF SYSTEMATIC ERRORS OF A ROUNDNESS MEASUREMENT EQUIPMENT

Egyed-Faluvégi Erzsébet,¹ Karácsony-Fejér Tamás,² Jakab-Farkas László³

¹ Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, faluvegi.erszebet@ms.sapiaientia.ro

² Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, karacsony.tamas@student.ms.sapiaientia.ro

³ Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, jflaci@ms.sapiaientia.ro

Abstract

The profile in the frontal section of a solid of revolution forms a perfect circle if all of its points are at an equal distance from the center line. The value of the deviation from circularity is very important and it is measured with a dedicated measuring device. This paper examines the systematic errors in a measuring device in which the measured workpiece is supported and rotated between two live centers, while a dial indicator detects the deviations. Regarding the structure, this paper proposes a model consisting of five systematic error measurements which considers the eccentricity of the live centers and the tilt of the dial indicator axis.

Keywords: *roundness, systematic error, coaxiality.*

Összefoglalás

A forgástest homlokmetszetében található profil tökéletes kört alkot, ha annak minden pontja egyenlő távolságra található a tengelyközponttól. A kör alaktól való eltérés értéke igen fontos, mérése speciális mérőkészülékkel történik. Jelen dolgozat egy olyan mérőberendezés rendszeres hibáit vizsgálja, melyben a mérendő darab csúcsok közötti támasztása, illetve forgatása történik, miközben egy digitális mérőóra észleli az eltéréseket. A felépítést tekintve, a dolgozat két szisztematikus hibamérési modellt javasol, amely figyelembe veszi a kúpok egytengelyűségtől való eltérését és a digitális mérőóra tengelyének dőlését.

Kulcsszavak: *kör alak, rendszeres hiba, egytengelyűség.*

1. Bevezetés

A kör alak a gyártott alkatrészek leggyakrabban megjelenő geometriai formája, mely térben egy forgástestet jelent. A forgástest homlokmetszetében található kontúr tökéletes köralakot hoz létre, ha annak minden pontja egyenlő távolságra található a tengelyközponttól.

A szabványnak megfelelően [1, 2] az effektív profil bármely tengelyre merőleges metszetben két egymással koncentrikus körön belül kell, hogy

elhelyezkedjen, melyek között a sugárirányú távolság az előírt tűrés nagysága.

A kör alaktól való eltérés sajátos esetei az ovalitás és a sokszögűség [3, 4]. A gyakorlatban megtörténhet, hogy szabad szemmel látható, hogy a vizsgált felületem nem felel meg a kör alaknak, egyszerű mérőeszközökkel nem lehet pontosan kimérni, ezért szükség volt egy olyan mérőberendezésre, mely lehetővé teszi az eltérés meghatározását.

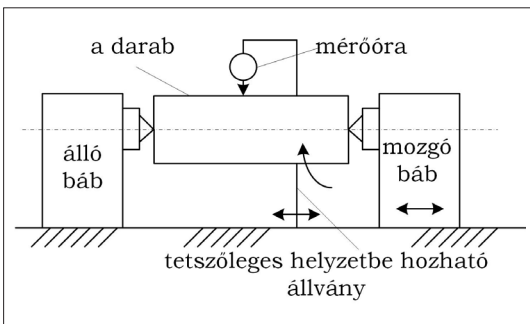
2. A körkörösségmérő felépítése

A körkörösségtől való eltérés mérésére egy olyan speciális mérőberendezés szükséges, melyel a munkadarab bármely homlokkmetszetében található profil észlelhető. Ennek mérésére két módszert különböztetnek meg [4]. Az első módszer lényege, hogy a mérendő munkadarab a mérőeszköz befogószerkezetéből adódóan vízszintesen helyezkedik el, egy vagy több pontján támaszkodik, elfordul a saját tengelye körül, és közben egy érzékélővel letapogatják. Ezt ajánlják a szerzők az [5] tanulmányban is. A másik módszer során a munkadarab egyik végén egy precíziós csapágy található, melynek tengelye megegyezik a mérendő darab tengelyével, és a munkadarab függőlegesen van elhelyezve. A két módszert megvizsgálva, összehasonlítva és figyelembe véve a költségeket az első módszert választottuk, mely során a mérendő alkatrész vízszintesen, csúcsok között helyezkedik el, és elfordul a saját tengelye körül, miközben egy mérőóra letapogatja a homlokkmetszeti profilt (1. ábra). A mérőóra állványa a tetszőleges mérési síkba hozható.

A berendezéssel lehetőség van különböző hosszúságú és átmérőjű munkadarabok mérésére, melyeket a berendezéskialakításból adódó méretek korlátoznak. A legnagyobb befogható munkadarab méretei: hossz 195 mm, átmérő 80 mm. Hátránya, hogy furatok mérésére nem alkalmas a módszer.

3. A rendszeres hibák vizsgálata

A tudományos kutatómunkában a mérési hiba nem más, mint az effektív és az ideális (névleges) érték közötti különbség. Alapvetően kétféle mérési hibát különböztetünk meg, éspedig a véletlenszerű, illetve a rendszeres hibákat. Jelen dolgozat az utóbbit vizsgálja, ezért a véletlenszerű hibákra nem tér ki.



1. ábra. A körkörösségmérő elvi vázlata

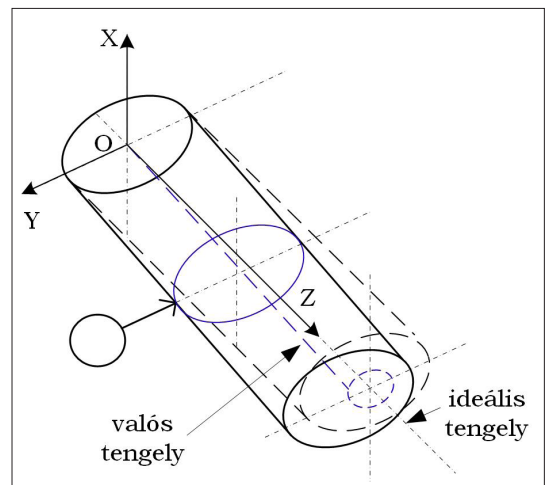
Számos próbálkozás született a profilmérés során megjelenő rendszeres hibák meghatározásával, [6–11]. [6], megfogalmazta és kidolgozta a hengerességmérés koncepcióját, melyben a mérőérzékélő elmozdulását egy prizmával oldotta meg. A [7, 8] tanulmányokban különböző átmérőjű munkadarabok körkörösségét vizsgálták a mérési pontok, a tapintógömb sugara és az excentricitás függvényében. A [9, 10] tanulmányban vizsgálta a tapintó eltolási és sugárhibájának hatását, és öt szisztematikus mérési hibával rendelkező mérési modellt javasolt. A [11] dolgozatban egy turbinatengely egytengelyűségét vizsgálta, ahol viszont hét mérési hibával rendelkező modellt javasolt.

A koncepciónak megfelelő kialakítást véve alapul, a dolgozat két rendszeres hibamérési modellt javasol, amely figyelembe veszi a csúcsok egytengelyűségtől való eltérését és a digitális mérőóra tengelyének dőlését.

3.1. A csúcsok egytengelyűségének vizsgálata

Összeszerelésből, illetve gyártásból adódóan megtörténhet, hogy a csúcsok egymáshoz képest el vannak tolódva, vagyis nem rendelkeznek közös tengellyel. A 2. ábra egy térbeli mérési vázlatot szemléltet, melyen fel van tüntetve egy kúp palástfelülete (kék). A kúpot a csúcsok ideális tengelye és a valós, közös tengely eredményezi. Bármely mérési síkban a mért profil egy ellipszist eredményez.

A csúcsok egytengelyűségének vizsgálatát két irány szerint bontjuk fel.



2. ábra. A csúcsok egytengelyűségének vizsgálata, térbeli modell

3.1.1. A csúcok egytengelyűségének vizsgálata a vízszintes síkban

A csúcok egymáshoz képest az OY tengely mentén el vannak tolódva egy ΔH távolsággal (3. ábra). Mivel ez a távolság egy állandó érték, mely a konstrukcióból adódik, ezért a neki megfelelő φ dőlési szög:

$$\varphi = \arctg \frac{\Delta H}{L_{darab}} \tag{1}$$

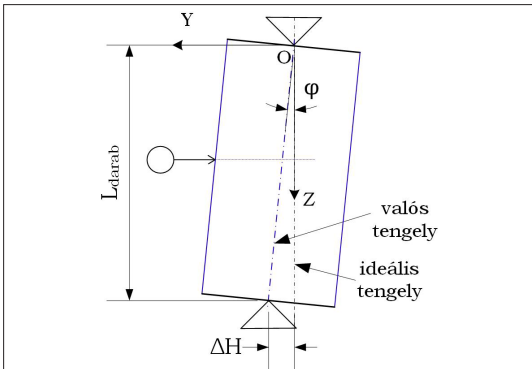
Az (1) alapján, ha állandó a ΔH, és nő a darab hossza, akkor a φ szög értéke folyamatosan csökken.

3.1.2. A csúcok egytengelyűségének vizsgálata a függőleges síkban

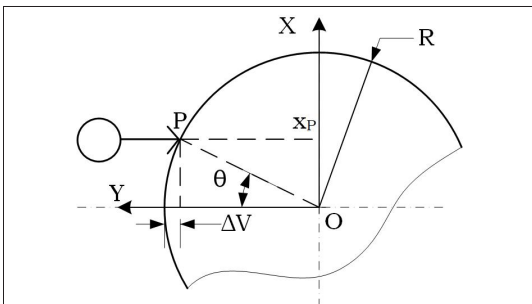
A csúcok egymáshoz képest az OX tengely mentén vannak eltolódva egy x_p távolsággal (4. ábra). Mivel ez a távolság egy állandó érték, mely a konstrukcióból adódik, ezért a neki megfelelő θ dőlési szög:

$$\theta = \arcsin \frac{x_p}{R} \tag{2}$$

ahol R a mérendő darab sugara.



3. ábra. A csúcok egytengelyűségének vizsgálata a vízszintes síkban



4. ábra. A csúcok egytengelyűségének vizsgálata a függőleges síkban

Ez a függőleges eltolódás a mérőórán egy ΔV méretkülönbséget jelent:

$$\Delta V = R(1 - \cos \theta) \tag{3}$$

A (3) alapján, ha az x_p távolság állandó, és az R sugár értékét folyamatosan növeljük, akkor a ΔV értéke csökkenni fog.

3.2. A digitális mérőóra tengelyének dőlése

A mérőóra tengelyének dőlését szemlélteti az 5. ábra, melyből látható, hogy az óra tengelye a vízszintes tengelysíkkal egy δ szöget zár be.

E dőlés miatt a mérőóra nem a valós Δy eltérést érzékeli, hanem:

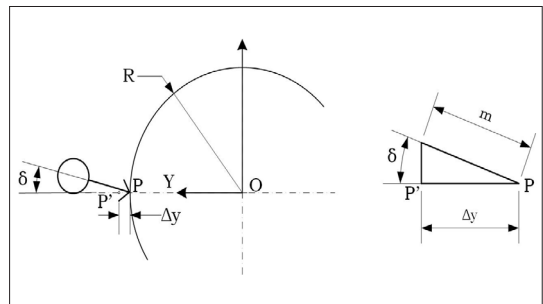
$$m = \frac{\Delta y}{\cos \delta} \tag{4}$$

Egy adott Δy eltérés esetén, ha a δ szög értéke folyamatosan nő, akkor a mérőóra által érzékelt m nagysága is folyamatosan nőni fog, de ez a növekedés nem számottevő.

3.3. A rendszeres hibák kompenzálása

Jelen fázisban a mérőberendezés tervezés, kivitelezés alatt áll. A mérőrendszer kialakítása során a mérőóra elmozdul az OZ és az OY tengelyek mentén. E két irányban történő mozgás egy-egy motor segítségével valósul meg. Mind a motor mozgatása, mind a mérőóra által észlelt adatok szoftveresen lesznek feldolgozva.

Az egytengelyűségtől való eltérés meghatározása során a csúcok egy kétlépcsős hengerfelülettel rendelkeznek, melyeknek ismert a névleges méretük, és szigorú tűréssel vannak ellátva. Mindegyik hengerfelület bármely metszetszabványban történő letapogatása egy-egy kört eredményez, melyeknek meg lehet határozni a középpontját. Az ugyanazon csúcson található két középpont egy tengelyt eredményez, vagyis ha az egytengelyűségtől való eltérés nem nulla, akkor a két csúc két különböző tengelyt fog eredményezni. E kettő közötti távolságot szoftveresen lehet meghatározni.



5. ábra. A digitális mérőóra tengelyének dőlése

A mérőóra tengelyének dőlését egy olyan darab segítségével lehet meghatározni, melyen található egy ismert Δy sugárváltozás, vagyis a profilja hasonlít egy bűtyök profiljához. Gyártásból, illetve összeszerelésből megjelenhet a $\delta \neq 0^\circ$ dőlési szög, melyet, ha 5° alatt tartunk, nem okoz számottevő változást, mivel a rendelkezésre álló digitális mérőóra (Filetta 611-343) felbontása 0,01 mm, és pontossága $\pm 0,02$ mm.

Az említett hibák szoftveresen lesznek kompenzálva.

4. Következtetések

A körköröségtől való eltérés ellenőrzése a gyakorlatban alkalmazott mérési eljárás, melyre az iparban különböző berendezések léteznek. Jelen dolgozat egy laboratóriumi használatra tervezett körköröségmérő berendezés rendszeres hibáit tárgyalja, melyek ismerete elengedhetetlen a berendezés kedvező működtetéséhez.

A dolgozat a rendszeres hibák vizsgálatára, a mérőberendezés kialakításából adódóan, két tényezőtől álló hibamérési modellt javasol, valamint ezen hibák kompenzálásával is foglalkozik. Mivel a berendezés még tervezés, kivitelezés alatt áll, ezért nem tartalmaz mérési eredményeket.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] EN ISO 1101: *Geometrical Product Specification (GPS) – Geometrical Tolerancing – Tolerances of Form, Orientation, Location and Run-out*, 2017.
- [2] EN ISO 12181: *Geometrical Product Specification (GPS) – Roundness*, 2011.
- [3] Ionescu N., Vișan A., Manolache D., Nistor C.: *Tolerances Design*. Editura Printech, București, 2016, 54–57.
- [4] Curtis M. A., Farago F. T.: *Handbook of Dimensional Measurement*. 5. ed. Industrial Press Inc., South Norwalk, 2014. 377–406.
- [5] Tero M., Papp I.: *Dispozitive de control*. Editura Universităţii Petru Maior, Târgu-Mureș, 2002, 71–108.
- [6] Adamczak S., Janecki D., Stepien K.: *Qualitative and Quantitative Evaluation of the Accuracy of the V-Block Method of Cylindricity Measurement*. Precision Engineering, 34. (2010) 619–626. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2010.03.004>
- [7] Ciobotă D., Palade D. D., Stanciu D., Abălaru A.: *Consideration Regarding Roundness Measurement of Closed Profiles and Open Profiles*. UPB Sci. Bull., Series D, 75/2. (2013) 129–140.
- [8] Zhao Z., Li B., Zhang G., Yu H., Shang M.: *Influence of Eccentricity and Tilt of Cylindrical Part's Axis on the Measurement Results of Its Diameters*. Measurement, 138, (2019), 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.01.085>
- [9] Sun C., Wang L., Tan J., Zhao B., Tang Y.: *Design of Roundness Measurement Model with Multi-Systematic Error for Cylindrical Components with Large Radius*. Review Of Scientific Instruments, 87. (2016) 955–961. <https://doi.org/10.1063/1.4941679>
- [10] Sun C., Wang H., Liu Y., Wang X., Wang B., Li C., Tan J.: *A Cylindrical Profile Measurement Method for Cylindricity and Coaxiality of Stepped Shaft*. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 111. (2020) 284501502856. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06296-5>
- [11] Liu Y., Li R., Sun C., Mei Y., Wang X., Tan J., Wang H.: *A Coaxiality Measurement Model Based on Multi-Systematic Errors Separation for Turbine Shaft*. Measurement, 186. (2021) <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2021.109975>



EGYENES FOGÚ METSZŐKEREK PROFILHIBÁJÁNAK TANULMÁNYOZÁSA CAD-KÖRNYEZETBEN

THE STUDY OF THE PROFILE ERRORS OF STRAIGHT TEETHED SHAPER CUTTERS IN THE CAD-ENVIRONMENT

Gál Károly-István,¹ Máté Márton²

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

¹ gal.karoly@ms.sapientia.ro

² mmate@ms.sapientia.ro

Abstract

It is well known that straight-teethed shaper cutters present theoretical profile error, which leads to a deviation of the cut gear tooth profile from the involute profile. Taking advantage of the CAD environment, we have visualized and studied shaper cutters at different stages of sharpening. This is advantageous because the effect of any shape or dimension modification of the rake face can be immediately and easily controlled in the design process, thereby saving precious design time.

The aim of our research was to create a 3D model in a CAD environment to visualize different sharpening methods and the profile of shaper cutters at different wear stages, and to estimate the inherent profile errors. The aim of using different sharpening methods was to improve the lateral cutting geometry (especially the lateral relief angle) and also to reduce or – at least – keep the profile error within the accepted limits. During the measurements, both the rake angle and the cutter rack profile angle were changed in order to improve the geometry. The edge was generated using numerically computed points and Autodesk Inventor's special commands. Comparative analyses were performed.

Keywords: *shaper cutter, profile error, CAD, rake face, rake angle, relief angle, cutter rack profile angle.*

Összefoglalás

Közismert tény, hogy az egyenes fogú metszőkerék elméleti profilhibával rendelkeznek, ez maga után vonja a gyártmány profiljának evolvenstől való eltérését. A CAD-környezet előnyeit kihasználva, különböző élezési stádiumban levő metszőkeréket jelenítettünk meg és tanulmányoztunk. Ez azért előnyös, mert bármilyen homlokfelület-alak-, illetve -méretmódosítási törekvést azonnal és könnyen lehet a tervezési folyamat során ellenőrizni, így tervezési időt takarítunk meg.

Kutatásunk célja, hogy CAD-környezetben egy olyan 3D-modellt hozzunk létre, amely segítségével különböző élezési módszereket, valamint különböző élezési stádiumban lévő metszőkerék profilját jelenítsük meg, és ezek profilhibáját a grafikus környezet segítségével értékeljük. A különböző élezési módszerek vizsgálatának célja, hogy a metszőkerék oldalgeometriáján (főleg az oldalhomlokszög-értékén) javítsunk úgy, hogy a profilhibát is csökkentjük, vagy legalább a megengedett hibahatáron belül tartjuk. A mérések során mind a homlokszöveget, mind a szerszámkapcsolószöveget változtattuk. A szerszám élét az Autodesk Inventor sajátos parancsait használva, numerikusan generált élpont-koordinátákkal hoztuk létre, majd összehasonlító vizsgálatokat végeztünk.

Kulcsszavak: *metszőkerék, profilhiba, CAD, homlokfelület, homlokszög, oldalhátszög, szerszámkapcsolószög.*

$$\begin{cases} x(\varphi, v) = R_b (\cos(\varphi - \eta) + v \sin(\varphi - \eta)) \\ y(\varphi, v) = j R_b (\sin(\varphi - \eta) - v \cos(\varphi - \eta)) \\ z(\varphi, v) = P(\varphi - v), j \in \{-1, 1\} \end{cases} \quad (4)$$

Megjegyezzük, hogy a $j=1$ értékre a **2. ábrán** szemléltetett felületet, míg $j=-1$ -re ennek az Oxz síkhoz viszonyított szimmetrikusát kapjuk.

Az η szög az evolvens alapköri pontjának polársugara és az Oxy síkbeli teljes fogprofil szimmetriatengelye által közrezárt szög, amelyet az evolvenstrigonometria második alapegyenletéből számítunk ki [2]:

$$\eta = \frac{\pi}{2z_s} + 2 \frac{\xi_s}{z_s} \operatorname{tg} \alpha_s + \operatorname{inv} \alpha_s \quad (5)$$

Az η és φ szögek geometriai értelmezését a **3. ábrán** szemléltetjük.

A homlokképlet-körkúp implicit egyenlete, a **2. ábra** alapján, a következő:

$$x^2 + y^2 = (R_a - z \operatorname{ctg} \gamma_v)^2 \quad (6)$$

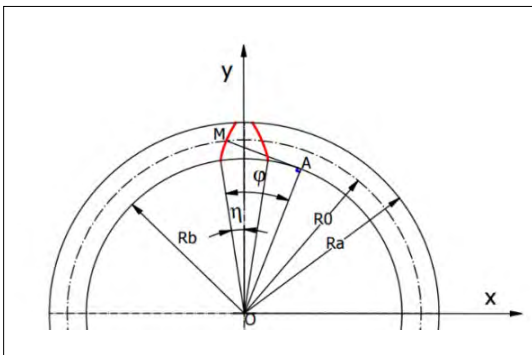
Feltételezzük, hogy az újraélezések következtében a homlokkúp csúcsa δ_h távolsággal mozdul el a z tengelyen, ennek pozitív irányításában. Ez esetben a (6) egyenlet a következő alakot ölti:

$$x^2 + y^2 = (R_a - (z - \delta_h) \operatorname{ctg} \gamma_v)^2 \quad (7)$$

A (4) és (7) egyenletek együttes vizsgálatából megállapítjuk a φ és v paraméterek közötti összefüggést:

$$\varphi(v; \delta h) = \frac{(R_a(\xi_s) - R_b \cdot \sqrt{1 + v^2}) \operatorname{tg}(\gamma_v) + \delta_h}{P} + v \quad (8)$$

Az oldalélek pontjainak koordinátáit és az egyenleteit a (4) koordinátafüggvények adják, a (8) paraméter-kapcsolattal.



3. ábra. Evolvengörbe helyzetét meghatározó η és lefejtésének φ paramétere

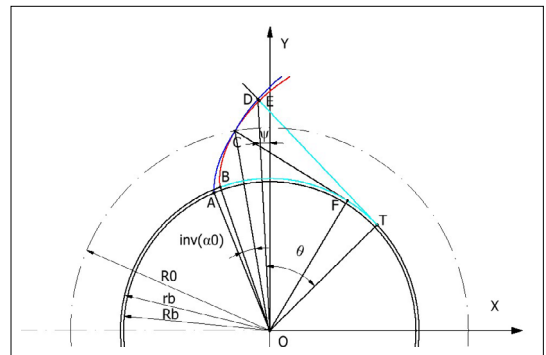
2. Az elméleti profilhiba számítása

A homlokképlet alakjából adódóan a szerszámél olyan térgörbe, mely különböző, a szerszám tengelyére merőleges síkokban illeszkedő evolvenspontokból épül fel. Az újraélezések következtében a profileltolás csökken, így az implikált profilok pontjai egyre jobban közelítenek az alapkörhöz. Emiatt a metszőkerék élalakja minden élezést követően változik.

A főmozgás során a metszőkerék élei egy fogaskereket burkolnak: ez a metszőkerék ekvivalens fogaskereke. Ennek fogprofilja, az előbbi kijelentések és a (4) ... (8) egyenletek alapján, nem evolvens. A profilhiba a metszőkerék fogszámával egyenlő fogszámú fogaskerék evolvens fogprofilja és az ekvivalens fogaskerék fogprofilja közötti eltérés értéke, az evolvensre merőlegesen mérve. Ez utóbbit kontrollprofilnak nevezzük a továbbiakban. A metszőkerék profilhibáját a kontrollprofil és a szerszámél Oxy síkra merőleges vetületéből lehet kiszámítani.

A kontrollprofil és az élvetület kölcsönös helyzete a **4. ábrán** látható. Amint az ábrából kitűnik, a kontrollprofil és az élvetület osztóköri pontja egybeesik. A profilhiba pozitív, ha az élvetület a kontrollprofilon kívül, és negatív, ha ezen belül helyezkedik el. Amint ismeretes [1–5], a pozitív profilhiba a megmunkált keréken foglgyenesést, illetve fogláb módosítást hajt végre, ami az akadálymentes kapcsolódást biztosítja. Negatív profilhiba nem kívánatos, mivel fogfej- és foglábvastagodást okoz, ami a kapcsolódás során fogbeékelődést eredményezhet.

