

# A XIV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI

PROCEEDINGS OF THE  
XIV-TH INTERNATIONAL  
CONFERENCE OF  
TECHNICAL  
SCIENCES

1.

MŰSZAKI  
TUDOMÁNYOS  
KÖZLEMÉNYEK



2014

**A XIV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK  
ELŐADÁSAI**

**PROCEEDINGS OF THE XIV<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES**

**MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK**

---

**PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE**

**1.**

**ISSN 2393 – 1280**

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

**MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK**

---

**PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE**

**1.**

**A XIV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS  
ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI**

**PROCEEDINGS OF THE XIV<sup>TH</sup>  
INTERNATIONAL  
CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES**

Szerkesztette/Edited by  
BITAY ENIKŐ – MÁTÉ MÁRTON



**ERDÉLYI MŰZEUM-EGYESÜLET**  
**Kolozsvár**  
**2014**

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

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



Copyright © a szerzők / the authors, EME / TMS 2014

*Minden jog, a kiadvány kivonatos utánnomására, kivonatos vagy teljes másolására (fotókópia, 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 / Editor-in-Chief: Biró Annamária  
Szerkesztette / Edited by: Bitay Enikő, Máté Márton  
Olvasószerkesztő / Proofreader: Kerekes György  
Műszaki szerkesztő / DTP: Szilágyi Júlia  
Borítóterv / Cover: Könczey Elemér

Nyomdai munkálatok / Typography jobs  
F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós  
Tel./Fax: +40-266-364171

online elérhető / online available at:  
<http://eda.eme.ro/handle/10598/28083>  
DOI: 10.33895/mtk-2014.01

**A XIV. MŰSZAKI  
TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK  
ELŐADÁSAI  
(KOLOZSVÁR, 2013. NOVEMBER 23.)**

**PROCEEDINGS OF  
THE XIV<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
CONFERENCE  
OF TECHNICAL SCIENCES  
(CLUJ, NOVEMBER 23. 2013.)**

**SZERVEZŐ / ORGANIZED BY:**

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya  
Transylvanian Museum Society - Department of Engineering Sciences

**TÁRSSZERVEZŐ / CO-ORGANIZER:**

Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely  
Sapientia Hungarian University of Transylvania, Faculty of Technical  
and Human Sciences

## **PROGRAMBIZOTTSÁG / ORGANIZATION BOARD**

Gyenge Csaba, Talpas János / Csaba Gyenge, János Talpas

### **TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG / LEKTOROK**

Bagyinszki Gyula (Budapest)  
Bitay Enikő (Marosvásárhely)  
Buza Gábor (Budapest)  
Csibi Vencel (Kolozsvár)  
Dávid László (Marosvásárhely)  
Dobránszky János (Budapest)  
Dudás Illés (Miskolc)  
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)  
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)  
Gyenge Csaba (Kolozsvár)  
Hollanda Dénes (Marosvásárhely)  
Imecs Mária (Kolozsvár)  
Kelemen András (Marosvásárhely)  
Kerekes Benedek (Nyíregyháza)  
Kerekes László (Kolozsvár)  
Kopenetz Lajos (Kolozsvár)  
Márton László (Gyergyószentmiklós)  
Máté Márton (Marosvásárhely)  
Pokorádi László (Budapest)  
Sikolya László (Nyíregyháza)  
Tóth László (Debrecen)

### **SCIENTIFIC ADVISORY BOARD / PEER REVIEWERS**

Gyula Bagyinszki (Budapest, Hungary)  
Enikő Bitay (Tîrgu Mureş, Romania)  
Gábor Buza (Budapest, Hungary)  
Vencel Csibi (Cluj, Romania)  
László Dávid (Tîrgu Mureş, Romania)  
János Dobránszky (Budapest, Hungary)  
Illés Dudás (Miskolc, Hungary)  
Zoltán Forgó (Tîrgu Mureş, Romania)  
Ferdinánd-Zs. Gobesz (Cluj, Romania)  
Csaba Gyenge (Cluj, Romania)  
Dénes Hollanda (Marosvásárhely)  
Mária Imecs (Cluj, Romania)  
András Kelemen (Marosvásárhely)  
Benedek Kerekes (Nyíregyháza)  
László Kerekes (Cluj, Romania)  
Lajos Kopenetz (Cluj, Romania)  
László Márton (Gheorgheni, Romania)  
Márton Máté (Tîrgu Mureş, Romania)  
László Pokorádi (Budapest, Hungary)  
László Sikolya (Nyíregyháza, Hungary)  
László Tóth (Debrecen, Hungary)

## ELŐSZÓ

Napjainkban a technika gyors fejlődése, nemzetközi mércéje, az impaktfaktoros publikációk jelentősége miatt háttérbe szorulni látszik a tudomány anyanyelven való művelésének fontossága. Feltehető a kérdés, vajon időszerű-e magyar nyelven tudományos fórumot szervezni s az előadásokat írott formában magyar nyelven közölni, miközben a műszaki tudományok eredményeit többnyire angol nyelven teszik közzé, így válnak elérhetővé a világon. Meggyőződésünk szerint az anyanyelvű tudományosság a tudományművelés, az oktatás szilárd alapja. De nem kevésbé fontos a hazai eredmények, tapasztalatok s mellette az összmagyar és nemzetközi tudományos eredmények ismerete, megismertetése sem. A kettő csak együtt lehet sikeres, csak együtt lehetnek a fejlődés meghatározó tényezői.

E törekvések jegyében, a 14 éve hagyományosan megrendezett Műszaki tudományos ülészak történetében először, a legutóbbi ülészak előadásainak írott változatát kötetben adjuk közre. Ezzel útjára bocsátjuk a *Műszaki Tudományos Közlemények* sorozatot (MTK 2014. 1. szám), mely az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának harmadik sorozatkötete. Az első sorozat, a *Műszaki Tudományos Füzetek* (MTF, ISSN 2068 – 3081) 1992-ben jelent meg először (az Erdélyi Digitális Adattárban online elérhetősége: <http://hdl.handle.net/10598/9742>), a második a *Tudomány- és Technikatörténeti Füzetek* (TTTF, ISSN 2068 – 3103) 2009-ben (elérhetősége: <http://hdl.handle.net/10598/9740>).

A két sorozatban folyamatosan jelentjük meg a műszaki tudományok különböző szakterületeinek ismeretanyagát, új kutatási eredményeit, a szakosztály technikatörténeti és tudománytörténeti kutatásainak eredményeit, illetve monográfiákat. A most induló sorozatkötet kifejezetten tanulmánykötet. Egy-egy számában valamilyen közös jegy alapján megkísérli egy csokorba gyűjteni azokat a tanulmányokat, melyek előadásként egy-egy tudományos ülészakon, konferencián, emléknapon hangzottak el.

Ebben a kiadványban *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben* 13. központi fórumán, 2013. november 22-én elhangzott plenáris műszaki előadás, illetve a november 23-án a *XIV. Műszaki tudományos ülészakon* (XIV. MTÜ) elhangzott előadások írott változatát tesszük közzé, lehetőséget teremtve ezzel a széles körű terjesztésre.

A kötet és a tanulmányok külön-külön is elérhetők online módon az Erdélyi Digitális Adattárban: <http://hdl.handle.net/10598/28082>.



A *Műszaki tudományos ülészak* tizenhárom előző rendezvényén elhangzott előadások írott anyagát visszamenőleg már nem tudjuk s nem is szándékozunk közzétenni, hiszen azóta a bemutatott kutatási eredmények elavultak, illetve más formában már napvilágot láttak. Ám hogy ne maradjon foghíjas a tudományterjesztésünk története, bevezető fejezetként röviden áttekintjük a korábbi években megrendezett *műszaki tudományok ülészakokat*.

Köszönetet mondunk mindazoknak, akik a konferencián vállalták az aktív részvételt, s tartalmas előadásukkal, tanulmányukkal hozzájárultak a rendezvény színvonalának emeléséhez, a kiadvány megvalósulásához. Külön köszönettel adózunk a lektoroknak, akik vállalták a tanulmányok szakmai értékelését, s véleményükkel, tanácsaikkal erősítették a kötet szakmaiságát.

Meggyőződésünk, hogy a kötet azok számára is értékes szakmai információkat nyújthat, akik nem lehettek jelen az előadásokon.

*Kolozsvárt, 2014 novemberében*

*Bitay Enikő*  
az Erdélyi Múzeum-Egyesület  
Műszaki Tudományok Szakosztályának elnöke

## TARTALOM

<b>ELŐSZÓ</b> .....	7
<b>A MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK TÖRTÉNETÉNEK ÁTTEKINTÉSE</b> .....	13
<b>András József, Kovács József</b> <i>A mechatronika alkalmazása a bányagépek tervezésében</i> .....	39
<b>Bitay Enikő, Márton László, Nagy Tibor Sándor, Talpas János</b> <i>Kide diplomái, toronyórája és harangjai</i> .....	43
<b>Dezső Gergely, Szigeti Ferenc</b> <i>Fémforgácsolási folyamatok szimulációja</i> .....	55
<b>Dobránszky János, Bitay Enikő, Major László, Nagy Péter</b> <i>Értégitőbetétek lézersugaras hegesztése</i> .....	59
<b>Dudás László</b> <i>Energetikai gépek nem szabályos csavarfelületeinek köszörülése</i> .....	69
<b>Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kegyes Csaba</b> <i>Földrengési szabványok fejlődése és alkalmazása Erdélyben</i> .....	77
<b>Gyenge Csaba</b> <i>A zöldenergiák előállításának technikai aspektusai</i> .....	89
<b>Imecs Mária</b> <i>Kettős mezőorientációs szabályozási struktúra mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motoros hajtás részére</i> .....	101
<b>Kakucs András, Papp István, Tolvaly-Roşca Ferenc, Forgó Zoltán</b> <i>Bolygó dugattyús pneumatikus motor</i> .....	113
<b>Kovács-Coskun Tünde, Pinke Péter, Bitay Enikő</b> <i>A szemcseméret és a mechanikai tulajdonságok kapcsolatának vizsgálata hegesztett varratoknál</i> .....	125
<b>Máté Márton, Hollanda Dénes</b> <i>Arkhimédész-féle spirális fogirányvonalú hengeres fogaskerekek foglábfelületének modellezése</i> .....	131
<b>Orbán György, Talpas János</b> <i>Zarándoklat, turizmus és építészet Kolozs megyében, a Mária-út mentén</i> .....	141

<b>Papp István, Tolvaly-Roşca Ferenc</b>	
<i>Új módszer a karos mechanizmusok dinamikus kiegyensúlyozására ....</i>	<i>149</i>
<b>Sándor Gábor, Szabó György</b>	
<i>Az antropogén eredetű anyagok vizsgálata Debrecen talajaiban .....</i>	<i>159</i>
<b>Simon Pál</b>	
<i>Ütemezési feladatokra alkalmazott genetikus algoritmus keresztező operátorainak vizsgálata .....</i>	<i>165</i>
<b>SZERZŐK JEGYZÉKE .....</b>	<b>172</b>

# CONTENT

<b>FOREWORD</b> .....	7
<b>THE HISTORY OF THE CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES.</b>	13
<b>József András, József Kovács</b> <i>Implementing mechatronics in mining equipment design</i> .....	39
<b>Enikő Bitay, László Márton, Tibor Sándor Nagy, János Talpas</b> <i>Churches, bells and the tower clock from Kide</i> .....	43
<b>Gergely Dezső, Ferenc Szigeti</b> <i>Simulation of metal cutting processes</i> .....	55
<b>János Dobránszky, Enikő Bitay, László Major, Péter Nagy</b> <i>Laser beam welding of stents</i> .....	59
<b>László Dudás</b> <i>Grinding of non-exact helical surfaces of energetic machines</i> .....	69
<b>Ferdinánd-Zsongor Gobesz, Csaba Kegyes</b> <i>The evolution and practice of seismic codes in Transylvania</i> .....	77
<b>Csaba Gyenge</b> <i>Some technical aspects regarding the green energie producing</i> .....	89
<b>Mária Imecs</b> <i>Double field-oriented control structure for sensorless cage induction motor drive</i> .....	101
<b>András Kakucs, István Papp, Ferenc Tolvaly-Roşca, Zoltán Forgó</b> <i>Pneumatic motor with planetary piston</i> .....	113
<b>Tünde Kovács-Coskun, Péter Pinke, Enikő Bitay</b> <i>Investigation of the relation between the grain size and the mechanical properties in case of welded joints</i> .....	125
<b>Márton Máté, Dénes Hollanda</b> <i>The modeling of dedendum transition surfaces by cylindrical gears with Archimedean spiral shaped toothline</i> .....	131
<b>György Orbán, János Talpas</b> <i>Pilgrimage, tourism and architecture in Cluj County, near the „Way of Mary”</i> .....	141

<b>István Papp, Ferenc Tolvaly-Roşca</b> <i>A new method for dynamic balancing of arm mechanisms.....</i>	<i>149</i>
<b>Gábor Sándor, György Szabó</b> <i>The investigation of anthropogenic materials in the soils of Debrecen.....</i>	<i>159</i>
<b>Pál Simon</b> <i>Examination of the crossover of genetic algorithm applied to scheduling tasks.....</i>	<i>165</i>
<b>LIST OF AUTHORS .....</b>	<i>172</i>

## A MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK TÖRTÉNETÉNEK ÁTTEKINTÉSE

## THE HISTORY OF THE CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES

Bitay Enikő

*Erdélyi Múzeum Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, 400009  
Cluj-Napoca, str. Napoca (Jókai u.) 2–4., bitay.eniko@eme.ro*

### Abstract

Present study aims at describing in depth the establishment of a scientific panel, especially its early years, thus demonstrating that difficulties and obstacles in the start-up phase did not shake our faith that technical intelligentsia living as minorities do need all means of scientific life: from research, professional networks and information exchange to anything that may join technical creators in a single community for the sake of one common goal of technical science.

### Összefoglalás

A jelen írás (tanulmány) egy tudományos fórum kialakulását, főleg a kezdeti időszakát szeretné részletesebben bemutatni, s ezzel érzékeltetni, hogy az indulási nehézségek, akadályok nem törték meg a hitünket abban, hogy a kisebbségben élő műszaki értelmiségnek szüksége van a tudományos élet minden elemére, legyen az kutatás, szakmai kapcsolattartás, tudományterjesztés, bármi, ami a műszaki alkotókat egy közösségbe, egy közös célért összefogja, a műszaki tudományosság jegyében.

### Előzmények

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület 1990-ben Jenei Dezső nyugalmazott főmérnök kezdeményezésére, az újraalakult EME alapszabályzatában a hagyományos szakosztályok mellé ötödikként beiktatta a *Műszaki Tudományok Szakosztályát*. Korábban az egyesület műszaki érdeklődésű tagjai a *Természettudományok és Matematikai Szakosztályba* illeszkedve végezték munkájukat. Az Erdélyi Múzeum-Egyesület *Műszaki Tudományok Szakosztálya* létrehozását a romániai magyar értelmiség szakmai tagolódásában beállt változások tették szükségessé. Az EME újraalakulásakor, 1990-ben azzal a fő célkitűzéssel jött létre, hogy megfelelő keretet biztosítson az erdélyi magyar műszaki értelmiség szakmai és tudományos tevékenységéhez. A *Műszaki Tudományok Szakosztálya* az indulás évében 176 tagot számlált és 60 műszaki kutatási témával foglalkozott.

A tapasztalatok igazolták a mérnökök önállósulási törekvését, az EME a szakosztályokban s kiadványokban további szakmai elkülönülési lehetőségeket biztosított.

A *Műszaki Tudományok Szakosztálya* elsőrendű feladatának a sajátos érdekeit szem előtt tartó tudománypolitika kidolgozását tekintette a maga szakterületén, valamint az eredmények közzétételét, a szakember-utánpótlásnak, a fiatal kutatók szakmai előrehaladásának a támogatását, a magyar műszaki nyelv művelését, terjesztését és a műszaki értelmiség összefogását [1, 2].

A szakosztály mind a mai napig tudományos üléseket és tudomány-népszerűsítő előadásokat, kiállításokat, emléküléseket rendez, szakmai táborokat szervez, és saját körén belül segíti a szaktudományok szerinti csoportok tudományos tevékenységét, működését. Munkássága eredményeit az egyesület, illetve a szakosztály tudományos kiadványaiban teszi közzé, terjeszti [3].

A szakosztály kezdetben havonta szervezett tudományos felolvasóüléseket meghívott előadókkal (kutatók, oktatók és az iparban dolgozó mérnökök), a témák felölelték a különböző műszaki szakterületeket.

## **Jubileumi tudományos ülészak (I. Műszaki tudományos ülészak), 2000**

Tízéves tapasztalat birtokában egyre erősebb igény mutatkozott arra, hogy a havi előadások egy tömörebb szakmai információterjesztési fórummal, egy műszaki tudományos ülészakkal egészüljenek ki a romániai magyar műszaki alkotók, oktatók, kutatók számára a szakosztály már meglévő jelentős fóruma, a *Fiatal műszakiak tudományos ülészaka* mellett, mely ekkor már ötéves múlttal rendelkezett. Az új ülészak összehívására jó alkalom volt a szakosztály létrejöttének 10. évfordulója.

Ebben az időszakban a Magyar Tudományos Akadémia jelentős szerepet vállalt a határon túli intézmények tudományos törekvéseinek megvalósításában.

„*Nemzeti tudomány nincs, de igenis van a tudománynak nemzeti funkciója*” – hangsúlyozta Glatz Ferenc, az MTA elnöke [4]. Az ő elnöklete alatt alakult meg az MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottsága (1996). „*A Magyar Tudományos Akadémia hagyományosan fontos tudománypolitikai kérdésnek tekinti az egyetemes magyar tudományosság ügyét, a magyar–magyar kapcsolatok építését, a hazai és a határon túli magyar tudományosság eredményes együttműködését*” – írta bevezető tanulmányában Tarnóczy Mariann, az MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottságának titkára [4].

A 2000. májusi közgyűlésén az MTA elfogadta a köztestületbe való jelentkezés körének kiterjesztését a határokon túliakra [5].

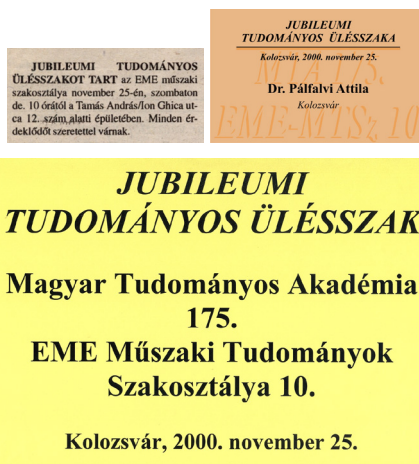
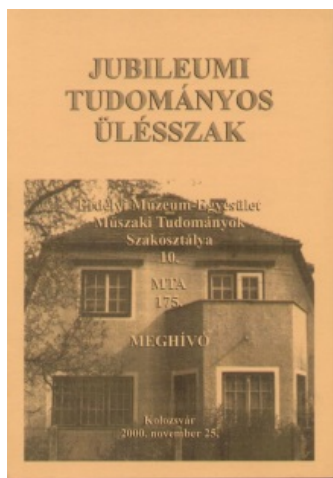
Az MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottságának hajdani elnöke, Berényi Dénes akadémikus, az elsők között szorgalmazta, hogy *A Magyar Tudomány Napjának* ünnepe a határon túlra is kiterjedjen. E felhívás s a fent említett előzmények eredményeképpen indította el az EME *Műszaki Tudományok Szakosztálya* 2000-ben a *Műszaki tudományos ülészakot* a Magyar Tudományos Akadémia fennállásának 175. évfordulója, A

*Magyar Tudomány Napja*, valamint az *Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya* megalakulásának 10. évfordulója alkalmából.

Eredeti terveink szerint fórumot kívántunk teremteni a romániai magyar műszaki kutatók, oktatók munkájának megismertetésére, legújabb eredményeinek bemutatására, megvitatására, az egymás közti kapcsolat kialakítására, hiszen akkoriban Romániában nem volt magyar műszaki felsőoktatás, s így a magyar nyelvű ülésszak jelentősége – az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának kitűzött céljaival összhangban – főleg a magyar műszaki nyelv ápolására, fejlesztésére, a magyar–román s román–magyar műszaki szótár szerkesztésének elősegítésére irányult.

A jubileumi ülésszakot 2000. november 25-én tartotta meg a szakosztály az EME Mollházában, mely akkoriban a szakosztály székhelyül szolgált (a Természettudományi és Matematikai Szakosztállal közösen). A meghívó/programfüzet borítóján is a Moll-ház fotója szerepel (**1. kép**). A programfüzet online elérhető az Erdélyi Digitális Adattárban (a továbbiakban: EDA): <http://eda.eme.ro/handle/10598/28556>.

A fórumot **Gyenge Csaba** professzor, szakosztályi elnök nyitotta meg, ezt követően bemutatta a szakosztályi titkár által összeállított *Az EME Műszaki Tudományok Szakosztály 10 éves története* című írást/összeállítást [6]. (Online elérhető az EDA-ban: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28574>).



**1. kép.** *A jubileumi tudományos ülésszak meghívójának/programfüzetének borítója, a Szabadság Kolozsvári Közéleti Napilapban való meghirdetése (XII. évfolyam, 275. szám, 2000. november 23., 2. oldal), a kitűzője, illetve a plakátja, 2000. november 25.*

Az ülésszak plenáris előadását az évfordulók jegyében **Benkő Samu**, az EME elnöke, az MTA külső tagja tartotta meg *A Magyar Tudományos Akadémia és az Erdélyi Múzeum-Egyesület* címmel (**2. kép**).



Ezt követték a műszaki előadások. Az előadók a kolozsvári Műszaki Egyetem három karának oktatóiból, doktoranduszaiból, illetve a marosvásárhelyi Műszaki Egyetem oktatóiból tevődtek össze.



2. kép. A jubileumi tudományos ülészek a Moll-házban 2000. november 25-én. A bal oldali képen a megnyitó két szónoka: Gyenge Csaba és Benkő Samu, a jobb oldali képen a résztvevők. (Fotó: BE)

A nyitóelőadást **Maros Dezső**, a kolozsvári Műszaki Egyetem nyugalmazott egyetemi tanára, az MTA külső tagja tartotta *Barangolás a műszaki múltamban* címmel. Mint rangidős professzor, kutató s doktoranduszvezető tekintette át műszaki pályafutását, mely a tudományos eredményekre és megvalósításuk körülményeire is kiterjedt.

A kolozsvári Műszaki Egyetem jeles magyar professzorai legújabb kutatási eredményeiket mutatták be. **Gyenge Csaba**: *Integrált versenyképes és környezetvédő termékfejlesztés*, **Csibi Vencel**: *Mikromechanika – mechatronika*, **Szabó Bálint**: *Tudományos mércével mért intuício-megfogalmazás alatt a történeti épületek modern tartószerkezet-elmélete*, **Imecs Mária**: *A térfázor elméletétől a villamos hajtások vektoriális szabályozásáig*, **Kerekes László**: *Minőségbiztosítási rendszerek bevezetésének tapasztalatai Romániában*, **Sándor László**: *Automata sebességváltók* címmel érkeztek.

A doktori iskolát fenntartó professzorok – mint Maros Dezső, Pálfalvi Attila, Gyenge Csaba és Hollanda Dénes – törekvései abban az időben az utánpótlás kinevelésére irányultak, így természetes volt, hogy az ülészekon néhány doktorandusz kutatási témájába is belemélyedtünk. A kolozsvári Műszaki Egyetem magyar doktoranduszai közül az ülészekon **Bitay Enikő**: *A lézeres felületkezelés számítógépes szimulációja*, **Kismihály János**: *Hipoid hajtópárok és a CAD/CAM/CARP*, **Prezenszky István**: *Vasporokból hengerelt fémhálóval erősített szalagok gyártástechnológiája* című előadásai hangzottak el.

A marosvásárhelyi Műszaki Egyetemről **Hollanda Dénes** egyetemi tanár a *Szerszámgépeken generált felületek elmélete* című előadással jelentkezett, de nem lehetett jelen a rendezvényen, helyette **Dávid László** dékánhelyettes tartott előadást, illetve **Máté Márton** docens a *Forgácsoló szerszámok geometriai optimalásának szempontjai* címmel kutatási eredményeit mutatta be.

A szakosztály fennállásának 10. évfordulóját méltóképpen sikerült megünnepelni a tudományosság, a tudományterjesztés jegyében. Sajtóvisszhangja a kolozsvári közéleti napilapban keletkezett *Többszörös évforduló* címmel, Csurylya Szidónia tollából [7].

Ezzel az előzménnyel természetesnek számított, hogy a következő év novemberében ismét megrendezik a műszaki tudományosság fórumát *A Magyar Tudomány Napjának* jegyében.

## **II. Műszaki tudományos ülészek (MTÜ), 2001**

*„Immár hagyományossá vált, hogy minden évben megünnepeljük A Magyar Tudomány Napját. Ennek érdekében ismét **Műszaki tudományos ülészeket** tervezünk, amelyre szeretettel meghívjuk. Ugyanakkor felkérjük, hogy egy 10 perces tudományos előadásban ismeresse legújabb kutatásai irányait és eredményeit”,* szöveg a szakosztályi felhívás (kelt: 2001. szeptember 18-án), felkérő levél (lásd EDA: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28575>).

A második Műszaki tudományos ülészeket 2001. november 3-án hirdették meg. *„A Magyar Tudomány Napját minden évben tudományos ülészekkel ünnepli meg az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya, a szakosztály választmánya nevében ezennel tisztelettel meghívjuk a következő programra...”* – szöveg a meghívó, melynek szövege a programfüzetben is olvasható (borítója a **4. képen** látható). A programfüzet online elérhető az EDA-ban: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28557>.

Jóllehet a rendezvény elsősorban a hazai műszaki alkotók fóruma kívánt lenni, a második rendezvényre első ízben anyaországi előadót is meghívtunk, mert fontosnak tartottuk a határon átnyúló kapcsolatkiépítést, -megtartást. E szempontot a további fórumokon is szem előtt tartottuk. **Dudás Illés**, a Miskolci Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Kara Gépgyártástechnológiai Tanszékének tanszékvezető egyetemi tanára nem először érkezett hozzánk szakosztályunk meghívására, hiszen az 1996-ban elindított *Fiatalkorú műszaki tudományos ülészek*ének is ő volt az egyik fő támogatója. Fontosnak tartotta a szakosztály kezdeményezését, a határon átnyúló műszaki tudományosságot, a kapcsolatok ápolását, a szakmai értékek ily módon való terjesztését. Az ő nevét találhatjuk a 2002. évi programfüzet támogató listáján is, mindig készen állt a tudományos kezdeményezések megsegítésére.

A megnyitón **Gyenge Csaba** szakosztályi elnök beszédében azt hangsúlyozta ki, hogy mennyire fontos az akadémiai intézményeket fenntartani, hiszen az MTA is így jött létre, valamennyi tudós és mecénás lelkes hozzáállásából, adományából.

**Tonk Sándor** történész, az EME alelnöke, beszédében (**3. kép**) azt a tényt emelte ki, hogy az *„Erdélyi Múzeum-Egyesület megalakulása óta az erdélyi magyarság önismeretét, az önazonosság tudatát ápolja. Joggal tesszük fel a kérdést, hogy a műszaki, a természettudományi ismereteknek hol a helye ebben.”*

A felvetett kérdést meg is válaszolta: *„Az elmúlt egy évszázadban az Erdélyi Múzeum-Egyesület bebizonyította azt, hogy igenis ezekre az ismeretekre szüksége van a közösségünknek. Természetes az, hogy nem tudunk felvállalni alapkutatásokat. De azt, hogy a magyar*

nyelvvél műveljük a tudományt, és a magyar nyelven népszerűsítsük a tudománynak az eredményeit, ez a Múzeum-Egyesületnek feltétlenül a feladata”.

Majd az EME válságos, útkereső időszakára utalt. Jelentősnek tartotta azonban azt, hogy az EME-nek csupán folytatnia kell az erdélyi magyar tudományművelést, vissza kell találnia az útra. Zárszavában a rendezvény jelentőségére utalt: „Úgy gondolom, hogy egy ilyen összefogó találkozás, valójában lehetőséget jelent arra, hogy felhívjuk, biztassuk az embereinket, hogy érdemes ezt a munkát folytatni, érdemes ezért áldozatot hozni”.



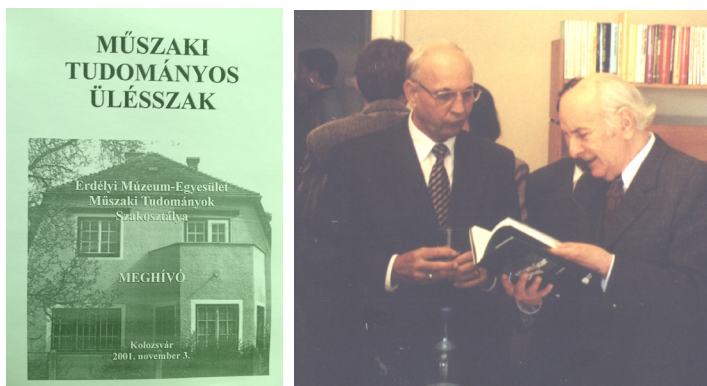
3. kép. A jubileumi tudományos ülészak a Moll-házban, 2001. november 3-án. A bal oldali képen a megnyitó beszédek szónokai: Tonk Sándor és Gyenge Csaba; a jobb oldali képen a résztvevők. (Fotó: BE)

Plenáris előadást **Dudás Illés**, a Miskolci Egyetem professzora tartott a *Környezetvédelem, környezetbarát technológiák* magyarországi helyzetéről. **Gyenge Csaba**, a kolozsvári Műszaki Egyetem professzora, az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya keretében 1996-ban elindult *Fiatallás tudományos ülészaka* öt évének eseményeiről számolt be. Ezt követően a műszaki tudományok különböző területeiről, a legfrissebb kutatási eredményeikről tartottak előadást: **Prezensky Tibor Béla**: *Nagyteljesítményű lefejtő-csigamaró bemutatása*; **Bitay Enikő**: *Lézeres felületkezelés*; **Kismihály János**: *Új idők, új módszerek*; **Szöcs Katalin**: *A kalapácmalmok hatásfokának növelése*; **Mezei Sándor**: *A megmunkálási sorrend optimalása*; **Prezensky István**: *Többrétegű porózus fémzalagokat gyártó berendezés*; **Selinger Sándor**: *Erdélyi magyar műemlékek térinformatikai katasztere* címmel.

A tudományos ülészak pohárköszöntővel, kötetlen beszélgetéssel és szakkiadványok cseréjével zárult (4. kép).

A rendezvényről a kolozsvári Szabadság napilapban *A Magyar Tudomány Napján Műszaki tudományos ülészak az EME-nél* címmel jelent meg Ördög I. Béla írása, melyből a megnyitóról és a két plenáris előadásról kapott képet az olvasó [8].

A Műszaki tudományos ülészak ezzel beépült a köztudatba, s évi rendszerességgel kiemelt fóruma lett a szakosztálynak, akárcsak a fiatal műszakisoknak szánt márciusi rendezvénye, az FMTÜ (A *Fiatallás tudományos ülészaka* hagyományosan minden év márciusának harmadik hetében zajlik le).