A profilhiba, az élvetület tetszőlegesen választott D futópontjára, az ED szakasz hossza lesz. Számítását a **4. ábra** alapján végezzük el. Ismertnek tekintjük az él kiválasztott pontjait. A továbbiakban R_b -vel a szerszámevolvens alapkör suga-



4. ábra. Az élvetület és kontrollprofil szemléltetése

rát, míg r_b -vel a kontroll evolvens alapkör sugarát jelöljük, így

$$R_0 = \frac{R_b}{\cos \alpha_s} = \frac{r_b}{\cos \alpha_0}.$$

A szerszámél Oxy alapsíkra való vetülete tetszőleges D pontjának koordinátái (x^D, y^D) . Ezzel:

$$DO = \rho = \sqrt{(x^D)^2 + (y^D)^2} \tag{9.a}$$

$$\angle DOT = \theta = \arccos \frac{r_b}{\rho} \tag{9.b}$$

$$\psi = \arctg \frac{-x^D}{y^D} \tag{9.c}$$

$$\angle COy = \arctg \frac{-x^C}{y^C} \tag{9.d}$$

$$\angle BOT = \theta - \psi + \angle COy + \text{inv } \alpha_0 \tag{9.e}$$

$$ED = DT - ET = \sqrt{\rho^2 - r_b^2} - r_b(\angle BOT) \tag{9.f}$$

A (9.a-f) képletek alkalmazásához ki kell számítanunk az élvetület C osztóköri pontjának koordinátáit. Az alapevolvens egyenleteiből [4], 5. ábra.

$$\begin{cases} x(\varphi; \eta) = R_b(\sin(\varphi - \eta) - \varphi \cos(\varphi - \eta)) \\ y(\varphi; \eta) = R_b(\cos(\varphi - \eta) + \varphi \sin(\varphi - \eta)) \end{cases} \tag{10}$$

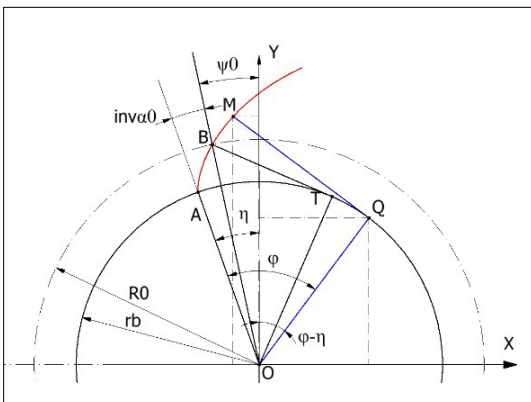
kiszámítjuk az osztóköri pontnak megfelelő φ_0 paraméterértéket:

$$\varphi_0 = \sqrt{\frac{R_0^2}{R_b^2} - 1} = \text{tg } \alpha_s \tag{11}$$

Az osztóköri C pont helyvektora és az Oy tengely szöge ezzel

$$\theta_0 = \arctg \frac{x(\varphi_0; \eta)}{y(\varphi_0; \eta)} = \text{inv } \alpha_s - \eta \tag{12}$$

A szerszámevolvens C pontjából csavarvonalat indítunk, melynek P csavarparamétere ismert az (3) összefüggésekből:



5. ábra. Kontrollevolvens evolvens tetszőleges M pontjának számítása

$$\begin{cases} x(w) = R_0 \cos(\theta_0 + w) \\ y(w) = R_0 \sin(\theta_0 + w) \\ z(w) = Pw \end{cases} \tag{13}$$

Az él osztóhengeri pontját megkapjuk, a (13) csavarvonal és a homlokkúp dőféspontja. A (13) és (7) egyenletekből következik, hogy

$$R_0^2 = (R_a - (Pw - \delta_h) \text{ctg } \gamma_v)^2 \tag{14}$$

Innen pedig

$$w_0 = \frac{1}{P} ((R_a - R_0) \text{tg } \gamma_v + \delta_h) \tag{15}$$

Ezzel az élvetület osztóköri pontjának koordinátái

$$\begin{cases} x^C = R_0 \cos(\theta_0 + w_0) \\ y^C = R_0 \sin(\theta_0 + w_0) \\ z^C = (R_a - R_0) \text{tg } \gamma_v + \delta_h \end{cases} \tag{16}$$

A (16) kontrollprofil pontjait a következő egyenletekkel számoljuk ki:

$$\begin{cases} x^M(\varphi) = r_b(\sin(\varphi - \eta_0) - \varphi \cos(\varphi - \eta_0)) \\ y^M(\varphi) = r_b(\cos(\varphi - \eta_0) + \varphi \sin(\varphi - \eta_0)) \\ \eta_0 = \arctg \frac{x^C}{y^C} + \text{inv } \alpha_0 \end{cases} \tag{17}$$

3. Numerikusan létrehozott görbék

Az előzőekben kapott egyenleteket Mathcad környezetbe illesztve, a szerszámevolvens, az élgörbe, valamint a kontrollevolvens nagy pontossággal ábrázolható.

A görbék ábrázolásához egyenközű pontrendszereket használunk, azért, hogy a numerikus interpoláció a lehető legpontosabb legyen. Ismert tény [2, 3, 6, 7], hogy amennyiben az evolvens futóparaméterét számtani haladvány szerint léptetjük, akkor a pontok közötti ívhossz szorozat mértani haladványt alkot. Így a paraméter-egyenközű léptetése nem javasolt. Az egyenlő felosztásra a következő számítási menetet alkalmazzuk:

- előírjuk a csomópontok számát a görbeszakaszon;
- kiszámítjuk a felosztandó ív teljes hosszát;
- kiszámítjuk a felosztás ívhosszát;
- iteratív módszerrel meghatározzuk az egyenközű csomópontokat definiáló φ_i , $i \in 0, N - 1$ paraméter-sorozatot.

Az elemi evolvens ívhossz, a (10) egyenletek alapján

$$ds(\varphi) = \sqrt{x'^2 + y'^2} d\varphi = R_b \varphi d\varphi \tag{18}$$

Ebben az esetben a φ paraméter intervalluma:

$$\sqrt{\frac{R_t^2(\xi_s)}{R_b^2} - 1} \leq \varphi \leq \sqrt{\frac{R_a^2(\xi_s)}{R_b^2} - 1} \quad (19)$$

ahol $R_t(\xi_s)$ és $R_a(\xi_s)$ a legnagyobb szerszám-profil-eltolási tényezőnek megfelelő talpkör, illetve fejkörsugár.

Jelöljük a megfelelő paraméterértékeket φ_t -vel, illetve φ_a -val. Az evolvensív teljes hossza, a (18) ívhossz integrálásával

$$L = \int_{\varphi_t}^{\varphi_a} d\varphi = \frac{1}{2} R_b (\varphi_a^2 - \varphi_t^2) \quad (20)$$

Az N ívpont $N-1$ egyenlő hosszúságú evolvens-ívszakaszt metsz ki, melyeknek hossza $\Delta L = L / (N-1)$. Ezzel felépítjük a megfelelő paraméter-sorozatot, a következő rekurzió alkalmazásával:

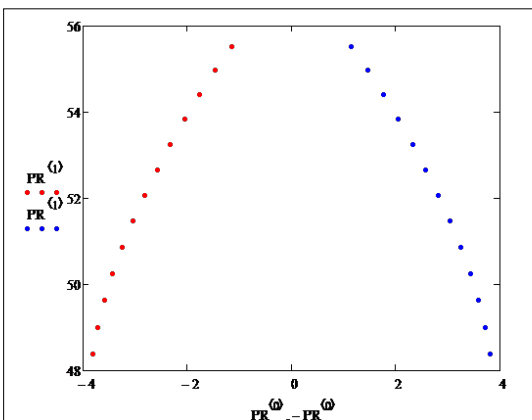
$$\varphi_0 = \varphi_t, \Delta L = \int_{\varphi_j}^{\varphi_{j+1}} d\varphi, j \in \{0, 1, \dots, N-2\} \quad (21)$$

A számítások elvégzése után a következő sortozatot kapjuk:

$$\varphi_{j+1} = \sqrt{\frac{2\Delta L}{R_b} + \varphi_j^2}, j \in \{0, 1, \dots, N-2\} \quad (22)$$

Az $N=13$ ívpontra osztott $z_s=27$ fogú és $m=3,75$ mm modulú metszőkerék generáló evolvensait a **6. ábrán** szemléltettük, míg a **7 ábrán** az evolvens csavarevolvens fogoldalt tüntettük fel. Ez esetben is az evolvens egyenközű felosztását alkalmaztuk, ügyelve arra, hogy a (4) egyenletekben szereplő v paraméter értékét, a φ pillanatnyi értékének függvényében, úgy szabályozzuk, hogy a számított pont a két kiválasztott határsík közé kerüljön.

Az élgörbe képzésében szerepet játszik a ξ profil-eltolási tényező, a δ_h szerszámkopásérték függvényében.



6. ábra. Egyenközűleg felosztott szerszámevolvens pontjai

Az **1. ábra** alapján következik, hogy a homlok-kúp δ_h értékkel való translációja következtében a szerszám-alapsík is ugyanannyival mozdul el, így egy $\Delta R_a = \delta_h \operatorname{tg} \alpha_v$ fejkörsugár-csökkenéssel kell számolnunk, ami, a fejkörsugár és a profil-eltolás lineáris kapcsolata következményeként, a $\Delta \xi = \Delta R_a / m$ profil-eltolás-változást idézi elő, amiből nyilvánvaló, hogy a δ_h -nak megfelelő szerszámprofil-eltolás értéke

$$\xi(\delta_h) = \chi = \xi_s - \frac{\delta_h \cdot \tan(\gamma v)}{m} \quad (23)$$

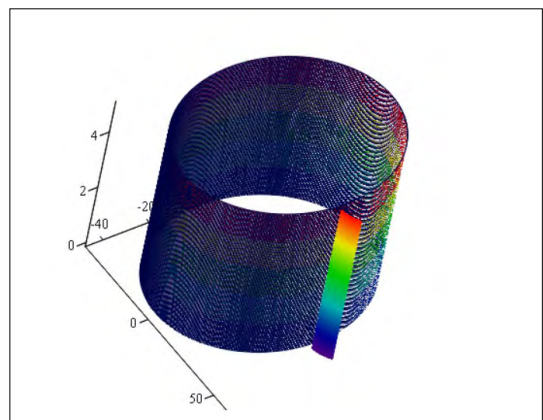
Ennek megfelelően, a (19) képletben az integrálási határok megváltoznak.

A szerszámélgörbe esetében a (18) elemi ívhossz kifejezése sokkal bonyolultabb, mint az evolvens esetében. A bonyolult számítási képletek amúgy is jelentős kerekítési hibát hoznának be, ezért az oldalél felosztását az alapevolvens egyenközű felosztásából indítjuk, elfogadván azt, hogy a homlokfelület sajátos geometriája és az alacsony homlokszögérték miatt ez nem fog jelentősen eltérni az egyenközű felosztástól. Ezért az alapsíkbeli evolvens nóduszaihoz egy-egy csavarvonalat rendelünk, amelyek az oldalhátfelületre illeszkednek. Az élpontok tehát a csavarvonalak és a homlokfelület dőféspontjai lesznek.

A (22) képlettel felállított sorozat j . tagjára kapott élpont sugara $\rho_j = R_b \sqrt{1 + \varphi_j^2}$, polárszöge pedig

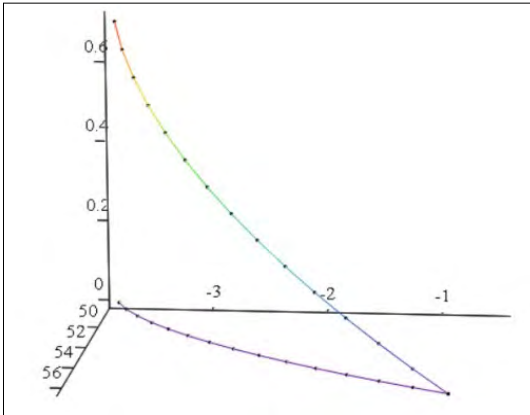
$\theta_j = -\eta + \varphi_j - \operatorname{arctg} \varphi_j$, ezzel pedig felírhatók az innen induló csavarvonal egyenletei, a (13) egyenletekkel formális azonosságban. A (15) alapján, a csavarparaméter értéke

$$w_j = \frac{1}{p} \left((R_a - \rho_j) \operatorname{tg} \gamma_v + \delta_h \right) \quad (24)$$

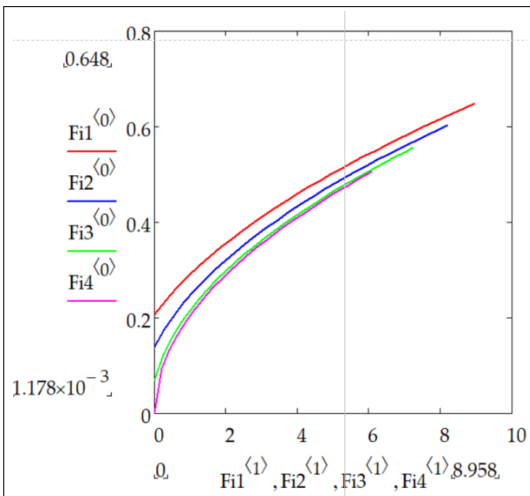


7. ábra. Alapevolvensre épült szerszámfogoldalt

Az előbbi numerikus példára számított élgörbét a **8. ábrán** szemléltettük.



8. ábra. Egyenközű felosztású szerszámélgörbe és ennek vetülete



9. ábra. Különböző profileltolású evolvensok szemléltetése



10. ábra. Metszőkerék 3D-modellje

4. CAD-modell Autodesk Inventor környezetben

4.1. A testmodell felépítése

A testmodellt négy, egymás fölé a profileltolás csökkenő sorrendjében rendezett párhuzamos síkban létrehozott evolvensre építjük. Ezeket a $\xi \in \{0,3; 0; -0,3; -0,605\}$ értékekre határoztuk meg. Mivel a szerszám fogfelülete csavarevolvens-felület, kiszámítottuk ezek kezdő η szögét. A síkok xOy alapsík fölötti magasságát a [3]

$$h_i = (\xi_s - \xi_i) m \operatorname{ctg} \alpha_v \quad (25)$$

képlettel számoltuk. Ezek xOy síkba való vetületeit a **9. ábrán** szemléltettük. A létrehozott evolvenseket az Autodesk Inventor „Loft” parancsával összekötöttük és kialakítottuk a metszőkerék fogát, majd a teljes 3D-modellt [8] (**10. ábra**).

4.2. A modell funkciója

A modell segítségével bármilyen módosítási törekvést, mind a homlokfelület alakjában, mind a homlokfelület méreteiben azonnal és könnyen lehet a tervezési folyamatban ellenőrizni, amivel tervezési időt takarítunk meg. Másodsorban, különböző élezési módszereket, valamint élezési stádiumokat tudunk megjeleníteni, amely elősegíti mind a tervezés menetét, mind a szerszám paramétereinek előrejelzését, és ennek alapján az adott szerszámmal gyártott fogaskerekek pontosságát. A modell lehetőséget ad arra, hogy az elméleti profilhiba eloszlását és maximális értékét grafikus környezetben határozzuk meg.

5. Esettanulmány

CAD-környezetben két profilhiba-elemzési módszert dolgoztunk ki:

I. módszer: ebben az esetben a numerikusan létrehozott ekvivalens fogaskerék-evolvens Autodesk Inventor környezetbe implementáltuk, a szerszám élet pedig Inventor környezetben alakítottuk ki az adott szoftver specifikus parancsait alkalmazva.

A mérési módszer menete a következő: Elmetsszük a testmodellt a klasszikus körkúp-homlokfelülettel vagy hengerfelülettel. Azonosítjuk az élgörbét.

Az élgörbét levetítjük a tengelyre merőleges síkba.

Az élgörbe osztóköri pontjára tájolva berajzoljuk az α_0 kapcsolószögű, ekvivalens fogaskerék evolvensét (fogszám és modul a metszőkeréké, de a lécpofiliszög α_0).

A két görbét elmetsszük egy, az ekvivalens fogaskerék alapkörét érintő egyenessel.

A hiba a két görbe által kimetszett szakasz hossza lesz.

A mérést a metszőkerék talpkörén (a és a fejkörén (Ra) végeztük

Tanulmányunkban több élezési stádiumot szimuláltunk, és két élezési módszert alkalmaztunk: a klasszikus, kúpos élezést, valamint a hengerfelülettel való élezést [8]. A hibák alakulását a kapcsolószög, az élezési stádium és a homlokszögváltozásra tanulmányoztuk. A kapott eredményeket az 1–4. táblázatokban tüntettük fel.

Az 1. táblázatban a maximális szerszámprofil-eltolással rendelkező, tehát új metszőkerék elméleti profilhibáját tüntettük fel, klasszikus körkúp-pal való élezés esetében, $\gamma_v = 5^\circ$. A szerszámkapcsolószög értékét $\{\alpha_s - 10'; \alpha_s; \alpha_s + 10'\}$ értékekre állítottuk. A táblázat utolsó sorában a szerszámkapcsolószög névleges értékére, de $\xi = 0$ szerszámprofil-eltolásra vizsgáltuk a hibákat.

A második táblázatban a hibaértékek fogankénti henger-homlokfelület alkalmazására érvényesek. A henger sugara $\rho_h = 12$ mm, valamint a döntési szöge 5° volt.

II. módszer: ebben az esetben a numerikusan létrehozott ekvivalens fogaskerék-evolvenst, valamint a szerszám élét is Autodesk Inventor környezetbe implementáltuk, majd méréseket végeztünk. Így kiküszöböltük a térbeli modell megalkotását.

A mérés menete hasonló az I. esetben vázolt módszerhez, azzal a kivétellel, hogy mind a kontrollprofil, mind az élgörbét numerikusan generáltuk (12. ábra).

Ebben az esetben csupán a kúpfelület szerinti élezési módszert alkalmaztuk. Vizsgáltuk a profil-

hibák alakulását a szerszámkopás több stádiumára és homlokszög-értékre, α_s állandó esetre.

1. táblázat. Mért profilhibaértékek, kúphomlokfelület esetén

Esetek	Rt [mm]	Ra [mm]
$\alpha_s, \xi = 0.3$	0.005	0.021
$\alpha_s + 10', \xi = 0.3$	0.001	0.004
$\alpha_s - 10', \xi = 0.3$	0.015	0.033
$\alpha_s, \xi = 0$	0.008	0.015

2. táblázat. Mért profilhibaértékek, henger-homlokfelület esetén

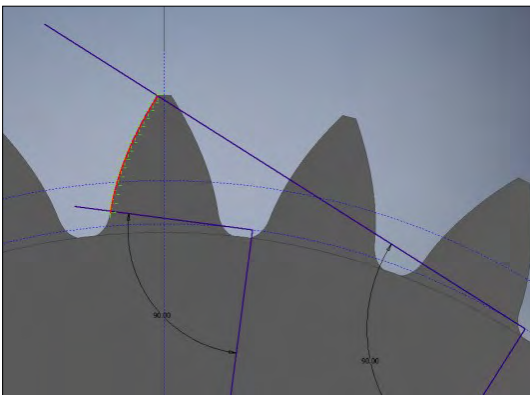
Esetek	Rt [mm]	Ra [mm]
$\alpha_s, \xi = 0.3$	0.001	0.008
$\alpha_s + 10', \xi = 0.3$	0.007	0.012
$\alpha_s - 10', \xi = 0.3$	0.011	0.016
$\alpha_s, \xi = 0$	0.003	0.003

3. táblázat. II. módszer, hibák a talpkörön

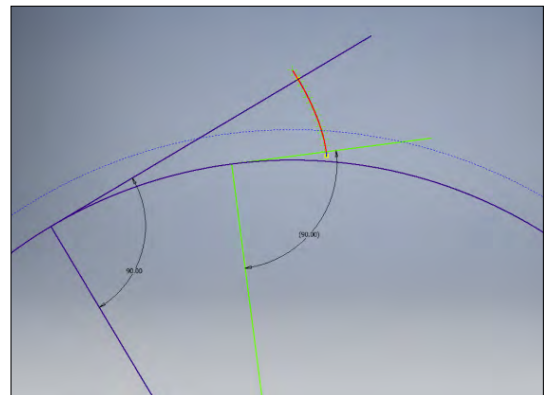
α_s	$\gamma_v = 5^\circ$	$\gamma_v = 10^\circ$	$\gamma_v = 17^\circ$
$\delta_h = 0$ mm	0.006	0.014	0.023
$\delta_h = 5$ mm	0.007	0.013	0.023
$\delta_h = 10$ mm	0.007	0.014	0.023
$\delta_h = 20$ mm	0.007	0.014	Nincs adat

4. táblázat. II. módszer, hibák a fejkörön

α_s	$\gamma_v = 5^\circ$	$\gamma_v = 10^\circ$	$\gamma_v = 17^\circ$
$\delta_h = 0$ mm	0.019	0.038	0.066
$\delta_h = 5$ mm	0.017	0.032	0.049
$\delta_h = 10$ mm	0.016	0.026	0.033
$\delta_h = 20$ mm	0.012	0.015	Nincs adat



11. ábra. Profilhibamérés, I. eset



12. ábra. Profilhibamérés, II. eset

6. Következtetések

A hibák eloszlása eltér a matematikai modell segítségével kapott eredményektől. Amint azt a 3. ábra is szemlélteti, a szerszám élének vetülete a kontrollprofil az osztóköron metszi, és ezen kívül helyezkedik el. Ezzel ellentétben az Autodesk Inventor környezetben az esetek 95%-ában azt tapasztaltuk, hogy csakis az (R0) osztókörtől a (Ra) fejkörig terjedő élvetületszakasz helyezkedik el a kontrollprofilon kívül. A (Rt) talpkör és az (R0) osztóköri közti szakasz az esetek nagy részében a kontrollprofilon belül illeszkedik. Jelen tanulmányból az következik, hogy a két görbe illeszkedése csak az $\alpha_s + 10^\circ$ $\xi(0.3)$ kúpos élzés esetén illeszkedik a matematikai modellel megegyezően, ugyanakkor ebben az esetben lett a legkisebb a profilhiba.

Az I. és II. esetek eredményeit látva elmondható, hogy a kapcsolószög változtatása nem minden esetben előnyös a profilhiba alakulására nézve.

A kapcsolószög klasszikus irodalomból vett kezelési értékének változtatása csak egyetlen esetben volt célravezető, ezt a kapott eredmények is alátámasztják, ugyanis a kapcsolószög értékének növelése vagy csökkentése legtöbb esetben maga után vonja a profilhiba növekedését.

A hagyományos élzéstől való eltérés eredményesnek bizonyult, mivel hengeres élzést alkalmazva, a profilhiba fejkörön mért értékei jóval kisebbek voltak, mint a hagyományos módszer használatakor.

A γ_v növelésével fokozatosan nő a profilhiba értéke, de a forgácsleválasztó képesség nagymértékben javul. Az általunk végzett mérési eredmények növekvő tendenciát mutattak a talpkörtől a fejkörig.

A túlzottan nagy homlokszög hátrányos a metszőkerék élettartamára nézve, a homlokszög nö-

velésével az újraélezések száma lényegesen lecsökken.

A δ_h növelésével a talpkörön mért profilhiba konstans, míg a fejkörön ez fokozatosan csökken.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Hollanda D.: *Aşchiere și scule*. Reprografia I. I. S. Tg. Mureș, 1994. 234–240.
- [2] Szeniczai L.: *Az általános fogazás*. Nehézipari Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1958. 49–50.
- [3] Máté M.: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámái*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016. <https://doi.org/10.36242/mtf-12>
- [4] Máté M.: Az egyenesfogú metszőkerék szerszámkapcsolószögének optimalizálása. Műszaki Tudományos Füzetek – FMTÜ I. sz. (1996) 12–15. <https://doi.org/10.36243/fmtu-1996.03>
- [5] Máté M., Kántor A., Laczkó-Benedek B.: *Metszőkerékkel lefejtett fogaskerekek profilpontosságának vizsgálata*. Műszaki Tudományos Közlemények, 7. (2017) 279–282. <https://doi.org/10.33895/mtk-2017.07.62>.
- [6] Máté M., Hollanda D.: *Az egyenesfogú metszőkerék geometriai modell számítógépes kiértékelésének hibái*. Műszaki Tudományos Közlemények, 10. (2019) 53–58. <https://doi.org/10.33894/mtk-2019.10.06>
- [7] Máté M., Hollanda D., Tolvaly-Rosca F., Forgó Z., Egyed-Faluvégi E.: *Synthesis of a Profile Errorless Involute Shaper Cutter with Cylindrical Rake Face*. In: 2019 IEEE 19th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 7th IEEE International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (CINTI-MACRO), Szeged, 14–16 November 2019. 71–76. <https://doi.org/10.1109/CINTI-MACRO49179.2019.9105302>
- [8] Tolvaly-Rosca F.: *A számítógépes tervezés alapjai: AutoLisp és Autodesk Inventor alapismeretek*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-07>



VÉLETLENSZÁM-GENERÁTOR

RANDOM NUMBER GENERATOR

Harangus Katalin,¹ Kakucs András²

¹ Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely, Románia, katalin@ms.sapiientia.ro

² Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely, Románia, kakucs2@ms.sapiientia.ro

Abstract

Illustration plays an important role during education: The Galton board is a suitable tool for illustrating random processes and explaining probability distributions. We have created this tool in a virtual version, which facilitates data collection for statistical processing of experimental data and also enables the study of non-symmetrical distributions. The random processes on the device are simulated, which requires a random number generator. Since there were some doubts about the software-generated pseudo-random numbers, we created a true random number generator based on the input noise of microcontrollers.

Keywords: *random number generator, Galton board.*

Összefoglalás

Az oktatás során fontos szerephez jut a szemléltetés: a véletlen folyamatok szemléltetésére, a valószínűségi eloszlások magyarázatára a Galton-deszka mutatkozik alkalmas eszköznek. Mi ezt az eszközt virtuális verziójában alkottuk meg, ami megkönnyíti a kísérleti eredmények statisztikai feldolgozása érdekében végzett adatgyűjtést, és lehetővé teszi a nem-szimmetrikus eloszlások tanulmányozását is. Az eszközön a véletlen folyamatokat szimuláljuk, amihez szükség volt egy véletlenszám-generátorra. Mivel a véletlen számok szoftveres előállítására bizonyos kételyek merültek fel, egy hardveres véletlenszám-generátort hoztunk létre, a mikrokontrollerek bemeneti zajára alapozva.

Kulcsszavak: *véletlenszám-generátor, Galton-deszka.*

1. Bevezetés

Az egyetemi hallgatók oktatása során alapvető tudást a valószínűségszámítás és a statisztika tárgyköréből is át szeretnénk adni. Legalább annyit, amennyi a véletlen jelenségek természetét tisztázza, és az azokat leíró, gyakorlati hasznú, számszerű összefüggéseket ismerteti. Mivel ez a tárgykör a matematikához tartozik, alapos megértése és az elmélyült tanulmányozása matematikusi gondolkodási módot igényel. Innen ered a feladat teljesítésében a legnagyobb kihívás: a mérnök gondolkodási módja nem azonos a matematikuséval: míg az utóbbi a fogalmakat rendszerint nem köti a való világhoz, a mérnök úgyszólván csak annak él. A tapasztalat szerint a mérnök hall-

gatók elméleti matematikatudása még alapvető szinten is hiányos, és nem is igazán látják a szükségességét e hiány pótlásának. A nem mérnöki szakok hallgatói esetében még rosszabb a helyzet, e szakokon matematika oktatására nem is kerül sor. Így az absztrakt gondolkodási módot feltételező témakörök oktatásában igencsak fontos szerephez jut az elvont fogalmakat a valósághoz kapcsoló szemléltetőeszközök használata [1, 2]. Ilyen pl. a különféle algoritmusok működésének a szemléltetése is, szoftveres és hardveres eszközök segítségével. Ennek alapján született meg az ötlet, mi szerint a véletlen folyamatok természetének tisztázásában, amit a mennyiségi összefüggések megállapítása követ, a Galton-deszkára lehetne „támaszkodni”.

Sor került tehát egy virtuális Galton-deszka fejlesztésére. A Galton-deszka eredeti verziójában a normál eloszlás illusztrálását szolgáló eszköz. A virtuális változat a lejátsszódó természeti jelenséget szimulálja, és ebbe a felhasználó be tud avatkozni, így a normáltól különböző eloszlást is szemléltetni lehet vele. A szimulálás számítástechnikai eszközök segítségével történik, miáltal a jelenség nemcsak megfigyelhetővé válik, hanem „menet közben” adatokat is gyűjthetünk róla, amelyeket valamilyen számítógépes programmal utólag feldolgozni, elemezni is tudunk.

A virtuális Galton-deszka véletlen jelenségeket szimulál, így szükség van egy véletlenszám-generátorra. Az eddigi tapasztalat azt mutatja, hogy a szoftveresen, algoritmusokkal előállított pszeudovéletlen számokkal való munka nem mindig vezet a várt eredményhez, így például pár száz egymást követő véletlen szám esetében sem igazán akar mindig összejönni az, hogy azok egyenletesen oszlanának el. Ennek kiküszöbölésére igazi véletlen számok hardveres előállítását céloztuk meg, ami a virtuális Galton-deszka megépítésében nem jelentett újabb költséget, ugyanis az azt vezérlő mikrokontrollerrel valósítottuk azt meg. A cikk ennek az ötletnek a megvalósítását írja le.

A didaktikai eszközt magát a 2022. szeptember utolsó napjaiban Bécsben tartott, „25th International Conference on Interactive Collaborative Learning” rendezvényen a „Didactic Tool for Intuitive Random Process Visualization” előadásunkban már bemutattuk és publikáltuk. E cikk második része az ott elhangzottak rövid összefoglalása.

2. Véletlen számok előállítása

A véletlen számok előállítása a legtöbb programozói környezetben egyszerű, mert rendszerint a rendelkezésünkre áll egy e célból megírt függvény [3], például:

- C-ben (így az Arduino programozásakor) és C++-ban: *rand()*, amely egy 0 és *RAND_MAX* közötti egész számot visszaadó függvény, ahol a felső határérték a programozói környezettől függ, de garantáltan az legalább 32767;
- Visual Basicben: *Rnd()*, ami egy, a [0, 1) intervallumból származó véletlen számot képvisel;
- Excelben *RAND()*, ami a szintén a [0, 1) intervallumból származó véletlen számot adó függvény, vagy *RANDBETWEEN(bottom, top)*, amely a [*bottom*, *top*] intervallumon értelmezett egész véletlen számot visszatérítő függvény.

Ezek a függvények valamilyen algoritmus alapján állapítják meg a soron következő, névlegesen

egyenletes eloszlású véletlen szám értékét, ami miatt azok kiszámított, tehát nem ténylegesen véletlen számok. Ezeket pszeudovéletlennek (ál-véletlennek) nevezik. Gyakorlatilag az egymást követő számok véletlennek tűnnek, azonban mindig ugyanolyan sorrendben következnek. Ahhoz, hogy az ismétlődés esélyét csökkentsük, rendszerint megvan a beállítási lehetősége annak, hogy honnan kezdjük „olvasni” a sort. Erre van C-ben a *randomSeed(x)* függvény, Visual Basicben pedig egy *Randomize(x)* utasítás, mindkettő a paraméterenként megadott számú, *x*. tagot állítja be a sor kezdetének. Nyilván, ha mindig ugyanazzal a paraméterrel dolgoznánk, akkor mindig ugyanott kezdődne a sor, így a számsort pl. a számítógép órája alapján kijelölt helyen való kezdéssel lehet véletlenszerűbbé tenni (a paraméter pl. az éjféltől óta eltelt másodpercek száma).

Amennyiben ténylegesen véletlen számra van szükségünk, akkor azt valamilyen fizikai eszközzel tudjuk előállítani [3]. Ez lehet pl. akár egy dobókocka vagy pedig egy hardveres véletlenszám-generátor. Működésük alapján nem egy algoritmus, hanem valami véletlen lefolyású fizikai jelenség áll. A kereskedelemben kapható RPG100 integrált áramkör a 16 bites véletlen számot a félvezetők zajára alapozva állítja elő, azonban ezt az áramkört a számítógéphez kell illeszteni.

Egyszerűbb és olcsóbb megoldást keresvén, a mikrokontrollerek analóg bemenetének zajára alapozva építettük meg a saját verziókat, amely ugyan lassabb a példaként említett áramkörnél, de elvileg tetszőleges felbontású véletlen számokat tudunk előállítani vele.

A megvalósítás a bárki számára elérhető, olcsó, könnyen programozható és számítógéphez egyszerűen csatlakoztatható mikrokontrolleres Arduino és ESP-fejlesztőlapra alapoz: mi az Arduino Mega [4] és az ESP32-es [5] verziókat próbáltuk ki. A kettő közötti lényeges különbség a sebességben rejlik: az ESP32-é nagyságrenddel nagyobb.

A működési elv a mikrokontroller „lebegő”, be nem kötött bemeneteinek véletlenszerűen alakuló feszültségének mintavételezésén alapul. A bemenet állapotának egyértelműsítésére általában azt egy nagyobb értékű ellenállással a testre, digitális bemenetek esetén pedig a pozitív tápfeszültségre kötik. Ezek az ellenállások („pull down”, „pull up”) néhány esetben a mikrokontroller beépített elemei, amelyeket szoftveresen lehet engedélyezni, egyébként nekünk kell azt az áramkörhöz csatlakoztatni. Ahhoz, hogy a bemenet állapota véletlenszerű legyen, arra nem kell

rákötöni semmit sem, és a belső pull down/pull up ellenállást (ha van ilyen) is ki kell iktatnunk.

Ha egy lebegő digitális bemenetet mintavételezünk, akkor annak állapota véletlenszerűen hol LOW, hol pedig HIGH lesz. Ha pedig egy analóg bemenetet, akkor a mintavételezett feszültség értéke alakul véletlenül a legkisebb és a legnagyobb lehetséges értékek közötti tartományon.

Mindkét esetben a kapott jel az illető bemenet zajfeszültségétől függ. Hogy mi lenne e zaj forrása, arra több magyarázat is létezik, valószínűleg azok kombinált hatásáról van szó. Az egyik forrás a félvezetők (meg a vezetők és a dielektrikumok) termikus zaja, amelyre a fent említett RPG100 integrált áramkör is alapoz. Egy másik fontos összetevő az „atmoszferikus zaj”, amelyet egy állomásra nem hangolt rádió sistergéseként hallhatóvá is tehetünk. Ez utóbbinak több összetevője is van, természeti jelenségekből és emberi tevékenységből fakadóan. Az emberi tevékenységből származó összetevők egy része szabályos ismétlődést mutathat, mint pl. az elektromos hálózat 50 Hz-es zaja, így az nem alakul teljes mértékben véletlenszerűen.

A mikrokontrollerek bemeneti zajának a harmadik forrása a tapasztalatunk szerint maga a mikrokontroller és a körülötte levő áramkör. Így az általunk tesztelt Wemos Lolin32 klón (ami egy ESP32-re épített fejlesztőlap) 32-es bemenete kifejezetten zajos, jóval zajosabb a többi bemenetnél, ami vélhetően valamiféle tervezési hibából származik.

Az Arduino 10 bites, az ESP32 pedig 12 bites felbontással mintavételezi az analóg bemenet feszültségét, amelyet egy egész szám formájában olvashatunk le az `analogRead()` függvény segítségével.

Ha egy analóg bemenetre nem kötünk rá semmit, akkor a környezeti, atmoszferikus zajt antenaként felfogó vezetékek hossza minimális lesz. Ekkor a mintavételezett feszültség kaotikusan változik, ami a fejlesztőlap elemeinek saját zajától függ, tehát kevés lesz benne az esetlegesen szabályszerűséget mutató összetevő. A tapasztalat szerint a zajfeszültség túl lassan változik, tehát két, egymást követő jel nagysága között nincs nagy különbség. Ha ezt a mintavételezett feszültséget használnánk a véletlen szám előállításához, akkor az egymást követő számok között sem lenne nagy a különbség.

Ahhoz, hogy a véletlenszám-generátorunk ténylegesen használható véletlen számokat hozzon létre, a mintavételező áramkörnek (az analóg-digitális konverternek) azt a hiányosságát használ-

juk fel, mi szerint a mintavételezéssel kapott, a jel nagyságát adó szám utolsó egy-két bitje még egy igazán stabil feszültség mérésakor is ingadozó, amivel a zaj esetlegesen szabályosan változó összetevőit is ki lehet iktatni.

A működési elv tehát a következőképpen algoritmizálható:

- mintavételezzük a lebegő analóg bemenetet;
 - megállapítjuk a kapott digitális jel utolsó egy-két bitjét;
 - ezeket hozzáadjuk egy bitekből álló sorhoz;
 - ha ez a sor már elég hosszú, akkor azt véletlen számként értelmezzük (pl. 16 bittel egy 0 és 65535 közötti véletlen számot kapunk).
- A C-ben megírt, Arduino-ra és ESP32-re alkalmazott programunkban, csak az utolsó bit megtartásával, ez a következőképpen néz ki [6]:

```
B = byte(analogRead(Pin0) &
0b00000001) |
(byte(analogRead(Pin1) &
0b00000001) << 1) |
...
(byte(analogRead(Pin7) &
0b00000001) << 7);
```

ahol `analogRead(PinX)` az analóg bemenetről beolvasott érték, `0b00000001` egy maszk (amelynek csak az utolsó bitje 1). Az `&` művelettel ezt a maszkot alkalmazzuk (bitenkénti „és”), minek következtében a beolvasott értéknek csak az utolsó bitjét tartjuk meg (a többiit nullázzuk). Ezt a bitet a `<< n` művelettel eltoljuk balra (ahol `n` adja meg azt, hogy a megtartott bit hova kerüljön), majd az eredményt egy-byte-os számmá alakítjuk (`byte(...)` – erre azért van szükség, mert az `analogRead()` függvény által visszatérített érték nem egybájtos adat) –, majd a `|` művelettel (bitenkénti „vagy”) beillesztjük a már létrehozott sorba. Az eredmény egy byte lesz. Ha két-byte-os számra van szükség, akkor azt két byte-ból a `B1 + 256 * B2` művelettel kapjuk meg.

A véletlen számok létrehozásának felgyorsítása végett nyolc különböző analóg bemenetet mintavételezünk egyszerre, a nyolc véletlen bit létrehozásához.

Ha csak egy véletlen „igen/nem” adatra van szükségünk (mint pl. a virtuális Galton-deszka megépítésénél), akkor még egyszerűbb a dolgunk: az analóg bemenetről beolvasott egész érték páros-páratlan értékét kell figyelniük: a generált véletlen szám a kettővel való osztás maradékeként 0 vagy 1.

3. A hardveres véletlenszám-generátor tesztelése

A tesztelés során a program egy ciklusában 2 egy-byte-os adatot hozunk létre, amelyekből egy 0 és 65 535 közötti egész véletlen számot számítunk ki. A tapasztalat azt mutatja, hogy a mintavételezés után egy kis időnek el kell telnie ahhoz, hogy az áramkörök visszaálljanak a nyugalmi állapotukba, ellenben a kapott mennyiségek nem alakulnak véletlenszerűen. Ha a véletlenszám-generálást egyetlen bemenet mintavételezésével oldanánk meg, akkor a két egymást követő bit meghatározása közötti várakozás miatt a folyamat nagyon lassú lenne. Így inkább nyolc különböző bemenetet mintavételezünk sorban, várakozás nélkül, remélvén, hogy ezek nincsenek hatással egymásra. A byte-ok (8-8 bit) meghatározása között egy rövid időre megszakítjuk a program futását. Az így kapott számokból 16 384 tagú sorozatokat, mintákat állítottunk elő. E minták növekvő sorrendbe rendezésével az 1. ábrán látható grafikonokhoz jutottunk.

Azt tapasztaltuk, hogy az egymást követő mintavételezések közötti várakozás hossza befolyásolja a nyert adatsor minőségét. Várakozás nélkül az adatsorok nagyszámú zérus értéket tartalmaznak. 2 ms várakozás már javít a helyzeten, de mind az ESP32, mind az Arduino Mega, erősen nemlineáris viselkedést mutat.

A 10 ms-os várakozás már lényegesen javít a helyzeten, az Arduino esetében már elegendőnek is tűnik. Az Arduino órajel-frekvenciája nagyság-

renddel kisebb az ESP-jénél, így a 10 ms-hoz hozzáadódik a nagyobb ciklusidő miatti késlekedés is.

A 25 ms-os várakozás az ESP32 esetében is jó közelítéssel lineáris mintához vezet.

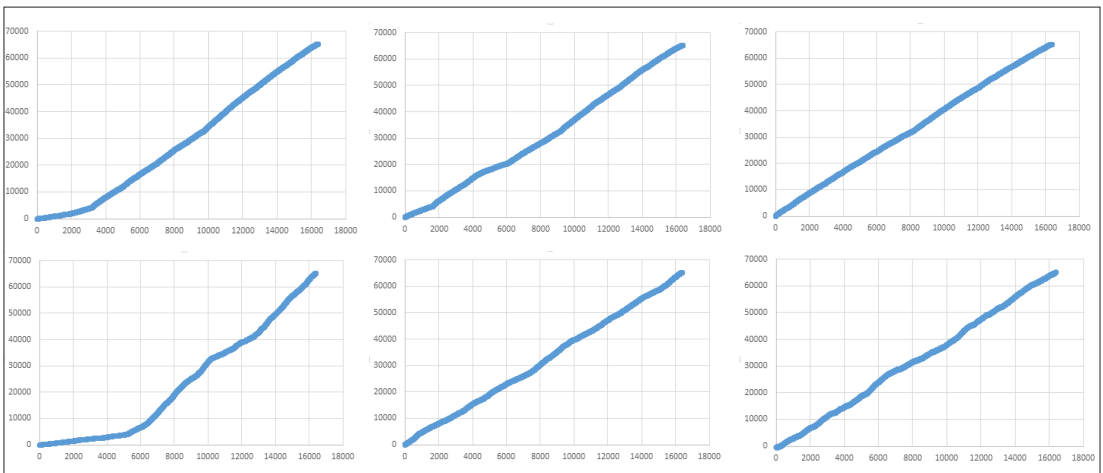
Az Arduino Mega esetében az 1. ábrán bemutatott, 25 ms-os várakozással mintavételezett számsornál jobb minőségűt is kaptunk (a példaként bemutatott 10 ms-os minta is jobb annál); a következőkben ezt elemeztük tovább, két ok miatt:

- mivel a kapott minták közül a gyengébb minőségűek közé tartozik;
- mivel a szemléltetőeszközünket ezzel az áramkörrel volt egyszerűbb megépíteni.

Az elemzés során kiszámoltuk a minta empirikus átlagát és szórását: $m = 32518,35$, $\sigma = 19234,06$. Mivel a kapott számok a kívánalom szerint 0 és 65 535 között egyenletes eloszlásúak kellene, hogy legyenek, az elméleti átlag 32 767,50, a szórás pedig 18 918,32 lenne. Azt tapasztaljuk, hogy ezek egymáshoz elég közel álló számok.

Kiszámoltuk a minta empirikus eloszlásfüggvényét, valamint meghatároztuk az elméleti eloszlásfüggvénynek a minta tagjaira számolt értékét. E két számsor alapján Excelben a χ^2 próbával (CHISQ.TEST) elvégeztük az illeszkedésvizsgálatot, a visszatérített érték pedig 1 volt, ami a tökéletes illeszkedésre utal (pedig láthatjuk, hogy az nem éppen tökéletes), miszerint igen nagy valószínűséggel állíthatjuk azt, hogy a kapott véletlen számok egyenletes eloszlásúak.

A gyanúsán jó egyezés miatt egy másik, nem-parametrikus próbát is elvégeztünk, a Kolmogorov-



1. ábra. Növekvő sorrendbe rendezett minták.

Fent ESP32, lent Arduino Mega.

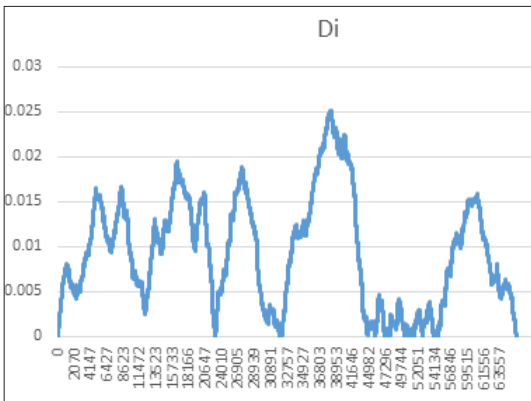
Balról jobbra: 2 ms, 10 ms és 25 ms várakozás két mintavétel között.

A vízszintes tengelyen a létrehozott véletlen szám sorszáma, a függőlegesen annak nagysága látható

Szmirnov-tesztet. Ez az empirikus és az elméleti eloszlásfüggvény közötti legnagyobb eltérés alapján dönti el azt, hogy a kettő azonos eloszláshoz tartozónak tekinthető-e, vagy sem. Az eltérés D_i abszolút értékének változását a **2. ábra** mutatja.

D_i legnagyobb értékét egy D_{kr} , a megbízhatósági szinttől és a minták számától függő kritikus értékkel kell összehasonlítani: ha az meghaladja a kritikus értéket, akkor az illető megbízhatósági szint mellett nem lehet elfogadni azt, hogy a minta az adott elméleti eloszlással rendelkezne.

A nem túlságosan jó minőségűnek tartott, 16 384 számból álló mintánk esetében a szokásos megbízhatósági szintek mellett a K-S tesztet a χ^2 próbával ellentmondó eredményre vezetett, vagyis nem sikerült bizonyítani az eloszlás egyenletes mivoltát. Azonban ha a K-S tesztet nem a minta elemeivel meghatározott eloszlásfüggvénnyel, hanem az intervallumokba csoportosítással kapott hisztogrammal végezzük el, akkor az is pozitív eredményhez vezet.

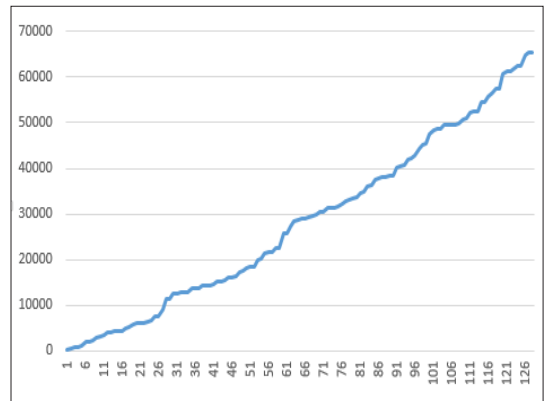


2. ábra. Az empirikus és az elméleti sűrűségfüggvény közötti eltérés abszolút nagysága

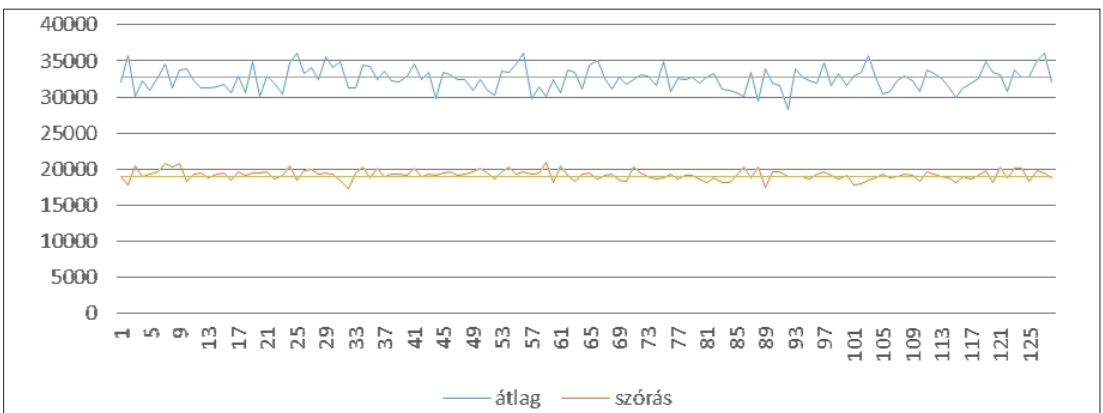
Ellenőrzésképpen ugyanezeket a számításokat Excelben generált pszeudovéletlen számsorokkal is elvégeztük, az eredmények hasonlóképpen jók vagy még jobbak is voltak.