**4. kép.** *A második Műszaki tudományos ülészak meghívójának/programfüzetének borítója, illetve fotó Dudás Illés és Maros Dezső professzorokról a II. MTÜ-n, Kolozsvár, Moll-ház, 2001. november 3. (Fotó: BE)*

### **III. Műszaki tudományos ülészak, 2002**

Az első két ülészak sikere is hozzájárult ahhoz a döntéshez, hogy az EME elnöksége 2002-ben elindítsa *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben* (MTNE) elnevezésű fórumát, felölelve a szakosztályok által is képviselt valamennyi tudományterületet.

Az előkészítő munkálatokban és a szervezésben meghatározó szerepet vállalt az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya, a korábbi évek tapasztalataira támaszkodva. A szakosztály fontosnak tartotta, hogy a többi tudományterület is bekapcsolódjék, hiszen a fórum a tudománynépszerűsítés mellett kiváló alkalom a szakmai kapcsolatteremtésre, a különböző generációk szakmai együttműködésére, illetve a tudós társadalom közösségének építésére.

Egyed Ákosnak, az EME akkori elnökének javaslatára *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben* fórum időpontját az Erdélyi Múzeum-Egyesület megalakulásának évfordulójára, alapításának napjára (1859. november 23–26.) 2002. november 23-ára tűztük ki. A tervek szerint a fórum első napján általános, időszerű téma került napirendre, melyen valamennyi szakterület meghívottjai tartottak előadást, a második nap a tudományos szakosztályoké, a tematikát maguk határozták meg.

Természetes volt, hogy a tudományos rendezvényt a Magyar Tudományos Akadémia Magyar Tudomány Napi fórumának részeként kívánjuk kibővíteni régióinkban is. Az MTA-t a rendezvényen **Vizi E. Szilveszter**, az MTA elnöke képviselte, aki üdvözlőbeszédében emlékeztetett az 1859-es alapító közgyűlésen gróf Mikó Imre szájából elhangzott célkitűzésekre. *„Mai viszonylatban a magyarság kötődéspontja a szellem működése, és az anyaország kötelessége ebben segíteni az országhatárokon túl élő és alkotó magyarokat. A 21. században a tudás + információ = hatalom képlet uralja az emberiséget, ehhez kell nekünk hozzáadnunk az erkölcsöt, hiszen a tudomány célja az igazságkeresés. Mindnyájan a magyar*

*nemzet részei vagyunk egy olyan kontinensen, amely nem az államok, hanem a nemzetek Európája”.*

Egyed Ákos elnöki beszámolójában az EME tevékenységét, helyzetét vázolta, kifejtve, hogy mindezen tudományos tevékenységhez számít az MTA támogatására [9].

Ezt követően sor került az MTA és az EME közötti együttműködési nyilatkozat aláírására. Célja *„a tudományos utánpótlás biztosítása, az intézményfejlesztés, a strukturális támogatás, a külső kapcsolatok megerősítése a magyar tudományosság egységéért, a regionális kutatás fokozása, a könyvtárak és általában az infrastruktúra korszerűsítése, a könyv- és folyóirat-kiadások, valamint az erdélyi tudományosságon belüli együttműködés ösztönzése, egy akadémiai kutatóhálózat kiépítése” (5. kép).*



**5. kép.** *Az EME-MTA együttműködési megállapodás aláírása (Vizi E. Szilveszter MTA-elnök és Egyed Ákos EME-elnök) A Magyar Tudomány Napja Erdélyben című fórum megnyitóján, 2002. november 21., Kolozsvár, a Protestáns Teológiai Intézet díszterme. (Fotó: BE)*

A tudományos előadások következtek. A fórum témája: *Céljaink, lehetőségeink a tudományművelésben* volt, a felkért előadók ennek jegyében beszéltek. **Jakó Zsigmond**, az EME tiszteletbeli tagja, a humán- és társadalomtudományok erdélyi helyzetét ismertette. **Markó Bálint** (az EME Természettudományi és Matematikai Szakosztályának elnöke) a természettudományi kutatások lehetőségeiről értekezett. **Brassai Zoltán** marosvásárhelyi professzor az orvostudományi kutatások időszerű erdélyi kérdéseit tárta fel, **Gyenge Csaba**, az EME alelnöke pedig a műszaki tudományok jelenéről és jövőjéről fejtette ki véleményét.

Délután a Házsongárdi temetőben leleplezték azt az emléktáblát, amely a Magyar Tudományos Akadémia ott nyugvó tagjainak névsorát tünteti fel Bölöni Farkas Sándortól Csűrös Istvánig [10]. A névsor azóta sajnos bővült: Imreh István (2003), Kékedy László (2004), Faragó József (2004), Kiss István (2004), Jakó Zsigmond (2008), Csetri Elek (2010), Maros Dezső (2011), ahogyan a fotón látható **(6. kép)**.

Vizi E. Szilveszter az emléktábla előtt elmondott beszédében újra utalt arra, hogy: *„ez a nap a magyar tudományosság újraegyesítésének fontos pillanata”.*

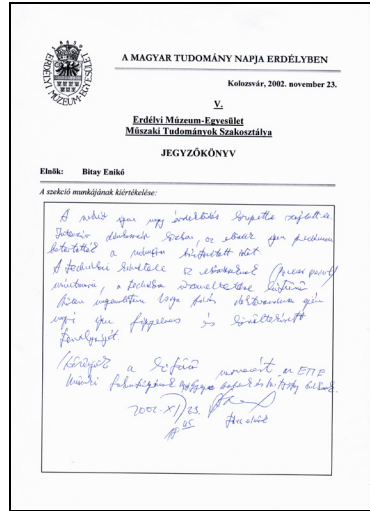
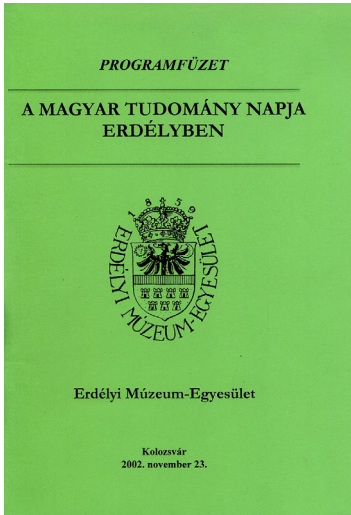
Ezt követően az EME öt szakosztálya párhuzamos szekciókban kezdhetette el a munkát a Protestáns Teológia Intézet előadótermeiben. Ekkor hangzottak el a *III. Műszaki tudományok ülészak* előadásai is.



6. kép. Az MTA Házsongárdi temetőben nyugvó tagjainak emléktáblája (Fotó: BG).

A szakosztályi fórum megnyitóját követően Kerekes Sándor, a Kolozs megyei Tanács alelnöke az ipari parkok fejlesztését és gazdasági hasznosságát mutatta be, majd a kolozsvári, miskolci, temesvári, marosvásárhelyi, brassói és nagybányai műszaki egyetemek professzorai, kutatói értekeztek legfrissebb kutatásai eredményeikről. Sorrendben **Kerekes Sándor**: *Az ipari parkok mint a gazdaságfejlesztés eszközei*, **Gyenge Csaba**: *CNC fogkőszőrülés*, **Dudás Illés**: *Csavarfelületek korszerű gyártásgeometriája*, **Delesega Gyula**: *Szakaszolóknak melegedésének számítógépes eredményei*, **Selinger Sándor**: *A térinformatika és a fenn tartható fejlődés*, **Dávid László**: *Mesterséges intelligencia alkalmazása a műszaki tudományokban*, **Bíró Károly**: *Új típusú villanymotorok*, **Csibi Vencel**: *Különleges fogaskerékhatások a mechatronikában*, **Varga Béla**: *Alumínium a gépkocsiparban*, **Bitay Enikő**: *Kopásállóság növelése lézeres felületkezeléssel*, **Kerekes László**: *Irányítási és biztonsági rendszerek bevezetésének jelentősége Románia EU-csatlakozásának előkészítésében*, **Szabó Bálint**: *Történeti tartószerkezetek és a kulturális örökség*, **Köllő Gábor**: *A XXI. század vasúti közlekedése*, **Pay Jenő**: *Hordócsigás hajtóművek*, **Sándor László**: *Az autóipar történetéről* című előadások hangzottak el. Elolvasható a rendezvény részletes programjában, mely ezúttal *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben*, az EME teljes rendezvényének programpontjait tartalmazza, a központi fórumét, illetve az öt szakosztályét. Ebben található a Műszaki tudományos ülészak programja is (13–15. oldalakon), online elérhető: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28558>. A szakosztályi rendezvény értékelő jegyzőkönyvét a **7. kép** szemlélteti. „A szekció igen nagy érdeklődés közepette zajlott le. Intenzív diskurzus... a technikai kivitele az előadásoknak mintaszerű, a technika üzemeltetése kitűnő... Köszönjük

a kitűnő szervezést az EME Műszaki szakosztályának” – olvasható az ülészak értékelő jegyzőkönyvében Dudás Illés társelnöknek, a Miskolci Egyetem professzorának bejegyzéseként.



7. kép. A Magyar Tudomány Napja Erdélyben programfüzetének borítója, illetve a harmadik Műszaki tudományos ülészak jegyzőkönyve az ülészak munkálatairól, 2003. november 22.

#### IV. Műszaki tudományos ülészak, 2003

A Magyar Tudomány Napja Erdélyben fórumot 2003-ban is életre hívtuk, november 21–22. között. A rendezvény kétnaposra bővült, helyet adva így az első napi tematikus előadásoknak. „... több időt szeretnénk fordítani a kutatás eredményeinek bemutatása és megvitatása mellett a tudományos munka általános kérdéseire is” – olvashatjuk Egyed Ákos EME-elnök köszöntőjében, a programfüzet borítóját a 8. kép szemlélteti (az EDA-ban online elérhető: <http://hdl.handle.net/10598/28559>). A rendezvény fővédnökségét Vizi E. Szilveszter, az MTA elnöke vállalta, s ettől az évtől kezdve mindig az MTA mindenkori elnöke vette védnöksége alá a fórumot.

A régió kutatás időszerűsége jegyében **Meskó Attila**, az MTA főtitkár helyettese beszámolt a nemrég Budapesten tartott World Science Forum tudományos ülészak következtetéseiről, míg **Berényi Dénes**, az MTA Magyar Tudományosság Külföldön Elnöki Bizottságának elnöke a tudomány európai vonatkozású távlatait vázolta. **Pomogáts Béla** irodalomtörténész nem lehetett jelen a rendezvényen, Sipos Gábor, az EME főtitkára olvasta fel a tudós regionális, nemzeti és európai irodalomról szóló dolgozatát.

A délután folyamán **Benedek József** a regionális kutatási paradigmákról és a régiósításról, **Kolumbán Gábor** a régió kutatás módszeréről, **Selinger Sándor** a térinformatikáról mint a régiófejlesztés nélkülözhetetlen eszközéről, **Pozsony Ferenc** a népi kultúra táji ta-

goltóságának kutatásáról Erdélyben és Moldovában, **Balla Árpád** Hargita megye 1970–2002 közötti népmozgalmi adatairól, **Csávossy György** pedig az erdélyi borok tájiságáról értekezett. A központi fórumról, az első napról a Krónika és a Szabadság napilapok számoltak be [11, 12].

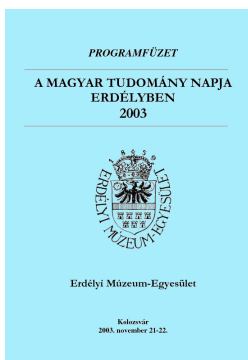
2003. november 22-én, a második napon a szakosztályok párhuzamos szakmai műhelytalálkozóra került sor.

A *Műszaki tudományos ülésszak* programja ebben az évben is a központi MTNE fórum programfüzetében szerepelt, nem készült külön füzet (a MTNE programfüzet online elérhető az EDA adattárában: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28559>, melynek 17–18. oldalán a Műszaki Tudományok Szakosztály rendezvényének programja olvasható).

A felhíváskor a szervezők első alkalommal kísérelték meg, hogy az előadások írott anyagát előre begyűjtsék (ehhez formai követelményt tartalmazó leírást is mellékeltek), publikálási szándékkal. Sajnos ez a kísérlet nem vált be, ezért külön programfüzetet sem volt érdemes készíteni.

Fordulópontot jelentett a helyszín megválasztása, először vettük igénybe a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem vendégszeretetét, a rendezvényhez való hozzájárulásukat. Azóta a helyszín hagyományossá vált, sőt, nem csupán a *Műszaki tudományos ülésszak*ának rendezvényeit, hanem a következő évtől a *Fiatal műszakiak tudományos ülésszak*ának 1. és 2. szekcióját is ott tartjuk.

A műszaki tudományos fórumot **Szirtes Tamás** nyugalmazott kanadai professzor nyitotta meg *Dimenzió-analízis a műszaki és tudományos gyakorlatban* című előadásával; **Kerekes Sándor**, a Kolozs megyei Tanács alelnöke *Régiópolitika és vidékfejlesztés* címmel mutatta be az újabb fejlesztési terveket.



**8. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben 2003 programfüzetének borítója, illetve a harmadik Műszaki tudományos ülésszak fotója, 2003. november 22. (Fotó: BE)*

Ebben az évben volt először többszerzős előadás, mely jellemző a műszaki alkotásokra, hiszen komoly eredmények eléréséhez csapatmunkára van szükség. A legújabb közös kuta-



tásaikat mutatta be **Gyenge Csaba** professzor doktoranduszával, **Varga András**sall: *Versenyképes termékfejlesztés az erdélyi kis- és középvállalatokban* címmel.

Ezt követően kolozsvári, marosvásárhelyi, gyergyószentmiklósi és brassói kutatók, egyetemi oktatók, doktoranduszok következő előadásai hangzottak el: **Géczi Róbert**: *Észrevételek a székelyföldi régió versenyképességének megítéléséhez*; **Szakács József**: *A modern technológiai tudomány szerepe a régiófejlesztésben*; **Kerekes László**: *Integrált menedzsmentrendszerek – a romániai piac új kihívása*; **Csibi Vencel**: *Fogaskerékhajtások kutatása Erdélyben*; **Dávid László**: *Mesterséges idegsejtháló alkalmazásai a folyamatirányításban*; **Márton László**: *Erdélyi bronzharangok károsodási formáinak összefoglaló elemzése*; **Varga Béla**: *Színesfémöntödék szerepe régióknak fejlődésében*; **Szabó Bálint**: *Az épített kultúra regionális kérdései Erdélyben*; **Furu Árpád**: *Torockó – egy erdélyi történeti régió újjászülött történeti köntösben*. A programfüzet, az előadók adataival online elérhető az EDA-ban: <http://hdl.handle.net/10598/28559>.

## V. Műszaki tudományok ülészak, 2004

A Magyar Tudomány Napja minden év novemberében életre kelt, a központi fórumnak meghatározott témája volt. A szakosztályok külön, önállóan szervezkedtek. A következőkben rájuk már nem térünk ki részletesen, a műszaki rendezvényre összpontosítunk, s ezeknél is csupán a sajátos, arra az évre jellemző eseményre, információra. Felsoroljuk az előadókat s előadásuk címét.

Mivel 2003-ban nem sikerült az előadások írott anyagait begyűjteni, így ebben az évben a magyar nyelvű rövid kivonataikat kértük el. A rendezvény meghirdetésére elkészült a szakosztály programfüzete, mely előszót, az előadók adatait, az előadások időpontját, címét, illetve az említett kivonatokat tartalmazta. A füzet utolsó oldalán pedig a soron következő rendezvénynek a meghívója volt (az *FMTÜ* 2005. márciusi fórumára). Tehát a füzet amolyan szakosztályi tudósító, hírlevél szerepet töltött be.

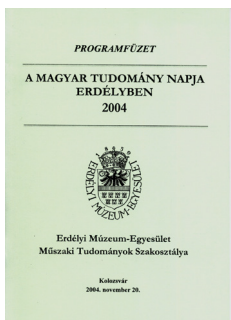
A programfüzet borítóját a **9. kép** szemlélteti, online elérhető az EDA-ban: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28566>.

A résztvevők, előadók többnyire visszajáró személyek, kutatók, oktatók, érdekes volt követni a folyamatokat: hallani az adott évi kutatásaik, munkájuk újabb eredményeit, fejleményeit.

Minden évben igyekeztünk egy-egy jeles határon túli műszaki személyiséget megszólítani. 2004-ben a Szabadkai Műszaki Szakfőiskola főigazgatója, Nyers József egyetemi tanár tisztelt meg bennünket jelenlétével, s tartott *Megújuló energiaforrások és berendezések* címmel előadást.

Ebben az évben is voltak többszerzős előadások, utalva a kialakuló kutatócsapatok műhelymunkájára. A következő előadások hangzottak el időrendi sorrendben: **Kerekes Sándor**: *Terület- és vidékfejlesztési tervek térinformatika segítségével*; **Kerekes László**: *Integrált irányítási rendszerek – a biztonságos és hatékony vállalatvezetés eszköze*; **Brassai Sán-**

**dor Tihamér, Dávid László, Bakó László:** *CMAC típusú mesterséges neurális hálózat hardware megvalósítása és folyamatirányításban való alkalmazása; Kismihály János:* *HSC-HPC, Nagy sebességű és nagy teljesítményű marási eljárások és szerszámok; Gyenge Csaba, Varga Zolt, Gyenge Zoltán:* *Környezetbarát technológiák a gépgyártásban; Márton László:* *Napórákutatások Hargita megyében; Varga Béla:* *Öntészeti alumíniumötvözetek gáztalanítása.*



**9. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett Műszaki tudományos ülésszak programfüzetének borítója, a rendezvény fotója, 2004. november 20. (Fotó: BHZ)*

## **VI. Műszaki tudományos ülésszak, 2005**

2005-ben a szakosztály a kutatási eredményei alapján az MTNE központi fórumának témájába illeszkedő előadással képviseltette magát. **Szakács József, Bitay Enikő** *Műszaki kutatások és fejlesztések Erdélyben a XX. századig* című tanulmányát Szakács József nyugalmazott főkutató mutatta be 2005. november 18-án. A központi fórum előadásait a következő évben az EME egy közös kötetben jelentette meg: Ilyés Szilárd, Tamásné Szabó T. Csilla (szerk.): *Az erdélyi magyar tudománytörténet. A Magyar Tudomány Napja Erdélyben 2005. évi fórumán elhangzott előadások.* Az EME kiadása, Kolozsvár, 2006. (online itt érhető el: <http://hdl.handle.net/10598/15469>).

2005. november 19-én, akárcsak az előző évben, az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya a Sapientia EMTE központi épületében szervezte meg immár a *6. Műszaki tudományos ülésszakot*. A korábbi évhez hasonlóan készült el a programfüzet az előadások magyar nyelvű kivonataival. A *Magyar Tudomány Napja Erdélyben* rendezvénysorozat keretében megszervezett *műszaki ülésszak* (2005. november 19.) programfüzetének borítója a **10. képen** látható, teljes terjedelemben az EDA-ban online elérhető: <http://hdl.handle.net/10598/28561>.

A műszaki fórumon a következő előadások hangzottak el: **Kerekes Sándor:** *Kolozs megye hosszú távú fejlesztési terve;* **Gyenge Csaba:** *Integrált termékfejlesztés és gyorsprototípezés;* **Dávid László, Gyenge Csaba, Bakos Levente:** *Hagyományos és holonikus termelésütemezés összehasonlítása kritikus út módszerére alapuló algoritmus*

által; **Hollanda Dénes, Tolvaly-Roşca Ferenc:** Fogaskerék-hajtáspontosság-vizsgálatok számítógépes testmodelleken; **Csibi Vencel, Noveanu Simona:** Elasztikus kötések a mechatronikában; **Orbán György:** Számítógép alkalmazása az ívelt fogú kúpkerék-hajtások kapcsolódásának tanulmányozásában; **Gobesz Ferdinánd-Zsongor:** Számítógéppel segédelt tanulás az építészetben; **Márton László:** A segesvári óratorony harangjairól; **Szócs Katalin:** A természeti és műszaki ismeretek jelképes ábrázolása; **Baki-Hari Zoltán-Gábor:** Termékfejlesztés tegnap s ma.



10. kép. A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítója, illetve fotója, 2005. november 19. (Fotó: BHZ)

## VII. Műszaki tudományos ülészak, 2006

A hetedik ülészak 2006. november 25-én zajlott le, a megszokott módon. A rendezvény programfüzetét ezúttal **háromnyelvű kivonattal** (magyar, román és angol nyelvű) bővítettük, arra való tekintettel, hogy néhány kutatócsoportban román anyanyelvű kutató is részt vett, ezzel megkönnyítettük a szakmai kommunikációt. Nem titkolt célunk volt az is, hogy példát mutassunk a multikulturális szemléletről, ne csak követeljük az anyanyelvű szakmai oktatást.

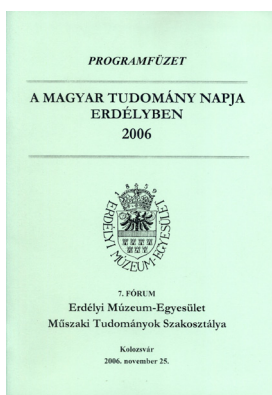
A programfüzet borítóját a **11. kép** szemlélteti, teljes tartalma itt olvasható: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28567>.

Meghívott előadóvendégünk ezúttal **Sikolya László**, a Nyíregyházi Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Karának dékánja volt, aki intézményét s az általuk felkarolt kutatási témákat mutatta be.

Az előadásokat két modulban tartottuk meg. Nevezetesen: **Kerekes Sándor:** *Kolozs megye fejlesztési terve a 2007–2013. időszakra*; **Gyenge Csaba, Varga András, Gyenge Zoltán, Costea Ancuța:** *Kockázat alapú karbantartási módszer bevezetése az erdélyi ipari vállalatokban*; **Kerekes László, Csernátóni Zsuzsanna:** *Környezeti tényező és hatásfelmérés – a környezet központi irányítási rendszerek kiépítésének hatékony eszköze*; **Máté Márton, Hollanda Dénes:** *A hengeres fogaskerekek lefejtésekor keletkező valós származtató felüle-*

tek; **Torkos Zoltán:** *Ipari cégek és kutatóintézetek nemzetközi együttműködése az Európai Unió által támogatott kutatás-fejlesztési projektekből;* **Kismihály János:** *Nagyteljesítményű keményfém marószerszámok;* **ifj. Orbán György:** *Urbanisztikai és építészeti megfontolások az iszlám tradíciók kortárs értelmezésében;* **Baki-Hari Zoltán-Gábor:** *Flexibilis szerszámok gyártása MoldFusion technológiával;* **Szabó Bálint:** *Épített örökségvédelem a Brétfüben;* **Márton László:** *Mozzanatok a székelyföldi vasgyártás történetéből;* **Szőcs Katalin:** *A madár mint a természeti ismeretek egyik szimbóluma.*

Az előadások sokszínűségéről a különböző műszaki szakterületekről érkezett előadók kutatási témái gondoskodtak. Hallhattunk értekezést a korszerű gyártástechnológiákról és szerszámokról, a környezetvédelemről, a kockázat alapú karbantartásról, a területfejlesztésről, az urbanisztikáról, a műemlékvédelemről s a technikatörténetről, ahogy ezt az ülészak jegyzőkönyve is tanúsítja.



**11. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett hetedik Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítóját, illetve fotóját, 2006. november 25. (Fotó: BHZ)*

## **VIII. Műszaki tudományos ülészak, 2007**

A nyolcadik fórum a Sapientia EMTE nagy létszámú részvételével emelkedik ki a többi közül. Beleláthattunk a fiatal intézmény két karának tudományos kutatási törekvéseibe, s az elért eredményeket is értékelhettük. Az ülészakot a csapatmunka jellemezte, az elhangzott tizenhat előadásnak összesen 46 szerzője volt.

A programfüzet ezúttal is háromnyelvű volt, borítóját a **12. kép** szemlélteti, teljes tartalma itt olvasható: <http://hdl.handle.net/10598/28568>.

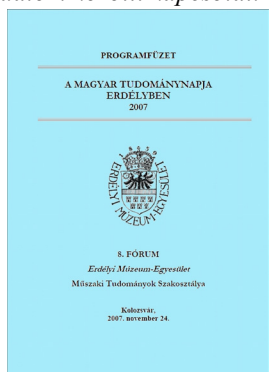
Az előadásokat két csoportban adták elő. Kiemelt előadást **Lányi Szabolcs** egyetemi tanár tartott *A csíkszeredai biomérnöki szakok (a Műszaki és Természettudományi Tanszék) tudományos tevékenysége* címmel.

Ezután mutatták be a kar munkatársai (oktatók, kutatók) csoportos kutatási eredményeiket, az első szerzők által. **Mara Gyöngyvér, Kerekes Zsófia, Szakács Gyöngyike, György**

**Éva, Ábrahám Beáta, Mészáros Sándor, Lányi Szabolcs:** *A molekuláris biológiai módszerek használatának lehetőségei a biokorróziót okozó gombafajok azonosításában;* **Ábrahám Beáta, Miklóssy Ildikó, Albert Csilla, Székely Annamária, Mara Gyöngyvér, Mészáros Sándor, Csutak Éva, Lányi Szabolcs:** *A xilóz izomeráz enzim heterológ expressziója, tisztítása és aktivitásmérése;* **Máthé István, MáriaIligeti Károly, György Éva, Biró Klára, Benedek Tibor, Szász Emőke:** *Természetes szennyezésbontó aktivitás becslése szénhidrogénnel szennyezett talajokban;* **Mészáros Sándor, Máté Szilárd, Mészáros Ildikó, György Éva, Mara Gyöngyvér, Ábrahám Beáta, Lányi Szabolcs:** *Folyókák online monitoringja.*

Ebben az évben a bemutatott kutatási témákat nem csupán az intézményközi kapcsolatok jellemezték. Az ipar, a kutatóintézetek is szép számban képviselték magukat a hagyományosan jelen levő felsőoktatási intézmények mellett.

Az alábbi előadások hangzottak el: **Gobesz Ferdinánd-Zsongor:** *Ökológikus építkezési informáló rendszer;* **Kerekes László:** *Munkahelyi egészség- és életbiztonsági menedzsment rendszerek bevezetése;* **Tamás Levente, Lazea Gheorghe, Iváncsy Szabolcs:** *Jelfűzési technikák pozícióméréshez;* **Hollanda Dénes, Máté Márton:** *Az egyenes fogú metszőkerék geometriai sajátosságainak javítási lehetőségeiről;* **Gyenge Csaba:** *A profilkorrekciós hengeres fogaskerek komplex digitális ellenőrzésének adatfeldolgozása és kiértékelése;* **Kovács József, András József:** *A romániai külszíni fejtésekben található lignit és a jellegzetes meddőközetek forgácsolási jellemzőinek meghatározásával kapcsolatos kutatások eredményei;* **Torkos Zoltán:** *Új felfogások alkalmazása a tervezésben a Disher Design cégnél;* **Kismihály János:** *Keménymarás alkalmazása Gleason marófejek előállítására;* **Márton László, Bitay Enikő, Talpas János:** *Technikatörténeti örökség a kalotaszegi Magyarvalkón;* **Udvardy László Gergely:** *Integrált Közút Management Rendszer – egy közúti stratégia konceptusa és modellje;* **Baki-Hari Zoltán-Gábor:** *A műszaki tudományok és a társadalom közötti kapcsolat.*



12. kép. *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvény keretében megszervezett nyolcadik Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítója, illetve fotója, 2007. november 24. (Fotó: BHZ)*

## **IX. Műszaki tudományos ülészak, 2008**

A kilencedik ülészak 2008. november 22-én zajlott le. A szép számú, változatos témájú előadást háromnyelvű programfüzet hirdette meg, amely technikai információkkal is bővült (közlekedési eszközök, ajánlott taxik, fontosabb címek, eligazító térkép), online itt olvasható: <http://hdl.handle.net/10598/28569> (borítóját a **13. kép** szemlélteti).

Nőtt a résztvevők száma, és a magyarországi intézmények oktatói és kutatói is előszere-ttel kapcsolódtak be a fórum szakmai munkájába, egyharmad részben képviseltették ma-gukat. Mindkét tendencia tart azóta is.



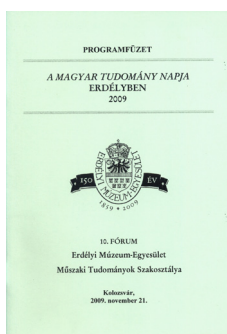
**13. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett kilencedik Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítója, fotója, 2008. november 22. (Fotó: BHZ)*

Az előadások listája időrendi sorrendben: **Sikolya László:** *Az amaránt termesztés és feldolgozás gépesítése Magyarországon;* **Jármai Károly, Száva János, Dani Péter, Varga Béla:** *Acélszerkezetek tűzvédelmi tervezése és gyakorlati mérése;* **Kalmár László, Jármai Károly:** *Ipari elszívó rendszer hatékonyságának és gazdaságos üzemeltetésének javítása numerikus optimáló algoritmusok alkalmazásával;* **Pokorádi László:** *Fuzzy modellek és alkalmazásuk;* **Tiba Zsolt:** *Gépészeti modellezés és a környezetbarát üzemeltetés kapcsolata;* **Bitay Enikő, Kovács Tünde:** *Lézeres felületkezelés hatásának elemzése a kopásállóságra;* **Kerekes László:** *Minőségirányítási rendszerek bevezetése a felsőoktatásban;* **Imecs Mária, Incze János Jób, Szabó Csaba:** *Kalickás indukciós motor vektoriális szabályozása kettős mező-orientációval;* **ifj. Orbán György:** *A Biblia mint inspirációs forrás a vallásos építészetben;* **Gyenge Csaba, Varga András, Gyenge Zoltán:** *Környezetbarát technológiák a gépjárműgyártásban;* **Száva János, Kakucs András, Gálfi Botond:** *A hengerfejpakolás mechanikai tulajdonságai mint környezetvédelmi tényező;* **Kakucs András, Száva János, Dani Péter, Gálfi Botond, Jármai Károly:** *Felhabzó festékek vége-selemes modellezése;* **Pap István:** *A térmechanizmusok dinamikai kiegyensúlyozásának optimalizálása;* **Varga Béla:** *Zink-alumínium ötvözetek eutektoidos átalakulásának dilatométeres vizsgálata;* **Márton László:** *Bábos toronyórák a Küküllők középső folyásának vidékéről;* **Tamás Levente, Majdik András, Lazea Gheorghe:** *Állapotbecslési technikák a robot navigációs alkalma-*

zásokban; **Szőcs Katalin:** *A kísérletező tudományok képjeleiről. A kör;* **Baki-Hari Zoltán-Gábor:** *Hatékony termékfejlesztés az új évezred kezdetén.*

## X. Műszaki tudományos ülésszak, 2009

A jubileumi évben az Erdélyi Múzeum-Egyesület megalakulásának 150. évfordulóját ünnepeltük, és közelgett a Műszaki Tudományok Szakosztálya megalakulásának 20., a Műszaki tudományos ülésszak elindulásának 10. évfordulója. A tizedik ülésszak háromnyelvű előadás-kivonatokat tartalmazó programfüzetének előszavában a szakosztályi elnök tollából olvashatjuk a következő gondolatot: „*Lehet-e ünnepnapja a tudománynak? Amennyiben a tudomány művelése az év minden napjára jellemző, akkor valóban lehet egy nap, mikor ezen eredményeket összegezzük, megvitatjuk. E hármas ünnep, s az eddig elért eredmények számadásra kötelez, s egyben megújulásra, az új irányok meghatározására, együttműködések megalapozására készítet*”. A programfüzet borítója a **14. képen** látható, a teljes tartalma itt olvasható: <http://hdl.handle.net/10598/28570>.



**14. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett tizedik Műszaki tudományos ülésszak programfüzetének borítója, fotója, 2009. november 21. (Fotó: BHZ)*

A fórum megnyitó előadását a szakosztályi elnök tartotta a hármas ünnep jegyében, taglalva Műszaki Tudományok Szakosztályának szerepét a magyar műszaki tudományosságban. Ezt követte a tudományos kutatások eredményeit bemutató 16 előadás két részletben.

Az előadások lajstroma sorrendben: **Bitay Enikő:** *Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának szerepe a magyar műszaki tudományosságban;* **Pokorádi László:** *A matematikai modellek bizonytalansága;* **Jármai Károly, Farkas József, Oláh Róbert:** *Hegesztett szerkezetek optimális méretezésének újabb eredményei;* **Hajdú Sándor, Lakatos Károly:** *Bánki Donát nagyszerű alkotása: az 1917-ben szabadalmaztatott kis vízturbina;* **Varga Béla, Fazakas Éva, Varga Lajos Károly:** *Dilatométerrel vizsgált amorfkristályos fázisátalakulások alumínium ötvözetekben;* **Kakucs András, Dani Péter, Jármai Károly, Száva János, Gálfi Botond-Pál:** *Kísérleti berendezés felhabzó tűzvédelmi bevonatok tanulmányozására;* **Imecs Mária:** *Gerjesztő tekerces szinkron generátorok vektoriális*

szabályozása a mezőorientáció elve alapján; **Tamás Levente:** LIDAR alapú emberfelismerés és -követés mobil robotokkal; **Gyenge Csaba, Oláh László:** Különleges lefejtőmaró edzett hengeres fogaskerekek simítására; **Máté Márton, Hollanda Dénes, Papp István:** A gömbmozgás néhány kérdéséről; **Bitay Enikő, Márton László, Talpas János:** Technikatörténeti kutatások Magyargyerőmonostor gótikus templománál; **Mihalik András:** A 155 éves Bezdáni kamarazsilipnek – mint az első magyar, európai betonépítménynek, a világ első teljesen betonból épült hajózsilipjének – a viselkedése és diagnosztikája „IN SITU”; **Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kopenetz Ludovic:** Építés: biztos bizonytalanság; **Máthé Aliz Éva, Alexa Pavel, Gobesz Ferdinánd-Zsongor:** Néhány korszerű eljárás és eszköz az épület-szerkezetek viselkedésének a szabályozásához földrengéskor; **Ifj. Orbán György:** Városkép a folyók tükrében és a partok hasznosíthatósági lehetőségei; **Szőcs Katalin:** Gyorsuló kihívások az új energia használatánál; **Baki-Hari Zoltán-Gábor:** Modern termelési módszerek az új RP eljárások segítségével.

## **XI. Műszaki tudományos ülészak, 2010**

A tizenegyedik ülészak 2010. november 20-án hagyományos módon szerveződött. A háromnyelvű rövid összefoglalók, a programfüzet digitális változata itt található: <http://hdl.handle.net/10598/28571>, a borító a **15. képen** látható.



**15. kép.** A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett tizenegyedik Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítója, fotója, 2010. november 20. (Fotó: BHZ)

Az előadások lajstroma: **Bitay Enikő:** Az EME hozzájárulása a műszaki kutatások alapfeltevéleinek megteremtéséhez; **Pokorádi László:** A Monte-Carlo szimuláció szemléltetése és alkalmazása; **Dezső Gergely, Szigeti Ferenc, Varga Gyula, Péter László:** Szerszámkopás és felületi érdesség vizsgálata környezetbarát megmunkálásoknál; **Gyenge Csaba, Frätilä Domnița:** Gyakorlati kutatások a környezetbarát fogazás területén; **Máté Márton, Hollanda Dénes:** Arkhimédeszi spirál-vezérgörbéjű hengeres fogaskerekek; **Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kopenetz Gh. Ludovic:** Számítástechnikai eszközök az építőmérnöki képzésben; **Imecs Mária:** A térfázor elméletől a villamos gépek egységes szabályozási elvéig;



**Vallasek István, Roósz András, Veres Zsolt, Szőke János, Szirovicza Péter, Török Gyula, Káli György:** *Bizmuttellurid alapú félvezető ötvözetek egykristályainak előállítása és jellemzése;* **Varga Béla:** *Alumíniumolvadékok gáztalanítása;* **Bitay Enikő, Márton László, Szőcsné Gazda Enikő:** *Szemelvények a háromszéki vasipar történetéből (XIX. század);* **Mihalik András:** *Szivárgó rendszerű előregyártott vasbeton elemekből kivitelezett küszöb-gát 25 év alatti viselkedése és diagnosztikája „in situ” a Sebes-Körös nagyváradi szakaszán;* **Ifj. Orbán György:** *Római katolikus egyházi műemlékek és ingatlanok számbavétele és hasznosítási lehetőségeinek tanulmányozása a gyulafehérvári főegyházmegyében;* **Baki-Hari Zoltán-Gábor:** *Modern technológiák flexibilis-moduláris szerszámok előállítására.*

## XII. Műszaki tudományos ülészak, 2011

2011-ben megújult a programfüzet, új borítója (**16. kép**) érzékelteti, hogy a műszaki ülészak továbbra is része az EME égisze alatt szervezett *A Magyar Tudomány Napja* Erdélyben fórumnak. Az előadások háromnyelvű kivonata (magyar, román és angol nyelven) szintén megmaradt, ezzel segítvén a széles körű tájékoztatást. A programfüzet online itt érhető el: <http://hdl.handle.net/10598/15441>.



**16. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett XII. Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítója, fotója, 2011. november 26. (Fotó: TJ)*

A fórumon elhangzott előadások lajstroma. **Bitay Enikő:** *A műszaki tudományok gyakorlatorientált fejlesztése – különös tekintettel az oktatásra és a kutatásra;* **Dudás László:** *Számítógéppel segített fogaskerék-fejlesztés;* **Hollanda Dénes, Máté Márton:** *Homlokpalást fogazati alakos tárcsamárók profiltartásának kérdése;* **Gyenge Csaba, Olah László:** *Új technológiai eljárás a golyós hajtóművek gyártására;* **Jármai Károly, Farkas József, Kovács György, Daróczy László, Barcsák Csaba, Dúl Róbert, Kota László, Oláh Róbert:** *Szerkezetek és rendszerek optimalása;* **Tiba Zsolt:** *Gépészeti tervezés mechatronikai rendszerrel;* **Kocsis Imre:** *Alkalmazások bemutatása a műszaki matematika oktatásában: lineáris rendszerek elemzésének eszközei komputeralgebrai rendszerekben;* **Pokorádi László:** *Termálvízrendszer bizonytalanságelemzése;* **Imecs Mária:** *Kalickás aszinkron motoros*

*hajtás vektoriális szabályozása kettős mezőorientációval; Kalmár László, Ralf Hellmann, Régert Tamás, Varga Zoltán: Áramköri panelben nagy teljesítményű led által keltett hővezetési folyamat numerikus szimulációja; Dömötör Ferenc, Lakatos Károly, Szamosi Zoltán: Mezőgazdasági hulladékból energia: szalmából készült pellet; Papp Viktória: Agripelletek helyzete Magyarországon; Kolozsváry Zoltán: Hangsúlyváltások a műszaki felülettudomány területén; Papp István: Forgódugattyús motorok fejlesztéséről; Kisfaludi-Bak Zsombor, Gobesz Ferdinánd-Zsongor: Környezetkímélő házak szalmabálából; Bitay Enikő, Márton László, Orbán György, Talpas János: Kolozsvári templomtornyok, harangok, toronyórák. A Szent Mihály-templom és a Ferencesek temploma; Mihálik András: Talajmechanikai és műszaki paraméterek tanulmányozása különböző támasztószerkezetek struktúrájának a függvényében; Szócs Katalin: A természettudományok és a mértani formák kapcsolódásai.*

### **XIII. Műszaki tudományos ülészak, 2012**

A XIII. MTÜ változást hozott: a programfüzet meghatározás helyett kivonatfüzet szerepel (17. kép), tartalmazza az előadások háromnyelvű rövid összefoglalóit (magyar, román és angol nyelven). Újítás volt, hogy a kivonatfüzet felkerült az EDA-ba, s a fórum megnyitóján már olvasható volt online módon. „Örömmel jelentem be, hogy a rendezvény megnyitásával egy időben az előadások tartalmi kivonatai elérhetők az Erdélyi Digitális Adattárban: <http://hdl.handle.net/10598/25038>.” – olvasható a kivonatfüzet köszöntőjében.



**17. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett XIII. Műszaki tudományos ülészak programfüzetének borítója, fotója, 2012. november 24. (Fotó: Sz.J)*

A Magyar Tudomány Napja Erdélyben központi fórumának 2012. évi témája: *A felfedező tudomány 21. század eleji eredményei és távlatai Erdélyben*. Ennek keretében Dávid László egyetemi tanárnak, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem rektorának *Az optimális irányítás, egy új innovatív szemlélet a globális felmelegedés gondjainak kezelésére* című plenáris előadását hallhattuk, melyet másnap a műszaki tudományok XIII. ülészakának előadásai követték. A fórumon – immár hagyományosan – beeláthattunk az EME Mű-

szaki Szakosztály tudomány- és technikatörténeti szakcsoportjának munkálataiba, egy-szersmind megismerhettük egyes intézmények, kutatócsoportok, kutatók aktuális kutatási eredményeit is, s mint mindig, lehetőség nyílt a további szakmai kapcsolatok kialakítására, a jövő irányvonalainak felvázolására a műszaki tudományok terén.

A tanulmányok lajstroma: **Bitay Enikő:** *A magyar műszaki nyelv úttörői, Debreczeni Márton műszótárai*; **Dezső Gergely, Szigeti Ferenc:** *Forgácsleválasztás modellezése különböző homlokszögű forgácsoló ékek esetén*; **Máté Márton, Hollanda Dénes:** *A fogaske-rék fogfelületén hántolás során kialakuló elméleti érintkezési görbe vizsgálata*; **Bodzás Sándor, Dudás Illés:** *Spiroid csiga és tányérkerék virtuális és valós modelljeinek előállítás-a*; **Imecs Mária:** *Hálózatbarát- és villamosgép-barát teljesítményelektronikai áramirányítók*; **Bitay Enikő, Márton László, Nagy Tibor, Talpas János:** *Borsa-völgyi toronyórák*; **Tamás Levente:** *Várostérkép készítése 3D-s mérés technikával*; **Takács Petra-Renáta, Kisfaludi-Bak Zsombor:** *Hidrotechnikai alkalmazása egy ismert matematikai függvénynek*; **Vekov Imre:** *Betonkenu építése versenyzés céljából*; **Orbán György:** *A Gyulafehérvári Római Katolikus Egyházmegye ingatlanjainak hasznosítása Kolozs megye északi részén – Mária-zarándokút vonal fejlesztése*; **Orbán György:** *Térrányrendszerek eredete – Vitruvius átriumos házának zenei értelmezése.*

#### **XIV. Műszaki tudományos ülésszak, 2013**

A 2013. év újabb áttörést jelentett, régi törekvés valósult meg: sikerült az előadásokat a fórum előtt egy csokorba gyűjteni és cd-n kiadni. Időnk nem volt arra, hogy a szövegeket lektorált formában közölhessük. Ezért 2014-ben – mikor a tanulmányokat már könyv formátumban terveztük kiadni (összegyűjteni s lektorálni) – felmerült fel a gondolat, hogy a XIV. MTÜ tanulmányait is lektoráltassuk, s javított formában kötetben kiadjuk. Erre szolgál a jelen kiadvány.

Mivel a XIV. MTÜ fórumnak volt cd-je, a kivonatfüzet elveszítette jelentőségét, csupán a programot tartalmazó füzetecskét szerkesztettünk (**18. kép**), mely továbbra is tartalmazta a segítő információkat, online itt olvasható: <http://hdl.handle.net/10598/28157>.

Ugyancsak újdonság volt ebben az évben, hogy az ülésszak létrehozásában társszervező-ként csatlakozott az EME Műszaki Tudományok Szakosztályához a Sapientia EMTE Marosvásárhelyi Műszaki és Humántudományok Kara.

A fórum jelentőségét tovább erősítette az is, hogy ettől az évtől kezdve a rendezvény ün-nepélyes keretet biztosított az erdélyi magyar műszaki tudományosságért kifejtett tevékeny-ség elismerésére is. Első ízben adtuk át a Jenei Dezső-emlékplapot, amelyet ezúttal Hollanda Dénes és Csibi Vencel professzorok kaptak meg.

A XIV. MTÜ előadásainak lajstroma: **Dezső Gergely, Szigeti Ferenc:** *Forgácsoló meg-munkálások szimulációja*; **Dudás László:** *Energetikai gépek nem szabályos csavarfelületei-nek köszörelése*; **Dobránszky János, Bitay Enikő, Major László, Nagy Péter:** *Értágító betétek lézersugaras hegesztése*; **Máté Márton, Hollanda Dénes:** *Arkhimédész-féle spirális*

*vezérvonalú fogakkal rendelkező hengeres fogaskereknek foglábfelületének modellezése; Papp István, Tolvaly-Roşca Ferenc: Új módszer a karos mechanizmusok dinamikus ki-egyensúlyozására; Imecs Mária: Kettős mezőorientációs szabályozási struktúra mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motoros hajtás részére; Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kegyes Csaba: Földrengési szabványok fejlődése és alkalmazása Erdélyben; András József, Kovács József: A mechatronika alkalmazása a bányagépek tervezésében; Sándor Gábor, Szabó György: Az antropogén eredetű anyagok vizsgálata Debrecen talajaiban; Simon Pál: Ütemezési feladatokra alkalmazott genetikus algoritmus keresztező operátorainak vizsgálata; Kakucs András, Papp István, Tolvaly-Roşca Ferenc, Forgó Zoltán: Bolygó dugattyús pneumatikus motor; Bitay Enikő, Márton László, Nagy Tibor Sándor, Talpas János: Kide templomai, toronyórája és harangjai; Vallasek István: A megújuló energiaforrások hasznosításának helyzete Romániában; Orbán György, Talpas János: Zarándoklat, turizmus és építészet Kolozs megyében, a „Mária út” mentén; Kovács-Coskun Tünde, Pinke Péter, Bitay Enikő: A szemcseméret és a mechanikai tulajdonságok kapcsolata hegesztett varratoknál.*



**18. kép.** *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett XIV. Műszaki tudományos ülésszak programjának borítója, cd-je, fotója, 2013. november 23. (Fotó: TJ)*

## **XV. Műszaki tudományos ülésszak, 2014**

A 2014. évi, XV. MTÜ szervezését eleve, tudatosan úgy indítottuk, hogy a tanulmányok lektorált változatát egy új sorozatban, a Műszaki Tudományos Közleményekben (MTK)

fogjuk közzétenni. A fórumra, akárcsak az előző évben, csupán program jelent meg kivonatok nélkül (19. kép), amely online itt érhető el: <http://hdl.handle.net/10598/28564>.

A rendezvény keretében a Jenei Dezső-emléklapot ezúttal Dávid László, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem rektora vehette át az erdélyi magyar műszaki tudományosságért kifejtett tevékenysége elismeréseként.



19. kép. A Magyar Tudomány Napja Erdélyben rendezvénysorozat keretében megszervezett XV. Műszaki tudományos ülésszak programjának borítója, fotója, 2014. november 22. (Fotó: TJ)

A megtartott előadások lajstromja, mely egyben az MTK következő, 2. számának a tartalma is: **Dezső Gergely, Szigeti Ferenc:** *Fémforgácsolási folyamatok szimulációja*; **Dávid László, György Katalin, Kelemen András:** *Alkalmazott modell-alapú prediktív irányítási algoritmusok összehasonlítása az állapotfüggő Riccati-egyenlet, illetve véges horizontú DLQR algoritmus segítségével*; **Máté Márton, Hollanda Dénes:** *Arkhimédész-féle spirális fogirány vonalú hengeres fogaskerekek burkolásának sajátos, a burkolt felületsereg eloszlását jellemző aspektusáról*; **Márton László, Kocsis Lóránd, Katona Norbert, Szigeti Péter:** *Biológiai jelfeldolgozás újabb módszerei*; **Forgó Zoltán, Tolvaly-Roşca Ferenc:** *Gantry-típusú, párhuzamos hajtású robot modellezése és vizsgálata*; **Pásztor Judit, Forgó Zoltán:** *Altalajlazító munkaeszközének kinematikai és dinamikai vizsgálata*; **Tolvaly-Roşca Ferenc, Forgó Zoltán:** *Modern fogaskerék-modellezési eljárások összehasonlító tanulmánya*; **Gyenge Csaba:** *Különleges csigahajtások korszerű technológiája*; **Popa-Müller Izolda, Papp István, Kakucs András:** *Tű- és cérnarángató mechanizmus pozíciójának vizsgálata kényszeregyenletek segítségével*; **Popa-Müller Izolda, Papp István, Kakucs András:** *Tű- és cérnarángató mechanizmus sebességének vizsgálata kényszeregyenletek segítségével*; **Losonczy Lajos:** *Nem konvencionális megoldások neurobiológiai jelek nem-invazív mérés-technikájában*; **Farkas Loránd, Losonczy Lajos:** *Rendszerfejlesztés beágyazott biológiai-méréstechnikai autonóm kommunikációs hálózatokra*; **Bakos Levente:** *Egészségvédelem és társadalmi felelősségvállalás veszélyes ipari rendszerekben*; **Tihanyi Károly, Törzsök Péter, Dobránszky János, Bitay Enikő:** *Alumínium-szénszál kompozituzal mikroszerkezetének vizsgálata*; **Fekete Albert-Zsombor, Jakab-Farkas László:** *Parciális nyomások mérésére alkalmas beágyazott rendszer fejlesztése reaktív porlasztóberendezés számára*; **Kacsó Zoltán, Kelemen András, Imecs Mária:** *Indukciós gépek rotorfluxusának azonosítása csúszómód állapotmegfigyelővel*; **Szabó Csaba, Imecs Mária, Szőke (Benk)**

**Enikő, Incze János Jób:** *Mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motor kettős mezőorientációs szabályozásának implementációja*; **András József, Kovács József:** *A Zsilvölgyi szénbányászat a XX. század elején. A korukat meghaladó technológiai újítások*; **Bitay Enikő, Márton László, Mohácsi Bugárszki Norbert, Angi Norbert:** *Egy ókori gabonaőr-lő szerkezet – a taposómalom újjászületése*; **Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kopenetz Lajos:** *A kolozsvári építőmérnöki képzés mai kérdései*; **Orbán György:** *A püthagoraszai középarányosok jelentős tulajdonságai és szerepük az építészetben*; **Talpas János:** *Műszaki alkotások megőrzése az idegenforgalom fejlesztésével*; **Vajdics Dániel, Kovács-Coskun Tünde:** *A TRIP ponthegesztésének hatása*; **Vekov Géza, Pokorádi László:** *Technikai rendszerek állapotleírásának kérdései*.

## **Következtetések**

Az évek során az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya a *Műszaki tudományos ülés-szak* megszervezésével hagyományos fórumot teremtett a hazai kutatók munkájának megismertetésére, egyszersmind lehetőséget teremtett külföldi vendégeink számára is intézményük, illetve kutatásaik bemutatására.

Az MTÜ szervesen kötődik a MTNE központi fórumához, ezáltal az MTA *A Magyar Tudomány Ünnepe* rendezvénysorozatához is.

Az MTÜ tizenöt fórumának áttekintése során világossá vált számunkra, hogy a programfüzeteket visszamenőleg is el kell helyeznünk az EDA-ban, hiszen értékes információkat tartalmaznak. Az egyes előadások tartalmát ugyan nem tudjuk utólag közölni, de kivonatukat s a megvalósult programot közzétehetjük, terjeszthetjük, s érzékeltethetjük ezzel azt is, hogy sok szakmai párbeszédnek, vitának, megoldásnak és szakmai kapcsolatnak volt helye az MTÜ és remélhetőleg ez a továbbiakban is így marad.

Az eddigi tizenöt ülés-szak alatt 53 kutatóműhely munkáját ismerhettük meg, ebből 30 egyetemi (15 hazai), 8 ipari és 11 kutatási intézmény (6 hazai) volt.

Így az eddigi tizenöt ülés-szakra bemutatott 206 előadás révén összesen 362 szerző kutatómunkájába nyerhettünk bepillantást, melyeknek a jelentős része (az utóbbi években ez jellemző) intézményközi együttműködés keretében valósult meg.

A Magyar Tudomány Napja alkalmából életre hívott kolozsvári rendezvénysorozat szervesen illeszkedik egyfelől az egyetemes magyar tudományosság ünnepi programjába, másfelől a hagyományos rendezvénysorozat gazdájának, az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek törekvéseibe: *hidat verni a múlt értékei, a jelen kutatásai, a jövő eredményei közé, s mindezzel szolgálni a magyar tudományt, az erdélyi magyar közösséget*.

## **Köszönetnyilvánítás**

A szerző köszönetét fejezi ki *Kálóczy Katalinnak* a szöveggondozásért/olvasószervezésért és *Szilágy Júliának* szakosztályi titkárnak a szakosztályi dokumentumok digitalizálásáért.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Benkő Samu: *A romániai magyar tudomány helyzete és az Erdélyi Múzeum-Egyesület feladatai*. Akaprint, Budapest, 1993. március. 32–33.
- [2] Jenei Dezső: *Az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának feladatai*. Kézirat, mely felkérésre készült a szakosztály honlapjának kialakításához, EME-MTSZ, szakosztályi irattár, Kolozsvár, 2000. augusztus 31. <http://hdl.handle.net/10598/28573>
- [3] Bitay Enikő: *Az EME Műszaki Tudományok Szakosztályáról röviden*. Kézirat, EME-MTSZ, szakosztályi irattár, Kolozsvár, 2009. <http://www.eme.ro/muszaki>
- [4] Tarnóczy Mariann: *A tudomány nemzeti funkciója*. Korunk, Harmadik folyam XI/3. 2000. március. <http://www.hhrf.org/korunk/0003/tartalom.htm>.
- [5] Tarnóczy Mariann: *Akadémiánk és a határon túli magyar kutatás*. Magyar Tudomány, 2001/7. <http://www.matud.iif.hu/01jul/tarnoczy.html>.
- [6] Bitay Enikő: *Az EME Műszaki Tudományok Szakosztály 10 éves története*. Kézirat. Az EME MTSZ irattára, online elérhető az EDA-ban: <http://eda.eme.ro/handle/10598/28574>)
- [7] Csurulya Szidónia: *Többszörös évforduló*. In: Szabadság Kolozsvári Közéleti Napilap, XII. évfolyam, 279. szám, 2. oldal, 2000. november 28.
- [8] Ördög I. Béla: *A Magyar Tudomány Napján Műszaki tudományos ülészak az EME-nél*. In: Szabadság Kolozsvári Közéleti Napilap XIII. évfolyam, 258. szám, 1–2. oldal, 2001. november 5.
- [9] Ördög I. Béla: *A magyar tudomány napja Erdélyben. MTA–EME együttműködési nyilatkozatot írtak alá*. In: Szabadság Kolozsvári Közéleti Napilap XIV. évfolyam, 273. szám, 1., 4. oldal, 2002. november 25. 2002. november 25.
- [10] Gaál György: *Akadémikusok a Házsongárdban*. In: Szabadság Kolozsvári Közéleti Napilap XIV. évfolyam, 272. szám 3. oldal, 2002. november 23.
- [11] Lázár Lehel: *Az erdélyi és anyaországi kutatók a régiókutatásról értekeztek. A Magyar Tudomány Napja. Kolozsvár*. In: Krónika Erdélyi Magyar Közéleti Napilapban, V. évfolyam, 271. szám, 1., 4. oldal, 2003. november 22–23.
- [12] Borbély Tamás: *A Magyar Tudomány Napja Erdélyben. Konferencia a régiókutatás időszerűségéről*. In: Szabadság Kolozsvári Közéleti Napilap XV. évfolyam, 270. szám, 1–2. oldal, 2003. november 22.

## A MECHATRONIKA ALKALMAZÁSA A BÁNYAGÉPEK TERVEZÉSÉBEN

### IMPLEMENTING MECHATRONICS IN MINING EQUIPMENT DESIGN

András József<sup>1</sup>, Kovács József<sup>2</sup>

*Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék, Cím: 332006, Románia, Petrozsény, Universităţii, 20.*

<sup>1</sup>*iosif.andras@gmail.com*

<sup>2</sup>*kovacsi@mail.com*

#### Abstract

The traditional design of mining machinery manages separately the structural and functional parts of the design object (mechanical, electrical, hydraulic and control units). The mechatronics, as a design philosophy may offer an innovative approach in the design of plant and equipment used in open-pit or underground mining. The multi-domain nature of these machines, may lead, in a traditional design approach, to the difficulty of optimal harmonization of constructive - functional parts belonging to separate domains. The present paper examines the theoretical and conceptual aspects of the question how engineering design methods, inspired by mechatronics can be used in the development of mining equipment.

*Keywords: mining equipment, mechatronics, design, development, innovation.*

#### Összefoglalás

A bányagépek hagyományos tervezése külön-külön kezeli a tervezés alanyának szerkezeti és funkcionális részeit (mechanikus, villamosági, hidraulikus és vezérlő egységeit). A mechatronika mint tervezési filozófia innovatív megközelítést ajánlhat a külszíni vagy mélyművelésű bányászatban alkalmazott gépek és berendezések rendszeres tervezésében. Ezen gépek többtartományos jellege, a hagyományos tervezésben arra vezethet, hogy a külön tartományokhoz tartozó szerkezeti – funkcionális részeknek optimális összehangolása nem lehetséges. A jelen dolgozat annak az elgondolásnak az elméleti és fogalmi vonatkozásait vizsgálja, hogy a mechatronika által inspirált mérnöki tervezés módszerei hogyan alkalmazhatók a bányagépek fejlesztésében. Ismert tény, hogy a bányászatban alkalmazott gépek és berendezések szerkezeti komplexitása, azok működési környezetének változatossága és agresszivitása késést idézett elő a korszerű tudomány vívmányai által serkentett technológiai haladás terén. Ennek ellenére az utóbbi két évtizedben, az általános technológiai haladás befolyásának köszönhetően, a bányagépek és berendezések példátlan kifinomultságot és komplexitást értek el. Az informatika, a szenzorok, a meghajtó egységek terén elért haladás a vezérlő és ellenőrző szerkezetek terén is előrelépést gerjesztett, áthidalva a mechanikus szerkezetek fogalmi elavultságát. Ez, az általános technológia területén létrejött haladás új módszereket követelt a bányagépek tervezése és fejlesztése vonatkozásában is.

*Kulcsszavak: bányagépek, mechatronika, tervezés, fejlesztés, innováció*



## 1. A bányagépek fejlődésének sajátosságai

A bányászat, az emberiség történetében, hosszú ideig jelentős hatást gyakorolt az általános társadalmi és gazdasági fejlődésre. Több olyan korszakalkotó technológiai újítás, mint például a gőzgép vagy a szivattyúk a bányászat aranykorához kötődnek.

A következő korszakban a bányászat mint nyersanyag-szolgáltató, a technológia fejlődésének eredményeit elsőknek alkalmazta, mint például a sűrített levegő, villamosmotor, hidraulika stb., serkentve ezek fejlődését.

Függetlenül a napjainkban észlelhető relatív stagnálástól, melyet a bányászatra ható súlyos gazdasági, pénzügyi és környezetvédelmi korlátozások okoztak, a bányászat továbbra is alapvető eleme minden jövőre vonatkozó elemzésnek, ami az energiaforrások és az alapvető nyersanyagokkal való ellátást illeti.

Viszonylagos pangásokat és evolúciókat hozó, egymást követő fejlődési időszakok után a bányászatban alkalmazott kulcsfontosságú technológiák, berendezések és műszaki megoldások a harmadik évezred küszöbén elérték egy bizonyos fokú érettséget, amely egy forradalmi ugrás kezdetének indító elemét jelentette, melynek hatása napjainkban is érzékelhető.

A gyártási technológiáknak, a jelenlegi technológiai fejlődés hajtóelemeinek, mint az elektronika, finommechanika, automatikus vezérlés és a számítástechnika példátlan haladása, melynek eredményeit egyszerűbben és gazdaságilag motiváltabban lehetett beilleszteni más iparágakban, mint a bányászatban, oda vezetett, hogy a bányagépek fejlődésében lemaradás jött létre a technológiai fejlődés élvonalában lévő ipari területekhez viszonyítva.

Mivelhogy a bányászatban alkalmazott technológiák és berendezések fejlődése lassabb ütemben haladt más ipari ágakhoz vi-

szonyítva, ezek tervezési-fejlesztési módszerei is késve nyertek tudományos megalapozást.

Mindezek a problémák jelennek meg ma a bányászat vonatkozásában nem csupán a fejlődő országokban, amelyek a hagyományos alapvető nyersanyagok világméretű szolgáltatói, hanem a jól fejlesztett gazdasággal rendelkező országokban is.

Ahhoz, hogy e jelenségek túlszárnyalásához életképes megoldások szülessenek, az eddigi technológiai fejlődés ismerete szükséges.

Ahogy ezt Klaus Spies [5] német felhalálós és ipartörténeti szakember kimutatta, a bányászatban alkalmazott technológia fejlesztése mindig a kreativitás és a hagyományos megoldások szimbiózisából született, mivelhogy az innováció a bányászati tevékenység terén külön sajátosságokkal rendelkezik.

Egyrészt bonyolult, mivel sokdimenziós (a bánya életciklus folyamatának több szakaszára vonatkozik, úgymint a feltárás, kitermelés és feldolgozás, erőforrás-gazdálkodás, újrahasonosítás, bányabezárás és környezet-helyreállítás), másrészt maga a kitermelés, bár egyszerű alpműveleteken alapszik, célspecifikus gépeket és berendezéseket igényel.

Tudva azt, hogy a bányászati technológia három alapvető műveleten alapul, éspe-dig a jövesztés, rakodás-szállítás és üregbiztosítás, ezen alpműveletek gépesítése néha egymástól függetlenül, de egymást befolyásolva fejlődött.

Ezzel kapcsolatosan az alábbi következtetéseket lehet levonni:

- A technológiai fejlődés meghatározó eleme a közet jövesztése, tehát az ezt végző gép vagy technológia.
- Kiindulva egy bizonyos pillanattól, a fejlődés, illetve az előrelépés fontos tényezője a jövesztés gépesítése által elért magasabb termelékenység, nagyobb közethozam, melynek következménye a további műveletek gépesí-

tésének/korszerűsítésének szükségessége.