A szoftveresen generált számsorokkal kapcsolatban azonban az a kifogás merült fel, miszerint ha azok nem elég hosszúak, akkor az egyenlethez távol álló eloszlást mutathatnak. Emiatt a hardveresen létrehozott számsorainkat, a létrehozásuk sorrendjében, kisebb részmintákra, rövidebb számsorokra osztottuk, és megvizsgáltuk azt, hogy azok empirikus átlaga és szórása miként alakul. A **3. ábrán** pl. a 256 darab 128 elemű részmintára felosztott számsorunk esetét láthatjuk, ahol az empirikus átlag 28 307,41 és 36 125,93 között változik.

A teljes minta átlagától a legnagyobb eltérést a 28307,41-os érték mutatja (a 92. rész minta). Az ebben a mintában levő, sorrendbe állított számok grafikonja a **4. ábrán** látható. Az erre a mintára



4. ábra. Az átlagtól legnagyobb eltérést mutató rész minta elemeinek grafikonja



3. ábra. Az empirikus átlag és szórás változása az elméleti értékek körül, a 128 elemű részekre bontott mintára



5. ábra. A véletlen számok bitmapként való megjelenítése (balra Arduino Mega, jobbra ESP32)

elvégzett χ^2 próba és a K-S teszt (amelyet a 128 számmal végeztünk el, nem alkalmaztuk a hisztogramos közelítést) szerint az egyenletes eloszlás hipotézise még mindig igen nagy valószínűséggel fogadható el.

Az esetleges ismétlődések és a sorra következő (tehát nem a rendezett számsorok) eloszlásának egyenletességének vizsgálatára további eszközök is be szoktak vetni.

Elterjedten használt megoldás a számsorok bitenkénti vizuális megjelenítése, ahol a 0-s bitek fekete, az 1-es bitek pedig egy fehér képpontot kódolnak egy fekete-fehér bitmap-ben. Ha az eloszlás tényleg egyenletes, akkor ez az ábra egyenletesen szürke kell, hogy legyen, és semmiféle ismétlődést, mintázatot nem kell mutatnia. Mi ezt az elvet egy kissé másképp alkalmaztuk, egy képponthoz nem egy bitet, hanem egy byte-ot rendeltünk, így a kapott ábra pixelei 256 különböző színnel rendelkezhetnek. Ez az ábra is ismétlődésektől, mintázatoktól mentes és egyöntetűen szürke kell, hogy legyen, tehát nem lehetnek rajta pl. pirosas vagy kékes árnyalatú foltok sem. Az ismertetett mintára az 5. ábra bal oldalán látható, 256x128 pixel méretű, bitmap-formátumú képet kaptuk. Ugyanazon az ábrán a jobb oldali téglalap az ESP32-vel, 25 ms várakozási idővel generált számsorral kapott eredményt mutatja. Az ábrák vizsgálatával meggyőződhetünk arról, hogy a nyert számsorok valóban egyenletes szórásúak.

4. A Galton-deszka mint didaktikai eszköz

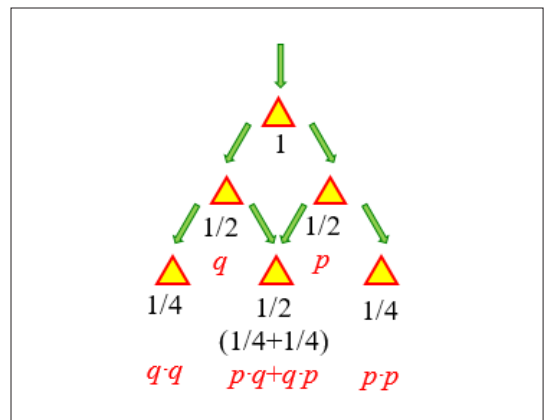
A véletlen folyamatok intuitív szemléltetésére Francis Galton angol polihisztor 1889-ben egy szerkezetet épített, amelyet Galton-deszkeként ismerünk. Ez tulajdonképpen egy ferdén elhelyezett sík lap, amelybe sakkmintaszerűen szegeket vert be, egymástól pontos távolságra. A lap alján tartórekeszeket alakított ki, amelyekben a felül-

ről, ugyanabból a pontból elindított korongok vagy golyók gyűlnek össze.

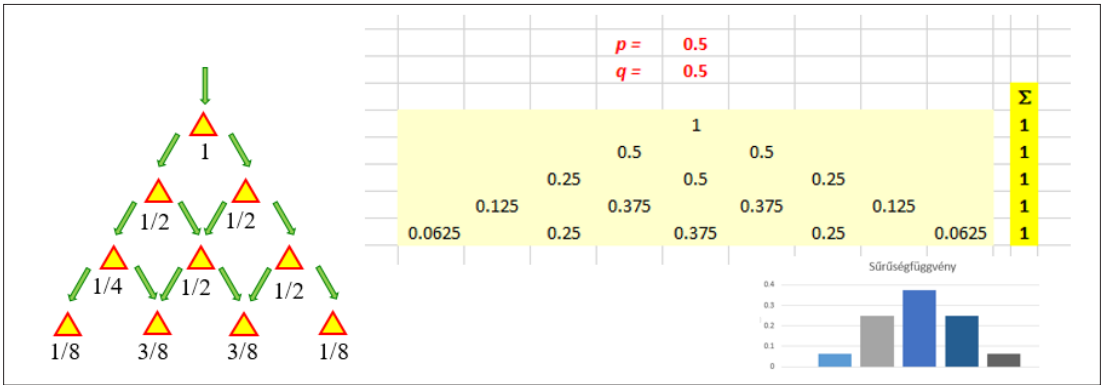
A korong lefelé csúszása közben beleütközik az első szegbe, ami megakadályozza a további szabad lecsúszását. Itt tehát az pattan egyet, és véletlenszerűen, p valószínűséggel a szeg jobb vagy q valószínűséggel annak a bal oldalán fog tovább csúszni lefelé, a következő sor szegéig. A „klasszikus” verzióban $p = q = 0,5$. Ekképpen, ha elég sok korongot csúsztatunk lefelé, akkor azoknak kb. a fele fog a második sor első szegére jutni, és fele fog a második szegre esni.

A második sorban a jobbra vagy balra történő kitérés megismétlődik. A jobbra-balra kitérés valószínűsége ugyanaz, így valamely lehetséges útvonalon való továbbhaladás valószínűsége feleződik. A második sor középső szegét azonban a lefelé csúszó korong két különböző úton is elérheti, így annak a valószínűsége, hogy oda jusson, a két megfelelő valószínűség összege lesz (6. ábra).

A harmadik és a további sorokban kialakult helyzet bonyolultabbá válik. A magyarázathoz szükséges számításokat pl. a Pascal-háromszögnek Excelben való felépítésével tehetjük áttekinthetőbbé (7. ábra).



6. ábra. A második szeggel való ütközés



7. ábra. További szegekkel való ütközés

5. A virtuális Galton-deszka

A szemléltetőeszközünk egy virtuális Galton-deszka (8. ábra). Valójában ez egy kézzel fogható eszköz, amelyen a valódi deszkán végbemenő jelenséget szimuláljuk. A készülék „lelke” egy Arduino Mega 2560-as fejlesztőpanel, amelyhez egy 32×32-es RGB LED-mátrixot csatlakoztattunk. A „korong” egy pixel (a panelen egy színes LED), amely felülről lefelé állandó (a felhasználó által módosítható) sebességgel „esik”. Ha az esés közben egy „szeghez” ér (amely szintén egy pixel), akkor egy véletlenszám-generátor által előállított szám segítségével eldöntjük, hogy az merre térjen ki (0 – balra, vagy 1 – jobbra).

A korongok balra-jobbra kitérésének a valószínűsége az eredeti Galton-deszkának megfelelően lehet 0,5, azonban a továbbfejlesztett verzióinkban azt a stand dőléséhez is igazíthatjuk, amivel az általános binomiális eloszlást is tanulmányozhatjuk, nem csak a szimmetrikus, $p = 0,5$ -nek megfelelő esetet. Például ha megemeljük az eszköz bal oldalát, akkor a korongok inkább jobb oldalra fognak esni, az eloszlásuk pedig ferde lesz.

A standnak a függőleges helyzettől való eltéréseinek α dőlésszögét egy analóg, MMA7261QT-típusú gyorsulásmérő érzékelővel mérjük meg.

Ha a Galton-deszka nincs elbillentve, akkor a korongok egyforma valószínűséggel pattannak jobbra vagy balra. Ha a deszkát megbillentjük, akkor ez a valószínűség megváltozik:

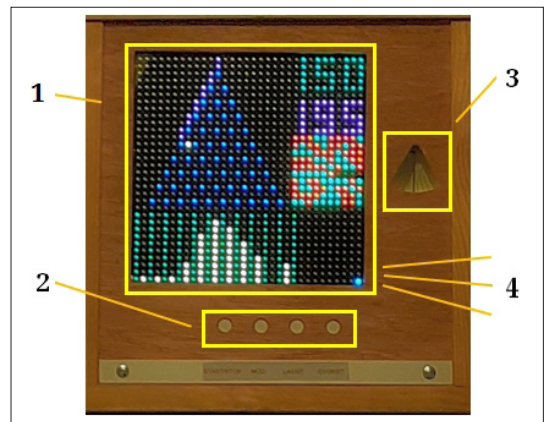
$$p = 0,5 + \sin \alpha.$$

E képletnek nyilván csak akkor van értelme, ha α a $[-30^\circ, +30^\circ]$ intervallumon van; ha $\alpha < -30^\circ$, akkor $p = 0$, ha pedig $\alpha > +30^\circ$, akkor $p = 1$.

A tartóban csak korlátozott számú korong férne el, így ha az feltelik, akkor az oszlopok magasságát skálázással csökkentenünk kell. A korongok

számát tehát egy idő után már nem a világító pixelek száma jelenti.

Minden századik leguruló korong után az Arduino a soros porton keresztül kiküldi a tartóban összegyűjtött korongok számát, amelyet például az Arduino IDE program „Serial monitor” ablakából kimásolhatunk további elemzések elvégzése céljából: megrajzolhatjuk a gyakoriságok histogramjait, kiszámíthatjuk az eloszlás empirikus átlagát és szórását, statisztikai próbákat végezhetünk el.



8. ábra. A virtuális Galton-deszka

- 1- 32×32-ES led-panel
- 2- Kezelőgombok, sorban: start/stop, üzemmód-beállítás, animáció lassítása, animáció gyorsítása
- 3- Inklinométer, amely a billenés szögének szinuszával kiszámított p valószínűségét mutatja
- 4- Üzemmód-indikátor:
 - felső led: „igazi” véletlenszám
 - középső led: pszeudo-véletlenszám
 - alsó led: a szög által befolyásolt pszeudo-véletlenszám

6. Következtetések

Az egyszerűen megépíthető hardveres véletlenszám-generátorokról szóló értekezések gyakran utalnak a mikrokontrollerek lebegő (be nem kötött) bemeneteinek zajára, amelynek a mintavételezésével véletlenszerűen alakuló adatokat kapunk. Amennyiben egy mikrokontrolleres rendszer programozásában van szükségünk a véletlen számokra, akkor az ötlet megvalósításához nincs is szükségünk külön eszközökre, csupán a véletlen számot előállító kódot kell megírni. A tapasztalatunk szerint azonban egy bemenet állapota, legyen az analóg vagy digitális, habár véletlenül, de túl lassan változik, így az egymást követő véletlen adatok szórása nem lesz kielégítő. Emiatt az alapötletet úgy fejlesztettük tovább, egy analóg bemenet mintavételezésével kapott véletlen értékek utolsó bitével dolgozunk, és ha egy adott intervallumból vett véletlen számokra van szükségünk, nem pedig egyszerű „igen/nem” kimenetekre, akkor az így nyert bitek sorozatából állítjuk össze azokat.

A tapasztalat azt mutatta, hogy ha az analóg bemenetek mintavételezése túl nagy frekvenciával történik, akkor a kapott eredmény nem a kívánt lesz: valószínűleg a mintavételező áramkörnek nem lesz ideje az alaphelyzetbe való visszatéréshez. Ha véletlen számok hosszú sorozatát szeretnénk előállítani, a minták vétele közötti szünet beiktatása miatt a véletlen bitek egyetlen ana-

lóg bemenetről való beolvasása egy hosszadalmasabb folyamat lenne. Emiatt a véletlen szám egy byte-jának megállapítására nem egy, hanem nyolc bemenet állapotát olvassuk be egyszerre (tulajdonképpen egymás után, de beiktatott megszakítások nélkül).

Az így kapott számok egyenletes eloszlásúnak mutatkoztak. Ezekből kiindulva normál eloszlású számokat a Box–Müller-eljárással tudunk előállítani.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Mcloughlin C., Krakowski K.: *Technological Tools for Visual Thinking: What Does the Research Tell Us?* Paper presented at the Apple. University Consortium Academic and Developers Conference, James Cook, 13.1–13.12 (2001)
- [2] Khasanovna U. N.: *The Importance of Didactic Tools in the Teaching of Educational Science*. Academicia Globe: Inderscience Research, 2. (2021) 76–79.
- [3] Johnston D.: *Random Number Generators—Principles and Practices: A Guide for Engineers and Programmers*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 2018
- [4] *** Arduino Mega Rev. 3. Documentation, <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>
- [5] *** ESP32 Reference, <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/index.html>
- [6] *** Arduino Language Reference, <https://www.arduino.cc/reference/en/>



MAKRO- ÉS MIKROSKÓPOS VIZSGÁLAT A BIZTONSÁG SZEMPONTJÁBÓL KRITIKUS ALKATRÉSZEKEN

A MACRO- AND MICROSCOPIC INSPECTION OF THE SAFETY CRITICAL COMPONENTS

Huszák Csenge,¹ Schramkó Márton,² Kovács Tünde Anna³

¹ Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, huszak.csenge@bgk.uni-obuda.hu

² Óbudai Egyetem, Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola. Budapest, Magyarország, schramko.marton@bgk.uni-obuda.hu

³ Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar. Budapest, Magyarország, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

In many cases related to critical infrastructures, we find equipment that is extremely important from a safety point of view and key safety-critical components in them. Such parts are turbine blades, engine elements of jet aircraft, as well as high-pressure steam lines of power plants and pressure equipment for liquid gases. In the case of safety critical components, non-destructive and the destructive tests are indispensable. The damage to these components can cause catastrophic failures that need to be avoided. During the inspection of the components, microscopy tests give information about macrostructure and microstructure. Carrying out the tests consists of several steps, during which it is necessary to follow the relevant standards. During the examination of macrostructure, conditions that may lead to premature failure and breakage of the component can be detected. Getting to know the microstructure can provide information about manufacturing, welding, or microstructural defects, which can be a key issue from the point of view of safe operation.

Keywords: *microscope, destructive testing, welding, microstructure.*

Összefoglalás

Számos, a kritikus infrastruktúrához tartozó esetben találunk a biztonság szempontjából kiemelten fontos berendezéseket és ezekben kulcsfontosságú, biztonságkritikus alkatrészeket. Ilyen alkatrészek a turbinalapátok, a sugárhajtású repülőgépek hajtóműelemei, valamint az erőművek nagynyomású gőzvezetékei, folyékony gázok nyomástartó berendezései. A biztonság szempontjából kritikus alkatrészek esetében a roncsolásos és a roncsolásmentes vizsgálatok nélkülözhetetlenek. Ezen alkatrészek károsodása katasztrófát okozhat, amit minden esetben el kell kerülni. A komponensek vizsgálata során a makro- és mikroszkópos vizsgálatok a makroszerkezetről és a mikroszerkezetről adnak információt. A vizsgálatok elvégzése több lépésből áll, amelyek során be kell tartani a vonatkozó szabványokat. A makroszerkezet vizsgálata során már felfedezhetőek olyan hibák, melyek az alkatrész idő előtti meghibásodását, törését okozhatják. A mikroszerkezet megismerése pedig gyártási, hegesztési vagy anyagszerkezeti hibákról adhat olyan információt, mely a biztonságos üzemelés szempontjából kulcskérdés lehet.

Kulcsszavak: *mikroszkóp, roncsolásos vizsgálat, hegesztés, szövetszerkezet.*

1. Bevezetés

Számos biztonságkritikus alkatrész ismert, melyek meghibásodása katasztrófához vezethet.

Jelenleg ezen alkatrészek vizsgálataira nincsenek különleges előírások. Biztonságkritikusnak tekinthetőek a hegesztett kötéseket tartalmazó

alkatrészek, csővezetékek, pl. turbinalapátok. A hegesztett kötések vizsgálatára előírások vannak, ilyenek pl. a makroszerkezet és a mikroszerkezet vizsgálatát célzó vizsgálatok. Ebben a dolgozatban a hegesztett szerkezeteknél is alkalmazott vizsgálat minta-előkészítését kívántuk elemezni, és kiemelni ezt a feladatot elvégző személyzet képzésének fontosságát.

2. Mintakivágás

A mikroszkópi csiszolat készítése során nagyon fontos a minta mérete és alakja. A vizsgálni kívánt darab lehet túl kis méretű ahhoz, hogy csiszolni tudjuk a felületet (pl. egy tű vagy huzal keresztmetszete), vagy túl nagy (pl. hegesztett darab). Ha a vizsgálandó darab kicsi méretű, akkor beágyazással megfelelő méretű darabot tudunk készíteni, melynek a felületét már elő tudjuk készíteni. Ha azonban túl nagy, akkor ki kell munkálni egy, a vizsgálni kívánt anyagra jellemző darabot [1, 2, 3]. A kivágás során figyelni kell arra, hogy a minta anyagszerkezetét a vágással ne változtassuk meg. A vágással tehát nem okozhatjuk a darab felmelegedését vagy képlékeny deformációját, mert mindkét esetben megváltozhat az anyag szerkezete, így hamis vizsgálati eredményt mutathat. Hegesztett kötés vizsgálata során a mintakivétel helyét tekintve a szabvány ajánlását javasolt követni [4, 5]. A kivágás végezhető vízsugaras vágással vagy forgácsolással. A gyakorlatban speciális laboratóriumi mintakivágó berendezéssel is végezhetjük a vágást, a minta kivágása általában gyémántkoronggal, beállítható fordulatszámmal, vízhűtés mellett történik. Vékony lemezek és fóliák esetén ollóval is vághatjuk. A vágott felület mindenképpen elszenved deformációt, ezért lehetőség szerint a vágott felületet csiszolással tovább kell munkálni [1, 2, 3].

3. Mintabeágyazás

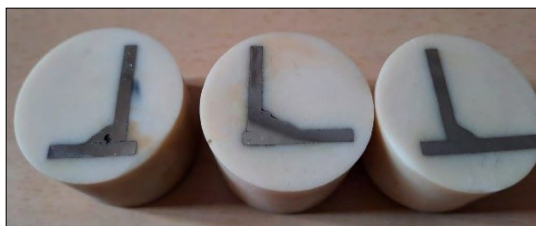
A beágyazás azt jelenti, hogy a kimunkált mintát vagy a kis méretű mintát polimer beágyazóanyagba foglaljuk. Az alkalmazott gyantától, valamint a minta anyagától függően alkalmazhatunk hideg vagy meleg beágyazást. Itt is elsődleges cél, hogy sem szerkezete, sem a kémiai összetétele nem változhat meg a beágyazás során [1, 2, 3]. A hideg beágyazás során általában kétkomponensű gyantát használunk. A gyanta kikeményedése során minimális reakcióhő keletkezik, de ez nem okoz a fémek esetében szerkezetváltozást. Minden esetben az ágyazóanyag gyártója által adott ajánlás szerinti arányokat és keverési sorrendet kell

alkalmazni az esetleges balesetek megelőzése érdekében. Az **1. ábrán** hidegbeágyazással készített minták láthatóak.

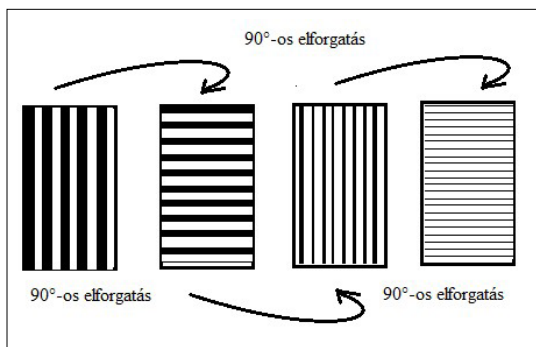
A melegbeágyazást a porágyazóanyag (bakelit, epoxi, akril stb.) felhevítésével és polimerizálásával végezzük. A melegbeágyazás hőmérséklete akár 200 °C is lehet az ágyazóanyagtól függően. Mindenképpen figyelembe kell venni, hogy egyes, kis olvadási hőmérsékletű fémek esetében ez a hőmérséklet már okozhatja a szövetszerkezet megváltozását (pl. újrakristályosodás).

4. Csiszolás

A minta felületét egyre finomabb szemcséjű csiszolószerszámmal csiszoljuk. Az alkalmazott csiszolóanyag lehet szilícium-karbid szemcséket tartalmazó vagy gyémánt csiszolókorong. A csiszolóanyagok P60-tól P4000 finomságig érhetők el a kereskedelmi forgalomban. A P2000–P4000 finomságú csiszolóanyagok már tekinthetők polírozóanyagoknak is. Akár kézi, akár automatizált csiszolást alkalmazunk, az egyes csiszolási lépések során a minta 90°-os elfordításával végezzük. Ezért a csiszolás mindig merőleges, egyre finomabb karcokkal tünteti el az előző csiszolási karcokat (**2. ábra**). A csiszolás folyamatos vízzadolással történik; a víz eltávolítja a levált szemcséket, forgácsot és a súrlódásból keletkező hőt.



1. ábra. Hidegbeágyazással készített minták



2. ábra. A csiszolás lépéseinek vázlata

5. Felület polírozása

A csiszolással kellő finomságúra előkészített felület polírozása a következő lépés. A polírozást végezhetjük mechanikus, kémiai vagy elektrolitikus úton. A mechanikai polírozást polírozókorongon, polírozókendő alkalmazásával végezzük. A polírozókendő anyaga lehet természetes (selyem, pamut, vászon stb.) vagy szintetikus. A polírozásnál a polírozókendő anyagához, keménységéhez és szövéséhez megfelelő 0,05–15 µm nagyságú alumínium-oxidot, magnézium-oxidot vagy gyémántszemcséket tartalmazó polírozópasztát vagy desztillált vizes szuszpenziót alkalmazunk. Kézi polírozás során a mintát a forgásiránnyal ellentétesen körkörös mozgattatni kell a polírozókorongon. Polírozást követően a felületet desztillált vízzel, majd alkohollal mossuk. (Amennyiben nem fém vizsgálati mintáról van szó, az alkohol alkalmazhatóságát ellenőrizni kell!) A felületet tisztítást követően fűvott meleg levegővel szárítjuk. A polírozott vizsgálati mintán már végezhetünk makroszkópos vizsgálatokat, mivel az 50-szeres nagyításban már bizonyos repedések, hegesztések esetén porozitás, nem megfelelő beolvadás is láthatóvá válik. A **3. ábrán** egy hegesztett kötésből kimunkált csiszolt és polírozott minta látható. Öntöttvasak esetében pedig a grafit vagy egyes nemfemes zárványok is felismerhetőek, valamint ezek alakja, mérete és eloszlása is vizsgálható.

6. Felület maratása

A részletesebb vizsgálatokat a felület maratásával végezzük az ISO 16060 [6] ajánlását figyelembe véve. A leggyakrabban alkalmazott maratószereket az **1. táblázat** foglalja össze.

A maratószert a vizsgálandó anyag minősége szerint kell választani. A maratószer a minta felületét eltérő mértékben marja meg a szemcsehatáron és a szemcsék felületén, emiatt válik láthatóvá a mikroszkópon. A hőkezelés hatására módosult szövetszerkezet is jól vizsgálható pl. szerszámacé-

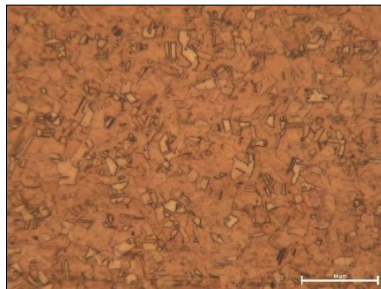


3. ábra. Hegesztett varrat polírozva és maratva

1. táblázat. Maratószerek [1, 2, 3, 6]

Név	Maratószer	Felhasználási terület
Nital	97 ml etil-alkohol 3 ml 69%-os salétromsav	Ötvözetlen és gyengén ötvözött acél
Pikral	100 ml etil-alkohol, 4 g pikrinsav	Ötvözetlen és gyengén ötvözött acél
Sósavas vas-klorid	960 ml etil-alkohol 20 ml 35%-os sósav 50 g vas(III)-klorid	Réz és ötvözetek
Keller	950 ml desztillált víz 25 ml 69%-os salétromsav 15 ml 35%-os sósav 10 ml 40%-os hidrogén-fluorid sav	Titán és ötvözetek, alumínium és ötvözetek
Kroll	10 ml 40%-os hidrogén-fluorid sav 30 ml 69%-os salétromsav 960 ml desztillált víz	Alumínium és ötvözetek

lok esetén [7]. Több információt kaphatunk, illetve könnyebb felismerhetőséget eredményeznek a színes maratási technikával. A maratószer a minta felületén stabil színes filmet képez, ami lehet pl. oxid, szulfid, kromát vagy valamilyen komplex vegyület. A maratószer elkészítése során szigorúan be kell tartani a keverési sorrendet és keverési arányokat. A kémiailag ellenálló anyagok maratásához elektrolitikus maratást lehet használni. A normál maratást úgy végezzük, hogy a minta felületét a maratószerbe mártjuk, és finoman mozgattatjuk. A maratási idő a mikroszkóp felbontásától is függ, kis felbontású mikroszkóp esetén hosszabb, míg nagy felbontású mikroszkóp esetén rövidebb ideig kell maratni a mintát. Maratást követően bő vízzel mossuk, majd alkohollal öblítjük, és fűvott meleg levegővel szárítjuk a mintát. Vörösréz minta maratott felületének mikroszkópos képe látható a **4. ábrán**.



4. ábra. Maratott vörösréz minta (maratva: sósavas vas-kloriddal)

Hegesztés során az ausztenites szövetszerkezetű rozsdamentes acéloknaál (pl. X5CrNi18-10, 1.4301) a hőhatásövezetben kiválások jöhetnek létre, ami rontja a korrózióval szembeni ellenállást [8, 9]. A szemcsehatáron létrejött kiválások metallográfiai vizsgálattal azonosíthatóak (5. ábra) [10].

7. Következtetések

A bemutatott makroszkópos és mikroszkópos vizsgálatokat széles körben alkalmazzák anyagvizsgálatok során. Az 6. ábra a makro- és mikroszerkezet vizsgálati lépéseit foglalja össze.

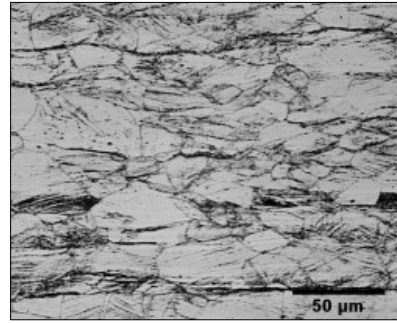
Mindenképpen fontos, hogy ezeket a vizsgálatokat megfelelően felkészült anyagvizsgáló személyzet végezze, akik mind a minta-előkészítésben, mind a vizsgálatok kiértékelésében magas fokú ismeretekkel rendelkeznek. Természetesen a minták elkészítése labortechnikusi szintű feladat, míg a makroszkópos vizsgálatok elvégzéséhez már több ismeretre és gyakorlatra van szükség. A szövetszerkezet meghatározása pedig már magas szintű anyagtudományi ismereteket és vizsgálati gyakorlatot feltételez. Természetesen a hagyományos vizsgálati technikákat kiegészíthetik a modern berendezések nyújtotta módszerekkel, mint a pásztázó elektronmikroszkóp vagy a fázisok meghatározását lehetővé tevő röntgendiffrakciós módszerek. Hegesztett szerkezetek vizsgálataihoz az Európai Hegesztési Szövetség (EWF) speciális képzési rendszert épített fel a hegesztéssel és rokon eljárásokkal gyártott szerkezeti anyagok és kötések metallográfiai vizsgálatáért felelős személyzet képzésére, három különböző ismeretszinten (EWF-627-07) [11].

Köszönetnyilvánítás

Az alábbi munka az Erasmus+ 2021-1-RO01-KA220-VET-000025835 számon nyilvántartott projekt keretében valósult meg, a támogatásért a szerzők köszönetet mondanak.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bramfitt B. L., Benschoter A. O.: *Metallographer's Guide, Practices and Procedures for Irons and Steels*. 1. kiadás. ASM International, Materials Park, 2002. 169–244.
- [2] McCall J. L., Mueller W. M.: *Metallographic Specimen Preparation, Optical and Electron Microscopy*. 1. kiadás. Plenum Press, New York, 1973. 1–348.
- [3] Vander Voort G. F.: *Metallography Principles and Practice*. 4. kiadás. ASM International, Materials Park, 2007. 1–258.



5. ábra. Ausztenites rozsdamentes acél szemcsehatár-kiválások [10]



6. ábra. Makro- és mikroszkópi vizsgálat lépései)

- [4] MSZ EN ISO 17639:2022 Fémek hegesztett kötéseinek roncsolásos vizsgálatai. Varratok makroszkópos és mikroszkópos vizsgálata 2022.
- [5] ISO 15614-1:2017 Fémek hegesztési utasítása és hegesztéstechnológiájának minősítése. A hegesztéstechnológia vizsgálata.
- [6] ISO/TR 16060:2003 Fémek anyagok hegesztéseinek roncsolásos vizsgálata. Marószerek a makro- és a mikroszkópos vizsgálatokhoz.
- [7] Tóth, L., Fábrián, R.: *The Effects of Quenching and Tempering Treatment on the Hardness and Microstructures of a Cold Work Steel*. International Journal of Engineering and Management Sciences, 4/1. (2019) 286–294. <https://doi.org/10.21791/IJEMS.2019.1.36>.
- [8] Dománková, M., Bártová, K., Slatkovsky, I., Pinke, P.: *High Nitrogen Austenitic Stainless Steel Precipitation during Isothermal Annealing*. Materials Engineering - Materiálové inžinierstvo 23 (2016), 84–89.
- [9] Dománková, M., Kocsisová, E., Pinke, P. Slatkovsky I.: *Effect of Deformation on Sensitisation Process in Austenitic Stainless Steel AISI 316*. Materials Science and Technology, 13 (2013) 1–10.
- [10] Dománková, M., Adamech, M., Petzová, J., Bártová, K., Pinke, P.: *Microstructure Characteristics of Borated Austenitic Stainless Steel Welds*. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology in Trnava, Slovak University of Technology in Bratislava, 26/43. (2018) 45–52. <https://doi.org/10.2478/rput-2018-0029>.
- [11] EWF-627-07 Guideline (2007)



A CSÍKSZENTIMREI OLT-HÍD RÉSZLEGES ÁRVÍZVÉDELMI VIZSGÁLATA

FLOOD PROTECTION PARTIAL ANALYSIS OF THE OLT BRIDGE IN SÂNTIMBRU

Kisfaludi-Bak Zsombor,¹ Gobesz F.-Zsongor²

¹ Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, kisfaludi.zsombor@eme.ro; Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Kolozsvár, Románia, zsombor.kisfaludi@mecon.utcluj.ro

² Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Kolozsvár, Románia, go@mecon.utcluj.ro

Abstract

In many places in Transylvania, we can observe the ruins and remains of buildings, from which many interesting conclusions can be drawn. As part of a more comprehensive research, in which the flood protection safety of old Transylvanian bridges is examined, in this case the rebuilt road bridge in Santimbru was investigated. Modelling and hydraulic calculations performed on the basis of in situ measurements can reveal the old hydraulic construction requirements used in the design of the bridge, and then the data were also considered in the light of today's standards.

Keywords: *technical history, bridge design, flood.*

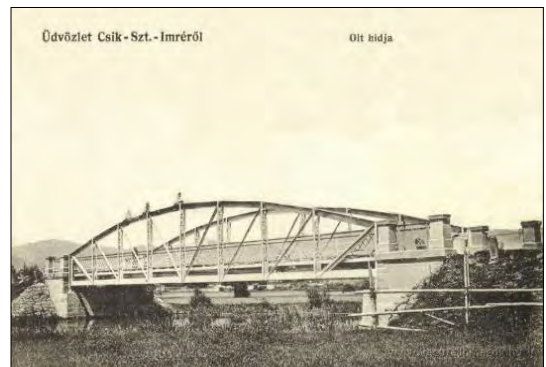
Összefoglalás

Erdély területén számos pontban figyelhetünk fel építmények romjaira, maradványaira, melyekből sok érdekes következtetést vonhatunk le. Egy átfogóbb kutatás részeként, melyben régi erdélyi hidak árvízvédelmi biztonságát vizsgáljuk, ez esetben a csíkszentimrei átépített közúti hídra került sor. A terepen végzett mérések alapján végrehajtott modellezések és hidraulikai számítások rávezethetnek a híd tervezésénél használt régi vízepítési követelményekre, majd az adatok a ma érvényes szabványok tükrében is mérlegelve lettek.

Kulcsszavak: *technikatörténet, hídtervezés, árvíz.*

1. Bevezetés

A vizsgált csíkszentimrei Olt-híd a 133-as jelzésű megyei úton helyezkedik el Hargita megyében, Romániában, és valószínűleg azon hidak sorát gyarapítja, amelyek 1916 szeptemberében lettek felrobbantva a visszavonuló osztrák–magyar hadsereg által. A híd eredeti tervei nem ismertek, de a szerkezet nem egyedülálló az Olt folyón, hasonló hidak épültek Csíkszentkirályon (Sâncrăieni), Sepsiszentgyörgyön (Sfântu Gheorghe) és más helyeken. A híd eredeti állapotáról készült postai képeslap az **1. ábrán** látható. A **2. ábra** tanúsítja, hogy a hídfőnél található korlát, mely teljesen kü-



1. ábra. A csíkszentimrei régi Olt/híd ábrázolása egy 1912-es képeslapon [1]

lönböző a híd felszerkezetén található korlátoktól, megegyező a képselapon láthatóval. A hídfőre függesztett plakett (3. ábra) jelzése alapján: „Az Olt híd felújítását 2016-ban a település községháza végezte el, Hargita megye tanácsa, csíkszentimrei közbirtokosság tagsága, Csíkszentimre helyi tanácsa anyagi támogatásával”. A hídfőbe vésett további információ: „Épült 1980”. Helyi lakosok elmondása alapján viszont 1980-ban is csak felújításra került sor, a hídfő jelen volt sokkal korábban is. Az eredeti híd (pillérek nélkül) egyetlen, megközelítőleg 25 méteres fesztávval rendelkezett.

A jelenlegi híd 52 méter hosszú és 5 pillérrel rendelkezik, igazodva az Olt folyó e szakaszán épített töltéshez a mederszélesítést követően (4. ábra).

2. Előzetes számítások

Jelen vizsgálat tárgya az Olt folyó csíkszentimrei szakaszának azon pontja, melyen az 1. ábrán megfigyelhető híd helyezkedett el és, ahol a 4. ábrán látható jelenlegi közúti híd van. A folyó e szakaszának a jellemzői az 1. és 2. táblázatban vannak feltüntetve.

A volt hídtól feljebb, körülbelül 4,2 km-es távolságban helyezkedik el egy hidrometriai állomás, melynek ismert adatai nagymértékben segítettek a számítás pontosságát.

1. táblázat. Sokéves átlaghozam [2]

Folyó neve	Kataszteri szám	Sokéves átlaghozam
Olt	VIII.1	5,74 m ³ /s

2. táblázat. Az Olt folyó paraméterei a számítási keresztelvényben [3]

Paraméter	Érték
Hossz	62 km
Átlagos lejtés	1,2%
Színúozítás	1,27
Gyűjtőmedence területe	956 km ²
Tengerszint feletti átlagmagasság	642 m

A fenti értékeket felhasználva, az előzetes hidrológiai számításokból a 3. táblázatban látható értékek származtak, az 1%-os, illetve az 5%-os valószínűségű áradások maximális vízhozamát tekintve.

3. táblázat. Az Olt folyó maximális áradási hozamai a híd alatti keresztelvényben

Valószínűség	Q _{max} p%
1%	430 m ³ /s
5%	232 m ³ /s



2. ábra. A régi hídfő jelenlegi állapota



3. ábra. A hídfőn lévő plakett



4. ábra. A régi ívhíd helyén épült közúti híd a kiszélesített meder felett

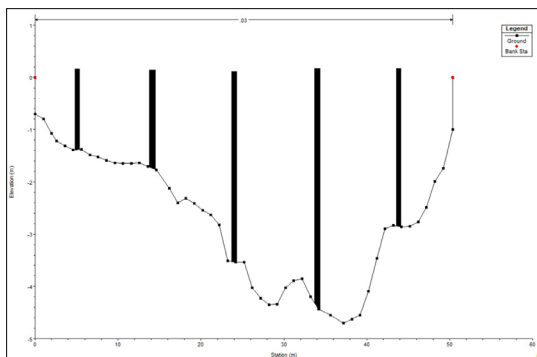
A mederszélesítési munkálatokat követően megépült újabb híd alatt a folyómeder jelenlegi keresztmetsvénye a terepen végzett mérések alapján lett modellezve, amint az **5. ábrán** látható.

A jelenlegi híd alatt és környékén nagymértékű mederhordalék lerakódása észlelhető a folyómederben. A sértetlen hídfők geometriája, illetve a mederszint alapján, a híd tervezésénél feltételezhetően számításba vett néhai keresztmetszvény az utólagos mederszélesítés figyelmen kívül hagyásával lett modellezve, miként a **6. ábra** mutatja.

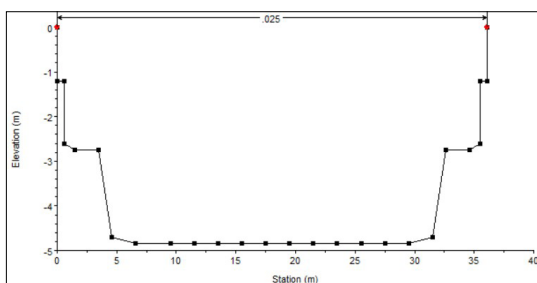
3. Tervezési előírások

A romániai előírások alapján a hidak tervezésénél használt áradási hozam kiválasztása a 4068/2-es szabvány [4] szerint az építmény fontossági besorolásának függvényében történik. A csík-szentimrei híd a 4273-as szabvány [5] értelmében 4-es fontossági osztályba tartozik, így a számítási hozam az 5%-os valószínűségű árvízi vízhozam.

Egy 2010-es kormányhatározat [6] előírja, hogy a jövőre vonatkozó nemzeti stratégia alapján kitűzött cél, hogy a vidéki települések esetében is az 1%-os valószínűségű árvízi vízhozam legyen a tervezési hozam, a fokozott biztonságért.



5. ábra. Az Olt folyó jelenlegi keresztmetsvénye a jelenlegi hídnál



6. ábra. A feltételezett régi keresztmetsvénye a folyómedernek a híd alatt

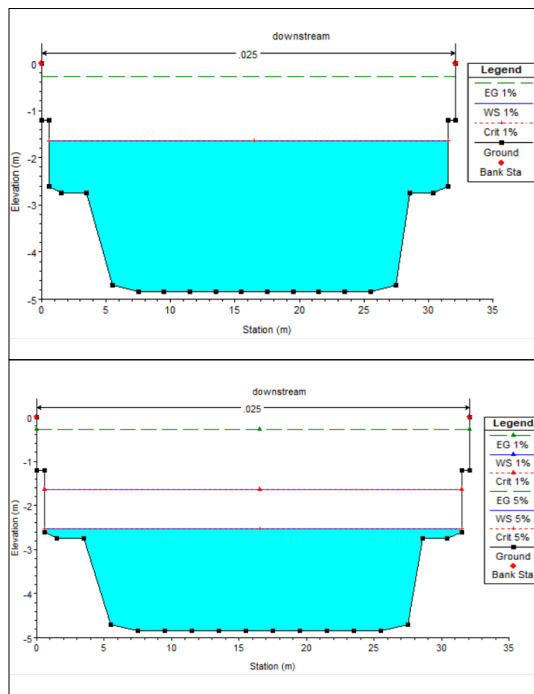
Tervezéskor, a hidak átfolyási szelvényének meghatározásánál figyelembe kell még venni egy bizonyos szabad magasságot, ami a romániai PD-95-ös szabvány [7] értelmében 1,5 méteres magasságot jelent az esetünkben.

4. Hidraulikai számítások

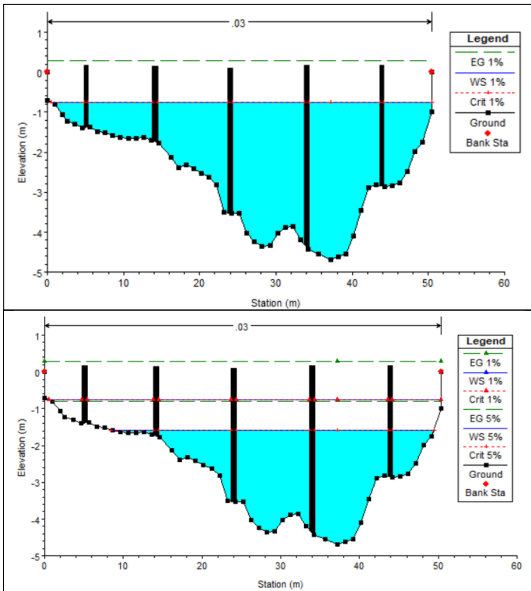
A hidraulikai modellezések az Amerikai Katonai Mérnökség HEC-Ras programja segítségével lettek megvalósítva. Az említett program Chézy-Manning-hidraulikai modellt alkalmaz.

Egy első modell segítségével a lett megvizsgálva, hogy a régi híd esetében feltételezett keresztmetszvény milyen mértékben felel meg a 2010 előtti romániai szabványoknak, illetve a jelenleg érvényes szabványoknak.

Az eredmények alapján (**7. ábra**) kijelenthetjük, a híd megfelel a 2010 előtti romániai tervezési szabványok követelményeinek, mivel a feltételezett eredeti keresztmetszet modelle az 5%-os valószínűségű áradás maximális hozama esetén 1,85 méteres szabad magasságot eredményez. Az 1%-os valószínűségű áradás maximális hozama esetén viszont a szabad magasság csak 0,96 méter, így a jelenleg megfogalmazott nemzeti árvízvédelmi stratégiai előírást nem teljesíti.



7. ábra. A feltételezett régi keresztmetsvénye a folyómedernek 1%-os, illetve 5%-os valószínűségű árvízi hozammal, a régi híd alatt



8. ábra. A jelenlegi folyómeder keresztmetszévénye 1%-os és 5%-os valószínűségű árvízi hozammal, a mostani közúti híd alatt

Egy második modell segítségével a folyómeder jelenlegi keresztmetszényét vizsgáltuk a már említett maximális hozamok esetén, a létező közúti híd alatt.

Amint a 8. ábrán megfigyelhető, a jelenlegi keresztmetszet 1%-os valószínűségű maximális hozam esetén 11 cm, 5%-os valószínűségű maximális hozam esetén pedig 90 cm szabad magasságot eredményez, tehát nem biztosítja a PD-95-ös szabvány által előírt 1,5 méteres minimális szabad magasságot sem a 2010 előtti, sem a 2010 utáni romániai árvízvédelmi szabványok által előírt áradási vízhozamok esetén.

5. Következtetések és további tervek

A csíkszentimrei hídnál végzett mérések alapján elvégzett hidraulikai számítások arra mutatnak, hogy a régi híd tervezésénél használt szabványok szigorúbbak lehettek a 2010-ig érvényes romániai előírásoknál, ugyanis az akkori folyómeder feltételezett keresztmetszévénye biztosítja az előírt szabad átfolyási magasságot az 5%-os valószínűségű áradási vízhozam esetén. Ezt a valószínűséget csupán az akkori előírások tanulmányozása után támaszthatjuk egyértelműen alá, mivel a feltételezett keresztmetszévénye egy hordalék- és lerakódásmentes, idealizált modellként volt számításba véve.

Második következtetésünk, hogy a jelenlegi keresztmetszet nem biztosítja a szabványok szerint előírt szabad magasságot, ezért szükséges lenne



9. ábra. Lerakódott mederhordalék

a lerakódott mederhordalék (9. ábra) eltávolítása és a folyómeder stabilizálása.

További tervekhez tartozik a csíkszentkirályi [8] és csíkszentimrei hidakhoz hasonló erdélyi hidak maradványainak a felkutatása, vizsgálata az eredeti tervezési követelmények meghatározása céljából.

Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályát a jelen publikáció megjelenéséhez nyújtott támogatásért. Ugyancsak köszönet illeti Kisfaludi-Bak Zsuzsánnát a terepen végzett mérések során nyújtott segítségért.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Képeslapok. Erdélyi képeslapok a múltból, Pethő Csongor gyűjteménye. *Csíkszentimre: Olt vasúti hídja*, 1912.
<https://kepeslapok.wordpress.com/2014/11/25/csik-2/csikszentimrehid/> (letöltés: 2022.10.11)
- [2] Ministerul Mediului și Dezvoltării Durabile: Studii pentru cunoașterea resurselor de apă în vederea fundamentării planurilor de amenajare ale bazinelor / spațiilor hidrografice, *Bazinul hidrografic Olt*, 2008.
- [3] Ministerul Mediului: Atlasul cadastrului apelor din România, Partea 1 – *Date morfo-hidrografice asupra rețelei hidrografice de suprafață*, 1992.
- [4] STAS 4068/2-87: Debite și volume maxime de apă. Probabilități teoretice ale debitelor maxime în condiții normale și speciale de exploatare.
- [5] STAS 4273-83: Construcții hidrotehnice. Încadrare în clase de importanță.
- [6] HG 846-2010: Strategia națională de management al riscului la inundații pe termen mediu și lung.
- [7] PD 95-2002: Normativ privind proiectarea hidraulică a podurilor și podetelor.
- [8] Kisfaludi-Bak Zs., Gobesz F.-Zs.: *A csíkszentkirályi lebombázott Olt-híd tervezésének részleges vizsgálata*. Műszaki Tudományos Közlemények, 16. (2022) 43–46.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2022.16.08>



FÜGGESZTETT MUNKAGÉP VONÓERŐRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A SUSPENDED WORKING MACHINE ON TRACTION FORCE

Pásztor Judit,¹ Miklós Előd,² Farnos Rudolf-László,³ Popa-Müller Izolda,⁴ Egyed-Faluvégi Erzsébet⁵

¹ Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, pjudit@ms.sapiaientia.ro

² Knorr-Bremse Fejlesztési és Kutatási Központ. Budapest, Magyarország. Elod.Miklos@knorr-bremse.com

³ Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, farnos_rudolf@ms.sapiaientia.ro

⁴ Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, ipmuller@ms.sapiaientia.ro

⁵ Sapiaientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, faluvegi.erszebet@ms.sapiaientia.ro

Abstract

It is always an aim in agricultural machine operation to understand the tractor-machine-soil relationship precisely. The working machine is often connected to the tractor with a three-point linkage system. The three-point linkage system coordinates the movement of the tractor-work machine group, increases the traction force, and also enables the adjustment of the coupled work machine. Understanding how it works is very important. In this paper, we examine the effect of the connection points of the three-point linkage system on the change in the adhesion weight force in a specific case, in the case of U532DT tractor and PP2-30 suspended plough.

Keywords: *three-point linkage system, adhesion force, traction force, suspended plough.*

Összefoglalás

Mindenkori törekvés a mezőgazdasági gépüzemeltetésben a traktor – munkagép – talaj kapcsolat pontos megismerése. A munkagép a traktorhoz gyakran hárompont-függesztő berendezéssel kapcsolódik. A hárompont-függesztő berendezés az erőgép – munkagép – gépcsoport mozgását összehangolja, növeli a vonóerőt, és a kapcsolt munkagép beállítását is lehetővé teszi. Működésének megértése nagyon fontos. A dolgozatban vizsgáljuk a hárompont-függesztő berendezés bekötési pontjainak hatását az adhéziós súlyerő változására egy sajátos esetben, az U532DT és PP2-30, függesztett ágyeke esetében.