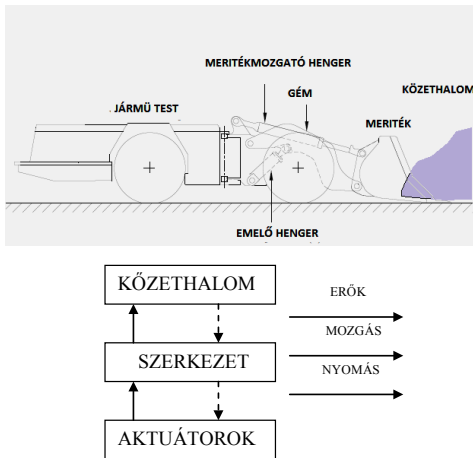
Érdemes megfigyelni, hogy a bányászati technológiák fejlődésének az a sajátossága, hogy egy komponens ugrásszerű újítása a másik két komponenst is újításra kényszeríti, ami ciklikusan végül ahhoz vezet, hogy egy teljesen új technológia alakul ki.

A bányagépek egy másik sajátossága az, hogy a gépesítés követi a technológiai eljárást, ahhoz illeszkedik. A teljesítmény növelése méret- és súlynövelést igényel, a mozgó munkahely a gép mobilitását helyezi a fontos adottságok közé, s a 4 művelet 4 végrehajtó eszközt igényel, tehát a szakosítás és univerzalitás között kell kompromisszumot elérni.

## 2. Alkalmazási példa

Annak érdekében, hogy kiemeljük a több-tartományi elemzés fontosságát a mechatronika elméletein alapozott bányagépek és berendezések tervezésének megközelítésében, bemutatjuk az (egyébként szegény) irodalomból a következő helyzeti példát [2,3,4].

A kiindulási pont egy autonóm rakodószállító berendezés (LHD) egy, a rakodás folyamatát ábrázoló sémája (1. ábra).

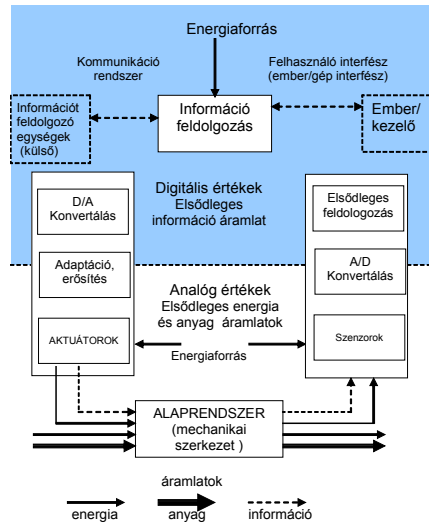


1. ábra. Az LHD rakodógép (felső) és a rakodás sémája (alsó) [3]

Feltételezzük, hogy a rakodógépet három fizikai rendszerben lehet lebontani, nevezetesen: (1) a mechanikai szerkezet (gém, meríték és jármű), (2) a működtető szerkezet (hidraulikus emelő és mozgató hengerek és esetleg a jármű vonóereje, amelyek kölcsönösen hatnak a mechanikai szerkezettel) és (3) a jövesztett közlet-halom, amellyel a fizikai szerkezet kölcsönhatása közben a rakodási művelet végeztetik.

Érdemes megjegyezni, hogy a hengerekben keletkező és változó nyomások mérési adatokat tartalmaznak nem csupán a működtető bemeneti jelekről, hanem információt rejtenek a gép mechanikai szerkezetének mozgásairól és a közethalommal való interakció állapotáról, amint a kísérleti megfigyelések kimutatták.

A mechatronikai szemlélet fontossága abban áll, hogy a három fő áramlatot, amely egy komplex berendezés alkotó részein keresztül áramlik, egybevéve, összekapcsolva veszi figyelembe, és pedig anyag, energia és információ. Ezt a 2. ábra szemlélteti [2].



2. ábra. A mechatronikus rendszer elvi szerkezete [2]

A releváns fizikai értékeket szenzorok mérik, ezek alapján az igényelt feladatok végrehajtását, irányító jeleket gerjesztik.

Az analóg értékeket digitálisra konvertálják és bizonyos előfeldolgozás után egy digitális adatfeldolgozó egységnek pl. mikrokontrollernek továbbítják.

Az adatfeldolgozó egység meghatározza a szükséges változásokat az alaprendszerben, tekintettel a mért adatokra, a felhasználó igényeit (ember-gép interfész), és egyéb az adatfeldolgozó rendszer által szolgáltatott információkat nyújt (kommunikációs-rendszer).

Digitális/analóg konverzió folytán az energiaáramlat módosításával az aktuátorok megfelelő változásokat eszközölnék az alaprendszer működésében.

### 3. Következtetések

Ma a bányászat olyan helyzetben van, amikor egy fontos technológiai ugrás szükségességét jelző tüneteket nem lehet figyelmen kívül hagyni.

A mechatronika által szolgáltatott megközelítés az intelligens gépek tudományaként, a komplex elektromechanikus rendszerek tervezésébe az utóbbi időben beágyazódott fejlesztési filozófia új utakat nyithat működési, fogalmi és eljárási szempontból egy új berendezésgeneráció megvalósításához a bányaiipar számára.

A mechatronika – egy új feltörekvő háttudomány – képes új használhatósági és

teljesítményi minőséget nyújtani a bányászatban alkalmazott gépeknek és berendezéseknek, a tervezők gondolkodásmódját is befolyásolva, azzal, hogy az irányító, ellenőrzési, felügyeleti és szabályozási rendszerek nemcsak „hozzáadott”, különálló funkcionális blokkok, hanem be vannak ágyazva mint az egységes rendszeralkotó részei.

Ugyanakkor a gépet egységesen tervezzük meg mint egész amelyben a mechanikus, hidraulikus, elektromos és informatikai alrendszerek integrált elemekként vannak beépítve.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Andras, A.: *Study related to the improvement of mining equipment design methods*. Ph.D. Thesis, University of Petroșani, 2006.
- [2] Gausemeier, J.: *From Mechatronics to Self-Optimization*, 20th International Congress CAD-FEM Users' Meeting, 2002.
- [3] Marshall, J.A.: *Towards Autonomous Excavation of Fragmented Rock: Experiments, Modelling, Identification and Control*. M.Sc. thesis, Queen's University, 2001.
- [4] Mrozek, Z.: *Computer Aided Design of Mechatronic Systems*. Int. J. Appl. Math. Computer Sci., 2003, Vol. 13, No. 2, 255–267.
- [5] Spies, K.: *Methodical Development Process For Improvement of Methods and Machinery in Mining*. Mining Science & Technology: Proceedings of the International Symposium on Mining Technology and Science, August 1985.

**KIDE TEMPLOMAI, TORONYÓRÁJA, HARANGJAI****CHURCHES, BELLS AND THE TOWER CLOCK FROM KIDE**Bitay Enikő<sup>1</sup>, Márton László<sup>2</sup>, Nagy Tibor Sándor<sup>3</sup>, Talpas János<sup>4</sup><sup>1</sup>*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu-Mureș, O.p. 9, C.p. 4, ebitay@ms.sapientia.ro*<sup>2</sup>*Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, 400009 Cluj-Napoca, str. Napoca (Jókai u.) 2–4., martonlb@yahoo.com*<sup>3</sup>*Kidei Református Egyházközség – Kolozsvári Egyházmegye, Kolozsvár 400113 Cluj-Napoca, P-ța Unirii (Főtér), Nr. 23., nagytibor@gmail.com*<sup>4</sup>*Babeș–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, 400006 Cluj-Napoca, str. Clinicilor Nr.5-7. talpasjanos@gmail.com***Abstract**

The authors have studied the history of Kide (Chidea), a village in the Borsa-Valley from technical, historical point of view. The research work is focused mainly on the churches, the tower clock and bells that are found in this community. The four churches belonging to different denominations are presented taking into consideration their architectural style, particularities and also giving account about the restoration work that was conducted in each church.

The history of the church clock, its working principle is shown with technical details. The kinematic schemes aid the reader in understanding the buildup of the clock-watch.

The bells of the churches from Kide (Chidea) are systematized in a table, the structure of the bell is also revealed.

**Keywords:** *Chidea, church, style, tower clock, kinematic diagram, bell.*

**Összefoglalás**

A Borsa-patak völgyében található települések közé tartozó Kide múltját technikatörténeti szempontok figyelembe vételével tanulmányozzák a szerzők. Templomok, a toronyóra, a település harangjai képezik a kutatás konkrét tárgyát. A négy felekezet tulajdonát képező templomok építéstörténetét stílusbesorolását, egyediségét, a javításokat részletesen taglalja a dolgozat.

A toronyóra története, működési elve a dolgozat műszaki alapossággal bemutatott része. A kinematikai rajzok segítik az olvasót az ütőóra felépítésének tanulmányozásában.

Kide harangjait táblázatba foglalva találja meg az olvasó, ugyanakkor a harangborda jellegzetes méreteinek bemutatásával érthetővé válik bármely harang geometriája.

**Kulcsszavak:** *Kide, templom, stílus, toronyóra, kinematikai rajz, harang.*

## 1. Elöljáróban

Kide a Borsa-patak völgyéhez tartozó települések láncolatának egyike, egyre fogyó népességű település. Tengerszint fölötti magassága 400–410 méter, a legmagasabb pontok sem haladják meg az 560 métert (Hathold, Kopaszdomb). A Borsa-patak völgyét Kalotaszeg, Mezőség és Szilágyság tájegységei határolják, az itt elhelyezkedő néhány település nem alkot külön tájegységet, de „társadalmi-vallási szempontból változatos, sokoldalú, önálló gazdálkodást folytató területről van szó” [1]. Ezt igazolja az is, hogy a négy kidei egyháznak, a reformátusnak, katolikusnak, unitáriusnak és ortodoxnak külön temploma van. Az önálló gazdálkodás tanúi a majd minden telken található csűrök, istállók, gabonások, amelyeknek fő építőanyaguk a helyi dacit tufa.

Az egész település egy nagy gyümölcsöskerthez hasonlítható, amelynek összefüggő zöldjét a kőből rakott kerítések hálózata szabdalja kisebb-nagyobb telkekre. A nagy gyümölcsös zöldjéből csak a négy

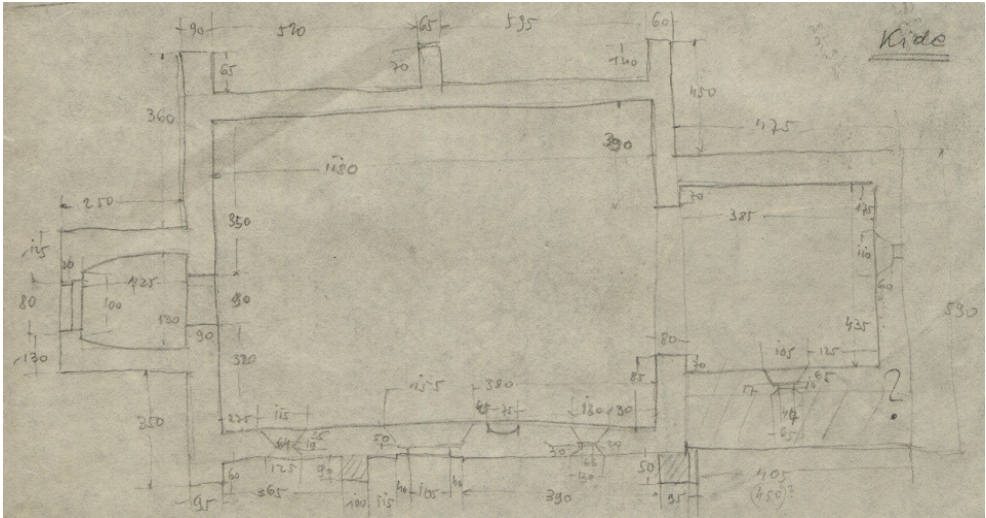
templom tornya emelkedik ki, a harangok zúgása betölti a településen áthaladó Kide patak völgyét.

## 2. Kide templomai

A település legrégebbi temploma a XII. században épült, a reformáció éveig a katolikus, majd a református anyaegyház temploma. A reformáció kezdeti éveiben a templomot a lutheránus vallásra áttért lakosság veszi birtokába, majd a lutheránusról reformátusokká lett lakosságé, továbbá az unitáriusok tulajdona lesz. Bethlen Gábor fejedelemsége alatt a többségi lakosság a református valláshoz csatlakozik, a templomot is átveszik, ami máig a református egyház tulajdonát képezi. A templom (**1. ábra**) máig megmaradt eredeti formájában. Részaránytalan alaprajza (**2. ábra**) egy eredetileg egyhajós templom bővítése nyomán keletkezhetett a mai egyenes záródású szentéllyel [2].



1. ábra. Kide református temploma



2. ábra. A kidei református templom alaprajza (Debreczeni László vázlatfüzetéből) [3]

Az első templom építészeti stílusára a déli fal részletei utalnak (3. ábra). „A déli, hengertaggal egyenletesen keretezett félköríves ajtó még a korábbi templom tartozéka lehet” – írja róla Entz Géza. Szintén ő állítja: „A szentély hosszú, keskeny, félköríves ablaka a késő román megoldás jellegzetes példája” [4].

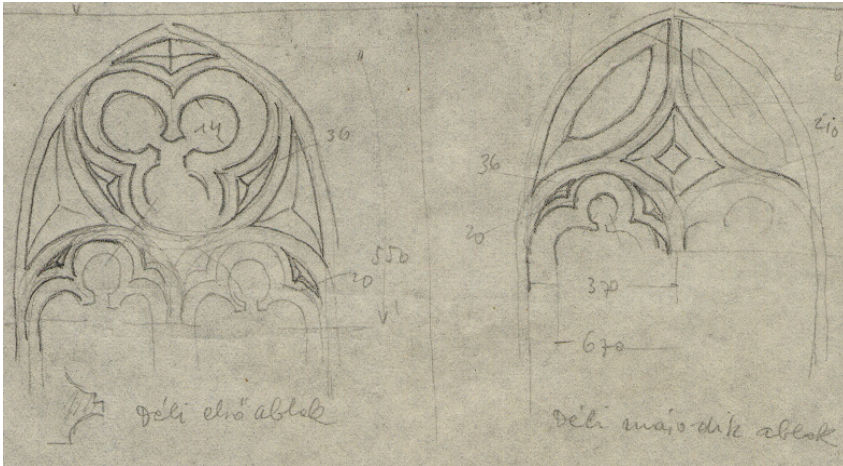
A középkori Erdély templomainak építésében a XIII–XIV. század során az új irányzat, a gótika térhódítása diadalmaskodik a hagyományos, késő román építőművészetén. A XIII. század második felében Erdély magyar és szász falvaiban az épülő templomok már a gótika stílusjegyeit is magukon viselik [4]. Ez történt a kidei templom esetében is, amikor a román stílusú, egyhajós templomocska bővítése már a gótika jegyében megy végbe. Jól tükrözi ezt a templom déli oldalának két mérműves ablakának kőfaragvány-töredéke [3] (4. ábra).

Összességében a református templom mindkét építészeti stílus jegyeit magán viseli, hírmondójaként letűnt korok templom-építészeti irányzatának.

A templom falait, a helyi dacit és andezit tufából rakták, ami ennek a könnyen formálható természetes építőanyagának korabeli felhasználására utal.



3. ábra. A szentély ablaka



4. ábra. Csúcsíves ablakok mérműves kőfaragványai (Debreczeni László jegyzetfüzetéből) [3]

A mai kazettás mennyezet nem tartalmaz semmilyen díszítőelemet. Feltételezhető, hogy a gótikus templomrésznek építésekor bordás boltozata lehetett.

A templomnak eredetileg nem volt kőből épített tornya, harangjának tartószerkezete a nyugati bejárat előtti cinteremrészben épített harangláb volt. Amint már említettük, a templom a reformáció után került a református egyház tulajdonába. Építéskor a katolikus templomok keletelésének szabályait követték, a „reformáció előtti templomok rendszeresen kelet–nyugati irányban állanak, éspedig a szentély résszel keletre állítva” [5].

Számos erdélyi, középkori falusi templomhoz hasonlóan a kidei templom természetes fénnyt a déli, a keleti és némiképp a nyugati oldalról kap. Az északi oldalon nem található ablak.

A templom javításairól 1747 óta léteznek feljegyzések. Presbiteri jegyzőkönyv rögzíti (1747), hogy „az Isten háza összeomló félben vagyon, mind kőrakása, mind sendelyezése elszenyvedt” [6]. Javítás céljára gyűjtést szervez az eklézsia, bár a település lakói, a reformátusok kevesen vannak, és szegény sorsban élnek.

Az 1784., 1809., 1828. években a templom újabb javítások, tatarozások tárgya. A presbiter az 1828-as évi javítások kivitelezőjének nevét is feljegyezi. A vállalkozó kőműves Horváth Zakariás mester. 1844 és 1867 az újabb templomjavítási munkálatok éve. A gyakori javítások sora a hívek gyenge anyagi hozzájárulására is utal, mindig kevés pénz gyűlt be, amellyel alapos javítást aligha lehetett végeztetni. Ezzel magyarázható az is, hogy 1888-ban a presbiteri közgyűlés megállapítja: „omló félben van a templom” [6]. De álljon itt néhány korabeli jegyzőkönyv teljes szövege, ami tükrözi a kidei református egyház pénzügyi lehetőségeit.

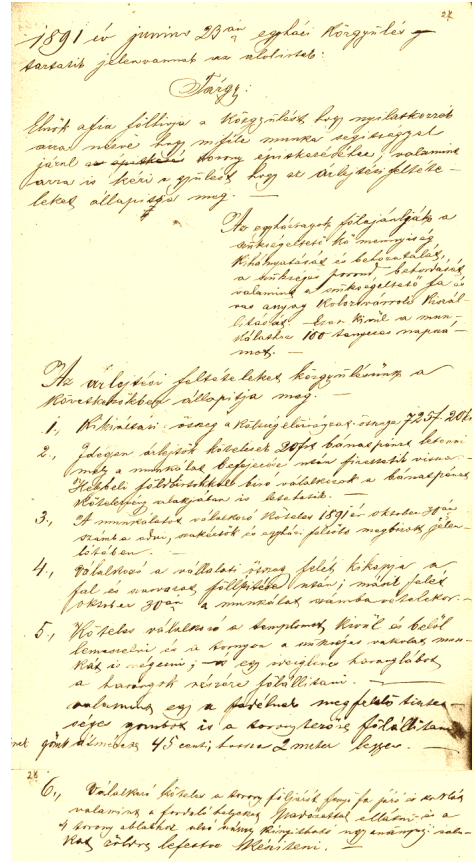
„1889 aug. 25. Gondnokafia jelzi és előadja a presbitérium színe előtt, hogy a pénztárban egy krajczár sincsen, nem tudja mindennapi szükséges kiadásokat fedezni; azon kívül az egyház épületei is a templommal együtt roskadozó állapotban vannak; kéri a presbitériumot, hogy valami jövedelmi forrásról gondolkozzék” [6]. Két év múlva 1891-ben a közgyűlés újabb határozata értelmében a templom nagyjavítási munkálatok színtere lesz, amikor a templomtornyot is megmagasítják.

„Közgyűlésünk kimondja, hogy az egész építkezési költséget a beterveztett költségvetés alapján 726 Forint és 40 kraajczárban állapítja meg, oly megjegyzéssel, hogy ezen összeggel szemben annak idejében árlejtést hirdet, megjegyeztetvén azt, hogy a költségvetés alapján minden anyag fel lévén számítva, csakis a tiszta munka díjjal bocsátja az egyház árlejtés alá, mivel minden névvel nevezendő anyagot az egyház maga szerzi be, kivéve a bádogot, mellyel a torony fedve lesz, az egyházi közgyűlés ezen anyagok beszerzéséig, melyek a költség előirányzatba fel vannak véve, kiküldi gondnok afiat Horváth István és ifj. Szabó József afiság 50 kr. napi díj mellett” [6].

Szintén ezen közgyűlés kielemezti további jövedelmi forrásait, és megállapítja, hogy: „...keblbi pénztárunk rendelkezik 533 forint és 50 kraajczárral, mivel pedig ezen összeg a költségvetés előirányzatát nem fedezi, közgyűlésünk kimondja, hogy a felsőbb hatóság jóváhagyása mellett, a magtári alapnál készpénzben levő 100 forintot ezen építkezésre fordítsa, és ha ezen összeg, melyet az egyház a magtárház, illetőleg kepeváltási alapból kölcsön vesz, elég nem lenne, közgyűlésünk kimondja, hogy az 1890. évi mintegy 70 forint kamatját is kölcsön veszi önként értetődvén, hogy ezen összegeket az egyház mikor modjaleend, vissza fizeti, ezen kölcsön felvétel szükségessé vált, azért mert templomunk oly állapotban van, hogy rövid fél esztendő alatt az isteni tiszteletet sem lehetne megtartani” [6].

Megkezdik a templom javítását, a torony magasítását. Ugyanabban az évben a júniusi közgyűlésen meghatározzák azt is, hogy a lakosság milyen munkával segítse a toronymagasítást. „Az egyháztagok főajánlják a szükségeltető kő mennyiség kihánytatását és behozatalát, szükséges porond behordását, valamint a szükségeltető fa és vas anyag Kolozsvárróli kiszállítását. Ezen kívül a munkálatokhoz 100 tenyeres nap-

számot” [6]. Az 1891. június 23-i egyházi közgyűlés az építkezéssel kapcsolatos elvárásait szögezi le, ekkor határozzák meg a toronnyal kapcsolatos vállalkozói feladatokat is (5. ábra).



5. ábra. A református eklézsia közgyűlésének elvárásai a toronyépítéssel kapcsolatosan [6].

A XX. század folyamán többször is javították templomukat a református hívek. Így 1912-ben újraszindelyezik a templomhajót. Bár 1914 háborús esztendő, a templomot újravakolják, kívül-belül meszelik. Az 1912. évi zsindelezés alig húsz esztendő alatt tönkrement, bár az átlag élettartama egy zsindeyes tetőhéjazatnak 30 év szokott



lenni. Így hát 1933-ban újra zsindelezéssel van elfoglalva az eklézsia. Ez a héjazat 1956-ig védte a templomot az idő viszontagságaitól, de csak 1958-ban sikerül ismét pénzalapokat teremteni újabb javításokra. Új fődémet igényelt a templom, de ekkor született egy hibás döntés, nevezetesen az, hogy a zsindeletes héjazat helyett hullámpalával fődjék templomukat. Igaz ugyan, hogy a hullámpala tartósabb a zsindelynél, viszont egy XII. században épült, ma műemlék templom eredeti formáját, az eredeti építkezési anyagokat javítások alkalmával tilos megváltoztatni. Ezt a hibát csak 2013-ban tették jóvá a templom újrazsindelezésével.

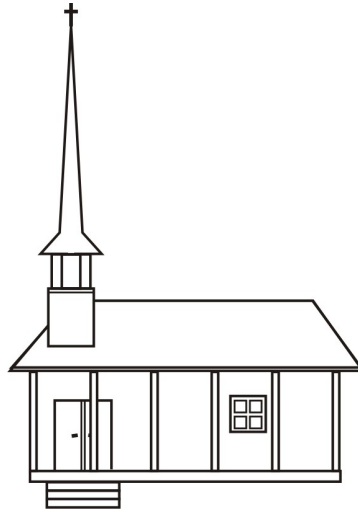
A többszöri javítások a hívek összetartó erejének gyümölcsei, és a református egyház életkedvét élni akarását bizonyítják.

A kidei, eredetileg görög katolikus, ma ortodox fatemplom a helység egyik különlegessége. Tömehatásában, méretarányai-ban, magasba nyúló, karsú, nyitott körtornácós tornyával a népi faépítézet gyöngyszeme (6. ábra).

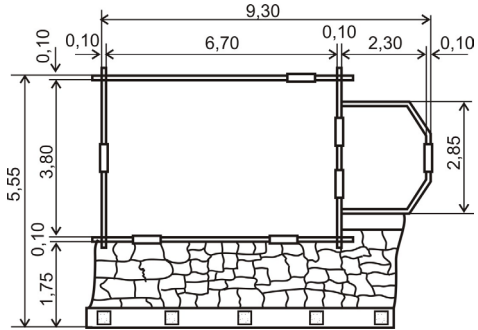


6. ábra. Az ortodox fatemplom

Alaprajza (7. ábra) az ortodox fatemplomtípusok Virgil Salvanu által meghatározott négy alaptípusának egyike [7]. (8. ábra).



7. ábra. A fatemplom típusbesorolása (Virgil Salvanu szerint)



8. ábra. Az ortodox fatemplom alaprajza

A görög katolikus fatemplom az Erdélyről 1769-ben készült első katonai felmérés térképén fellelhető. Hodor Károly erre az évre datálja a templom születését [8]. Építéskor a ma is használatban lévő ortodox temető területén működött, utólag szántalpakra téve vontatták mai helyére.

A templom oldaltornácós, bejárati előtér nélküli. A téglalap alakú hajót az ötoldalú

záródású szentélytől elválasztó fal határolja le. A téglalap alakú hajó dongaboltozatú, ami a tér növelésének hatását kelti. A torony ácsolási technikája megegyezik az átlag fatemplomok ácsolási technikájával. A toronysisak nyolc lapú gúla, a népi faépítéssel különlegessége. A körtornác méreteiben nem haladja meg a torony négy oldala által behatárolt méretet, hozzásimul a torony falához. Ezzel különbözik a kalotaszegi templomtornyok nyitott körtornácától. Az épület talpgerendákon nyugszik. A falakat alkotó gerendák sarokkötései csipkézett faragással végződnek. A tornáctartó oszlopok a népi fafaragászat díszítőelemeit tartalmazzák. Az oszlopok könyökfákkal vannak megerősítve, amelyek fecskefarkú kötésekkel csatlakoznak a koszorúgerendákhoz. Az épület elemeinek rögzítése kizárólag faszegekkel történik. A templomot feljegyzés szerint csak a XX. század elején, 1902-ben javították. Az egykor görög katolikus templom ma az ortodox egyház tulajdonát képezi.

A reformáció után, közel kétszáz éven át a katolikus vallás Kidén is háttérbe szorult. Csak 1766-ban indult újra a szervezkedés, amikor a Ferenc-rendi szerzetesek egyik képviselője Kidén is elkezdte tevékenységét. Ezt a visszatérítési folyamatot az ellenreformáció szellemisége segítette. Minden vallásgyakorlás feltétele a templom. A katolikusok 1766-ban templomot építenek, paplakkal együtt. A templom csaknem hatvan éven át megfelelt az eklézsia szükségleteinek, a hívek számának, de az eltelt időszakban a hívek száma egyre nőtt, meghaladva a százat. Egy nagyobb befogadóképességű templom építése egyre sürgetőbbé vált.

1824-ben az előző templom helyére a ma is használatban lévő templomot építik (9. ábra). Kide anyaegyháza lett a vidék 53 településén élő katolikusainak [8]. Bádok, Csomafája és Borsa is filiái lettek a kidei anyaegyháznak. Az 53 filia katolikus híveinek száma ekkor 379 lélek [8].



9. ábra. *A katolikus templom*

A reformációt követő évtizedekben az unitárius egyház is jelen van Kidén, olyannyira, hogy a reformátusok templomuk átadására kényszerülnek. 1595-ben az egész falú az unitárius vallás követője [8]. Változnak Erdély fejedelmei, aminek következménye az, hogy az egyházvezető szerepét hol az egyik, hol a másik vallás gyakorolja. A nagy fejedelem, Bethlen Gábor idején újra a reformátusok kerülnek túlsúlyba. Visszaszerzik az unitáriusoktól templomukat, és majd száz év múlva, 1728-ban az akkorra meggyengült unitáriusoktól harangjukat is visszaveszik.



10. ábra. *Az unitárius templom*

Az unitárius eklézsia csak 1750-ben építi kis fatemplomát. „Ezen kis fatemplom 1797 táján sorvadozó állapotban lévén... a most fenn-álló szép kis kőtemplomot cseréppel fedve” felépítik új templomukat a hívek és Szentiványi Sámuel királyi táblabíró, e táj pártfogója adományából [8]. (10. ábra).

Kide lakossága ma is egyre csökken. Félő, hogy ha ez így folytatódik, nem lesz ki az omladozó templomokat ismét használatba állítsa.

### 3. A kidei református templom toronyórája

A XVII. század végén, de különösen a XIX. század első harmadától a toronyóra nemcsak városi templomok kiváltsága, mind több vidéki-falusi templomba is szerelnek toronyórát, különösen a módosabb egyházközségek. Ez annak köszönhető, hogy az óragyártó műhelyek (Budapest, Nagyvárad, Segesvár, Nagyszében) egyre változatosabb felépítésű órakinálattal jelennek meg a piacon. A toronyóra az anyagi jólét, az igényesség jelképévé válik. De akkor még nem volt olcsó befektetés egy toronyóra, hiszen 15–20 000 kg búza árának megfelelő pénzüsszegbe került. Ennyi búza egy kisebb település évi kenyérszükségletét fedezte.

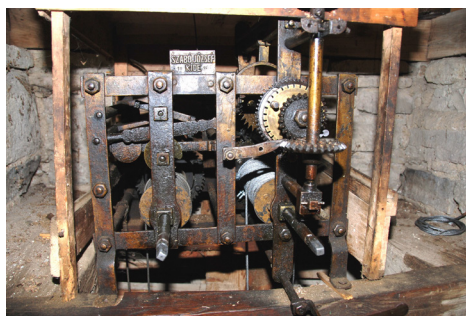
A Borsa völgyi települések, Kidét is beleértve, a XIX. század közepétől gazdaságilag megerősödnek. Mezőgazdasági termékeiket a közeli nagyváros, Kolozsvár piacain értékesítik, mesterembereik ismertek és elismertek Erdély-szerte. Egy olyan központ, mint a közeli Boncida, példaként szerepelt mind gazdasági, mind társadalmi vagy kulturális téren. Abban az időben Boncida valamelyest a fejlődés irányát is megszabta.

1891-ben Kide református egyházközsége nagy templomjavítás, toronymagasítás munkálatainak befejező szakaszát próbálja anyagiakkal, munkaerővel fedezni. Az új templomtorony nagy kihívás egy toronyóra

felszerelésére. Megemlítjük, hogy a közeli Borsán 1890-től már működött egy toronyóra, amit gr. Bánffy Dánielné ajándékozott a településnek. Az órát az ismert budapesti Mayer Károly óragyárában gyártották.

A kidei református hívek, miután templomuk javítását befejezték, gyűjtési akcióba kezdtek egy toronyóra árának előteremtéséért. Bált szerveztek, amelynek bevételét a toronyóra árába tették. Kukoricát ültettek a település tulajdonát képező földekbe, a termést értékesítették, a bevétel szintén a toronyóra megvásárolásához szánt összeget gyarapította. És végre 1896 áprilisára összegyűlt az óra ára, a 600 Ft.

Ekkor már ismertté vált a környéken egy gépész munkássága, aki feltehetően gr. Bánffy Ernő bonchidai műhelyében dolgozott, és bizonyára javítgatta, igazítgatta az 1890-ben Borsán felszerelt Mayer-toronyórát. Ő, Szabó József vállalta a kidei torony új lakójának, a toronyórának elkészítését, felszerelését. Meg is kötik a szerződést a kideiek Szabó Józseffel. 1896. április elsején megkezdni máig tartó szolgálatát a kidei toronyóra, fáradhatatlanul mutatva az idő könyörtelen múlását. Harangkondítással jelez minden elmúlt órát (11. ábra).