Kulcsszavak: *hárompont-függesztő berendezés, adhéziós súlyerő, vonóerő, függesztett ágyeke.*

1. Bevezetés

1.1. Mezőgazdasági erőgép vonóereje

A traktor a mezőgazdaság energiaforrása, feladata a munkagép vontatása és működtetése. Egy traktor vonóerejének jó kihasználása, a vonóerő növelése hozzájárul a mezőgazdasági környezet-terhelés csökkentéséhez [1], [2]. A vonóerő az

erőgép hajtott kerekein megjelenő tapadási erő. Maximális értéke a talaj és a hajtott kerekek közti felületek minőségétől és a kerékterheléstől függ:

$$F_{vmax} = \mu \cdot G_{adh} \text{ [N]}, \quad (1)$$

ahol: μ tapadási tényező; G_{adh} adhéziós súlyerő [N].

Az adhéziós súlyerő a traktor hajtott kerekeire nehezedő súlyerő. Általában a traktor súlyere-

jének 2/3-át tekintik adhéziós súlyerőnek [3], de négykerék-meghajtás esetén a traktor teljes súlyereje adhéziós súlyerő.

A maximális vonóerő növelhető a tapadási tényező és az adhéziós súlyerő növelésével. Az adhéziós súlyerő növelésének több lehetősége is van. Jelen dolgozatban az erőgépre függesztett munkagép pótsúlyzó hatását vizsgáljuk.

A dolgozatban tanulmányozzuk, mérjük a függesztett munkagép tömegének ráterhelődését a hajtott kerékre. Ez növeli az adhéziós súlyerőt, így vontatásnál vonóerő-növelést vált ki. A munkagép függesztése az erőgépre a hárompont-függesztő berendezéssel történik.

1.2. Vonóerő meghatározásának módszerei

A vonóerőt mérőeszközzel közvetlen módon mérik, vagy indirekt módon meghatározzák [4].

1.2.1. Direkt, közvetlen mérési módszerek

Direkt módon, munka közben megméri a szerzám különböző pontjain fellépő erőket, és abból határozzák meg a vonóerőt. Ez történhet:

- laboratóriumi körülmények közötti mérésel;
- szabadföldi körülmények közötti mérésel.

A laboratóriumi mérések mérővályúban történnek. A mérővályú főbb részei: talajt modellező talajtartály, két oldalán sínekkel; a síneken mozog a talajművelő szerzám tartója; energiaforrás és hajtásrendszer, amely az erőgépet modellezi; mérő-/adatgyűjtő és elemzőrendszer. A mérővályú nagy méretű, nagy a helyigénye, és magas a beruházás költsége.

A szabadföldi mérésekhez erőmérő keretet használnak. Az erőmérő keretet a függesztett munkagép és a traktor hárompont-függesztő berendezése közé helyezik. Az erőmérő keretre erőmérő szenzorokat rögzítenek, amelyek mérik a vízszintes síkban a vonóerőt/vontatási ellenállást és a függőleges síkban az emelő-/terhelőerőket. Az erőmérő keret mérete nagy, robusztus. Általában minden kutatóközpont, gyár elkészíti a saját erőmérő keretét. Kereskedelembe nem kapható.

1.2.2. Indirekt, közvetett meghatározási módszer

Indirekt, közvetett módon, kísérleti körülmények között méréseket végeznek, és ezekből az értékekből következtetnek a munka közbeni tényleges vonóerőre.

A hárompont-függesztő berendezéssel kapcsolt munkagép az adhéziós súlyerő növelésével vonóerő-növelést vált ki [4]. Így a függesztett munkagépen mért erők alkalmasak lehetnek a vonóerő

változásának indirekt meghatározására. Dinamikai modellezéssel feltárhatóak a gépcsoportra ható, a jelenség szempontjából lényeges erők. Az erők elemezhetőek, és ez alapján kiválaszthatóak a vonóerőt befolyásoló tényezők [5].

2. A vizsgálat

2.1. A vizsgálat elméleti háttere

Függesztett munkagép tömegének egy része ráterhelődik az erőgépre, így hatást gyakorol a G_{adh} adhéziós súlyerőre, közvetve a vonóerőre. Megvizsgáljuk egy függesztett munkagép pótsúlyzó hatását.

A méréseket az U523DT univerzális kertészeti traktor és PP2-30 függesztett, két eketestes ágyekegpcsoporton végezzük. Ez a vizsgálat a gépcsoport álló helyzetében is elvégezhető.

Dinamikai modellezéssel feltárjuk a gépcsoportra ható, a jelenség szempontjából lényeges erőket.

Az erőgépfüggesztett ekegépcsoport függőleges síkjában levő erők egyensúlyban vannak [6]:

$$R_E + R_H - G_T - G_E + R_K = 0 \text{ [N]} \quad (2)$$

ahol:

- R_E és R_H az erőgép kerekei alatti talajellenállások [N];
- G_T a traktor súlya [N];
- G_E az eke súlya [N];
- R_K a mélységhatároló kerék alatti talajellenállás [N].

A szántás nagy vonóerőt igényel, emiatt az erőgépen többnyire a 4×4-es hajtást alkalmazzák, így a (2) összefüggés segítségével számolható a G_{adh} :

$$G_{adh} = R_E + R_H = G_T + G_E - R_K \text{ [N]} \quad (3)$$

A (3) összefüggés rámutat arra, hogy a függesztés során az R_K erő befolyásolja a G_{adh} értékét.

Tehát a függesztett munkagép mélységhatároló kereke alatt jelentkező ellenálló erő alkalmas a vonóerő-változás jellemzésére.

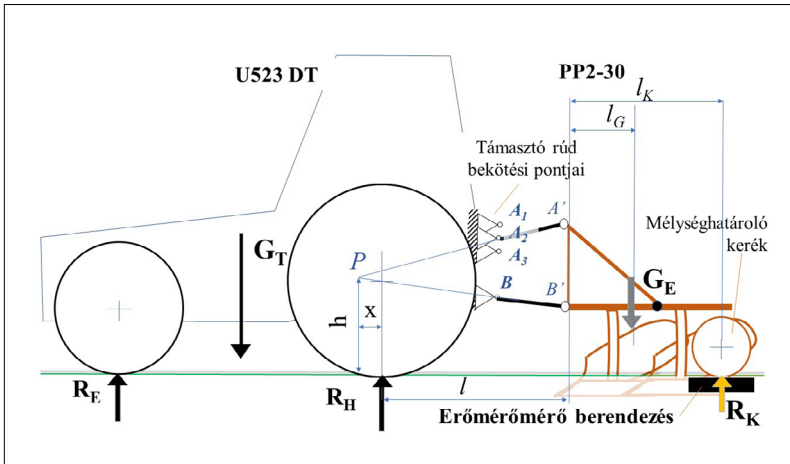
Az R_K erő vizsgálatához, elemzéséhez felírjuk a P függőleges pillanatnyi forgáspontban az ekére ható erők nyomatéki egyensúlyát [5]:

$$-R_K \cdot (x + l_K + l) + G_E \cdot (x + l + l_G) = 0, \quad (4)$$

ahol: az x a P pillanatnyi forgáspont távolsága a kerék középpontjától [m]; az l_K , l , l_G távolságok az 1. ábrán megfigyelhetők [m].

A (4) összefüggés segítségével kiszámolható az R_K talajellenállás:

$$R_K = \frac{G_E \cdot (x + l + l_G)}{(x + l_K + l)} \text{ [N]} \quad (5)$$



1. ábra. Erőgépfüggesztett munkagép dinamikai modellje

Az (5) összefüggés rámutat arra, hogy az R_K nagyságát befolyásolja az x távolság. Az x távolság nagyságát a hárompont-függesztő berendezés bekötési pontja befolyásolja (1. ábra).

2.2. A vizsgálat módszere

Feltételezzük, hogy a függesztőberendezés felső támasztórúdjának bekötési pontjai hatással vannak a G_{adh} adhéziós súlyerőre.

Mérjük a mélységhatároló kerék alatti talajellenállást három esetben, a függesztőberendezés felső támasztórúdjának három bekötési pontjában: A_1, A_2, A_3 pontokban (1. ábra).

2.3. A mérőeszköz

A mérőberendezés tulajdonképpen egy lapmérleg, amelyet a mélységhatároló kerék alá helyezünk. Felépítése a 2. ábrán követhető:

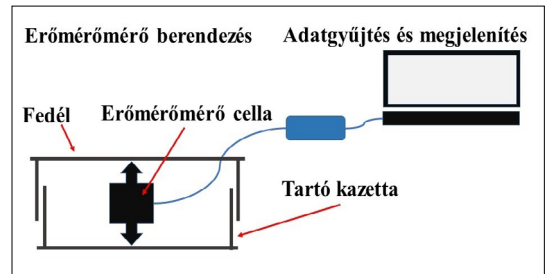
- mechanikai rész: tartókazetta, fedél;
- elektronikai rész: vezérlő-adatgyűjtő, kijelző, nyomtatott huzalozású lemez, gombok;
- erőmérő szenzor.

2.4. A mérések

A méréseket a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Kar Gyógynövénykertjében végeztük 2022 júniusában.

A mérések megkezdése előtt a traktor-ekes gépcsoportot összeillesztettük, és az ekén beállítottuk a hosszirányú vízszinteséget a felső támasztókar csavarorsójával; a keresztirányú vízszinteséget a függesztőrudak hosszával; a munkamélységet a mélységhatároló kerék segítségével 21-cm-re.

A traktor-ekes gépcsoport üzemelés közbeni állapota az 3. ábrán látható. A traktor jobb oldali kereke a már korábban kiszántott barázda alján



2. ábra. A mérőberendezés elvi felépítése



3. ábra. A mérés helyszíne

halad. Emiatt a traktor tengelye nem vízszintes, erre odafigyeltünk a mérési körülmények kialakítása során is.

Kialakítottuk az eketestek helyét 21 cm mélységben. Próbahúzásokkal meghatároztuk a mélység-határoló kerék helyét, és ott a mérőberendezést a talajfelszínig beástuk (4.a. ábra).

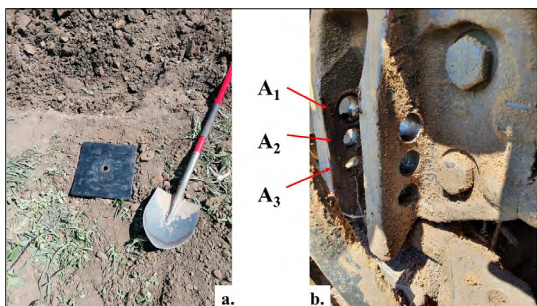
A mérőberendezést ismert tömeggel kalibráltuk.

A függesztőberendezés felső támasztókarját az A_1 pontban rögzítettük, (4.b. ábra).

A gépcsoporttal a kialakított mérési helyszínre közelítettünk. Az ekét óvatosan a mérőberendezésre engedtük (5. ábra).

A kijelzőn megjelent a mélység-határoló kerék alatti talajellenállási erő. A megjelenő adatokat lejegyeztük. Az ekét felemeltük a mérőberendezésről, és az átkötési helyre álltunk a gépcsoporttal.

A felső támasztórudat az A_2 bekötési pontba helyeztük (4.b. ábra), és a mérést elvégeztük, majd az A_3 bekötési pont esetében is hasonlóan jártunk el. A mérésorozatot megismételtük.



4. ábra. Mérés körülményei: a) Beásott mérőberendezés, b) Bekötési pontok



5. ábra. Mérés a mérőhelyen

1. táblázat. Mérési adatok átlagai

Bekötési pontok	I. mérés			II. mérés		
	A_1	A_2	A_3	A_1	A_2	A_3
R_k átlagok	1002,93	978,27	1028,23	904,87	849,33	952,53
s, szórás	0,12	0,48	9,11	2,79	1,38	3,69

2.5. A mérési adatok feldolgozása

A mérési adatok átlagait az 1. táblázat ismerteti. Az adatokat megjelenítettük (6. ábra).

A bekötési pontok és a mélység-határoló kerék alatt jelentkező talajellenállás között közepes korreláció mutatható ki $R_I = 0,5$, $R_{II} = 0,48$ [7].

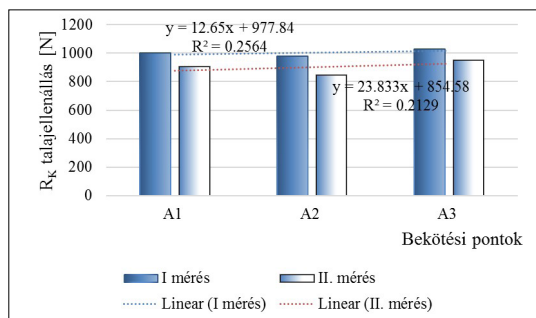
Az alsó, A_3 bekötési pontban a legnagyobb a mélység-határoló kerék alatt jelentkező talajellenállás, mindkét mérés esetében. A nagy talajellenállás azt jelenti, hogy az eke támaszkodik a talajon, így kevesebb az erőgép hajtott tengelyére nehezedő súlya, kisebb a függesztett PP2-30-munkagép pótsúlyzó hatása.

Hipotézisvizsgálattal ellenőriztük, hogy a bekötési pontok hatással vannak a mélység-határoló kerék alatt jelentkező talajellenállásra, $p = 0,1$ szinten. [7]

A (3) összefüggéssel számolt G_{adh} értékeit függesztett munkagéppel és munkagép nélküli változatokban a 2. táblázat foglalja össze, és a 7. ábra jeleníti meg.

Az összefüggésekben használt gépadatok: a traktor súlyereje $G_T = 27566,1$ N, az eke súlyereje $G_{eke} = 2452,5$ N.

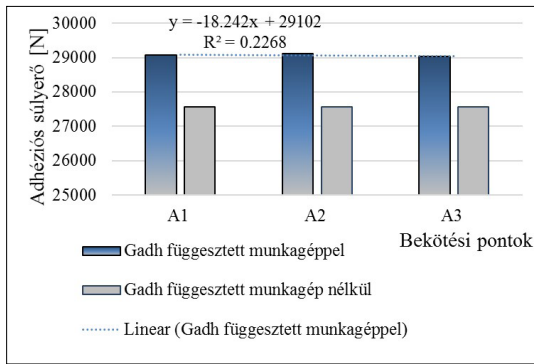
A függesztett munkagép növeli a G_{adh} értékét, így vonóerő-növelő hatása van. A pótsúlyzó hatást hipotézisvizsgálattal ellenőriztük, a különbség igen jelentős $p = 0,1$ szinten [7].



6. ábra. Mélység-határoló kerék alatti talajellenállás függesztett PP2-30 esetén

2. táblázat. Függesztett PP2-30 munkagép vonóerő-növelő hatása

Bekötési pontok	A_1	A_2	A_3
R_k átlagok	953,90	913,80	990,38
G_{adh} függesztett munkagéppel	29064,70	29104,80	29028,22
G_{adh} függesztett munkagép nélkül	27566,10	27566,10	27566,10
Vonóerő növelés %	5,44	5,58	5,30



7. ábra. Adhéziós súlyerő változása a függesztett munkagép és a bekötési pontok hatására

3. Következtetések

Méréssel igazoltuk, hogy a függesztett munkagép növeli az adhéziós súlyerőt, így közvetve hással van a vonóerőre.

Igazoltuk, hogy a hárompont-függesztő berendezés bekötési pontjai befolyásolják az adhéziós súlyerő nagyságát. Az alsó bekötési pont a legkisebb pótsúlyzó hatást váltja ki, itt a legkisebb a vonóerőre gyakorolt hatás.

A mérési adatok tendenciája igazolja, hogy a felső bekötési pontban várható a legnagyobb pótsúlyzó hatás. A mérés eredményeit befolyásolták a mérés körülményei: a mérőhelyszín előkészítése, az eke ráhelyezése a mérőberendezésre, a bekötési pontok a munkagép vízszinteségére való hatása. Ezzel magyarázható, hogy a mérési adatok nagy szórást mutatnak, és a középső bekötési pontban eltértek a várt értékektől.

A PP2-30 függesztett munkagép átlagosan 5,44 %-os vonóerő-növelést eredményez a méréseink alapján.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Matache M. G., Cristea M., Găgeanu I., Zapciu A., Tudor E., Carpus E., Popa L. D.: *Small Power Electric Tractor Performance During Ploughing Works*. In: INMATEH – Agricultural Engineering, 6/1. (2020) 123–128.
<https://doi.org/10.35633/inmateh-60-14>
- [2] Cârdei P., Nuțescu C., Matache M., Cristea O.: *Optimum Working Conditions for Variable Width Ploughs*. In: INMATEH – Agricultural Engineering, Vol. 65 (3). (2021). 248–254.
<https://doi.org/10.35633/inmateh-65-26>.
- [3] Vasilache L., Nastasoiu M., Nastasoiu S., Ispas N., Simeon C.: *Researches on the Mathematical Modeling of the Kinematics of Three-Point Hitch Couplers Used at Agricultural Tractors*. In: CONAT 2010 International Automotive Congress, Braşov, Romania, CONAT 5011. (2010). 47–54.
<https://hdl.handle.net/123456789/149>
- [4] Kumar G. V. P.: *Geometric Performance Parameters of Three-Point Hitch Linkage System of a 2WD Indian Tractor*. Research in Agricultural Engineering, 61/1. (2015) 47–53.
<https://doi.org/10.17221/79/2012-RAE>
- [5] Pásztor J., Popa-Müller I.: *Study of Three-Point Linkage of Power Machine*. In: Műszaki Tudományos Közlemények, Vol. 14. (2021). 60–64.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2021.14.09>
- [6] Máté M.: *Műszaki mechanika – kinematika*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2010.
<https://doi.org/10.36242/mtf-10>
- [7] Harangus K., Kakucs A.: *Valószínűségszámítás és statisztika a mérnöki gyakorlatban*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2021.
<https://doi.org/10.36242/mtf-15>.



A HAJTÓMŰ KINEMATIKAI ELEMZÉSE KÉNYSZEREGYENLETEK SEGÍTSÉGÉVEL

KINEMATICS ANALYSIS OF CRANK MECHANISM WITH CONSTRAINT EQUATIONS

Popa-Müller Izolda,¹ Papp István²

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

² EME, Marosvásárhely, Románia, pappistvan1944@yahoo.com

Abstract

The equation system, described for kinematic pairs of Crank mechanism, consist of general constraint equations. For Crank mechanism, the position of the center of gravity for the components, and the directions of the main axis of inertia can be determined for the entire kinematic cycle. To determine the positions, we use a coordinate system fixed to the center of gravity of the mechanism. The coordinates of the center of gravity of the members of the mechanism are always constant in relation to the geometric system attached to the component. The vector contour created in this way, defined by position vectors, must always be closed.

Keywords: constraints, kinematic pairs, constraint equations.

Összefoglalás

A hajtómű tagjainak kinematikai párjaira felírt egyenletrendszerek, általános érvényű kényszer egyenletekből tevődnek össze. A mechanizmust alkotó tagok súlypontjának helyzete és a tehetetlenségi főtengetési irányjai az egész kinematikai ciklusra meghatározhatók. A pozíciók meghatározására jelen esetben a gép törzséhez rögzített koordináta-rendszert használtunk. A mechanizmus tagjainak súlypont-koordinátái mindig állandók a tagokhoz rögzített geometriai rendszerhez viszonyítva. Az így alkotott vektorkontúr, melyeket helyzetvektorokkal határoztunk meg, mindig zárt kell, hogy legyen.

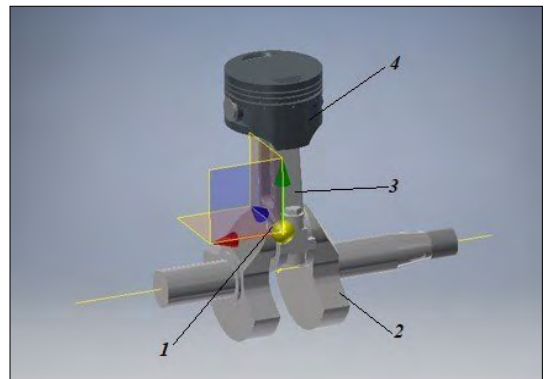
Kulcsszavak: kényszerek, kinematikai párok, kényszer egyenletek.

1. Hajtómű-mechanizmus

A hajtómű-mechanizmus (1. ábra) a következő összetevőkből áll:

- géptörzs (1);
- főtengety (2);
- hajtókar (3);
- dugattyú (4).

$OXYZ$ a rögzített koordináta-rendszer, míg $G_i X_i Y_i Z_i, i \in \{1, 4\}$ rendre a géptörzs, a főtengety, a hajtókar, és a dugattyú központi tehetetlenségi főtengetyeinek rendszerei. A következőket *-gal jelölt $O_i X_i^* Y_i^* Z_i^*, i \in \{1, 4\}$, a hajtómű elemeihez az előbbi felsorolás szerint csatolt segédrendszerek.



1. ábra. Hajtómű 3D-modellje és súlypontjának láthatósága

A mechanizmus tagjainak súlypont-koordinátái mindig állandók a tagokhoz rögzített geometriai rendszerhez viszonyítva, így a vektorkontúr (2. ábra), amely helyzetvektorokkal van meghatározva, szükséges, hogy zárt legyen.

$$\vec{r}_{12} - \vec{r}_{21} + \vec{r}_{23} - \vec{r}_{32} + \vec{r}_{34} - \vec{r}_{43} + \vec{r}_{41} - \vec{r}_{14} = 0 \quad (1)$$

1.1. Géptörzs állandóinak meghatározása

A géptörzs súlypontjának helyvektora, a segédrendszerben, a következő:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 50 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

A géptörzs súlypontjában felvett tehetetlenségi főtengetelyrendszer tengelyeinek irányítványozói a $O_1 X_1^* Y_1^* Z_1^*$ segédrendszerben a következő mátrisszal fejezhető ki:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0.999277 & 0 & 0 \\ 0 & 0.999097 & 0 \\ 0 & 0 & 0.99978 \end{pmatrix} \quad (3)$$

A felvett segédrendszer irányítványozóit, a géptörzs tehetetlenségi főtengetely koordinátarendszeréhez viszonyítva, a következőképpen jelöljük [1]:

$$\begin{pmatrix} \cos \alpha_{1i}^0 & \cos \beta_{1i}^0 & \cos \gamma_{1i}^0 \\ \cos \alpha_{2i}^0 & \cos \beta_{2i}^0 & \cos \gamma_{2i}^0 \\ \cos \alpha_{3i}^0 & \cos \beta_{3i}^0 & \cos \gamma_{3i}^0 \end{pmatrix} = A_1^T \quad (4)$$

Az \vec{r}_{12} helyzetvektor az O_{12}^* pont koordinátáit határozza meg a géptörzs súlypontjába helyezett segédrendszerhez viszonyítva:

$$\vec{r}_{12} = O_{12}^* - G_1 \quad (5)$$

Az \vec{r}_{12i} helyzetvektor az O_{12}^* pont koordinátáit fejezi ki a géptörzs súlypontjába helyezett központi tehetetlenségi főtengetelyek koordinátarendszeréhez viszonyítva:

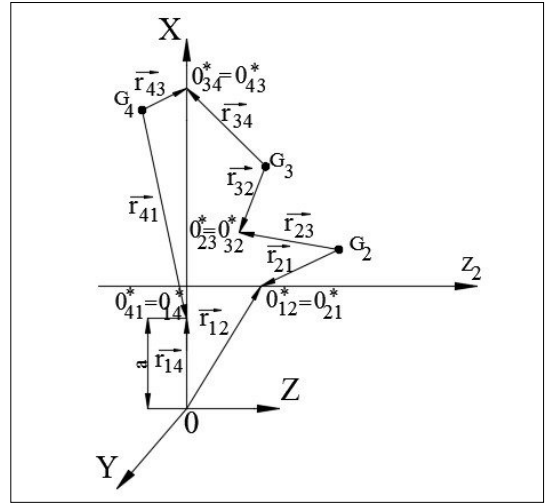
$$\vec{r}_{12i} = A_1^T \cdot \vec{r}_{12} \quad (6)$$

Az \vec{r}_{14} helyzetvektor az O_{14}^* pont koordinátáit fejezi ki a géptörzs súlypontjába helyezett segédrendszerben:

$$\vec{r}_{14} = O_{14}^* - G_1 \quad (7)$$

A géptörzsen felvett O_{14}^* pont, amely egybeesik a géptörzsen felvett segédrendszer origójával, és rajta van a 4-es dugattyú tengelyvonalán:

$$O_{14}^* = \begin{pmatrix} 30 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$



2. ábra. Hajtómű vektorkontúrja

1.2. A főtengetely állandóinak meghatározása

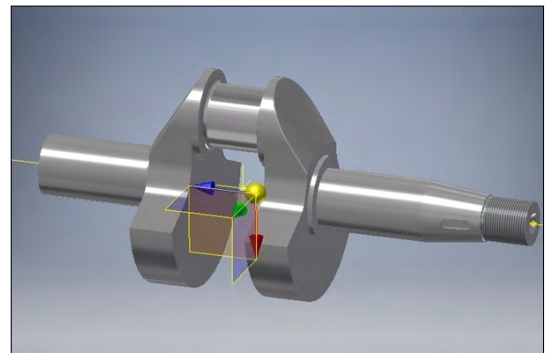
Az 4. ábrán látható Inventor-ablaktól leolvashatók a főtengetely tehetetlenségi nyomatékai és súlypontjának koordinátái, a tengelyen felvett segédrendszerben.