11. ábra. A református templom toronyórája

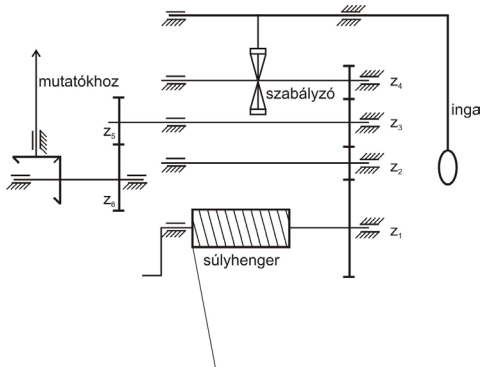
Szabó József a kidei toronyóra sikeres átadása után több órának legyártását is elvállalja. Például miután Borsán 1907-ben egy pusztító tűzvész a templomot is érinti, a Mayer-féle toronyóra a harangokkal együtt,

a tűz martalékvá válik. Szabó József kap megrendelést egy új toronyóra elkészítésére, amit 1909-ben fel is szerel a borsai református templom új tornyába. A toronyóra ma is megvan, működésen kívüli állapotban.

Ördögkeresztúr sem akar lemaradni az órástítás mozgalomból, Szabó József ide is készít egy toronyórát. Ez az óra is létezik a mai napig, de használhatatlan állapotban.

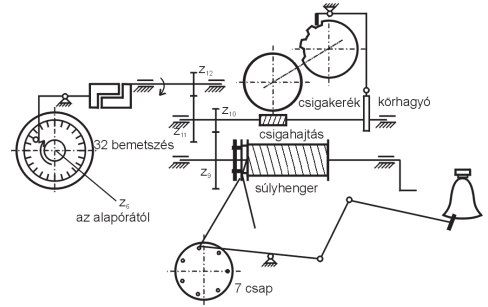
Szabó József további tevékenysége, életpályája a további kutatások tárgyát kell képezze, hiszen egyike volt azoknak, akik Erdélyben megteremtettek egy új, magas műszaki színvonalat képviselő iparágat, a toronyóragyártást.

Szabó József óraszerkezetei megalkotásában, tökéletesítésében számos újítást, új műszaki megoldást alkalmazott. Bevezette az óraingacsapos tárcsaszabályzót az erdélyi óragyártásba. Ezelőtt a Clements-típusú horgonyszabályzót alkalmazták az óraművek járásának szabályozására. Az óraszerkezetek egyszerűsítését célozza azzal, hogy bevezeti a csigahajtást, ami technológiai előnyökkel is járt. A csiga-csigakerék lehetővé tette számára, hogy viszonylag egyszerűen változtathatta meg a hajtások síkbeli elhelyezését, ami az óra méreteit is csökkentette.



12. ábra. Az alapóra kinematikai rajza

A kidei toronyóra működési elve az alábbi, egyszerűsített kinematikai rajzokon figyelhető meg (12. és 13. ábra).



13. ábra. Az ütésekkel jelző modul kinematikai rajza

Az óraszerkezet két funkcionális modulból tevődik össze, az alapóra modulból és az egész órát jelző modulból. Az alapóra minden egyes órában indítja az óráütés modulját, amelynek saját súlyrendszere van, és az aktuális órának megfelelő számú harangkondítással jelzi az aktuális órát.

#### 4. Kide harangjai

Erdélyben nem ritka a különböző egyházak együttélése ugyanazon településen belül. Ilyen Kide is. Az évszázadok folyamán négy vallás vert gyökeret itt. Régi, a XII. században épült templomukat a katolikusok, az unitáriusok és a reformátusok használták, annak függvényében, hogy éppen melyik vallás hívei voltak többségben. Érthető, hiszen nem gyakorolható vallás templom nélkül, és nem teljes a templom harang nélkül. A harang szakrális kelléke minden keresztény vallásnak. Épültek is a templomok, minden vallás a maga igénye és lehetősége szerint építi istenházát. Erről így ír a XIX. század harmincas éveiben Hodor Károly (578–581.): „Bármely kevés lakosokat, főként nem nemeseket számláljon is ezen helység, elég volt arra hogy négy bévett hitvallást fogadjon keblére. Vannak tudniillik a Görög egyesült

hitűeken kívül rom. catholicusok, ev. reformátusok, s egység hívők. Mindegyik felekezetnek külön szetegyháza s helybéli papja van” [8]. Sajnos Kidén az évszázadok folyamán az egyre fogyó lélekszámú eklézsiák a templomok használatában is változásokat idéztek elő. Pap, lelkész nélkül maradt a katolikus, az unitárius, de még az ortodox eklézsia is. A nagy áldozatok árán épített templomok és azok harangjai egyre hallgatagabbá válnak.

Tekintsük át a harangok rövid történetét. Mind a négy templomnak két-két harangja van. A nyolc harang, amely az évszázadok folyamán sok dicsőséges és szomorú év örömet és gyászat zengte, ma talán az újabb feltámadást várja.

A település legrégebb, 1560-ban öntött harangja a református egyház tulajdona. Lengyel harangöntő munkája, amit ferences szerzetesek hoztak Kidébe (14. ábra).

Tipikus német harangbordájú, jellegzetessége, hogy legnagyobb átmérője és legnagyobb magassága megközelítőleg egyenlő méretű. A harang ütője is eredeti, kovácsoltvas, bőrrel felfüggesztve. Koronája kovácsoltvas pántokkal rögzítődik a hagyományos fa lengőjáromhoz.



14. ábra. A középkori lengyel harang

A középkori harang társa, a nagyharang sokkal fiatalabb az előbbinél. 1922-ben öntötték Nagyszebenben, Schied öntőmester műhelyében. Szép díszítésű, német harangborda-típus (15. ábra).



15. ábra. A református nagyharang

Említésre méltó még az unitáriusok kis harangja, amelyet 1750-ben öntöttek. Feliratozása Soli Deo Gloria (Az egy Isten dicsőségére). Volt az unitáriusoknak egy másik régi harangjuk is, amelyet 1728-ban a reformátusok vesznek vissza, egykor a régi templomban szolgáltatta református híveit. Talán ez az a harang, amelyet az első világháborúba hadi célokra lefoglaltak, felhasználtak. A konfliktusos harang másik két haragnak adott helyet. Az unitáriusok 1750-ben, a katolikusok 1922-ben öntették hiánypótló harangjaikat, a ma is használatban lévő két harangot.

A harangok témájának összegzéseként a hat, ma is meglévő harang közül a bemutatott három harang az, ami technikátörténeti értéket képvisel. A másik három XX. századi termék.

A harangok feliratozását, fontosabb jellemző méreteit az 1. táblázat foglalja össze.

## 1. táblázat. Kide templomainak harangjai

Sorszám	Egyház	Harang	Harangfelirat	D <sub>max</sub>	H <sub>max</sub>	H <sub>ferde</sub>	H <sub>korona</sub>	D <sub>váll</sub>	D <sub>belső</sub>
1.	Református	Nagyharang	REF. EGYHÁZNAK AJÁNDÉK- KOZTA Baca István és neje Török Veronika. Kide 1922 Schied 1922 N. Szeben	475	365	430	60 tárca	-	-
2.		Legyel harang	FELIP KONWARZ WMIEZTIE WISSKOWIE 1560	420	420	385	70 korona	-	-
3.	Katolikus	Nagyharang	Fabrica de clopote Oituz Gh. Dumitrescu Bucuresti	620	600	530	100 korona	-	490
4.		Kis- harang	Öntette a kidei Rom. Kath. Egy- házközség 1934	450	430	400	tárças	230	350
5.	Unitárius	Nagyharang	Felirat nélküli primitív öntvény	425	380	415	70	-	-
6.		Kis- harang	A kidei Unitariae edilia öntette 1750 Soli deo gloria	320	310	275	60	-	-

Megjegyzés: a) a méretek milliméterben vannak megadva

b) az ortodox fatemplomnak két harangja van, ezek felmérése a 2012-es terepmunka alkalmával nem volt lehetséges.

## 5. Következtetések

Egy település több évszázados története több nézőpontból is tanulmányozható. A békés, építő évtizedek történetét tárgyilagosan a technikatörténet tükrözi. Templomépítés, harangrendelés, toronyóra-felszerelés vagy a hely, jellegzetes mestersegek tanulmányozása és bemutatása új adatokkal gazdagítja a történelmi múltról alkotott képet.

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya a 2012-es technikatörténeti kutatásait Kidére összpontosította, lehetőséget teremtve ezzel a település technikatörténeti múltjának tanulmányozására. A helyszíni felmérések, az egyházi levéltárak iratcsomóinak tanulmányozása számos új, a település történetére vonatkozó adattal gazdagította az eddigi ismereteket.

A kutatások súlypontja a református templom építésének körülményeire, a harangok és a toronyóra történetére helyeződött. Jelen dolgozatban a kidei négy vallásfelekezetet mutatják be a szerzők, a templomtornyok lakóit, a harangokat és a refor-

mátusok által szereltetett, több mint százéves toronyórát.

A dolgozat technikatörténeti jellegű, de a történelem, a művészettörténet, a helyi kultúrtörténet mozzanatai is megtalálhatók elemeikben, de csak abban a mértékben, amennyiben a témát változatosabbá, olvasmányosabbá teszik.

Jelen dolgozat tematikájával hiánypótló. A kidei harangokkal, a toronyórával kapcsolatos kutatási eredmények első ízben kerülnek közlésre, ezzel bővítve a település történetére vonatkozó ismereteket.

A kutatások tovább folytatódnak. A cél tisztázni többek között a középkori harang életútját Lengyelországból Kidére, tisztázni Szabó József óragyártó szakmai pályáját, felderíteni az általa gyártott óraműveket. És végül a kutatások eredményeit az EME által támogatott Tudomány és Technikatörténeti Füzetek című kiadványsorozatban közzé tenni, ezzel gazdagítva a település történetének irodalmát.

## Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki dr. Borbély Katalinnak a tanulmányban fel-

használt fényképekért. Ezúton köszönjük az Erdélyi Református Egyházkerület Levéltárának a korlátlan dokumentálódási lehetőséget.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Várkonyi, Á.: *Az önálló fejedelemség utolsó évtizedei*. In: *Erdély története. II.* Szerk. Makkai László, Szász Zoltán, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1988. 784–971.
- [2] Lestyán, F.: *Megszentelt kövek. II.* Glória Kiadó, Kolozsvár, 1996. 206.
- [3] Debreczeni, L.: *Vázlatkönyvei*. Darkó-Debreczeni Gyűjtemény az Erdélyi Református Egyházkerületi Levéltárban, Kolozsvár. 1929.167, 168.
- [4] Entz, G.: *Erdély építészete a 11–13. században*. Az EME kiadása, Kolozsvár, 1994. 32, 44, 56.
- [5] Debreczeni, L.: *A mi művészetünk*. In: *Toronyvigyázó. Debreczeni László műhelye*. Szerkesztette Sas Péter. Mundus Egyetemi Kiadó, Budapest, 2005. 41–418.
- [6] *A Kidei Református Egyház levéltárának presbiteri jegyzőkönyvei*.
- [7] Salvanu, V.: *A román fatemplomok stílusáról*. In: *Korunk Évkönyv 1979*. Kolozsvár-Napoca, 1978. 255–262.
- [8] Hodor, K.: *Doboka vármegye természeti és polgári esmértetése*. Kolozsvár, 1837. 847, 847, 888, 883, 883, 578–581.

# FÉMFORGÁCSOLÁSI FOLYAMATOK SZIMULÁCIÓJA

## SIMULATION OF METAL CUTTING PROCESSES

Dezső Gergely<sup>1</sup>, Szigeti Ferenc<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Nyíregyházi Főiskola (Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Intézeti Tanszék) H-4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b  
Telefon +36-42-599400 / Fax: +36-42-402485, [dezsog@nyf.hu](mailto:dezsog@nyf.hu)

### Abstract

Nowadays environmentally friendly production is an important branch of environmentally conscious design. Environmentally friendly cutting can decrease energy consumption and costs of handling polluting materials. In this paper first main features of metal cutting treated, then a simple model and its solution is presented.

**Keywords:** cutting, simulation, environmentally conscious

### Összefoglalás

A környezettudatos terméktervezés egyik fontos ága a gyártástervezés. A környezetbarát fémforgácsolás csökkentheti az energiateljesítményt és a káros anyagok kezelésével kapcsolatos költségeket. Ez a dolgozat a fémforgácsolás sajátosságainak áttekintését követően a forgácsolásnak egy modelljét és annak megoldását mutatja be.

**Kulcsszavak:** forgácsolás, szimuláció, környezettudatos

## 1. Bevezetés

Napjaink egyik intenzíven kutatott, ugyanakkor jelenleg is számos megoldásra váró kérdést magában rejtő témája a környezettudatos terméktervezés. A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Tanszéke elsősorban környezetbarát fémforgácsolási technológiákkal foglalkozik, amelyek segíthetik az energiateljesítmény csökkentését és a káros anyag kibocsátást. Minimál kenéssel végzett fúrásra vonatkozó kísérletek alapján összefüggést állítottunk fel a felületminőség és a hűtő-kenőanyag adagolásának üteme között. Kimutattuk, hogy a szerszámkopás hogyan függ a hűtő-kenőanyag mennyiségétől.

A szimulációk célja az elméleti modellek felállítása és alkalmazása a fémforgácsolás jelenségeire. Ebben az összefoglalóban a fémforgácsolási folyamatok szimulációjának fő sajátosságaira szeretnénk rámutatni, valamint bemutatunk egy egyszerű modellszámítást.

## 2. A fémforgácsolás során fellépő sajátos jelenségek

A forgácsleválasztási folyamatban nagy erők és nagy feszültségek lépnek fel [2,3]. Az anyagszétválás során az anyag teherbíró képességének megszűnése miatt az erőrendszer gyors átrendeződésére és lökészerű változásokra kell számítani igen rövid idő alatt.



A fémforgácsolás során a szerszám nagy sebességgel hatol be a munkadarabba, emiatt az anyagszétválasztás során bekövetkező alakváltozás különös figyelmet érdemel. A maradandó alakváltozás döntő része egy, a szerszám élének környezetében elhelyezkedő, de a folyamat során a helyét változtató, kicsiny térrészben következik be. Az alakváltozás igen jelentős a szerszám környezetében, és nagy az alakváltozás hely szerinti megváltozása (gradiense) is. Az alakváltozási sebesség rendkívül nagy lehet, elérheti akár a  $10^3 - 10^6 \text{ 1/s}$  értéket is a forgácsolási paramétereiktől függően.

A deformációs zónában a hőmérséklet akár  $1200 \text{ °C}$  fölé is emelkedhet. A hőmérséklet gradiense igen nagy  $1000 \text{ °C/mm}$  lehet bizonyos tartományokban. A hőmérséklet idő szerinti változása is nagyon gyors a forgácsolás pályája mentén.

A munkadarab anyaga a deformációs zónában szélsőséges körülmények közé kerül, ezért különös jelentősége van annak, hogy az anyagjellemzőknek más mennyiségektől (például a hőmérséklettől, alakváltozástól, alakváltozási sebességtől, feszültségállapottól) való függését le lehessen írni.

Megemlítendő, hogy fázisátalakulás és kémiai változás is bekövetkezhet a forgácsolás során.

### 3. Az érintkezés

A szimulációban két test érintkezésének leírása kritikus feladat [1]. Ezzel a tribológia foglalkozik, itt csak a legfontosabb vonatkozásokra térünk ki. Az érintkező felületek mentén az alábbi jelenségeket vesszük figyelembe:

- a másik test mozgásának korlátozása (kényszerfeltétel);
- erőátadás;
- az érintkezés környezetében feszültség kialakulása az anyagban;
- súrlódás;
- hőátadás;
- kopás.

Az első három jelenség szorosan összefügg egymással, ezek modellezésekor az egyik legfontosabb kérdés az, hogy mekkora távolságban tekintünk egymással érintkezőnek két pontot (kontakttolerancia), és ezt a távolságot hogy osztjuk el a két test között.

Modellünkben a kopást egyelőre nem építettük be.

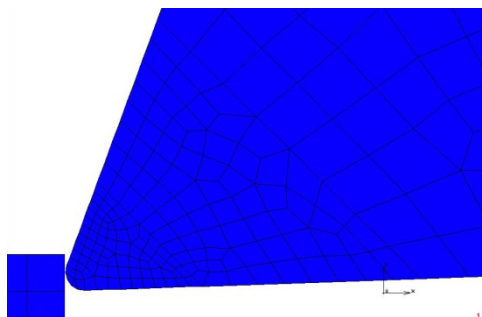
A súrlódáskor a felület mentén fellépő feszültség függ a felületeket összenyomó erőtől és a felületek viszonylagos sebességétől, de más mennyiségektől is. A modellezésekor két kritikus kérdés merül fel:

- az irányváltáskor bekövetkező ugrásszerű előjelváltás leírása úgy, hogy a numerikus módszer stabilitása ne kerüljön veszélybe;
- a súrlódási erő nagyságának megadása.

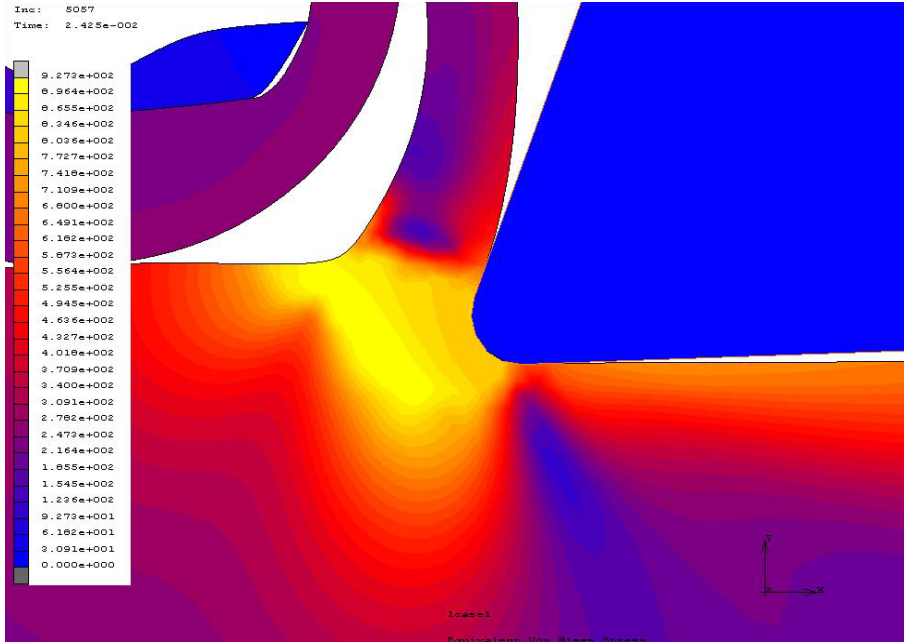
A súrlódási erő ugrásszerű megváltozását úgy írjuk le, hogy a lépcsős függvényt arkusz tangens függvényvel közelítjük. A súrlódási erő nagyságát a normál és az ekvivalens feszültség függvényeként a Wanheim–Bay-közelítéssel írjuk le.

### 4. A fémforgácsolás egy modellje

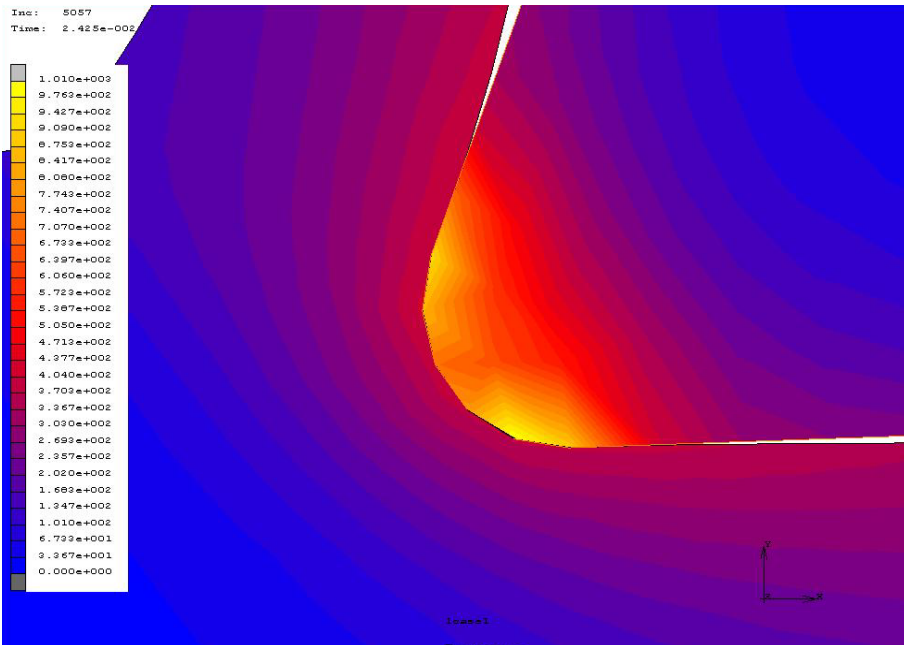
A fémforgácsolás legegyszerűbb esete a gyalulás. Célunk a forgácsoló ék és a munkadarab kölcsönhatásának elemzése.



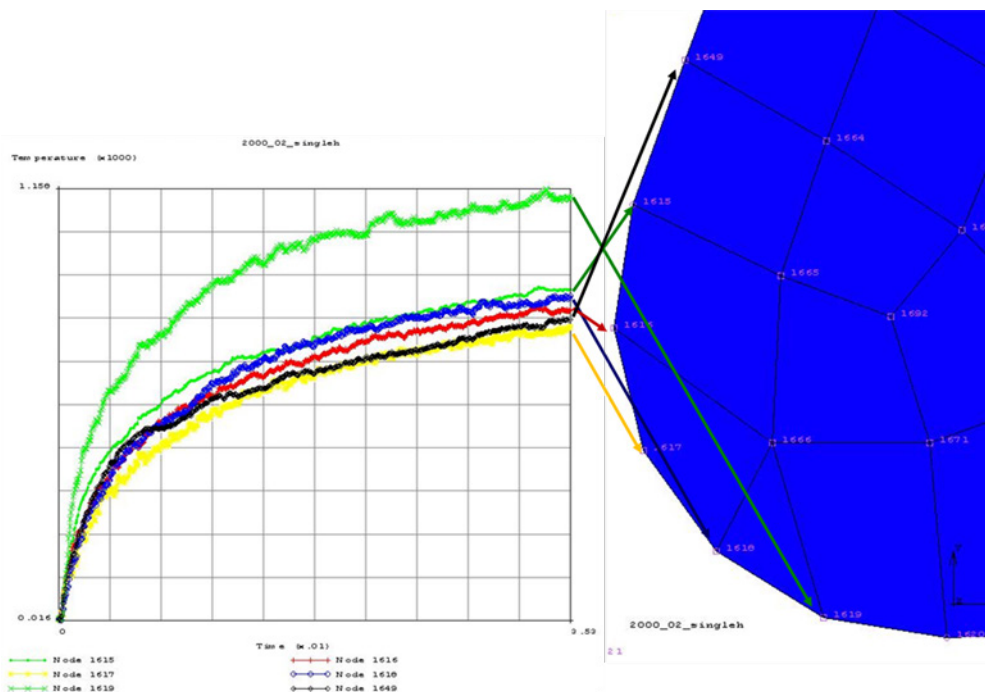
1. ábra. A térbeli diskretizáció



2. ábra. A Mises szerinti feszültség eloszlása a munkadarabban



3. ábra. A hőmérséklet eloszlása a munkadarabban



4. ábra. A hőmérséklet időbeli változása a szerszám élének bizonyos pontjain

A modellt térben (1. ábra) és időben is diszkrétizáltuk. Az így kapott véges elem modell megoldását egy időpillanatban a 2. és 3. ábra szemlélteti.

A szerszámot merev testként modelleztük, ezért abban feszültségállapotot nem számítottunk, a hőtani jelenségeket azonban igen.

A szimulációban a forgácsolási sebesség 120 m/min, a fogásmélység 1 mm. A munkadarab C35 acél, a szerszám keményfém.

A 3. és 4. ábrák jól mutatják a forgácsoló él melegezésének maximumait. Ez összhangban van a kísérletek során tapasztalt kopással, amit nem modelleztünk ugyan, de ismert, hogy azt a melegedés és a nagy feszültségek segítik elő.

## Következtetések

A dolgozatunkban leírt modellszámítás eredményei azt mutatják, hogy a forgácsleválasztás során fellépő jelenségek figyelembe vételével jó közelítéssel leírható a forgácsolás folyamata.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L.; Zhu, J. Z.: *The finite element method, its basis and fundamentals*. Elsevier Butterworth-Heinemann Linacre House, Oxford, 2005, ISBN 0-7506-6320.
- [2] Dudás Illés: *Gépgyártástechnológia I.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2011.
- [3] Gyáni Károly: *Gépgyártástechnológia alapjai I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.

**ÉRTÁGÍTÓBETÉTEK LÉZERSUGARAS HEGESZTÉSE****LASER BEAM WELDING OF STENTS**Dobránszky János<sup>1</sup>, Bitay Enikő<sup>2</sup>, Major László<sup>3</sup>, Nagy Péter<sup>4</sup><sup>1</sup>MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. Dobranszky.Janos@eik.bme.hu<sup>2</sup>Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu-Mureş, O.p. 9, C.p. 4. ebitay@ms.sapientia.ro<sup>3</sup>Magyar Honvédség Egészségügyi Központ, Honvédkórház, 1134 Budapest, Róbert Károly körút 44. ml@cvi.hu<sup>4</sup>BME Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. npeter@eik.bme.hu**Abstract**

The authors give an overview about the application of welding, mainly the laser welding related to the fabrication of stents. The paper demonstrates the welding of markers and the stents, which are made of wire.

**Keywords:** laser welding, stent.

**Összefoglalás**

A cikkben a szerzők áttekintést adnak az értágítóbetétek gyártásához kapcsolódó hegesztési, főleg lézersugaras hegesztési alkalmazásokról. Bemutatják a markerek hegesztését és a huzalból készült értágítóbetétek gyártását.

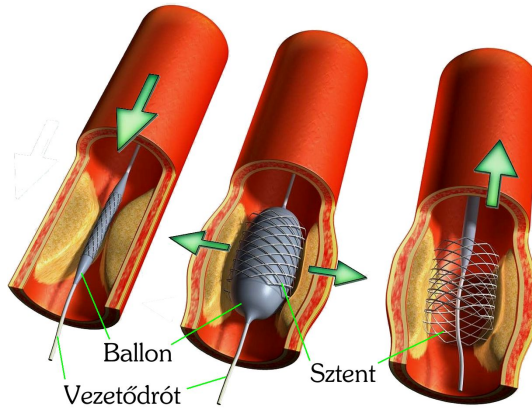
**Kulcsszavak:** lézersugaras hegesztés, értágítóbétét.

**1. Bevezetés**

A szív koszorúereinek és a perifériás ereknek a szűkülete az egész világon az egyik leggyakoribb népbetegség. Az érfal belső részén lerakódások jönnek létre, amelyek idővel elmeszesednek; így csökkentik az erek átmérőjét és gyengítik rugalmasságát. A gyógyászatban jelenleg a legfontosabb értágítási módszer az értágítóbétét (angolból átvett nevén: sztent) beültetése. Katéterekkel a csőszerű fém- vagy újabb felszívódó műanyagból betolják az érszűkületbe, és ott a sztent fajtájától függő módon kitágítják; az **1. ábra** szemlélteti a ballonos tágitást. A sztent beültetésének ered-

ményeképpen megnyílik az út a vér áramlása számára.

Az első értágítóbetétek az 1980-as évek végén kerültek forgalomba. A Wallstent nagy szilárdságú, merev rugózású Co-Cr-Ni-Mo-ötvözetű huzalból készült. Az 1990-as évek végére a Co-Cr-ötvözetek és a Ni-Ti-ötvözetek mellett sok más anyagot is kipróbáltak, ugyanis a ballonos tágitású sztentek az előzőeknél jóval lágyabb alapanyagot igényelnek. A fő alapanyaggá az ausztenites acél vált (amerikai szabványos jelölése: AISI 316L), de több más anyag is színre került, például az arany, a tantál, a 10% irídiumot tartalmazó Pt-ötvözet és a nióbi-um.



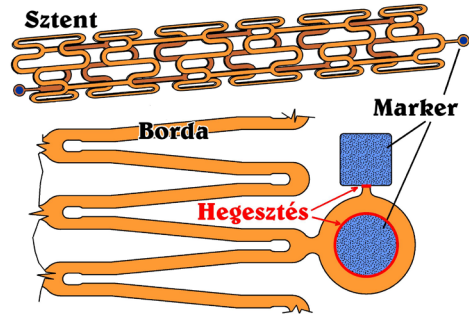
1. ábra. Az értágítás jellegzetes szakaszai ballonos tágítású értágítóbetét alkalmazásakor

Az alapanyagok és bevonatanyagok mellett az értágítóbetétek gyártási módszerei is nagy fejlődésen mentek keresztül. A sztentek gyártásában már kb. 20 éve a lézersugaras vágás az alapvető gyártási eljárás, de a hegesztés és azon belül a lézersugaras hegesztés mind a mai napig jelen van ebben a nagy pontosságú mikromegmunkálásra alapozott iparágban. Jelen dolgozatban a lézersugaras hegesztés sztentgyártási alkalmazásait tekintjük át.

## 2. Lézersugaras hegesztés a sztentek markereinek kialakítására

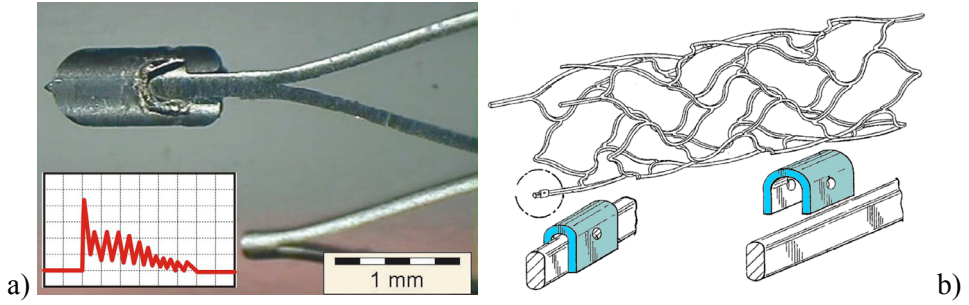
A sztentek körül forgó innovációs és kutatási erőfeszítések folyamatában az orvosi és az anyagtechnológiai szakma kezdettől szoros kapcsolatban állt; csak így lehetett az orvosi igényeket és tapasztalatokat a lehető leghatékonyabban, a zsákutcák gyors kikerülésével műszakilag megvalósítani. Erre jó példaként szolgál a láthatóság – amely egy fontos funkcionális sztenttulajdonság – területén végbement fejlődés. A sztentek fém bordájának vastagsága a kezdeti 200 mikronról átlagosan 70 mikrométerre csökkent az orvosi igényeknek megfelelően, ez azonban erősen lerontotta az orvos számára ugyancsak fontos, röntgensugár alatti láthatóságot. Erre a vastagságcsökkenés okozta mellékhatásra az a műszaki válasz született,

hogy arany-, tantál- vagy platinamarkereket hegesztettek a sztent végeire lézersugaras hegesztéssel.