A mechanizmus főtengetelyén (3. ábra) választott O_{21}^* pontjára felírható a G_2 súlypontba helyezett segédrendszerhez viszonyított helyzetvektor:

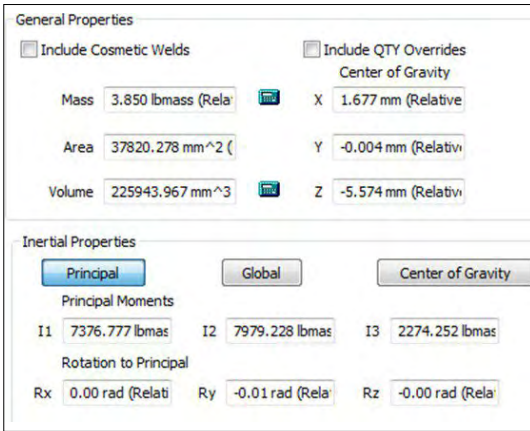
$$\vec{r}_{21} = O_{21}^* - G_2, \quad O_{21}^* = \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0 \\ -0.0125 \end{pmatrix} \quad (9)$$

A tengely súlypontja, a főtengetelyen felvett segédrendszerhez viszonyítva (4. ábra):

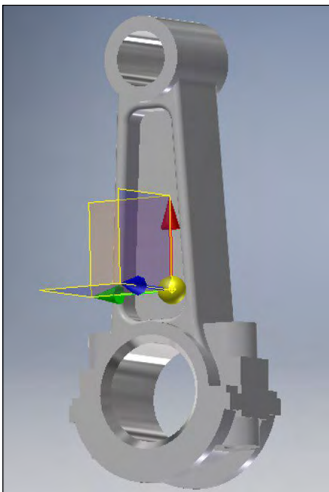
$$G_2 = \begin{pmatrix} 1.677 \\ -0.004 \\ -5.574 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \quad (10)$$



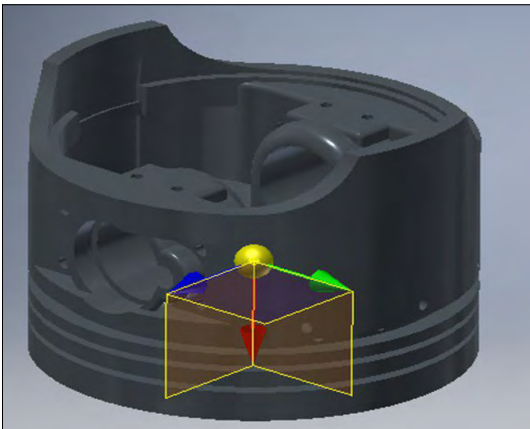
3. ábra. A főtengetely modellje és súlypontjának láthatósága



4. ábra. A főtengely tehetetlenségi és súlypontjának adatai Inventor-környezetben



5. ábra. A hajtókar modellje és súlypontjának láthatósága



6. ábra. A dugattyú modellje és súlypontjának láthatósága

A tehetetlenségi főtengelyek iránytényezői a (2) főtengelyen felvett segédrendszerhez viszonyítva:

$$A_2 = \begin{pmatrix} 0.99997563 & 0 & 0 \\ 0 & -1.744444 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (11)$$

1.3. A hajtókar állandóinak meghatározása

A főtengelyhez kapcsolódó hajtókar (5. ábra) felső furatának tengelyvonalán felvett segédrendszerhez viszonyított súlypont koordinátái:

$$G_3 = \begin{pmatrix} -61.158 \\ -0.004 \\ -2.586 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

A hajtókar alsó furatának tengelyvonalán felvett O_{34}^* pont koordinátái a hajtókar segédrendszeréhez viszonyítva. A pont egybeesik a dugattyú csapján felvett O_{43}^* ponttal.

$$O_{34}^* = \begin{pmatrix} 89.3 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \quad (13)$$

1.4. A dugattyú állandóinak meghatározása

A tehetetlenségi főtengelyek iránytényezői a dugattyú (6. ábra) felvett segédrendszeréhez viszonyítva:

$$A_4 = \begin{pmatrix} 0.99979172 & 0 & 0 \\ 0 & 0.99999998 & 0 \\ 0 & 0 & 0.99999945 \end{pmatrix} \quad (14)$$

A dugattyú csapjának tengelyvonalán felvett pont koordinátái működés közben egybeesnek a hajtókaron felvett ponttal.

$$O_{43}^* = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \quad (15)$$

2. A kényszeregyenletek rendszerbe foglalása

A tagok helyzetét 37 pozícióban határoztuk meg. A mechanizmus vezető paramétere ψ_2^* , amely a főtengely segédrendszerének a rögzített rendszerhez viszonyított OZ tengely körüli elfordulása.

Ismerjük a tagok segédrendszereinek a tehetlenségi főtengelyekkel alkotott iránytényezőit és forgásszögeit. [1, 2]

2.1. Térmechanizmusként tárgyalt hajtómű kényszeregyenletei:

A kényszeregyenletek száma a csukló fajtájától függ, forgócsukló esetén 5 kényszeregyenletünk van.

A géptörzs forgócsuklójára felírt kényszeregyenlet [3–5]:

$$x_{G_1} + x_{12} \cdot \alpha_{110} + y_{12} \cdot \alpha_{210} + z_{12} \cdot \alpha_{310} - x_{G_2} - x_{21} \cdot \alpha_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) + \tag{16}$$

$$-y_{21} \cdot \beta_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) - z_{21} \cdot \gamma_{12}(\psi_2, \theta_2) = 0$$

$$y_{G_1} + x_{12} \cdot \beta_{110} + y_{12} \cdot \beta_{210} + z_{12} \cdot \beta_{310} - y_{G_2} - x_{21} \cdot \alpha_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) - y_{21} \cdot \beta_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) + \tag{17}$$

$$-z_{21} \cdot \gamma_{22}(\psi_2, \theta_2) = 0$$

$$z_{G_1} + x_{12} \cdot \gamma_{110} + y_{12} \cdot \gamma_{210} + z_{12} \cdot \gamma_{310} - z_{G_2} - x_{21} \cdot \alpha_{32}(\psi_2, \phi_2) - y_{21} \cdot \beta_{32}(\psi_2, \phi_2) \tag{18}$$

$$-z_{21} \cdot \gamma_{32}(\psi_2, \theta_2) = 0$$

$$b_{131} \left(\frac{\alpha_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{120} + \beta_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{220} + \gamma_{12}(\psi_2, \theta_2) \cdot \gamma_{320}}{\gamma_{12}(\psi_2, \theta_2) \cdot \gamma_{320}} \right) = 0 \tag{19}$$

$$b_{231} \left(\frac{\alpha_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{120} + \beta_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{220} + \gamma_{22}(\psi_2, \theta_2) \cdot \gamma_{320}}{\gamma_{22}(\psi_2, \theta_2) \cdot \gamma_{320}} \right) = 0 \tag{20}$$

A főtengely forgócsuklójára felírt kényszeregyenlet:

$$x_{G_2} + x_{23} \cdot \alpha_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) + y_{23} \cdot \beta_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) + z_{23} \cdot \gamma_{12}(\psi_2, \theta_2) - x_{G_3} - (x_{32} \cdot \alpha_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + y_{32} \cdot \beta_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + z_{32} \cdot \gamma_{13}(\psi_3, \theta_3)) = 0 \tag{21}$$

$$y_{G_2} + x_{23} \cdot \alpha_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) + y_{23} \cdot \beta_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) + z_{23} \cdot \gamma_{22}(\psi_2, \theta_2) - y_{G_3} - (x_{32} \cdot \alpha_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + y_{32} \cdot \beta_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + z_{32} \cdot \gamma_{23}(\psi_3, \theta_3)) = 0 \tag{22}$$

$$z_{G_2} + x_{23} \cdot \alpha_{32}(\theta_2, \phi_2) + y_{23} \cdot \beta_{22}(\theta_2, \phi_2) + z_{23} \cdot \gamma_{32}(\theta_2) - z_{G_3} - (x_{32} \cdot \alpha_{33}(\theta_3, \phi_3) + y_{32} \cdot \beta_{33}(\theta_3, \phi_3) + z_{32} \cdot \gamma_{33}(\theta_3)) = 0 \tag{23}$$

$$(\alpha_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{120} + \beta_{12}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{220} + \gamma_{12}(\psi_2, \theta_2) \cdot \gamma_{320}) - (\alpha_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{130} + \beta_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{230} + \gamma_{13}(\psi_3, \theta_3) \cdot \gamma_{330}) = 0 \tag{24}$$

$$(\alpha_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{120} + \beta_{22}(\psi_2, \theta_2, \phi_2) \cdot \gamma_{220} + \gamma_{22}(\psi_2, \theta_2) \cdot \gamma_{320}) - (\alpha_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{130} + \beta_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{230} + \gamma_{23}(\psi_3, \theta_3) \cdot \gamma_{330}) = 0 \tag{25}$$

A hajtókar forgócsuklójára felírt kényszeregyenlet:

$$x_{G_3} + x_{34} \cdot \alpha_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + y_{34} \cdot \beta_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + z_{34} \cdot \gamma_{13}(\psi_3, \theta_3) - (x_{G_4} + x_{43} \cdot \alpha_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + y_{43} \cdot \beta_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + z_{43} \cdot \gamma_{14}(\psi_4, \theta_4)) = 0 \tag{26}$$

$$y_{G_3} + x_{34} \cdot \alpha_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + y_{34} \cdot \beta_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) + z_{34} \cdot \gamma_{23}(\psi_3, \theta_3) - (y_{G_4} + x_{43} \cdot \alpha_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + y_{43} \cdot \beta_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + z_{43} \cdot \gamma_{24}(\psi_4, \theta_4)) = 0 \tag{27}$$

$$z_{G_3} + x_{34} \cdot \alpha_{33}(\theta_3, \phi_3) + y_{34} \cdot \beta_{33}(\theta_3, \phi_3) + z_{34} \cdot \gamma_{33}(\theta_3) - (z_{G_4} + x_{43} \cdot \alpha_{34}(\theta_4, \phi_4) + y_{43} \cdot \beta_{34}(\theta_4, \phi_4) + z_{43} \cdot \gamma_{34}(\theta_4)) = 0 \tag{28}$$

$$(\alpha_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{130} + \beta_{13}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{230} + \gamma_{13}(\psi_3, \theta_3) \cdot \gamma_{330}) - (\alpha_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \gamma_{140} + \beta_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \gamma_{240} + \gamma_{14}(\psi_4, \theta_4) \cdot \gamma_{340}) = 0 \tag{29}$$

$$(\alpha_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{130} + \beta_{23}(\psi_3, \theta_3, \phi_3) \cdot \gamma_{230} + \gamma_{24}(\psi_3, \theta_3) \cdot \gamma_{330}) - (\alpha_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \gamma_{140} + \beta_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \gamma_{240} + \gamma_{24}(\psi_4, \theta_4) \cdot \gamma_{340}) = 0 \tag{30}$$

A dugattyú forgócsuklójára felírt kényszeregyenlet:

$$x_{G_4} + x_{41} \cdot \alpha_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + y_{41} \cdot \beta_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + z_{41} \cdot \gamma_{14}(\psi_4, \theta_4) + a \cdot b_{114}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) - (x_{G_5} + x_{14} \cdot \alpha_{110} + y_{14} \cdot \alpha_{210} + z_{14} \cdot \alpha_{310}) = 0 \tag{31}$$

$$y_{G_4} + x_{41} \cdot \alpha_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + y_{41} \cdot \beta_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) + z_{41} \cdot \gamma_{24}(\psi_4, \theta_4) - (y_{G_5} + x_{14} \cdot \beta_{110} + y_{14} \cdot \beta_{210} + z_{14} \cdot \beta_{310}) = 0 \tag{32}$$

$$z_{G_4} + x_{41} \cdot \alpha_{34}(\theta_4, \phi_4) + y_{41} \cdot \beta_{34}(\theta_4, \phi_4) + z_{41} \cdot \gamma_{34}(\theta_4) - (z_{G_5} + x_{14} \cdot \gamma_{110} + y_{14} \cdot \gamma_{210} + z_{14} \cdot \gamma_{310}) = 0 \tag{33}$$

$$\alpha_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \alpha_{140} + \beta_{14}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \alpha_{240} + \gamma_{14}(\psi_4, \theta_4) \cdot \alpha_{340} - b_{111} = 0 \tag{34}$$

$$\alpha_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \alpha_{140} + \beta_{24}(\psi_4, \theta_4, \phi_4) \cdot \alpha_{240} + \gamma_{24}(\psi_4, \theta_4) \cdot \alpha_{340} - b_{211} = 0 \tag{35}$$

3. Következtetések

A hajtómű helyzetét hat koordináta határozza meg, amelyből három koordináta a test X_{G_i} , Y_{G_i} , Z_{G_i} súlypontját, a másik három a központi tehetetlenségi főtengelyek és egy tetszés szerint felvett OXYZ rögzített rendszer koordinátatengelyével bezárt α_p , β_p , γ_p forgásszögek képeznek. A kényszeregyenletek módszerének határozott előnyei vannak, éspedig a hajtómű minden tagja súlypontjának pozícióját meghatározhatóvá teszi, minden Ψ választott vezérparaméter-értékre. Ezzel az előnyös módszerrel lehet meghatározni az alkatrészek tehetetlenségi főtengelyének helyzetét.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Papp I.: *Mechanizmusok elmélete*. Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2010. 226 oldal.
- [2] Popa-Müller I., Papp I.: *Négyoldalú térmechanizmus kinematikai vizsgálata kényszeregyenletek segítségével*. XXII OGÉT Nemzetközi Gépész Találkozó, Nagyszeben, Románia, 2014, ISSN 2068-1267, 301–305.
- [3] Popa-Müller I., Papp I.: *Ötoldalú térmechanizmus kinematikai vizsgálata*. Műszaki Tudományos Közlemények 6. (2017) 147–150.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2017.06.16>
- [4] Popa-Müller I., Papp I.: *Ötoldalú térmechanizmus, sebesség meghatározás*. XXV. OGÉT Nemzetközi Gépész Találkozó, Kolozsvár, Románia, 2017, ISSN 2068-1267, 340–344.
- [5] Popa-Müller I., Papp I.: *Ötoldalú térmechanizmus, gyorsulás meghatározás*. Műszaki Tudományos Közlemények, 9. (2018) 199–202.
<https://doi.org/10.33895/mtk-2018.09.45>



ANOMÁLIADETEKTÁLÁS MESTERSÉGESINTELLIGENCIA-MÓDSZEREKKEL – ÁTTEKINTÉS

ANOMALY DETECTION WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS – AN OVERVIEW

Sebestyén Pál György,¹ Hangan Lia-Anca,² Czakó Zoltán³

¹ Kolozsvári Műszaki Egyetem, Automatika és Számítástechnika Kar, Számítástechnika Tanszék, Kolozsvár, Románia, gheorghe.sebestyen@cs.utcluj.ro

² Kolozsvári Műszaki Egyetem, anca.hangan@cs.utcluj.ro

³ Kolozsvári Műszaki Egyetem, zoltan.czako@cs.utcluj.ro

Abstract

Nowadays, more and more human activities depend on computer-based automated systems. Fully automated (robotized) production lines, energy distribution infrastructures and other urban services or environmental surveillance systems are just some examples of cyber-physical systems that depend entirely on automated control systems. In these cases a significant challenge is to identify abnormal behaviors of the supervised or controlled systems, in order to avoid malfunction or sometimes catastrophic events. Our main research goal was to evaluate the potential of adapting and using AI techniques in the field of anomaly detection. We also developed a platform, called AutomaticAI, which can help specialists in different domains to identify the best approaches to solve a given anomaly detection problem. The platform can select the best AI algorithm and parameter configuration for a given set of data containing normal and abnormal data. The tool was used successfully in a variety of domains, from cyber-physical systems to the medical domain.

Keywords: *anomaly detection, artificial intelligence, outlier detection.*

Összefoglalás

Napjainkban egyre több emberi tevékenység függ a számítógépen alapuló automatizált rendszerektől. A teljesen automatizált (robotizált) gyártóvonalak, az energiaelosztó infrastruktúrák és más városi szolgáltatások vagy környezetvédelmi rendszerek csak néhány példa a kiberfizikai rendszerekre, amelyek teljes mértékben az automatizált vezérlőrendszerektől függenek. Ezekben az esetekben jelentős kihívást jelent a rendszerek rendellenes viselkedésének azonosítása a hibás működés vagy néha katasztrofális események elkerülése érdekében. Fő kutatási célunk az volt, hogy felmérjük a mesterségesintelligencia-technikák adaptálásának és használatának lehetőségeit az anomáliadetektálás területén. Ennek érdekében, fejlesztettünk egy platformot, melynek segítségével a különböző területeken dolgozó szakemberek hatékony megoldást találhatnak az anomáliák felderítésére. A platform tartalmaz egy eszközt, amely automatikusan kiválasztja a legjobb észlelési algoritmust egy adott adatkészlethez. Az eszközt számos orvosi és ipari területen sikeresen teszteltük.

Kulcsszavak: *anomáliadetektálás, mesterséges intelligencia, kiugró értékek detektálása.*

1. Bevezetés

1.1. Háttér és motiváció

A negyedik ipari forradalom (Ipar 4.0) korszakában különféle kiberfizikai rendszerek vesznek körül, mint például robotizált ipari folyamatok,

energia- és egyéb városi szolgáltatáselosztó infrastruktúrák, autonóm közlekedési eszközök, intelligens épületek és városok. Mindezeket a rendszereket számítógépek, számítógépes programok vagy számítógépes eszközök felügyelik és vezérik. Néha az életünk biztonsága szempontjából

kritikus szolgáltatások és funkciók (pl. autonóm autók) teljes mértékben az ilyen autonóm rendszerektől függenek. De mi történik, ha valami elromlik, például egy érzékelő nem a megfelelő értéket adja meg, egy kritikus funkcióért felelős vezérlőberendezés meghibásodik, vagy a vezérelt rendszer viselkedése olyan módon változik, amelyet a tervezési fázisban nem láttak előre? Hogyan észleli ezeket az eseteket egy automatizált (pl. számítógépes) felügyeleti rendszer, majd hogyan reagál egy ilyen anomáliára?

A múltban, amikor a felügyeleti feladatokat emberek (pl. folyamatmérnökök) végezték, egy alapképzés elegendő volt az ilyen esetek észleléséhez és az azokra való reagáláshoz. Egy automatizált rendszerben az anomáliák detektálása kötelező funkciója kellene, hogy legyen a vezérlőrendszernek. Ezért az elmúlt években az anomáliák detektálása fontos kutatási témává vált, és számos megoldást javasoltak és teszteltek.

Az anomáliák különböző típusúak lehetnek, a nagyon egyszerűektől (pl. egy megengedett intervallumot meghaladó érték), amelyek egyszerű küszöbérték-meghatározási vagy szűrési módzerekkel megoldhatók, egészen az összetettekig, amelyeket még egy emberi megfigyelő is nehezen definiálhat és észlelhet (pl. az éghajlatváltozás hatásai). Ez utóbbi esetben mesterségesintelligencia-módszerek használhatók a rendellenes viselkedés modellezésére és felismerésére.

1.2. Anomáliatípusok

Az "anomália" egyszerű definíciója a következő lenne: olyan adat vagy (rendszer) viselkedés, amely nagyon különbözik a többi adattól vagy észlelt viselkedéstől. Hawkins 1980-ban részletesebb meghatározást adott: „az anomália olyan megfigyelés, amely annyira különbözik más megfigyelésektől, hogy felveti a gyanút, hogy azt egy másik mechanizmus hozta létre” (pl. a rendszer meghibásodása vagy egy pénzügyi folyamatba való mesterséges beavatkozás).

Vannak más fogalmak is, amelyek hasonló vagy közeli jelentéssel bírnak az anomália szóval: abnormális (viselkedés), kiugró vagy deviáns.

Az anomália felismerésével kapcsolatban számos kérdés merül fel:

- mekkora legyen az eltérés ahhoz, hogy anomáliának lehessen minősíteni?
- az egyes adatokban jelen lévő természetes zajt nem szabad összetéveszteni az anomáliával;
- az anomália lehet nézőpont kérdése, vagy attól függ, hogy milyen kontextusban keletkezett

(pl. egy ázsiai populációban lévő európai anomáliának tekinthető);

- az emberek az oktatás és a tapasztalat alapján természetes képességgel rendelkeznek az anomália felismerésére, még akkor is, ha nincs racionális magyarázat rá; a számítógépek nem rendelkeznek ezzel a „természetes” képességgel.

Ami a lehetséges anomáliák típusait illeti, egy párat említhetünk:

- olyan adat/érték egy jel alakulásában, amely meghalad egy normálisnak tekintett intervallumot;
- a jel lineáris alakulásának változása;
- néhány sztochasztikus érték, amely nem követ egy bizonyos ismert valószínűségi eloszlást (pl. Gauss-eloszlás);
- néhány több paraméteres megfigyelés, amely nem tartozik semmilyen előre meghatározott normál esetnek minősített osztályhoz;
- bizonyos eltérések a jel periodicitásában (pl. aritmiák egy ECG-jelben).

1.3. Az anomáliadetektálás alkalmazási területei

Az anomáliák automatikus felismerése fontos feladat [1–4] az olyan új trendek alkalmazása esetén, mint az IoT, az IIoT és az Industry 4.0. Fontos a biztonság szempontjából kritikus kiberfizikai rendszerek esetében, ahol a rendszernek hibátűrő és öngyógyító megoldásokat kell tartalmaznia.

Az egészségügyben a különböző betegségek és ezekhez kapcsolódó tünetek az emberi test abnormális viselkedésének tekinthetők. Egy páciens fiziológiai paramétereinek változása által különböző betegségek előjeleit lehet felismerni. Általános anomáliadetektáló eszközök használhatók ebben az esetben is.

Az anomáliadetektálás minden olyan alkalmazásban hasznos, amely hatalmas mennyiségű adat feldolgozásával foglalkozik (ún. "big data"-alkalmazások). Ebben az esetben a manuális elemzések időkorlátok miatt nem kivitelezhetők; viszont néhány kiugró adat (anomália) befolyásolhatja az automatizált elemzés eredményét. Ezért az anomáliadetektálást a rendszer a hibás adatok kiküszöbölésére használhatja.

Automatizált anomáliadetektálásra van szükség azokban az esetekben is, amikor a változások annyira finomak, hogy az emberi érzékszervek nem észlelik őket. Például az iparban az elektromechanikai eszközök meghibásodásának korai felismerése a megelőző karbantartás alapja lehet.