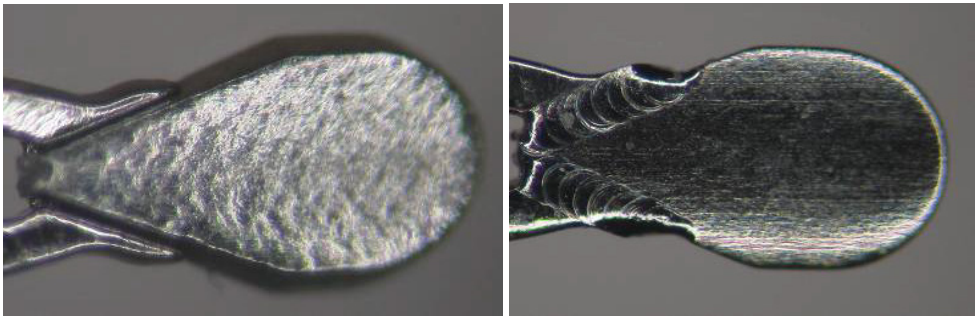


2. ábra. Marker koncepció magnéziumsztentre; az alapábra forrása: [1]

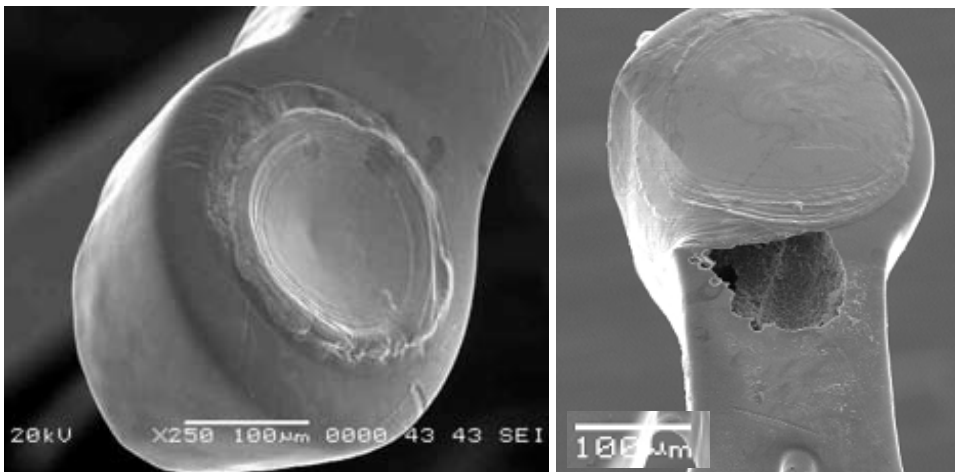
A 2. ábrán a Medtronic cég által szabadalmaztatott [1], lézersugaras hegesztéssel kialakított tantálmarkeres magnéziumsztent vázlatja látható. A markerek különösen fontosak a gyenge láthatóságú nitinol sztentek (3. ábra [2, 10] és 4. ábra [3]), valamint a biológiailag felszívódónak tekintett magnézium és politejsav anyagú sztentek esetében. A markerek eltérő fémes anyaga viszont korróziós kockázatot jelent; ezt tanúsítja az 5. ábra [4].



**3. ábra.** a) Ta-marker nitinolsztentre hegesztve LASAG Easywelder SLS 200 CL32 típusú lézersugaras berendezéssel; 65 mJ impulzusenergia, 100 mm/min hegesztési sebesség, modulált „trailing edge” impulzusalak [2]; b) Lézersugárral hegesztett Ta-, Zr-, Au-, Pt-marker rögzítési módjának vázlata egy egészen új szabadalomból [10]



**4. ábra.** Ta-marker a sztentbe való behegesztés előtt és után [3]; a varratszélesség 0,10 mm

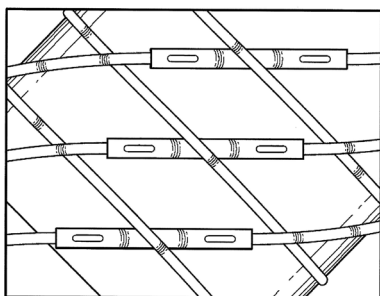


**5. ábra.** Platinamarker nitinolsztentbe hegesztve korróziós vizsgálat előtt és után [4]

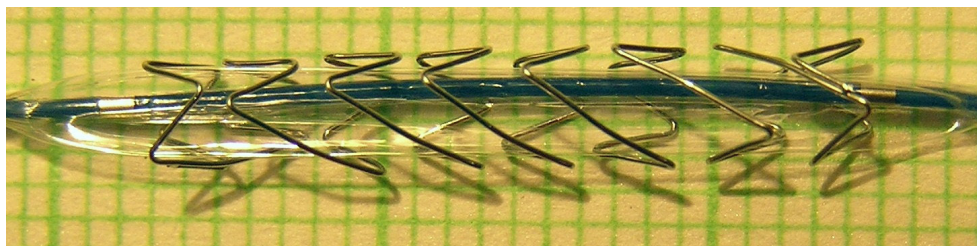
### 3. A sztentek hálós szerkezetének kialakítása hegesztéssel

A mikrohegesztés azoknál az értágítóbetéteknél jelenik meg a gyártási műveletek sorában, amelyek nem egy előre gyártott, varrat nélküli cső lézersugaras vágásával készülnek, hanem a kiinduló előgyártmány huzal vagy perforált lemez vagy többrétegű lemezből hengerített és lézersugaras hosszvarrathegesztéssel gyártott cső [12]. Ennek nagy előnyeként hangsúlyozzák a huzalsztentek gyártói a bordák keresztmetszetének kör alakját. Ilyenkor a lézersugaras hegesztés a bordázat csomó-

pontjai és a huzalvégek rögzítésére vagy tompakötéssel egymáshoz való toldására szolgál. A szuperrugalmas nitinol huzalkötegeiből kialakított öntáguló hálók szűrős huzalvégeinek mandzsettás tompakötéseit lézersugaras hegesztéssel készítik a perifériás erekbe szánt Supera sztenten az Idev Technologies szabadalma szerint; a mandzsetták anyaga ausztenites acél (6. ábra) [5]. A huzal alapanyagot preferálták a Horus koszorúrsztent gyártói is, de itt mindössze a két huzalvéget rögzítették lézersugaras hegesztéssel a cikcakkban feltekerk bordázaton (7. ábra).



6. ábra. Huzalvégek tompakötése a mandzsetta lézersugaras áthegesztésével; az eredeti képek forrása: [5]



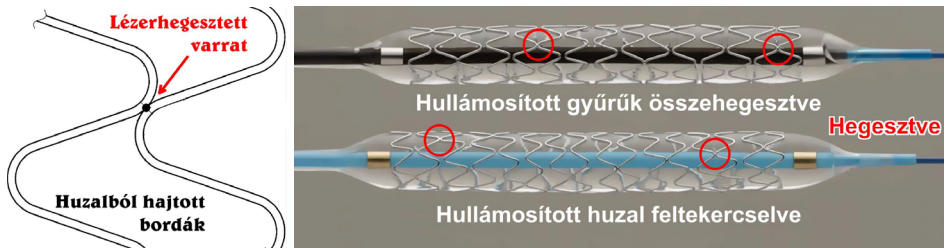
7. ábra. Az egyetlen huzalból hajtogatott Horus sztent huzalvégeit lézersugaras hegesztéssel rögzíteték. A képen feltágítás előtt és az utáni állapotában látható

A hegesztést alkalmazó gyártók száma csekély, igazi nagy gyártó csak egy van közöttük: a Medtronic. A Medtronic

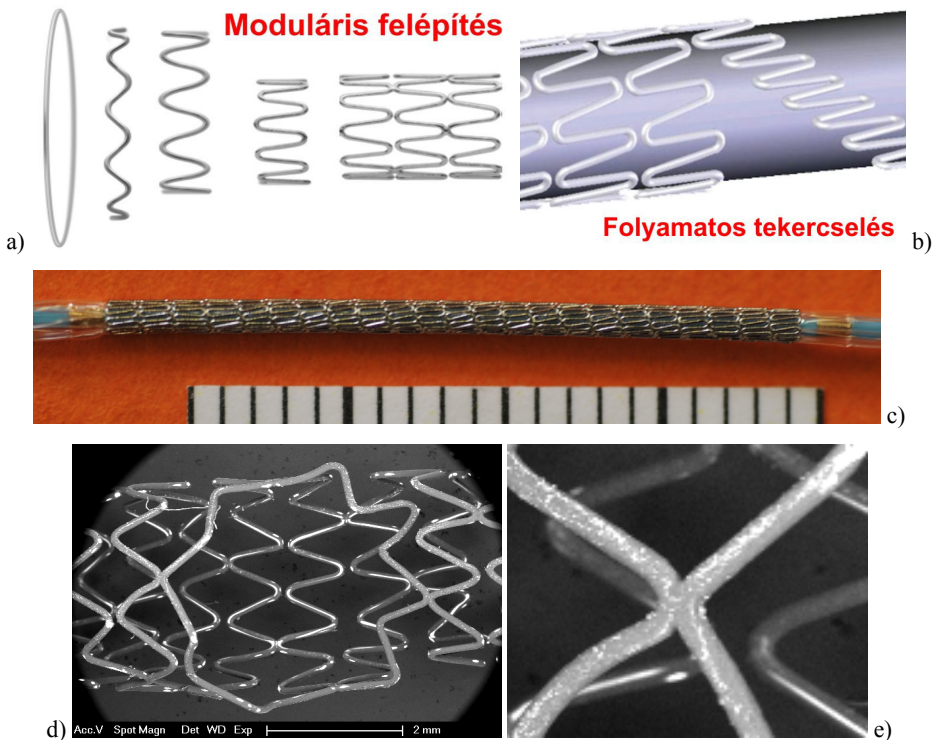
huzalsztentjei (Driver, Endeavour, Integrity, Resolute, Resolute Integrity) egyedinek számítanak abban az értelemben, hogy ezek

a nem cső előgyártmányból valóban nagy tömegben (többmillió darabszám) gyártott sztentek. A kezdetben 316L acélból, majd az ezt felváltó L605-ös Co-Cr ötvözet

anyagú huzalból szinuszosan meghajtogatott szerkezet csomópontjait lézersugaras hegesztéssel rögzítették (**8. ábra**) [6].



**8. ábra.** A huzalból hajtogatott Medtronic sztentek lézersugárral hegesztett csomópontja [6, 7]



**9. ábra.** A Medtronic szegmens (a) és folyamatos tekerelésű (b) huzalsztentjeinek szerkezeti vázlatja [8]. Egy Rolute Integrity 3,0×22 mm-es sztent feltágítás előtt (c), egy részlete az után (d) és egy hegesztési varrata (e)

Ezeknél a sztenteknél sokáig egyedi gyűrűket hullámosítottak, és szegmensenként hegesztették össze, de az Integrity

sztent már egy „szinuszosan” hullámosított folyamatos huzal „menet a menet mellé” módon végzett feltekerésével készült.



Minden negyedik csomópontot és a két huzalvéget hegesztik lézersugaras hegesztéssel (9. ábra) [7, 8]. Konceptió és prototípus szintjén már léteznek a lézersugárral hegesztett maghuzalos huzalsztentek, továbbá frissiben szabadalmi oltalmat nyertek olyan gyógyszerkibocsátó sztentek is, amelyeknél nem a fémre felvitt polimer bevonatból oldódik ki a hatóanyag, hanem közvetlenül a fémből. Ezeknél a lézersugárral hegesztett bordázat radiális tengelyű furatokkal perforált cső, amelybe betölthető a gyógyszer; ezek a gyógyszerrel töltött sztentek (angol nevük: DFS, drug filled stents) [11].

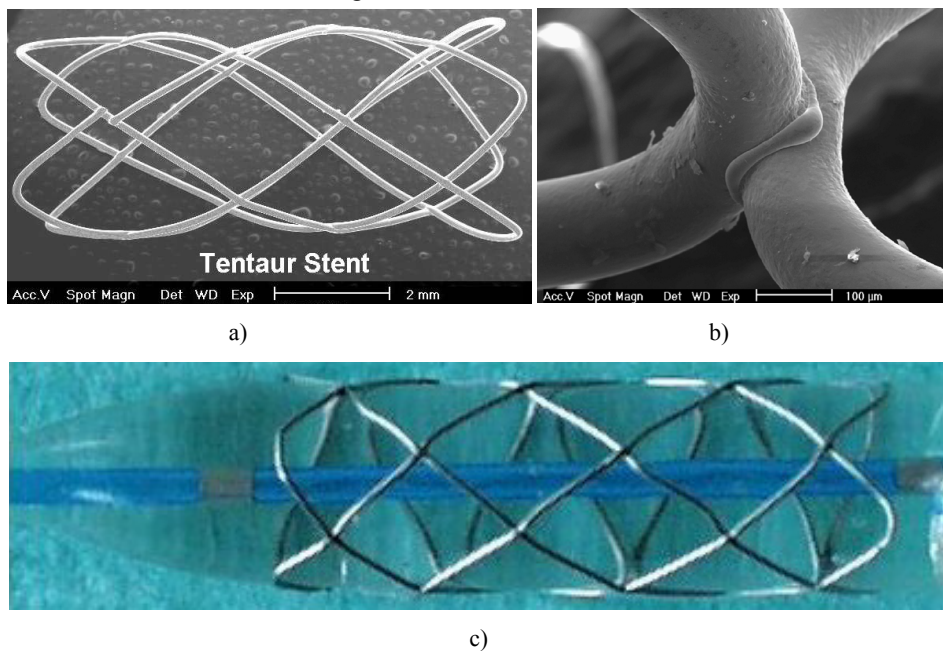
#### 4. A Tentaur Flex lézerhegesztett huzalsztent kifejlesztése

A Magyarországon és Oroszországban 1995-től több mint tíz éven át forgalmazott

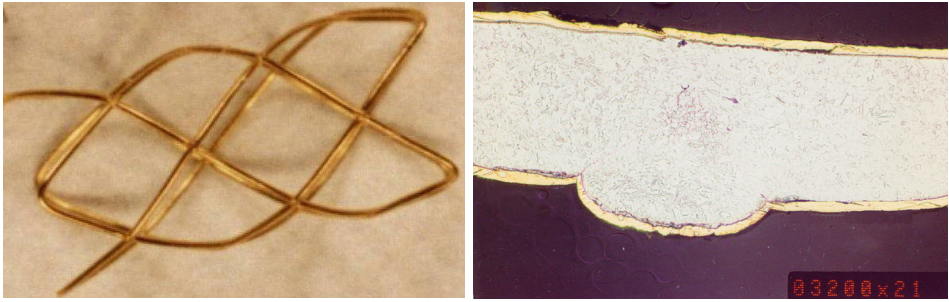
és több ezer példányban beültetett Tentaur sztent (10. ábra) első változata aranyhuzalból készült.

A huzalkeresztezések 17 csomópontját lánghegesztéssel, később ellenállásdudorhegesztéssel rögzítették. Az aranyhuzalt felváltotta az ausztenites korrózióálló acél.

A 145 mikrométer átmérőjű huzalra aranybevonat került (11. ábra), majd a Tentaur sztentről is lemaradt az aranybevonat, noha egyáltalán nem mutatott kedvezőtlen hatást. 1998-tól 2006-ig a Tentaur sztent sok bevonatolási kutatás alanya volt: készült TiN (12. ábra), SiC, TiC, szilikon, amorf és gyémánszerű szén (DLC-) bevonattal, és más passzív bevonatok mellett hatóanyag-kibocsátó változatban is, Colchicin-bevonattal.



10. ábra. Az ellenállás-dudorhegesztéssel gyártott Tentaur sztent gyártási állapotban (a), egyik hegesztett csomópontja (b) és egy példánya ballonkatéterrel tágtíva



11. ábra. Aranybevonatos Tentaur sztent, valamint egy hegesztési varratának metszete (1998)



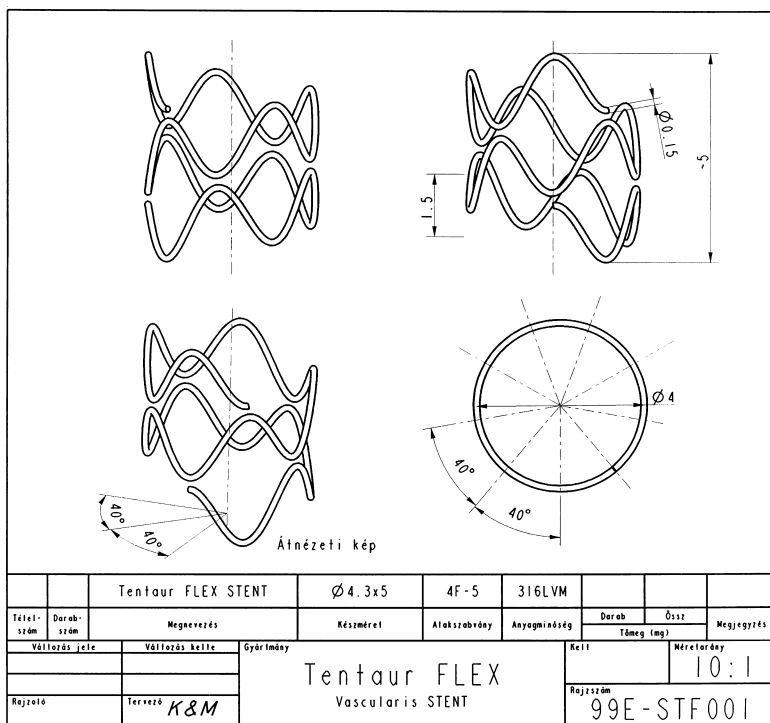
12. ábra. A Tentaur sztent titán-nitrid bevonattal készült változata (2002)

A Tentaur sztent kör keresztmetszete klinikailag nagyon kedvező volt, de a dudorhegesztett szerkezet nem volt kellően flexibilis – értsd: rugalmasan hajlékony – a hegesztett csomópontok merevítő hatása következtében. A flexibilitás hiánya különösen a hosszú sztenteknél kellemetlen. Ennek kiküszöbölésére a 2000-es évek közepén a Driver sztentet felváltó Integrity sztent kapcsán fentebb ismertetett koncepciót dolgoztuk ki már 1999-ben: a szinuszos hajtogatást és a csomópontok egy részének, illetve a huzalvégeknek a hegesztéssel való rögzítését. Az így megtervezett flexibilis sztent, a **13. ábrán** látható Tentaur Flex sztent sokáig csak papíron létezett, de amikor sikerült lézersugaras mikrohegesztési lehetőséget találni Magyarországon, akkor végre elkészültek az első prototípusok

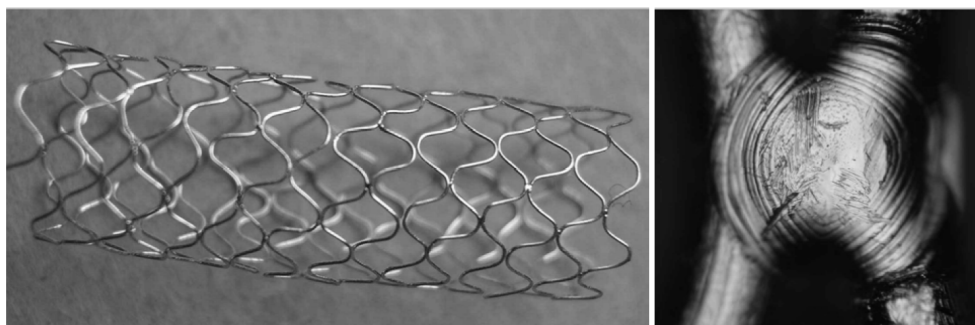
0,145 mm átmérőjű, AISI 316L típusú ausztenites acélhuzalból (**14. ábra**) [9].

A lézersugaras mikrohegesztési lehetőségek kiszélesedése a Lasersystems Kft. ez irányú támogatásának volt köszönhető 2006-tól kezdődően. Ekkor újra napirendre került a lézersugárral hegesztett huzalsztentek fejlesztése. A kísérletekben 0,20 mm átmérőjű ausztenites acélhuzalt használtunk. A hegesztést TRUMPF HL 124 P típusú berendezésen végeztük, amelynek műszaki jellemzői és a véglegesítés optimalizált technológiai tényezői a következők:

- lézerteljesítmény: 120 W;
- maximális impulzusteljesítmény: 5 kW;
- impulzusenergia: 0,1–50 J;
- impulzushossz: 0,3–20 ms;
- sugárminőség: 16 mm·mrad.



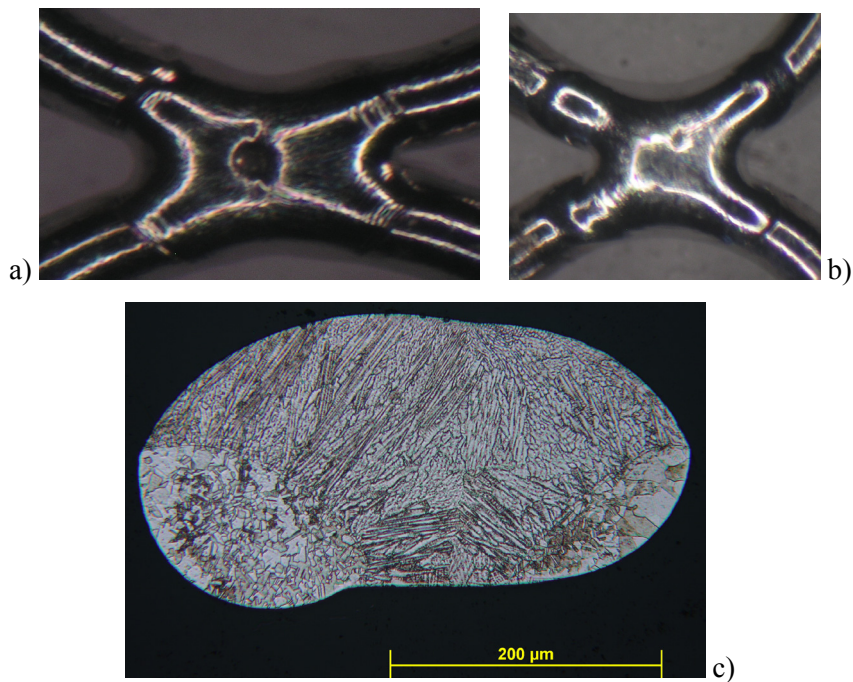
13. ábra. A koncepciójában 1999-ben megszületett Tentaur Flex sztent gyártási rajza



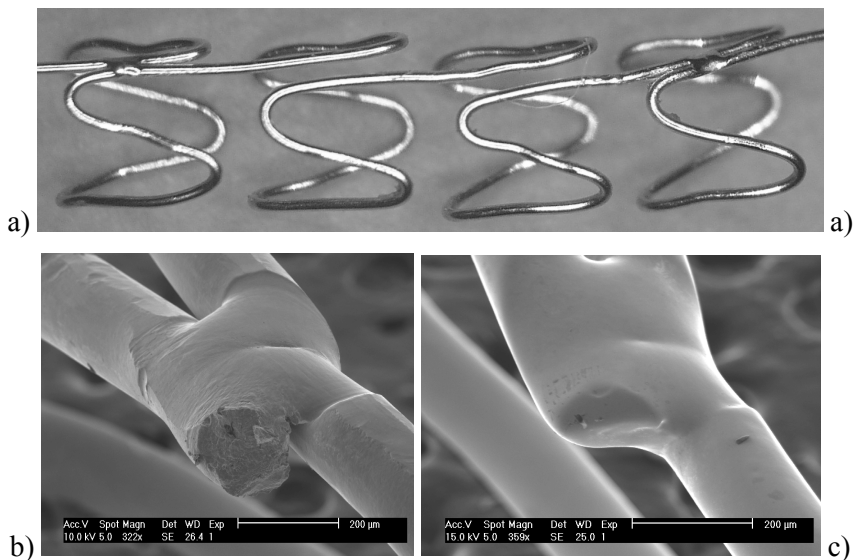
14. ábra. A lézersugaras hegesztéssel gyártott Tentaur Flex sztent prototípusa 2005-ből és egyik hegesztési varrata; a huzalátmérő 145 mikrométer

Az érintkező huzalívek lézersugaras hegesztésekor fellépő egyik hibaforrás az ömledék tölcéses beszívódása a plazmanomás miatt (15.a ábra). A beszívódás megszüntetésére (15.b ábra) jó megoldás

az impulzusalak-szabályozás – amelynek lényege az, hogy az impulzus időtartama alatt vezérelten változik a teljesítmény – vagy az általunk használt fókuszeltolás.



**15. ábra.** A Tentaur Flex sztent egy oldalról végzett lézergusaragos hegesztési technológiájában ki kellett küszöbölni a tölcséses beszívódás jellegű kötéshibát (a). A hibamentes varrat a b) képen, annak maradtott keresztmetszeti csiszolata a c) képen látható



**16. ábra.** A lézergusaragos hegesztéssel gyártott Tentaur Flex sztent prototípusa 2005-ből és egyik hegesztési varrata; a huzalátmérő 145 mikrométer

A **16.a ábrán** látható, 13 mm hosszúságú Tentaur Flex sztent hegesztéstechnológiai tényezői a következők a TRUMPF HL 124 P típusú lézerberendezésen:

- Foltátmérő 1 mm;
- Teljesítmény 0,72 kW;
- Impulzusedő 2,4 ms;
- Lövések száma 2 db/ciklus;
- Frekvencia 4 kHz;
- Energia 1,7 J;
- Átlagteljesítmény 6 W.

A **16.b–c ábrán** az egyik lehegesztett huzalvég hegesztést követő elektropolírozás előtti és azt követő állapota látható.

## 5. Következtetések

A lézersugaras hegesztés mindig is fontos gyártástechnológiai választási lehetőséget kínált az értékgőbetétek gyártásában, és ez – értékelésünk – szerint a jövőben is így lesz.

### Köszönetnyilvánítás

Bitay Enikő személyéhez kötődően a kutatás az EU és Magyarország támogatásával a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosítószámú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Allen, J., Birdsall, M.J. (Medtronic): *Bioabsorbable Stent Having a Radiopaque Marker*. US Patent 20090204203 A1 (2009)
- [2] *Use of pulsed Nd:YAG lasers in medical industry*. LASAG Medical Industry/DU/06 (2006).
- [3] Siekmeyer, G., Steegmüller, R., Schrader, B., Hegel, A., Strobel, M., Schuessler: *Novel Micro-Joining Techniques to Improve Stent Radiopacity*. A Comparison of Welding and Riveting Processes. Proceedings from the Materials & Processes for Medical Devices Conference 2005, ASM 2006. 57–62.
- [4] Steegmüller, R., Strobel, M., Flaxmeier, E., Schuessler, A.: *Micro-Welding for Improved Radiopacity of Nitinol-Stents*. SMST-2004: Proc. of the Internat. Conf. on Shape Memory and Superelastic Technologies, Baden-Baden, October 3-4, 2004. S.591–595.
- [5] Sheldon J, Booth R, Bueche K (Idev Technologies): *Methods for Securing Strand Ends and the Resulting Devices*. US Patent 20080290076 A1 (2008).
- [6] Boyle, W.J. (Medtronic): *Welded sinusoidal wave stent*. US Patent 6136023 (2000).
- [7] Rha, S-W: *Current & Future Stent Design for Drug-eluting Stent - Focused on the Updated Resolute Program* <http://www.summitmd.com/pdf/pdf/1-6.Seung-WoonRha.pdf> (2013-10-23).
- [8] Wilcox, J.N.: *A Unique Approach to Creating a Polymer Free Stent The Medtronic Drug Filled Stent Program*. ICI 2012, December 3-4, 2012. [http://www.icimeeting.com/2012/images/stories/PDF/1400\\_Wilcox\\_Tue\\_A.pdf](http://www.icimeeting.com/2012/images/stories/PDF/1400_Wilcox_Tue_A.pdf) (2013-10-23).
- [9] Szabó, B., Dobránszky, J., Major, L., Nyitrai, Zs.: *Development and Micro Manufacturing of Coronary Stents in Hungary*. 4M: Workshop on Multi-Material Micro Manufacturing Focusing on Metal Processing and Metrology, Budapest, 23-24 March 2006, BUTE Department of Manufacturing Engineering, Budapest 2006. 59–65.
- [10] Codman & Shurtleff, inc. (Raynham, MA, US): *Radiopaque markers for implantable stents and methods for manufacturing the same*. Patent application number: 20130131785 (2013).
- [11] Bienvenu, R., Mitchell, J., Thompson, D. (Medtronic Vascular): *Hollow drug-filled stent and method of forming hollow drug-filled stent*. Patent application number: 20130274867, Közzététel dátuma: 2013-10-17.
- [12] Stinson, J.S. (Boston Scientific): *Methods of making medical devices*. US Patent 7574799 B2 (2009).

## ENERGETIKAI GÉPEK NEM SZABÁLYOS CSAVARFELÜLETEINEK KÖSZÖRÜLÉSE

### GRINDING OF NON-EXACT HELICAL SURFACES OF ENERGETIC MACHINES

Dudás László

*Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Alkalmazott Informatikai Tanszék, 3515, Magyarország, Miskolc, Egyetemváros út 1, +36 46 565111/1414, [iitdl@uni-miskolc.hu](mailto:iitdl@uni-miskolc.hu)*

#### Abstract

The paper deals with the geometric generation of nonconventional grinding wheel surfaces for grinding the rotor of special type pumps, compressors and expansion machines, engines. For the surface generation the Surface Constructor kinematic simulation and modelling software application was used that is originally intended for the development of new types of gears. The paper reviews the Surface Constructor design system, introduces the special aerohydrodynamic machines and the construction of the applied grinding machine, and reviews the grinding wheel surface modelling.

**Keywords:** *aerohydrodynamic machine, grinding, non-exact helical surface, Surface Constructor.*

#### Összefoglalás

A cikk nem hagyományos köszörűkorongok felületének geometriai generálásával foglalkozik, melyekkel speciális szivattyúk, kompresszorok és táguló közeggel működő erőgépek, motorok forgó rotorját lehet megköszörülni. A felületgenerálásra a Surface Constructor kinematikai szimulációs és modellező program került alkalmazásra, mely elsődlegesen fogaskerek új típusainak kifejlesztésére lett kialakítva. A cikk áttekinti az Surface Constructor tervezőrendszert, bemutatja a speciális aero-hidrodinamikus gépeket és az alkalmazott köszörűgép konstrukcióját, és ismerteti a köszörűkorong felületmodellezését.

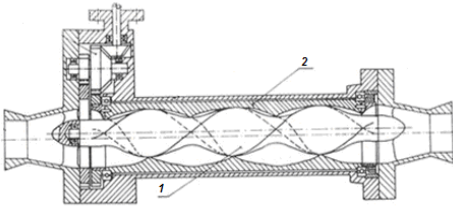
**Kulcsszavak:** *aero-hidrodinamikus gép, köszörülés, nem szabályos csavarfelület, Surface Constructor.*

#### 1. Bevezetés

A legújabb szivattyúfejlesztések eredménye egy új típus, amely csak forgó alkatrészeket tartalmaz, hasonlóan a csavar-kompresszorokhoz. A konstrukciót általánosíthatjuk kompresszorokra és táguló közeges erőgépekre, gőzgépekre, motorokra, ha változó emelkedésű csavarfelületet al-

kalmazunk. Ezeket az új típusokat, melyek egy forgó kamrát és abban forgó rotort tartalmaznak, az elmúlt években szabadalmaztatták [9, 10]. Jellemzőjük, hogy a kamra és a rotor között zárt térrészek, üregek alakulnak ki. Amint a forgó alkatrészek mozogni kezdenek, ezek az üregek a forgó alkatrészek tengelyével párhuzamos mozgást végeznek. A résnek a kamra és a rotor között

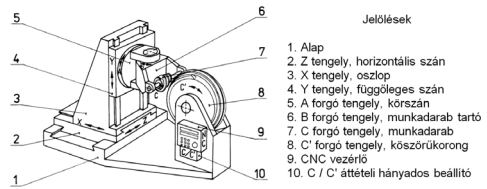
a lehető legkisebbnek kell lennie a lehető legjobb tömítés érdekében. Ez különösen fontos a kompresszorok és a táguló közegek erőgépek esetén, ahol a szomszédos kamrák között jelentősebb a nyomáskülönbség. A légzáró tömítés a vékony kenőfilmmel, annak tehetetlenségével biztosítható, hasonlóan a csavarkompresszoroknál alkalmazott módszerhez [11]. A legcélszerűbb eljárás ehhez a működő felületek köszörülése, de ez problémákat is felvet. Az **1. ábrán** mutatott szivattyú 1 rotorjának egyenletes emelkedésű csavarfelülete esetén a köszörülés hasonló a csigák köszörüléséhez, és megoldottnak vehető. A forgó kamra belső csavarfelületének köszörülése ennél nehezebb, de szintén lehetséges [3]. A szükséges korongfelület profilja meghatározható pl. a HeliCAD [3], vagy a Surface Constructor (SC) [4,5] programok segítségével. Az ily módon adott forgásfelület alakra a korongok leszabályozhatók CNC korongszabályzókkal.



**1. ábra.** A FORCYL cég által gyártott vízszivattyú

A változó emelkedésű csavarfelület-ekkel jellemezhető rotorfelületek köszörülése az irodalomban [2] ismertetett speciális köszörűgépet és technológiát igényli. A **2. ábrán** látható köszörűgépek konstrukció kúpos csigák és globoid csigák köszörülése esetén is eredményesen alkalmazható az elméletileg pontos köszörült felület elérésére. Ezen felületek elméleti pontosságú megköszörülése az utóbbi időkig megoldatlan volt, csak speciális esetekre, pl. evolvens kúpos csavarfelületekre, létezett elméleti pontosságú megoldás. A probléma abból

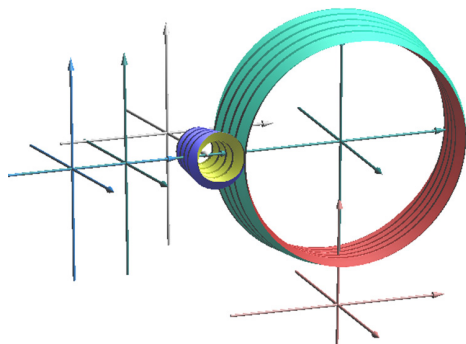
ered, hogy a hagyományos, forgásfelület alakú köszörűkorong nem képes az alakját köszörülés közben a szükséges mértékben változtatni. A nem egyenletes emelkedésű vagy változó átmérőjű csavarfelületek köszörülése azonban igényli ezt a képességet, mivel a csavarfelület és a korong érintkezési görbéje és ennek következtében az igényelt korongalak pillanatról pillanatra változik. Mivel a hagyományos forgásfelületű köszörűkorongok merevek, egy megoldás lehetséges az [1] által ismertetett folyamatos korongszabályozással, amikor is a korong kismértékű alakmódosulását a köszörülés folyamata során az azzal együtt végzett folyamatos CNC korongszabályozással érik el. Ez a technológia kis sorozatok gyártása esetén előnyös, mivel a korongelhasználás jelentős. Egy másik, a szerző találmányában ismertetett megoldás azt a felismerést használja ki, hogy a nem egyenletes csavarfelület eltérő részeivel a korong eltérő felületrészeit kell kapcsoltatni. Egy ilyen korong alakját a csavarfelületről visszaburkolással lehet előállítani, egy szintén nem egyenletes csavarfelületre emlékeztető felület formájában. A burkolási folyamatnál általában 1:1 áttételt alkalmazunk.



**2. ábra.** Nem egzakt csavarfelületek elméleti pontosságú köszörülésére alkalmas köszörűgép konstrukciója

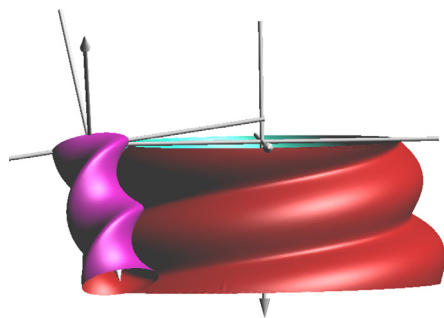
A módszer alkalmazását spiroid, azaz kúpos alaptestű csiga köszörülése esetére a **3. ábra** mutatja, az új köszörűgép kinematikai elrendezését használva. Ebben az esetben a számított köszörűkorong-felület egy Reishauer típusú csigakorongra emlékeztet, de lényegi különbség, hogy az itt mutatott

korongfelület önmagában nem elcsavarható működő felület.



3. ábra. Spiroid csigához generált köszörűkorong a speciális köszörűgép koordináta-rendszerében

Ezzel az új technológiával, mely a munkadarabot teljes hosszában egyszerre köszörüli, és nem alkalmaz a munkadarab menet-árkában történő előtolást, a hagyományos szabályos csavarfelületek, csigák vagy szivattyúrotorok köszörülése szintén lehetséges.



4. ábra. FORCYL-típusú rotor teljes szélességű köszörülésének modellezése

A 4. ábra egy ilyen rotorköszörülésre ad példát. A módszer előnye az elméleti pontosságú köszörülés lehetősége nem szabályos helicoid felületű munkadarabok esetén is, azonban hátránya a bonyolult és drágán előállítható, bár nagy felületének kö-

szönhetően tartós pontosságú köszörűkorong előállítás. Hasonlóan a köszörűgép is a drága szerszámgépek csoportjába tartozik. Ezekből eredően a technológia alkalmazása csak nagy sorozatok esetén gazdaságos.

## 2. Nem egyenletes emelkedésű csavarfelületek köszörülése

Az új, innovatív kompresszorok és tágló közeggel működtetett erőgépek rotorja és forgókamrája nem egyenletes emelkedésű csavarfelületekkel rendelkeznek. Az energiaátalakítás irányát a gép forgó részeinek forgásiránya dönti el, megváltoztatva pl. kompresszorból expanziós gép lesz. Mivel ezen gépek konstrukciója meglehetősen új, először ennek bemutatása következik. A rotor és a forgókamra párhuzamos forgási tengelyekkel rendelkeznek és azonos irányba forog, de nem azonos fordulatszámmal. Az 5. ábrán láthatjuk a felépítést egy nyitott kamrájú modellen. A kamra és a rotor nagyon kis hézagtól eltekintve vonalak mentén érintkeznek, ily módon zárt üregeket közrefogva. Az üregek térfogata a nem egyenletes emelkedésű csavarfelületek alkalmazása miatt változik, és a gép működése közben a tengelyekkel párhuzamos haladásuk közben nő, illetve csökken, forgásiránytól függően. Növekedés esetén expanziós erőgépként, csökkenés esetén kompresszorként alkalmazható. A kompresszió-, illetve expanzióhányados a geometria által meghatározott, nem függ a fordulatszámától. Az üregek térfogatának tengely menti változását tág határok között változtathatjuk a gép méretezésével. A kamra és a rotor forgásának összehangolását közöttük kialakított kinematikai kapcsolattal, pl. fogaskerekekkel érhetjük el.

A forgókamra köszörülése, illetve finommegmunkálása a rotor köszörülésétől a felület belső elhelyezkedése miatt több problémát vet fel, de pl. a rotorral azonos geometriájú 'köszörűkoronggal', vagy



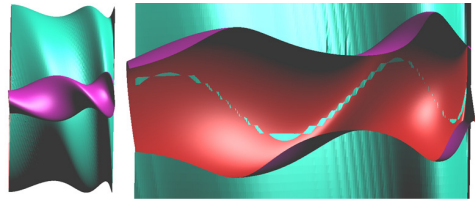
hónoló szerszámmal elvégezhető. Ekkor kihasználható, hogy a nem egyenletes emelkedés miatt a szerelés is könnyebb a kamra tengelyvonalán átmenő osztósíkkal megosztott két félből való gyártása esetén. Mindenesetre a kamra finommegmunkálása további elemzést kíván, amellyel itt nem foglalkozunk, figyelmünket a rotor köszörülésére irányítjuk. A rotor köszörülése még a javasolt köszörülési technológia és köszörűgép alkalmazása mellett is kérdéses, mert fennáll az alámetszés veszélye. Az egyenletes emelkedésű csigák köszörülésével szerzett korábbi tapasztalatokból az tűnik célszerűnek, hogy a köszörűkorongot a legkisebb emelkedésnek megfelelő bedöntési szöggel állítsuk be. A köszörülési folyamat modellezése az SC szoftverrel történt. A korong felületét a rotor felületével burkolva generáltuk, 1:1 fordulatszám-viszony beállítása mellett. Ekkor a korong és a rotor érintkezési pontjaiban a két test érintkezési pontjainak kerületi sebessége közel ellentétes irányú, a sebességek abszolút értéke megközelítően összegződik, megfelelő köszörülési sebességet eredményezve, mely a fordulatszámmal állítható. Ebben a származtató mozgásban a származtatófelület és a származtatott felület konjugált felületpárt alkot, a rotor egy pontja a korong egy pontját állítja elő, azzal kapcsolódik. A megmunkálás geometriai korrektségének, alámetszés- és ráhagyásmentességének ellenőrzésére két eljárás kínálkozott:

- az érintkezési vonalak megjelenítése és ellenőrzése;
- az  $R=R(\Phi)$  függvények megjelenítése és elemzése.

Az érintkezési vonalak segítségével történő ellenőrzés esetén a felület-felület érintkezést kell látnunk a burkolás minden pillanatában. Az élfelületek kapcsolódás éllel történő felületsúrolást jelentene, nem burkolást, vagy felület általi élburkolás is előfordulhat. Mindkettő az alámetszések speciális esete, és nem kívánatos a köszörü-

lési megmunkálás közben. Az érintkezési vonal ellenőrzésének egy pillanatát mutatja az **5. ábra** jobb oldala. Az alámetszés lehetőségé miatt az érintkezési vonal folytonossága lényeges. Egy szakadás, vagy ugrás az érintkezési görbén azt jeleznél, hogy az átugrott szakasznak megfelelő felületrés nem lesz pontosan megköszörülve. Az ábrán látható tökéletes eredmény elérése érdekében a beállításoknál több próba is történt, és elsősorban a korongbedöntési szög finom beállítása volt fontos.

Az érintkezési vonal általi ellenőrzéssel az a gond, hogy egy teljes korongfordulat minden egyes pillanatában el kell végezni. Amint az **5. ábrán** is látható, az ellenőrzés megfelelő nézési irány- és nagyításbeállítást kíván minden pillanathoz.



**5. ábra.** A rotorhoz számított korong, balra, valamint az érintkezési vonal ellenőrzésének egy pillanata  $\Gamma = 5$  fokos bedöntési szögnél

Annak ellenére, hogy az SC felhasználói interfésze ebből a szempontból a hasonló 3D szoftverek között is az egyik legkényelmesebben kezelhető, az ellenőrzési folyamat időigényes és fárasztó. Szerencsére az SC rendelkezik egy egyedi megjelenítési képességgel.

Az  $R=R(\Phi)$  függvények megjelenítési lehetősége az SC program kizárólagos képessége. A függvények és a módszer részletes leírása a [6]-ban megtalálható, de az itt bemutatandó ábrák értelmezéséhez egy rövid áttekintést itt is adunk. Az  $R=R(\Phi)$  függvények megjelenítése a rotor és a korong relatív kinematikai viszonyát használja alapinformációként, és a korong felületének

és a köszörűgép beállítási jellemzőinek optimalizálásához, melyet a relatív sebességek terében végez el. A relatív sebességvektorok helyett a mozgáspálya-vonalakat alkalmazza, mivel azok a sebességvektorok tartóvonalai, és emiatt párhuzamosak azokkal. Ezek a mozgáspályák játsszák a központi szerepet a szerző eredeti Elérés modell nevű kapcsolódásgeometriai elméletében, melyet a [6] eleméz részletesen.

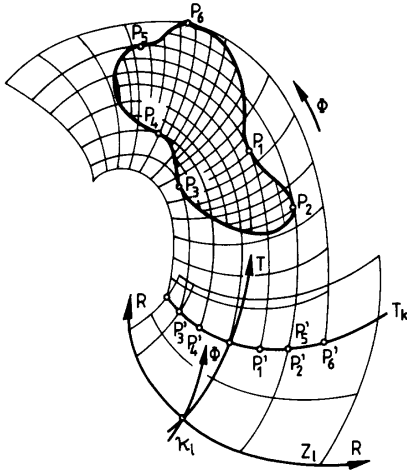
### 2.1. Az $R=R(\Phi)$ függvények megjelenítése

A legtöbb modern fogaskerékfejlesztő szoftver a Tooth Contact Analysis (TCA) módszert alkalmazza a kapcsolódás jóságának biztosítására. Ez a módszer magába foglalja a felületek közötti hézag függvényének meghatározását a hordkép megjelenítéséhez, és egyaránt alkalmas konjugált és modifikált, hordósított vagy profillenyesést alkalmazó fogaskerekek esetén. Képes az átviteli függvény és a hordkép megjelenítésére, azaz nagyon erőteljes eszköz. Lásd például [7,8]. Ez a módszer azonban a kapcsolódó felületek előzetes megadását igényli.

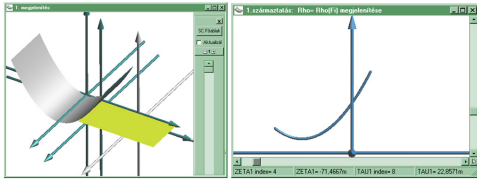
Az SC programban rendelkezésre álló módszer esetén a fejlesztés a mozgáspályák segítségével történik, és a kapcsolódás jellemzőinek javítását és az alámetszések és elmetzések elkerülését a generált felület meghatározása nélkül végezhetjük. A hivatkozott irodalmakból ismert, hogy az  $R=R(\Phi)$  függvények kiválóan alkalmasak a lokális alámetszések és a globális elmetzések feltárására. Ezek a jelenségek nagyon veszélyesek nemcsak a fogazatok érintkezésénél, hanem a fogfelületek, burkolt felületek megmunkálásánál is. Elkerülésük az SC rendszerben alkalmazott  $R=R(\Phi)$  függvényekkel könnyű. A jó érintkezést egy adott kapcsolódási pontban egy globális maximum pont jellemzi az  $R \rightarrow \max!$  extrémumirány választása esetén, és egy globális minimumpont jellemzi az

$R \rightarrow \min!$  extrémumirány választása mellett. A problémás lokális alámetszési helyeket vízszintes érintőjű inflexiós görbealakzat jelzi. A lokális maximummal rendelkező görbék gyakran eredményeznek globális elmetzést, ha a maximumszint  $\Phi$  vonala távolabb elmetezi a függvénygörbét. Ez megfigyelhető a **6. ábrán**, amikor a P2 pontot érintő  $\Phi$  pályavonal metszi a származtatott test metszévonalát a nagyobb  $\Phi$  értékénél. Egyetlen  $R=R(\Phi)$  függvénygörbe a származtatott felület egyetlen keletkező pontját jellemzi. Ha a származtatott felület teljes  $T$ - $Z$  tartományát fel szeretnénk tární a keletkezett pontok kapcsolódásának jósága szempontjából, akkor ehhez az SC-ben erre a célra kialakított vizsgálóablakot használhatjuk, mely a **7. ábrán** a jobb oldalon látható. A bal oldal egy lineáris mozgást végző parabolahenger által burkolt sík keletkezését mutatja. Az egyszerű példában a származtatott felület metszetgörbéje éppen a származtatott felületparabola alkotója. Az ablak lehetőséget ad a függvénygörbék  $R=R(\Phi, T)$ , vagy  $R=R(\Phi, Z)$  seregének felületszerű megjelenítésére is. Amíg a függvényeknél a  $\cap$ , illetve a  $\cup$  alak a kedvező, extrémumirányválasztástól függően, a görbeseregek alkotta vizsgálófelületeknél hegygerinc, illetve völgyalakzat jelzi a hibátlan, alámetszésmentes származtatást. (Az SC az RHO, TAU, ZETA neveket alkalmazza az Elérés modellben alkalmazott  $R, T, Z$  helyett.)

A vizsgálóablak a származtatott felület pontjainak keletkezését jellemző  $R=R(\Phi)$  függvénygörbék vizsgálatához a következő kényelmes lehetőséget nyújtja: az ablak a  $T$ - $Z$  tartománynak is megfelel egyben, és bármely pontjára kattintva, az azon  $T$ - $Z$  értékekhez tartozó  $R=R(\Phi)$  görbe jelenik meg.



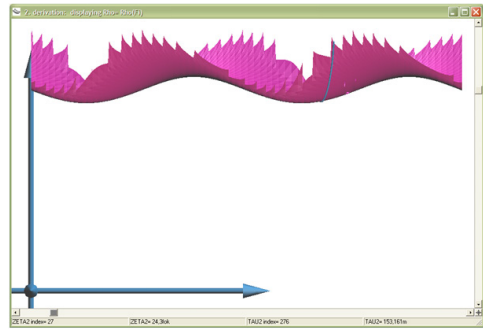
6. ábra. Az  $R = R(\Phi)$  függvény kialakulása: a származtató test metszete a  $T=const$ ;  $Z=const$  görbe vonalú koordináta-felületeken



7. ábra. A parabolikus felület általi burkoláskor a keletkezett sík egy pontját a jobb oldali vizsgálóablakban látható parabola alakú metszetgörbe jellemzi a TAU-ZETA tartomány adott pontjában

A kurzor mozgásával lenyomott egérgomb mellett a felület tetszőleges tolokákra kattintva egy  $R = R(\Phi, T)$  vagy  $R = R(\Phi, Z)$  felület jelenik meg, mely alakját változtatja, ha a tolokát mozgatjuk, így módon a görbeseregek által jellemzett burkolási folyamat minőségének ellenőrzésére könnyű lehetőséget adva, pontjához tartozó függvénygörbe könnyen megjeleníthető, a  $T-Z$  tartomány letapogatható. Az alsó vagy a jobb oldali tolokákra kattintva egy  $R=R(\Phi, T)$  vagy  $R=R(\Phi, Z)$  felület jelenik meg, mely alakját változtatja, ha a tolokát mozgatjuk,

ily módon a görbeseregek által jellemzett burkolási folyamat minőségének ellenőrzésére könnyű lehetőséget ad, amint a 8. ábrán látható. A problémás részeken a hegygerinc-, vagy völgyalakzatok torzulnak, és inflexiós alakzatok, lokális minimumok, illetve maximumok is megjelennek a felületeken, az alámetszések és elmetzsések könnyű detektálhatóságát nyújtva.



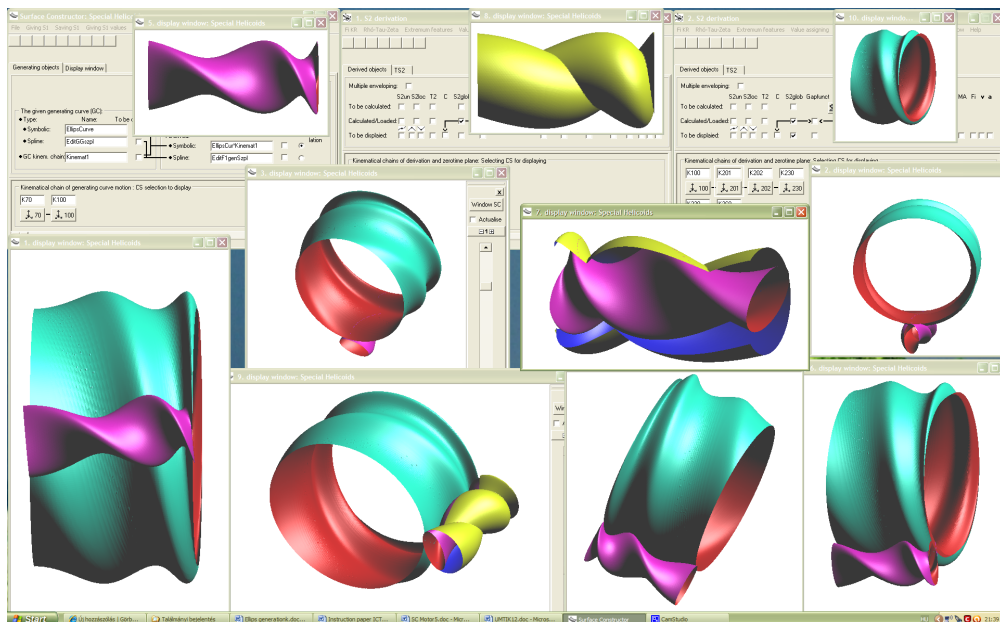
8. ábra.  $R=R(\Phi)$  függvények seregeként kialakuló felület

A konkrét köszörűkorong-felületre elvégzett ellenőrzés az adott köszörűgép beállítási adatak mellett mindenhol kedvező  $R=R(\Phi)$  függvényalakokat jelzett, ami a generált köszörűkoronggal történő köszörülés geometriai hibátlanóságát mutatta.

A számított köszörűkoronggal elvégzett megmunkálási szimulációt is mutatja az SC tervezőszoftverről készített pillanatkép a 9. ábrán.

### 3. Összefoglaló

A cikkben elemzésre került az újfajta forgó rotorral rendelkező erőgépek rotorjának köszörülése geometriai szempontból. A tapasztalat szerint a változó emelkedésű csavarfelülettel rendelkező rotorok is elvi pontossággal megköszörülhetők egy speciális eljárás és az ahhoz szükséges köszörűgép alkalmazásával. A köszörűkorong működő felületének generálásakor alámetszés- és elmetzsésmentes kialakítást céloztunk



9. ábra. Az SC tervezőrendszer a kompresszor és a köszörűkorong felületének modellezése közben

meg, melyet sikerült elérni. Az ellenőrzéshez az SC programba beépített  $R=R(\Phi)$  függvényvizsgálót alkalmaztuk.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatómunka a Miskolci Egyetem stratégiai kutatási területén működő Mechanikai és Logisztikai Kiválósági Központ keretében valósult meg.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dudás, I.: *Grinding possibilities of the conical worm of spiroid driving pairs*. Proc. microCAD'96 International Computer Science Conf., Miskolc, Hungary, sect. F, 1996. 33–38.
- [2] Dudás, L.: *Grinding machine, for grinding non-surface of revolution surfaces, especially conical and globoid worms*. Hungarian patent HU P9003803, 1992.
- [3] Dudás, L.: *Resolution of geometrical problems of contacting surfaces using the Reaching Model*. Thesis for Candidate of

Technical Science Degree, Hungarian Academy of Sciences, Budapest, 1993.

- [4] Dudás, L.: *Advanced software tool for modelling and simulation of new gearings*. Int. J. Des. Eng. vol. 3, 2010. 289–310.
- [5] Dudás, L.: *Gear investigations based on Surface Constructor kinematical modelling and simulation software*. Proc. UMTIK 2010 14th Int. Conf. Mach. Des. & Prod., Güzelyurt, T.R. Northern Cyprus, 731–742.
- [6] Dudás, L.: *Modelling and simulation of a novel worm gear drive having point-like contact*. Proc. TMCE 2010 Symp., Ancona, 685–698.
- [7] Lunin, S.: *Interactive visualization with parallel computing for gear modeling*. Letölthető: <http://www.zakgear.com/Parallel.html>, Letöltve: 2012.febr.19.
- [8] Lunin, S.: *New discoveries in WN gear geometry*. Letölthető: <http://www.zakgear.com/WN.html>, Letöltve 2012.febr.19.
- [9] Micro Europe Kft: *A Sokszögmegmunkálás élvonalában*. Letölthető: <http://www.microeurope.hu/indexsziv.html>, Letöltve 2012.febr.19.

- [10] Murrow, D., Giffin, R. G: *Axial flow positive displacement turbine*. U.S. Pat. 2009/0226336 A1
- [11] Stosic, N., Smith, I. K., Kovacevic, A:

*Opportunities for innovation with screw compressors*. Proc. IMechE, J. Proc. Mech. Eng., Letölthető: <http://www.staff.city.ac.uk/~ra601/oportsvi.pdf>, Letöltve 2012. febr.19.

## FÖLDRENGÉSI SZABVÁNYOK FEJLŐDÉSE ÉS ALKALMAZÁSA ERDÉLYBEN

### THE EVOLUTION AND PRACTICE OF SEISMIC CODES IN TRANSYLVANIA

Gobesz F. Zsongor<sup>1</sup>, Kegyes Csaba<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, Románia, 400020 Cluj-Napoca, C. Daicovicu u. 15, V. épület, III/305; Telefon / Fax: +40-264-401351, levelezési cím: [go@mecon.utcluj.ro](mailto:go@mecon.utcluj.ro)

<sup>2</sup>PIUS Építészeti, Mérnöki és Számítástechnikai Kft, Magyarország, 9024 Győr, Hunyadi u. 18; Telefon / Fax: +36-96-411568, levelezési cím: [kcs1@pius.hu](mailto:kcs1@pius.hu)

#### Abstract

In terms of seismic safety, the knowledge of the given field's seismicity is a fundamental issue. The earthquakes in the Carpathian Basin are known since 463, Transylvania is a part of this region. At the end of 1800's the researchers have discovered that in those places where an earthquake happened, the occurrence of another similar or stronger quake is very likely. The evolution of the seismic design codes during time is mainly determined by the technical-economic development. Knowing the history of standards and their application, the current requirements of seismic safety regulations and concepts can be understood and implemented in a better way.

**Keywords:** *seism, code, evolution, practice, Transylvania.*

#### Összefoglalás

A földrengés elleni védekezésben alapvető kérdés az adott terület szeizmicitásának ismerete. A Kárpát-medence földrengései 463-tól ismertek, Erdély egy része ennek a területnek. Az 1800-as évek végén a kutatók felismerték, hogy ahol egy földrengés volt, ott valószínű legalább olyan erősségű földrengés bekövetkezése. Az esztendő folyamán a földrengésméretezési szabványok alakulását főleg a műszaki-gazdasági fejlődés határozta meg. Ismerve a földrengési szabványok és alkalmazásaik történetét, jobban meg lehet érteni a jelenlegi fogalmakat és az érvényes előírások követelményeit, és hatékonyabban lehet őket alkalmazni.

**Kulcsszavak:** *földrengés, szabvány, fejlődés, alkalmazás, Erdély.*

#### 1. Bevezetés

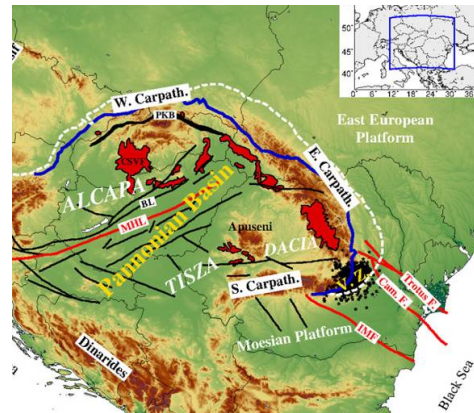
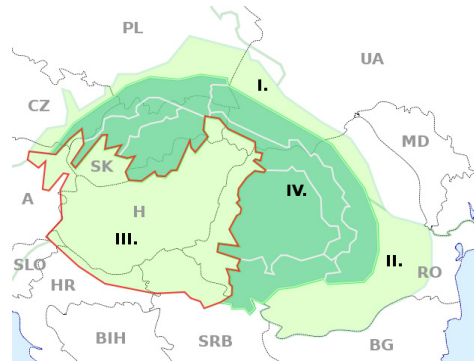
Erdély földrengés-veszélyeztetettsége szorosan összefügg a Kárpát-medence szeizmicitásával (**1. ábra**). A Kárpát-medence (helyenként Pannon-medencének is nevezik, bár ez utóbbi tulajdonképpen egy alegység) geológiailag a néhai Tethys óceán egyik üledékgyűjtő medencéje, melyből az alpi orogén fázis során kiemel-

kedtek a Kárpátok. Nyugatra a DK-Alpok, délre a Dinári-hegység, északra és keletre a Kárpátok hajlatai határolják. A medence-aljzat sávos, parkettaszerű szerkezete több lemezdarabból áll össze, melyek részben összeforrtak, és már inaktívak. Felépítésében elsősorban fiatalabb (neogén és kvarter) medenceüledékek vesznek részt, amelyekből mintegy szigetként állnak ki a túlnyomóan mezozós kőzetekből és neogén

vulkanitokból álló hegységek. A földtörténeti előzmény egyfelől a domborzati sajátosságok kialakulásáért felelős, másfelől viszont meghatározza azt a gazdag nyersanyagbázist, amellyel a Kárpát-medence rendelkezik. A só mellett jelentős érctelepek alakultak ki. Első ütemben a Belgrád–Temesvár–Kolozsvár vonalban, azután Pécs–Debrecen illetve Zagráb–Miskolc sávban, majd a szinorogén fázis ugyanezt a mozgás irányt követte Belgrád–Nagyvárad és Balaton–Darnó vonalban. Ezek a jura – alsó kréta idejére tehető, összefüggésben a Tethys felnyílásával, a húzóerők és a tértágulás okozta árkos beszakadások és térszín-süllyedés miatt. A korábbi, triász vulkanizmust a diabáz, gabbró és kvarcporfir előfordulása jelzi.

A kárpáti vulkáni ív tagjai nyugatról kelet felé egyre fiatalodnak, nagyjából hasonlóan a forrópontos vulkanizmushoz. Nem a lemez forrópont feletti mozgása okozta, hanem a felszakadó törésvonalak aktivitásának eltolódása. Ezt a vulkanizmus jellege igazolja: nem híg bazaltos, kiömléses tevékenység folyik, amely pajzsvulkánokat hoz létre, hanem andezites összetételű, robbanásos kitörést produkáló. A Keleti-Kárpátokban a mai napig megfigyelhetők egyes vulkáni utóműködések, gáz- és gőzkifúvások, illetve szénasavas borvízfeltörések. A középhegységi területeken pedig sok helyen magas a geotermikus energia szintje, amely hévizes feltörésekkel jár együtt. A pliocénben a Paratethyst szegélyező „frissen” kiemelkedett hegyvidék szolgáltatotta a Dés–Brassó, Eperjes–Radna vonalakon, valamint a Felvidék nagy részén található nemesfémbányák készleteit létrehozó vulkanizmust.

A földrengések általában a törésvonalak, azaz a nagyobb lemezhatárok mentén robbannak ki. A Kárpát-medence szeizmicitása mérsékeltnek tekinthető a széleihez képest, az Erdélyre jellemző földrengések pedig sekély és közepes fészekmélységből (15–200 km) törnek fel.



1. ábra. Felső: a Kárpát-medence (I. – Kárpátalja, II. – Román alföld, III. – Pannón-medence, IV. – Kárpátok beltere) [4]. Alsó: a Kárpát-medence felszíni szerkezete (pirossal a vulkánitos réteg, MHL – a közép-magyar vonal, IMF – az bel-moésiai törésvonal, Cam.F. – Camena törés, V.Z. - Vráncsa) [11].