Alább felsoroltunk egy pár olyan területet, ahol az anomáliadetektálás jelentős szerepet játszhat:

- gazdasági és pénzügyi alkalmazásokban, családok vagy gazdasági tendenciák változásainak felderítésére,
- ipari folyamatokban, hibásan működő eszközök vagy infrastruktúrák észlelésére, megelőző karbantartásra, riasztások generálására,
- az orvostudományban betegségek és tünetek kimutatására vagy kóros viselkedés kimutatására, pszichésen sérült személyek esetén,
- a környezet monitorizálásában, ahol paraméter-változásokat, szennyeződést, légszennyezést lehet észlelni,
- számítástechnikai eszközök és hálózatok elleni kibernetikus támadások felderítésére.

A paradoxon az, hogy ugyanaz az anomáliadetektálási technika számos tartományra és alkalmazástípusra alkalmazható. Ezért úgy gondoljuk, hogy szükség van egy általános anomáliadetektálási eszközre, amely a különböző tartományokban alkalmazható.

2. Az anomáliadetektálási technikák taxonómiája

Mivel sokféle anomália és anomáliadetektálási technika létezik, úgy gondoltuk, hogy hasznos lenne egyfajta besorolást vagy taxonómiát definiálni [5]. A szakirodalmat elemezve számos kritériumot azonosítottunk, amelyek felhasználhatók az osztályozáshoz:

- az anomália jellege alapján,
- az elemzett adatok jellege alapján,
- az értékelési módszerek alapján,
- az alkalmazások jellege alapján.

Az első kritérium szerint a következő típusú anomáliák azonosíthatók:

- egypontos anomáliák vagy kiugró értékek – olyan értékek, amelyek jelentősen eltérnek a többi értéktől; ilyenek például a rossz mérések által generált értékek, a közvetítés alatt történő hibák vagy túlzott zaj miatt eltérő értékek;
- kontextuális anomália – ahol egy érték/adat nagyon különbözik egy közelebbi kontextustól – egy összetettebb anomália, amely figyelembe veszi az érték szomszédságát; példák: eltérések a tőzsdén, nulla alatti hőmérsékleti értékek nyáron;
- anomáliák az idősorokban – ahol hirtelen változások észlelhetők egymásután következő értékek között; pl. eltérések egy EKG-jelben.

Az elemzett adatok jellege alapján figyelembe vehetjük a megfigyelésben szereplő attribútumok

számát és a megfigyelések között fennálló korreláció típusát. Az első szempontból egyváltozós megfigyeléseink vannak (pl. hőmérséklet-változások), és többváltozós megfigyeléseink (pl. EEG-jelek). Az anomáliadetektáló eljárás ennek alapján egy vagy több változót vesz figyelembe. A második nézet alapján lehetnek:

- statisztikai korrelációkkal rendelkező adatok; az anomália ebben az esetben egy olyan megfigyelés, amely megszegi az adott korrelációt (pl. Gauss-szórás);
- időalapú korreláció – ahol az időben mintavételezett értékek között van valamilyen összefüggés (pl. folyamat-paraméterek);
- térbeli korreláció – ahol a szomszédos csomópontokban mért értékek valamilyen módon függenek egymástól (pl. egy adott régióban elszórt érzékelő által végzett hőmérsékletmérések);
- funkcionális korreláció – ahol a fizikai és kémiai törvények szigorú korrelációt határoznak meg a mért értékek között (pl. feszültség, áram és teljesítmény egy elektromos infrastruktúrában).

Az anomáliaészlelési módszerek kiválasztása esetén figyelembe kell venni a bemeneti adatkészletben jelen lévő ilyen típusú összefüggéseket.

Az anomáliák detektálásához különböző ismert általánosabb jellegű algoritmusokat és módszereket lehet alkalmazni. Némelyikük rendszerelemzési és jelfeldolgozási módszereken alapul, mint például a min-max, a küszöbalapú detekció, az interpoláció, a rendszerazonosítás, a Fourier- vagy a Laplace-transzformációk. Más módszereket a mesterséges intelligencia inspirált, mint például az osztályozás és a klaszterezés (pl. KNN, Kmeans, SVM, random forest stb.) vagy a neurális hálózatok. Ebben az esetben egy adott osztályozó egy tanulási folyamaton keresztül különbséget tehet a normál és a rendellenes megfigyelések között.

És végül, az alkalmazások típusa alapján megkülönböztethetünk olyan technikákat, amelyek offline módban alkalmazhatók, ahol nincsenek valós idejű korlátozások, és bármilyen összetett módszer alkalmazható, és az online mód technikáit, ahol szigorú időkorlátozások nehezítik a bonyolultabb módszerek használatát.

3. Egy szoftverplatform anomáliadetektálásához

Annak érdekében, hogy általános eszközt kínáljunk az anomáliadetektálásához, kifejlesztettünk egy platformot, amely tartalmazza mindazokat a hasznos eljárásokat, amelyek szükségesek az adatok feldolgozásában és elemzésében [6, 7].

Miért egy általános platform egy alkalmazott és adaptált megoldás helyett? Az ilyen megközelítés motivációi a következők voltak:

- számos észlelési technika létezik, és nehéz eldönteni a kezdetektől fogva, hogy melyik lesz a legjobb egy adott adatkészlethez;
- az anomáliadetektálás mellett általában más adat-előfeldolgozó és vizualizációs eszközökre is szükségünk van, amelyek egy platformban előgyártott formában találhatók;
- előfordulhat, hogy a különböző területek (fizika, kémia, biológia, környezet- vagy földtudományok) szakemberei nem rendelkeznek elegendő ismerettel a mesterségesintelligencia- vagy a jelfeldolgozó területeken, de anomáliadetektáló eszközökre van szükségük.

A platform egy konfigurálható eszköz, amelyben a felhasználó meghatározhat egy adatfeldolgozási folyamatot, amely különböző előfeldolgozási, besorolási és vizualizációs eljárásokat tartalmaz, amelyek egy adott adatkészlethez vagy alkalmazáshoz vannak igazítva. A platformot eredetileg anomáliadetektálásra fejlesztettük ki, de más célokra is hasznos lehet, ahol az adatkészleteket osztályozni kell.

3.1 AutomaticAI – eszköz a legjobb osztályozó algoritmus kiválasztásához

Ha csak a mesterséges intelligencia módszereit és azok variációit vesszük figyelembe, akkor azt tapasztaljuk, hogy nagyon sokféle választási lehetőség van, és sajnos nincs egyedülálló legjobb megoldás minden lehetséges alkalmazáshoz. A klasszikus (manuális) kutatási megközelítésben korlátozott számú módszert tesztelhetünk és hasonlíthatunk össze. Végül ezek közül választjuk ki a legjobb módszert. De lehetnek más módszerek is (amelyeket időkorlátok miatt nem teszteltünk), amelyek még jobban teljesíthetnek.

Ugyancsak gondot okoz és időt igényel az adott módszer optimális paramétereinek beállítása is; a kapott eredmények drasztikusan eltérhetnek a beállítási paraméterek értéke miatt. A kutatónak ki kell választania a legjobb módszert egy többdimenziós keresési térből, ami nagyon időigényes folyamat lehet [8].

Ennek a kiválasztási és paraméterezési problémának a megoldására javasoltunk és implementáltunk egy automatikus módszert, amely a legkülönbözőbb lehetőségek közül próbálja megtalálni a legjobban teljesítő módszert [9].

Megoldásunk egy részecske-raj-optimalizálásra (particle swarm optimization) [10, 11] és szimu-

lált lágyítási módszerekre (simulated annealing) épülő optimalizálási technikán alapul.

Elvileg a módszer a következőképpen működik:

- első lépésben számos olyan részecskét definiálunk, amelyek különböző besorolási technikákat képviselnek különböző beállításokban;
- a következő ismétlődő lépésben, több korszakon keresztül a legjobb algoritmust és annak legjobb beállítását a részecske-raj-optimalizálási technikával választjuk ki; minden algoritmus betanítása az adott adatkészleten történik, és egy teljesítményfüggvény határozza meg, hogy melyik rendelkezik a legjobb minőségi paraméterekkel. A következő korszakban megmarad a legjobban teljesítő algoritmuskészlet, és mutációk (pl. paraméter-változások) révén új részecskék jönnek létre. A szimulált lágyítással a mutációs fok (pl. paraméter-változások) csökken, ahogy a szimulációs korszakok elmúlnak;
- végül a módszer bemutatja a legjobban teljesítő osztályozó és egyben anomáliadetektáló algoritmust és azok beállításait, valamint azok minőségi mérőszámait (pl. pontosság, precizitás, visszahívás, F1, zavart mátrixok).

A különböző területek különböző adatkészletein végzett kísérletek igazolták a javasolt módszer hatékonyságát; az automatizált módszer minden esetben észszerű időn belül olyan megoldást talált, amely más kutatócsoportok által javasolt módszerekkel összehasonlítható, minőségi paramétereket adott. A kísérletek azt is kimutatták, hogy nincs egyedülálló legjobb megoldás az összes vizsgált esetre. Ezért a legjobb megoldás megtalálásának folyamata szükséges lépés.

4. Kísérletek az AutomaticAI platformmal

Ebben a fejezetben számos kísérletet mutatunk be különböző területeken, amelyeket a javasolt AutomaticAI eszköz hatékonyságának validálása érdekében hajtottak végre.

4.1 Anomáliadetektálás a vízügyi infrastruktúrákban

Ebben a kísérletben az volt a cél, hogy találjunk egy automatikus módszert a víz minőségének meghatározására, és riasztásokat generáljunk szennyeződés esetén.

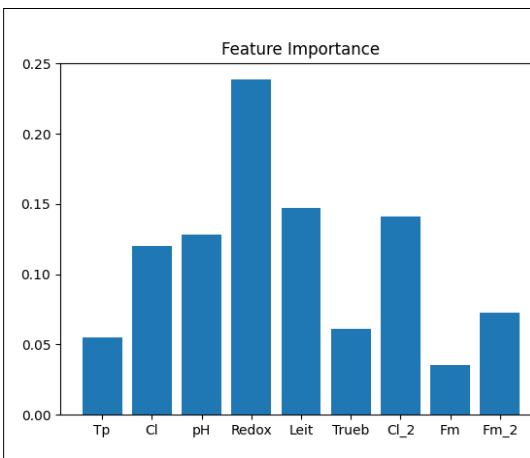
Ebben a kísérletben egy GECCO 2017 nevű adatkészletet használtunk [12], amely körülbelül 100 000 megfigyelést tartalmaz, és mindegyik megfigyelés 9 paramétert tartalmaz, amelyek relevánsak a víz minősége szempontjából (pl. hőmérséklet, pH, vezetőképesség, klórtartalom, zavarosság stb.).

1. táblázat. A vízminőség osztályozásához kiválasztott algoritmusok (beállított paraméterek: `class_weight= 'balanced'`, `max_depth=42`, `n_estimators=130`)

Algoritmus	F1-paraméter
RANDOM FOREST	99,92%
EXTRA TREES CLASSIFIER	99,81%
DECISION TREE	99,19%
MLP	99,49%
KNN	99,47%
One-Class SVM	81,46%
SGD CLASSIFIER	50,36%
LOGISTIC REGRESSION	49,66%
PASSIVE AGRESSIVE CLASSIFIER	45,36%
RIDGE CLASSIFIER	37,34%

Az AutomaticAI algoritmus alkalmazása révén a legjobban teljesítő algoritmusokat kaptuk, a legjobb beállítással. Az **1. táblázat** az első 10 osztályozási algoritmus eredményeit mutatja be. Úgy tűnik, hogy ebben a kísérletben a „Random forest” bizonyult a legjobbnak a szennyezett, illetve tiszta víz felismerésében, a Ridge-osztályozó pedig a legrosszabbnak.

A platformban levő egyéb módszerekkel kimutatható, hogy melyik paraméternek volt a legnagyobb befolyása a döntésben. Az **1. ábra** ezt a függőséget mutatja be.



1. ábra. Jellemző fontosság a vízszondák osztályozásában

4.2. Koronavírus-fertőzés felismerése anomáliadetektálási módszerrel

Ebben a kísérletben az volt a célunk, hogy a koronavírus-fertőzést a hagyományos vérvizsgálatból mutassuk ki anélkül, hogy speciális tesztekre (pl. PCR-tesztekre) lenne szükség [13]. Az ilyen megközelítés szükségessége nyilvánvaló volt a világjárvány első szakaszában, amikor a PCR-tesztek ritkák voltak.

Ebből a célból találtunk egy adatkészletet, amely 5000 beteg vérvizsgálatát tartalmazza. Egy külön oszlopban a mintákat Covid-fertőzöttnek vagy nem fertőzöttnek minősítették, egy specifikus teszt alapján. A vérminták tipikus paramétereit tartalmazták (pl. leukociták, neutrofilek, limfociták, monociták, eozinofilek, kor stb.). Az AutomaticAI-módszer alkalmazása után a detektálásra kiválasztott legjobb megoldás a Random Forest-osztályozó volt, amelynek paraméterei: `criterion='gini'`, `min_sample_split=8` és `n_estimator=155`). Ennek az osztályozónak a minőségi paraméterei az adott adatkészlethez a következők voltak: Accuracy=98%, Precision=94% és Recall=97,8. Ezek az értékek összehasonlíthatók a speciális PCR-Covid-teszt eredményeivel.

4.3. Rák kimutatása vastagbélképekből

Ebben a kísérletben az volt a cél, hogy a kolorektális képeket úgy osztályozzák, mint amelyek rákos polipokat tartalmaznak, vagy sem. A **2 ábrán** látható mennyire nehéz különbséget tenni rákos polipot tartalmazó és nem tartalmazó képek között: az első két kép (balról jobbra) rákot tartalmaz, a harmadik meg nem.

Ebben a kísérletben egy előre betanított konvolúciós neurális hálózatot, a ResNet50-et használtuk, hogy releváns jellemzőket nyerjünk ki a képekből. Ezután az AutomaticAI segítségével meghatároztuk, hogy melyik osztályozó algoritmus teljesít a legjobban a rákképződést tartalmazó/nem tartalmazó képek megkülönböztetésében. Ebben a kísérletben a „Ridge classifier”-algoritmus bizonyult a legjobbnak, a következő minőségi paraméterekkel: Accuracy = 98.33%, Precision = 100% és a Recall = 76.64%.



2. ábra. Kolonoszkópiás képek; az első kettő rákkal, és az utolsó anélkül

Érdekes megemlíteni, hogy az első bemutatott kísérletben a Ridge Classifier volt a leggyengébben teljesítő algoritmus.

4.4. Anomáliadetektálás nyelőcső-mérésekben

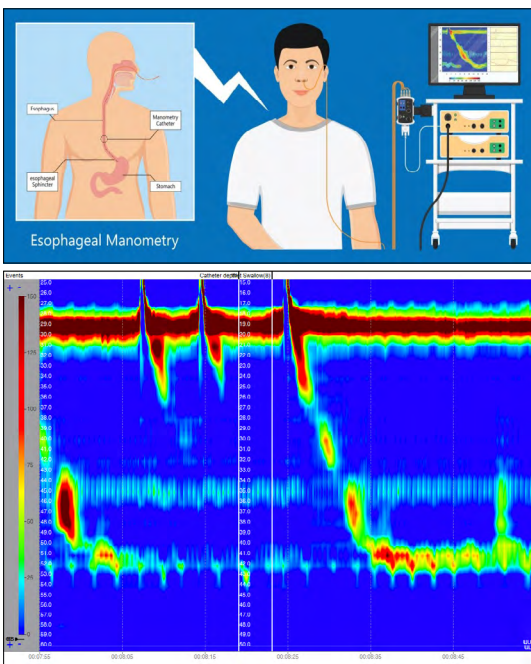
Ebben a kísérletben [14, 15] akusztikus 2D-s képeket elemeztünk amelyeket a High Resolution Manometry (HRM) nevű eszköz segítségével kaptunk (3. ábra). Ezt az eszközt a nyelőcső rendellenes működésének kimutatására használják.

A cél ebben az esetben kettős volt:

- a szonda a nyelőcsőben való rossz helyzetének azonosítása,
- a nyelési folyamattal kapcsolatos betegségek osztályozása.

A HRM-készülékről kapott képeket minden esetben képzett szakemberek jelölték meg, mint rossz vagy jó pozícióban levő szonda. A jó pozíció esetén az orvos meghatározta a betegség típusát (ha létezett). Ezeket a szakember által jelölt képeket használtuk fel a tanulási folyamatban.

Ebben az esetben a nehézséget az jelentette, hogy viszonylag kevés címkézett kép áll rendelkezésre a tanuláshoz, és hogy néha még az emberi megfigyelő számára is nehéz volt különbséget tenni a szonda helytelen elhelyezése és egy adott betegség között. Emiatt a minőségi paraméterek nem olyan jók, mint az előző kísérletekben, de



3. ábra. HRM-mérőeszköz és kapott 2D-kép

ebben az összefüggésben még mindig nagyon jók. A szonda pozicionálási hibáinak észlelése esetén a kapott paraméterek: Precision 90,67%, az F1-paraméter pedig 84,21% volt. A betegségek osztályozásához az orvosi szakirodalomban található klasszikus (pontos) algoritmust használtuk.

5. Jövőbeli munka

Annak érdekében, hogy anomáliadetektálási platformunkhoz hozzáférést biztosítsunk a különböző területeken dolgozó szakemberek szélesebb kategóriájá számára, a platformot cloud-infrastruktúrán kívánjuk üzembe helyezni. Az első verzió sikeresen üzembe lett helyezve egy magán cloudba, de a nyílt hozzáférésű szolgáltatásokhoz publikus cloud-ra van szükség. A cloudra való üzembe helyezés kihasználhatja a magasabb számítási erőforrások előnyeit, ami hozzájárulhat az anomáliadetektálási algoritmus automatikus kiválasztásához és betanításához szükséges idő csökkentéséhez.

Emellett diverzifikálni kívánjuk azokat a domíniumokat, amelyekben az anomáliadetektálást és a platformunkat használják. Szándékunkban áll új mesterségesintelligencia-algoritmusokat, valamint jelfeldolgozási, -észlelési módszereket is hozzáadni a platformhoz.

6. Következtetések

Amint az ebben a tanulmányban látható, az anomáliák fontos szerepet játszanak az alkalmazások élettartamában. Az automatikus anomáliadetektálás egyre inkább egy automata rendszer kötelező funkciója, főleg azokban az esetekben, amikor a rendszer egy kritikus szerepet tölt be életünkben. Fontos a hibatűrő és öngyógyító rendszerek számára is. Az anomáliadetektálási technikák különböző orvosi területeken is alkalmazhatók annak érdekében, hogy a betegségre utaló jeleket intelligens eszközökkel hatékonyabban felismerjük.

Egy adott terület szakemberének hatékony eszközre van szüksége az adatkészletek anomáliáinak azonosításához és kiküszöböléséhez. Ebből a célból kifejlesztettünk egy konfigurálható platformot, amely több, az adatelemzés és az anomáliadetektálás folyamatához szükséges eljárást tartalmaz.

A platform legfontosabb része az AutomaticAI-eszköz, amely automatikusan kiválasztja a legjobban teljesítő osztályozási algoritmust egy adott adatkészlethez. Ennek az automatikus módszernek a hatékonyságát és sokoldalúságát számos kísérlet bizonyította, amelyeket különböző terü-

leteken végeztek: víz-infrastruktúra, orvosi képek elemzése, Covid-felismerés stb.

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Chandola V., Banerjee A., Kumar V.: *Anomaly Detection: A Survey*. ACM Computing Surveys, 41/3. (2009) 1–58.
<https://dl.acm.org/doi/10.1145/1541880.1541882>
- [2] Agrawal S., Agrawal J.: *Survey on Anomaly Detection using Data Mining Techniques*. Procedia Computer Science, 60/1. (2015) 708–713.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.220>
- [3] Gupta M., Gao J., Aggarwal C. C., Han J.: *Outlier Detection for Temporal Data: A Survey*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 26/9. (2014) 2250–2267.
<https://doi.org/10.1109/TKDE.2013.184>
- [4] Hodge V. J., Austin J.: *A Survey of Outlier Detection Methods*. Kluwer Academic Publishers, 2004.
- [5] Czako Z., Sebestyén Gy., Hangan A.: *Colorectal image classification with transfer learning and auto-adaptive artificial intelligence platform*. In: Trends and Innovations in Information Systems and Technologies 28. Springer International Publishing, 2020. 534–543.
- [6] Czako Z., Sebestyén Gy., Hangan A.: *Automatic-AI-A hybrid approach for automatic artificial intelligence algorithm selection and hyperparameter tuning*. Expert Systems with Applications, 182. 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115225>
- [7] Czako Z., Sebestyén Gy., Hangan A.: *Artificial Intelligence Algorithms Selection and Tuning for Anomaly Detection*. Computational Intelligence: International Joint Conference, IJCCI 2018 Sevilla, Spain. Revised Selected Papers, 2021.
- [8] Adankon M. M., Cherirt M.: *Model Selection for LS-SVM: Application to Handwriting Recognition*. Pattern Recognition, 42/12. (2009) 3264–3270.
<https://doi.org/10.1016/j.patcog.2008.10.023>
- [9] Sebestyén Gy., Hangan A., Czako Z., Kovács Gy.: *A taxonomy and platform for anomaly detection*. 2018 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics (AQTR), 2018.
<https://doi.org/10.1109/AQTR.2018.8402710>
- [10] Pradeepmon T., Panicker V., Sridharan R.: *Parameter selection of discrete particle swarm optimization algorithm for the quadratic assignment problems*. Procedia Technology, 25. (2016) 998–1005.
<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.199>
- [11] Simsek A., Kara R.: *Using Swarm Intelligence Algorithms to Detect Influential Individuals for Influence Maximization in Social Networks*. Expert Systems with Applications, 114. (2018) 224–236.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.07.038>
- [12] Sebestyén Gy., Hangan A., Czako Z.: *Anomaly detection in water supply infrastructure systems*. 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS), 2021.
<https://doi.org/10.1109/CSCS52396.2021.00064>
- [13] Czako Z., Sebestyén Gy., Hangan A.: *COVID-19 Preliminary Patient Filtering based on Regular Blood Tests using Auto-Adaptive Artificial Intelligence Platform*. IEEE 16th International Conference on Intelligent Computer Communication and Processing (ICCP), 2020.
<https://doi.org/10.1109/ICCP51029.2020.9266277>
- [14] Popa Ș. L., Surdea-Bлага T., Dumitrașcu D. L., Sebestyén Gy., et al.: *Automatic Diagnosis of High-Resolution Esophageal Manometry Using Artificial Intelligence*. Journal of Gastrointestinal & Liver Diseases, 31/4. (2022) 383–389.
<https://doi.org/10.15403/jgld-4525>
- [15] Surdea-Bлага T., Sebestyén Gy., Czako Z., Hangan A., et al.: *Automated Chicago Classification for Esophageal Motility Disorder Diagnosis Using Machine Learning*. Sensors, 22/14. (2022).
<https://doi.org/10.3390/s22145227>

SZERZŐK JEGYZÉKE

LIST OF AUTHORS

A–D

ANDRÁS JÓZSEF 1, 5
BITAY ENIKŐ 9
CZAKÓ ZOLTÁN 63
DÓSA JÁNOS 18

E–G

EGYED-FALUVÉGI ERZSÉBET 25, 53, 58
FARMOS RUDOLF-LÁSZLÓ 53
GÁL KÁROLY-ISTVÁN 29
GOBESZ F.-ZSONGOR 49

H–J

HANGAN LIA-ANCA 63
HARANGUS KATALIN 37
HARRELL YANNICK 5
HUSZÁK CSENGE 45
JAKAB-FARKAS LÁSZLÓ 25

K

KARÁCSONY-FEJÉR TAMÁS 25
KAKUCS ANDRÁS 37
KISFALUDI-BAK ZSOMBOR 49
KOVÁCS JÓZSEF 1
KOVÁCS TÜNDE ANNA 45

M–P

MÁTÉ MÁRTON 29
MIKLÓS ELŐD 53
PAPP ISTVÁN 58
PÁSZTOR JUDIT 53
POPA-MÜLLER IZOLDA 53

S–T

SCHRAMKÓ MÁRTON 45
SEBESTYÉN PÁL GYÖRGY 63
TASHCHI EUGÈNE 5
TOMUŞ OVIDIU-BOGDAN 18