## 2. Történelmi áttekintés

Az európai földrengések mérését már az ókori görögök is megkísérelték. Az egyik legrégebbi skálát Jacopo Gastaldi piemonti térképrajzoló dolgozta ki az 1594-es Nizza környéki földrengéskor [12]. Eleinte négy fokozatot jeleztek, de a XIX. században már tíz fokozatú skálát használtak. A Mercalli-féle 10 fokú skálát Cancani 1904-ben 12 fokúra bővítette, figyelembe véve a talajmozgást (gyorsulást) is az intenzitás mel-

lett. Sieberg ezt tökéletesítette az épületekre mért hatások osztályozásával, és így lett 1917-ben nemzetközi mérceként elfogadva.

A Kárpát-medencében a földregések összeírása tulajdonképp Grossinger János komáromi jezsuita 1783-ban megjelent munkájával kezdődött. Őt követte Kitaibel Pál és Tomtsányi Ádám 1814-ben megjelent munkája az 1810-es móri földregésről (az első izoszeiszta térképpel), majd 1858-ban Kornhuber, Schmidt és Hunfalvy, illetve 1869-be Jeitteles dolgozatai a zsolnai földregésről. Az 1880-as erdélyi földregésről Koch és Schuster készített tanulmányt 1881-ben, míg a szintén az évi zágrábi földregést Hantken, Torbar (1882) és Wahner (1883) értékelték tanulmányaikban. Edward Suess 1897-ben jelentette meg monográfiáját az 1895-ös ljubljanai földregésről.

Egy terület szeizmicitásának, földregés-veszélyességének vizsgálata a múltban keletkezett földregések számbevételét jelenti. A Kárpát-medence környezetében a történelem során változó határokkal elhelyezkedő országok közül Magyarország az az állam, mely a történelmi földregések legteljesebb Kárpát-medencei adatbázisát elsőként kiépíti. A Magyarhoni Földtani Társulat 1881-ben létrehozta a Földregési Bizottságot, melynek kiemelkedő tagjai Kövesligethy Radó és Schafarzik Ferenc hozzájárultak, hogy 1914-ig Magyarország kiépítette azt az állomáshálózatot, mellyel a szeizmológiai kutatás élvonalába tartozott. Ezek az állomások: Budapest, Kolozsvár, Temesvár, Szeged, Belgrád, Pécs, Zágráb, Fiume, Kalocsa, Kecskemét, Ógyalla, Ungvár helységekben felállított mérőműszerekből álltak.

Az erdélyi földregések adatai több katalógusban is szerepelnek. A négy legismertebb magyar földregés-katalógus (Réthly, 1952; Csomor és Kiss, 1962; Zsíros, Mónus és Tóth, 1988; Zsíros, 2000) közül a Zsíros Tiboré a legjelentősebb, mert 20 478 bejegyzést tartalmaz a 455–1995-ös évek idő-

szakából szinte a teljes Kárpát-medencére. E 20 478 földregés közül 3751-nek ismert a fészekmélysége, melynek a meghatározását a Kövesligethy-féle képlet adja:

$$I_0 - I_k = 3 \cdot \log(D_k / h) + 3 \cdot \alpha \cdot \log(e) \cdot (D_k - h) \quad (1)$$

$$D_k^2 = R_k^2 + h^2 \quad (2)$$

A fenti képletekben  $I_0$  az epicentrális intenzitás,  $I_k$  az intenzitás értéke a  $D_k$  hipocentrális távolságban,  $R_k$  az izoszeiszta sugárértéke,  $h$  a fészekmélység és  $\alpha$  az abszorpciós együttható. A magnitúdó érték a rengések olyan méret szerinti osztályozása, mely a földregéshullámok műszeres regisztrátumai alapján történik. A Kárpát-medencében, így Erdélyben is, az Ambraseys által felállított gyorsulás-gyengülési modellt használták az adott helyen a számításba vehető gyorsulás becslésére:

$$\log(a_h) = -1,39 + 0,266 \cdot M_S - 0,922 \log(D) \quad (3)$$

$M_S$  a felületi, főleg Rayleigh-hullámból meghatározott magnitúdó;  $M_B$  a kompressziós (primer) térhullámból meghatározott magnitúdó;  $M_L$  a kéreg-, azaz Love-hullámból meghatározott (úgynevezett Richter) magnitúdó;  $M_D$  pedig a szeizmogramon mért időtartamból becsült magnitúdó. Ezek között a következő összefüggések léteznek [13]:

$$M_S = 0,97(\pm 0,05)M_B + 0,04(\pm 0,24) \quad (4)$$

$$M_S = 0,86(\pm 0,06)M_L + 0,57(\pm 0,27) \quad (5)$$

$$M_S = 1,21(\pm 0,11)M_D - 1,23(\pm 0,52) \quad (6)$$

$$M_B = 0,59(\pm 0,05)M_L + 1,75(\pm 0,22) \quad (7)$$

$$M_B = 0,90(\pm 0,08)M_D + 0,20(\pm 0,32) \quad (8)$$

$$M_L = 1,14(\pm 0,02)M_D - 0,69(\pm 0,06) \quad (9)$$



Az  $M$  átlagos műszeres magnitúdó a felszabadult energiát jellemzi, és függ az  $I_0$  epicentrális intenzitástól, valamint a  $h$  fészkmélységtől:

$$M = a \cdot I_0 + b \cdot \log(h) + c. \quad (10)$$

Amennyiben a Kárpát-medencét a 44.0N–50.0N és 13.0E–28.0E földrajzi koordináták közé eső területként értjük, akkor elfogadott az alábbi:

$$M = 0,68(\pm 0,02) \cdot I_0 + 0,96(\pm 0,07) \cdot \log(h) - 0,90(\pm 0,10). \quad (11)$$

Háromszék–Vráncafsóldtet a 44.5N–46.5N és 25.5E–28.0E földrajzi koordináták közötti területre vetítve, a magnitúdó értéke:

$$M = 0,52(\pm 0,02) \cdot I_0 + 0,55(\pm 0,11) \cdot \log(h) + 1,18(\pm 0,20). \quad (12)$$

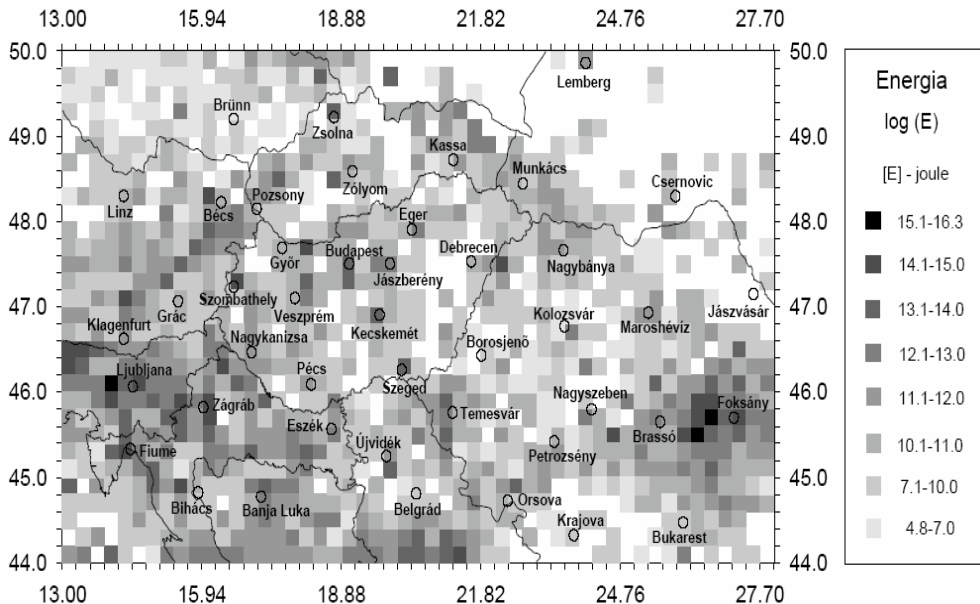
Egy térségben a várható földregések száma egyenes arányban van a magnitúdó értékükkel (Gutenberg–Richter-összefüggés):

$$\log N = a + b \cdot M. \quad (13)$$

A földregések által felszabadult rugalmas energia becslését a Gutenberg–Richter-összefüggéssel lehet elvégezni, ahol az  $E$ -vel jelölt energia Joule-ban értendő:

$$\log(E) = 1,5 \cdot M + 4,8. \quad (14)$$

A Kárpát-medence földregésveszélyességét a Cornell (1968) által kidolgozott módszerrel határozták meg, mely figyelembe veszi a várható földregések forrásterületeit, a tapasztalt gyakoriságot, a veszélyeztetettségi paramétereket (csúcsgyorsulás, földregés-intenzitás) és azok távolság-szerinti gyengülését, illetve az ismert forrásterületeken az adott gyakorisággal keletkező földregések hatásának számítását az adott gyengülés figyelembevételével.



2. ábra. A földregések által felszabadult energia területi eloszlása a Kárpát-medencében [13]

**1. táblázat.** Válogatás az 1100–1995 között észlelt legnagyobb magnitúdójú erdélyi földrengésekből [13].

Dátum	Epicentrum koord.	$M$	$I_0$	Helység
1196.02.13	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1230.05.10	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1327	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1446.10.10	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1471.08.29	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1516.11.24	45,70N; 26,60E	6,9	9,0	Háromszéki-havasok
1545.07.19	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1569.08.17	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1590.08.10	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Háromszéki-havasok
1595.04.21	45,60N; 26,00E	6,4	8,0	Barcaság
1604.05.03	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1605.12.24	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1606.01.13	45,70N; 26,60E	6,2	7,5	Háromszéki-havasok
1620.11.08	45,80N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1701.06.12	45,70N; 26,60E	6,2	7,5	Vrâncsaföld
1738.06.11	45,70N; 26,60E	6,7	8,5	Vrâncsaföld
1790.04.06	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1793.12.08	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Háromszéki-havasok
1802.10.26	45,70N; 26,60E	7,2	9,5	Háromszéki-havasok
1829.11.26	45,70N; 26,60E	6,4	8,0	Vrâncsaföld
1838.01.23	45,70N; 26,60E	6,9	9,0	Háromszéki-havasok
1868.11.13	45,70N; 26,60E	6,2	7,5	Háromszéki-havasok
1903.09.13	45,12N; 26,54E	6,0	6,5	Háromszéki-havasok
1908.10.06	45,50N; 26,50E	6,8	8,0	Háromszéki-havasok
1929.11.01	45,90N; 26,50E	6,2	6,5	Háromszék
1934.03.29	45,80N; 26,50E	6,6	8,0	Vrâncsaföld
1940.10.22	45,76N; 26,42E	6,2	7,0	Háromszék
1940.11.10	45,77N; 26,73E	7,3	9,0	Vrâncsaföld
1945.09.07	45,90N; 26,50E	6,5	7,5	Vrâncsaföld
1945.12.09	45,70N; 26,80E	6,1	7,0	Vrâncsaföld
1977.03.04	45,77N; 26,76E	7,2	9,0	Vrâncsaföld *
1986.08.30	45,54N; 26,31E	6,9	8,0	Háromszéki-havasok
1990.05.30	45,85N; 26,66E	6,6	8,0	Háromszéki-havasok
1990.05.31	45,81N; 26,77E	6,1	–	Vrâncsaföld

\* Jelentős károkat okozott Bukarestben.

### 3. A méretezési előírások fejlődése

A földrengések kutatásaival gyakran egy időben készítették el azokat a méretezési módszereket, melyek gyűjtőnéven konvencionális statikus eljárások címen szere-

pelnek. Az 1800-as évek végén minden kutató felismerte, hogy ahol volt földrengés, ott valószínű majd legalább olyan erősségű földrengés bekövetkezése. Simon [9] idézi Sieberg számítását is, annak a kutatónak eljárását, akinek nevéhez nemcsak az intenzitás skála kapcsolható (Mercalli-

Cancani–Sieberg-féle intenzitási skála), hanem az első rázóasztal is. Ezen a rázóasztalon felépített falazott szerkezet modellje bizonyította elképzeléseinek helyességét, miszerint „a négyzetes oszlop alakú test eltörik”, ha az  $a_1$  gyorsulás:

$$a_1 = \frac{J \cdot g \cdot Z}{b \cdot h \cdot G \cdot P} \quad (15)$$

$J$  a tehetetlenségi momentum,  $g$  a nehézségi gyorsulás,  $Z$  a húzószilárdság,  $b$  az eltört felület oldalhosszának a fele,  $h$  a letört rész súlypontjának a magassága a törési felület felett,  $G$  a test térfogategységének súlya,  $P$  pedig a letört rész térfogata. A szeizmikus terhet úgy számították, hogy az épület függőleges tengelye egyenes marad, függetlenül a rezgésektől és a merevségtől. Az épület súlyát egyenletesen megoszlnak tekintették, akár csak a gyorsulást:

$$H_i(S_i) = \frac{Q_i}{g} \cdot a_i = c \cdot Q_i \quad (16)$$

Kétféle tehetetlenségi erőt különböztettek meg ( $S = k \cdot P$ , ahol,  $k$  a szeizmikus tényező,  $P$  a súlyterhelés): hosszú periódusú rezgések, illetve rövid periódusú rezgések szeizmikus tehetetlenségi erőit. A hosszú periódusú rezgések tehetetlenségi erőit az épületek és létesítmények egészének és részeinek (épületvázak, falak, oszlopok, tornyok, gyárkémények, világítótornyok, támfalak) szilárdsági és állékonysági számításai során vették figyelembe (épület elemeinek önsúlya, földemekre háruló terhelés, daruk önsúlya, hóterhelés stb.). A rövid periódusú rezgések szeizmikus tehetlenségi erőit csak a merev lehorgonyzások (oszlopok, rácsostartók, gerendák lehorgonyzásánál) nyírásra történő számításakor vették figyelembe. A más erőkkel való terhelésekkel együtt fellépő szeizmikus erők a különleges behatásokhoz tartoztak, ezért a szeizmikus erőkre való számításakor a legkisebb biztonsági tényezőt vették figyelembe.

A számítások a földrengés intenzitásához voltak kötve.

A dinamikus méretezési elmélet később jelent meg, ez a szemlélet figyelembe veszi a talajmozgást (gyorsulás, frekvencia), az altalaj minőségét, a szerkezet dinamikus választát (merevség, szilárdság, csillapítás, duktilitás). A talajgyorsulás nagyságát az intenzitásokhoz kötötték (ma az Európai Makroszeizmikus Skála érvényes, melyet összehangoltak az EC8-cal). A talajmozgást a szeizmogram írja le, amely a talaj-elmozdulást ábrázolja az idő függvényében:  $1gal = 1 \text{ cm/s}^2$ . A szeizmogram általában szabálytalan diagram, bár van bizonyos periodicitása. Bármelyik földrengés út-, sebesség- és gyorsulási diagramját vizsgáljuk, mindig meghatározható egy periódusidő. A földrengés bekövetkezési valószínűsége, magnitúdója, intenzitása mind a geológiai adottságoktól függ. A méretezéshez szükséges gyorsulást a szeizmológiai kutatások által összeállított valószínűségi térképek adják. Az altalaj minőségi hatását befolyásolja a felső laza rétegek által jelentkező szűrőhatás, mely a saját frekvenciatartományt növeli, az ettől távol lévőt csökkenti. Ismert, hogy a felső néhány tíz méteres talaj a felszínen kialakuló gyorsulásokat jelentősen módosítja. A helyi hatás figyelembevételéhez szükséges a laza rétegek transzverzális sebességének függvényében az úgy nevezett helyi módosító tényező meghatározása. Ez lebontható településekre vagy nagyobb területre, mikro- és makrozónákra.

Az építménynek a földrengés következtében fellépő mozgását, a szerkezet választát döntő módon befolyásolja a saját frekvenciája és a csillapítás. Egy szerkezet sajátfrekvenciája függ a tömegeloszlástól és a merevségi tulajdonságoktól. A több szabadságfokú rendszer esetében mindegyik saját rezgés alak más-más kritikus csillapításának a hatékonysága is függ a sajátrezgés alakjától. Az épületek méretezése azon az elven alapszik, hogy feltételezték, hogy a szerke-

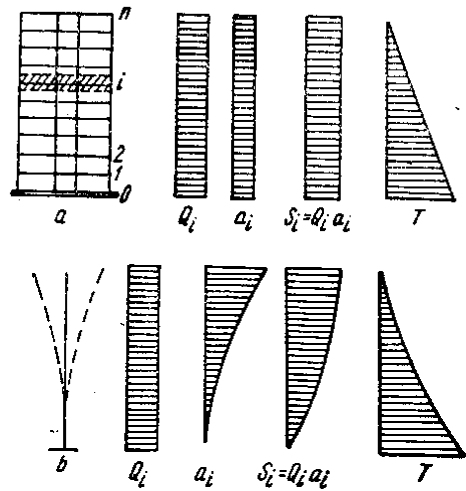
zet rugalmasan viselkedik, a sajátrezgések ortogonálisak, így a rengésnek az egyes sajátrezgés-alakokra gyakorolt hatását külön-külön, egymástól függetlenül vizsgálhatták. A földrengés az épületet, építményt alsó részének a talajjal érintkező felületén gerjeszti. A dinamikus elmélet fejlődése és az El Centro-i földrengés feldolgozása lehetőséget adott egyszerűsített számításához. A szerkezet maximális gyorsulása függ a szerkezet sajátrezgésének periódusidejétől, a maximális talajgyorsulástól, a szerkezeti csillapítástól, duktilitásától és az altalaj tulajdonságától. A szeizmogramra különböző válaszokat jelentő görbesereget burkoló görbe (az úgynevezett  $\beta = a_{\max}^{\text{szerk}} / a_{\max}^{\text{talaj}}$  görbe), mely a számítások egyszerűsítéséhez vezetett elősegítette, hogy a kapott maximális szerkezetgyorsulásból meghatározható legyen az egyes tömegpontok gyorsulása, az  $i$  sajátrezgés-alak szerint:

$$\eta_{ik} = \frac{x_{ik} \cdot \sum_{k=1}^n Q_k \cdot x_{ik}}{\sum_{k=1}^n Q_k \cdot x_{ik}^2} \quad (17)$$

Ez az eljárás a modális analízis, azaz minden rezgésmódra meghatározható a sajátvektor alakja. A kezdeti statikus elméletet felváltó dinamikus szemléletből, vagyis az alakváltozási formát figyelembe vevő megoldásokból születtek azok a szabványok, melyek az 1970-es éveket jelentik.

A fellelhető források szerint úgy tűnik, hogy az 1940. november 10. -i nagy földrengésig Romániában nem volt hivatalos méretezési előírás. Addig inkább olasz, német, angol vagy francia előírások alapján méreteztek szeizmikus hatásokra, főleg statikus számításokat végezve. Az első, az 1941-ben megjelent (Közmunkák és Távközlési Minisztérium által kiadott) 84351/1941.12.30 jelölésű határozat volt „Ideiglenes előírás a földrengés okozta károsodás megelőzésére és a károsodott épü-

letek visszaállítására” címmel. Ezt követte az „Útmutató földrengések okozta károk megelőzésére” (Közmunkák és Távközlési Minisztérium 60173/1945.05.19 számú előírása, melyet a Legfelső Műszaki Tanács is jóváhagyott) című anyag. Érdekes és említésre méltó, hogy 1958-ban elkészült egy szabvány (STAS 2923-58), ami nem került jogerőre, és így alkalmazva sem volt. Ez a szabvány jóval bővebb volt, mint a későbbi P.13-as hivatalos előírás. Időközben ismert volt az amerikai (Californian Code) és a szovjet előírás (SN 8-50) is.



3. ábra. Egyenletes tömegeloszlás és gyorsulás a P.13 előtt (a) és a P.13-63-ban sze-replő módosítás (b)

A P.13-63 1963. július 18. -án lett közzétéve. Ez volt az első „dinamikus” számításra vonatkozó hivatalos előírás melyben figyelembe vették a zóna szeizmikus fokát és az épület fontosságát is. A szeizmikus erők várható nagyságát az intenzitásokhoz kötötték (ezt a STAS 3684-63 előírás tartalmazta) és az ország térképén feltüntették a 7., 8. és 9. intenzitású területet. A számításba vett szeizmikus erő a következőképp volt számítható (ismerve a  $K_s$  együtthatót, ami a szeizmikus övezet függvénye, a  $\beta$

dinamikai jellemzőjét a szerkezetnek, ami a  $T$  sajátrezgési periódustól és az alapozási rétegtől függ, meg a  $\psi$  csillapítási együtt-

$$\text{hatót): } S = c \cdot Q = K_S \cdot \beta \cdot \varepsilon \cdot \psi \cdot Q = \sum_i^n S_k,$$

$$\text{ahol } c = K_S \cdot \beta \cdot \varepsilon \cdot \psi \quad (18)$$

Az ekvivalenciát jelentő (a több szabadságfokú épületszerkezet megfelelősége az egy szabadságfokúval)  $\varepsilon$  együtttható az alábbi képlettel volt számítható (a gravitációs terhek számításánál figyelembe kellett venni a terhelési tényezőt is, mely táblázatban volt megadva):

$$\varepsilon = \frac{\left[ \sum_1^n Q_k \cdot u_k \right]^2}{\left[ \sum_1^c Q_k \right] \cdot \left[ \sum_1^n Q_k \cdot u_k^2 \right]} \quad (19)$$

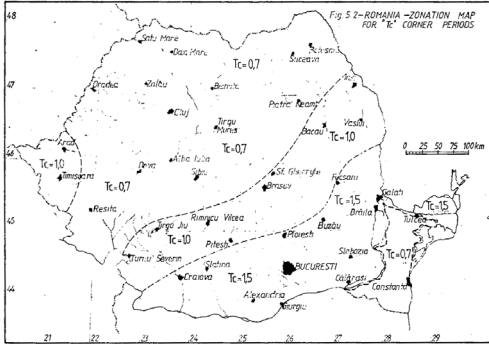
A földrengésből ébredő vízszintesen működő alapnyíróerőt a tömegekkel arányosan kellett szétosztani. Az egyszerűsített számításnál szükséges kezdeti feltétel az volt, hogy a (18)-as képletben szereplő  $c$  globális szeizmikus együtttható értéke ne legyen 0,02 alatt. A szerkezet főbb tehervisselő elemeinek ellenőrzése a földrengésből ébredő függőleges erőkre szintén elő volt írva, ehhez a szabvány százalékos növekményeket adott. A nem szerkezeti elemeket is ellenőrizni kellett földrengési hatásokra, növekménnyel meghatározott saját súlyt vevé figyelembe.

Hat év után került sor az előírás módosítására, P.13-70 jelöléssel. Ebben, a legfontosabb a  $K_S$  intenzitás függvényű együtttható és a  $\beta$  dinamikai jellemzők változása volt, bevezetve egy új (az alapozási réteget jellemző) együttthatót is az intenzitászónák gyarapítása mellett. Az  $\varepsilon$  ekvivalencia együttthatónál figyelembe lehetett venni a magasabb rezgésformákat, de az első rezgémódnál szintén be kellett tartani a 0,02-es határértéket a  $c$  globális együttthatónál.

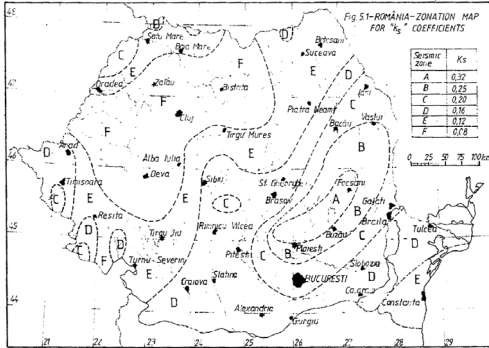
Magas, hajlékony szerkezetek (önálló képmények, toronyszerű építmények) esetében legalább három rezgésformát kellett figyelembe venni. Az előírás egyik legfontosabbnak bizonyult része az volt, amelyik a szomszédos építmények közötti hézag számítását írta elő (hogy földrengés hatására keletkező kilengések folyamán ne ütközzenek). Az 1977. március 4. -i földrengés tanulságai új szemlélethez és új előírásokhoz vezettek. Az 1940. novemberi és 1977. márciusi földrengések tanulmányozása vezetett az újabb szeizmikus zónák körülhatárolásához Romániában (izo-szeiszta térkép a STAS 1 1100/1-77 szabványban), ezek a tapasztalatok a későbbi előírásokban is hasznosítva lettek.

A P.100 bevezetésével 1978-ban (P.100-78) sok minden megváltozott. Igaz, hogy a fontossági osztálybesorolás nem változott, ellenben új intenzitási zónákat és ezeknek megfelelő együttthatókat iktatott be, változtatva a rezgémódokon is. A szomszédos épületek közötti hézag számítása is figyelembe vette a magasabb rezgémódokat. Az emeleti alakváltozás (relatív kihajlás) korlátozását a szintmagasság 1/200-ad, illetve 1/150-ed részében állapították meg. A P.100-81 lényegileg csupán a 6. zónának megfelelő  $k_s$  tényezőt módosította a P.100-78-hoz képest. Kilenc év után jelent meg egy modernbb P.100 (P.100-90), melyben a földrengések átlagos visszatérési intervallumát (románul IMR) 50 évre vették.

A P.100-90 és a P.100-92 alig különbözött egymástól, mindkettőben két térkép volt: az egyik a  $T_c$  (0,7s, 1,5s és 1,5s) sarokperiódusok segítségével a helyi hatásokat vitte be a számításokba, a másik pedig az új (A, B, C, D, E, F) védettségi zónákra előírt  $K_s$  szeizmikus intenzitási együttthatót (0,32 az A zónában; 0,25 a B; 0,20 a C; 0,16 a D; 0,12 az E és 0,08 az F zónában) – **4.b. ábra.**

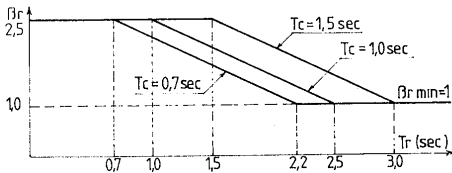


a.

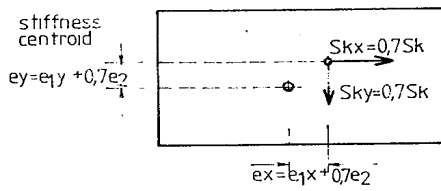


b.

4. ábra. A P.100-90-ben megjelent új térképek (a. A jellemző  $T_c$  sarokperiódusok; b. A védettségi zónákhoz tartozó  $K_s$  együtthatók) [7].



a.



b.

5. ábra. A P.100-90-ben megjelent  $\beta$  görbe (a), valamint a járulékos külpontosság figyelembevétele (b) [7].

A  $\beta$  dinamikus tényező is át lett alakítva, a görbe alakja is megváltozott (5.a. ábra). A rezgésmódnak megfelelő  $\varepsilon_i$  alakú tényezőt a tömeg és a lengésforma függvényében kellett számítani. A merevségi és tömegközponatok eltérése csavaró rezgéshez vezet, ha mindkét fő irányban egyidejűnek tekintik a külpontosságokat, akkor a földrengésből származó alap nyíróerőket csökkenteni lehet. A szerkezet torzulását okozó csavarónyomatékok járulékos külpontossággal növelt külpontosságból lehet meghatározni ( $M = S \cdot e$ , ahol  $e = e_1 \pm e_2$ ,  $e_1$  a merevségi és a tömegközponat közötti távolság,  $e_2$  pedig a járulékos külpontosság, 5.b. ábra). A csillapítási tényező is sokkal változatosabb lett, a szerkezet felépítésétől és összetételétől függően.

Az európai normák megjelenése után lett kiadva a P100-1/2004, majd a jelenlegi P100-1/2006 (a SR EN 1998-1:2004 alapján), mely eredetileg egy átmeneti szabályozásként volt tekintve az Eurocode 8-as 2010-ben bekövetkező kötelező alkalmazásáig. Érdekes, hogy, bár a talajosztályozás az EC8-nak megfelelő volt, az épületfontossági osztályok a régebbi P.100-as szerint maradtak. A sarokperiódus ellenőrzési periódus lett, és új makrozónás térképek lettek szerkesztve. A szeizmikus szerkezeti vizsgálat a várható legnagyobb talajgyorsulást vette alapul, nem a földrengés intenzitását. Ennek megfelelően két újabb térképet tartalmaz a P100-1/2006, egy  $a_g R$  referenciagyorsulási térképet (100 éves átlag visszatérési intervallumra), illetve egy periódusellenőrzési térképet (6. ábra). A szabvány háromféle  $\beta$  görbét ír elő a három védelmi zónára, illetve egy negyedik fajtát a Bánát környéki sekély fészekmélységű földrengési területekre (ezek a satírozott részek az 6.a. ábrán). Ezek a dinamikus tényezők jellemzik a rugalmas válaszspektrum számítását:

$$S_e(T) = a_g \cdot \beta(T). \quad (20)$$

ahol a  $\beta(T)$  képlete a szerkezet kiszámolt periódusától függ, és ennek a  $T_B$ ,  $T_C$  és  $T_D$ -hez való viszonyulásától, így mindegyik  $\beta$  görbe négy részből áll. A talaj rugalmas elmozdulását a

$$S_{De}(T) = S_e(T) \cdot \left[ \frac{T}{2 \cdot \pi} \right]^2 \quad (21)$$

képlettel számolják a rugalmas válaszspektrumból, a földrengés okozta függőleges rugalmas rezgések értékét pedig az ellenőrzési periódus értékek módosítják, miszerint  $T_{Bv} = 0,1 \cdot T_{Cv}$ , ahol a  $T_{Cv} = 0,45 \cdot T_C$ , illetve  $T_{Dv} = T_D$  [10]. A függőleges rugalmas válaszspektrum értéke ennek megfelelően:  $S_{ve}(T) = a_{vg} \cdot \beta_v(T)$  lesz és az  $a_{vg} = 0,7 \cdot a_g$  [10]. Az előbbieket értelmében lényegesen módosult a tervezési válaszspektrum is, amit az alábbi képletekkel lehet kiszámítani (ahol  $q$  a viselkedési együttható, ami főleg a szerkezet duktilitásától függ):

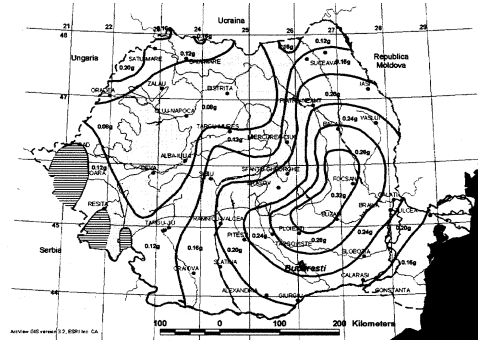
$$S_d(T) = a_g \cdot \left[ 1 + \frac{\frac{\beta_0}{T_B} - 1}{\frac{q}{T_B}} \cdot T \right],$$

amikor  $0 < T \leq T_B$  (22)

$$S_d(T) = a_g \cdot \frac{\beta(T)}{q}$$

amikor  $T > T_B$  . (23)

A P100-1/2006 szerint az épületek szeizmikus védelmét a tervezési, kivitelezési és hasznosítási előírások betartásával lehet és kell megoldani, és nem az egyedi helyzetekben jelentkező különös következményekből kiindulva. Így az EC8 bevezetésével és a nemzeti alkalmazási dokumentum (SR EN 1998-1/NA) elkészítésével nem szűnt meg a P100-1/2006 hatályossága, hanem továbbra is kötelező maradt a használata.



a)



b)

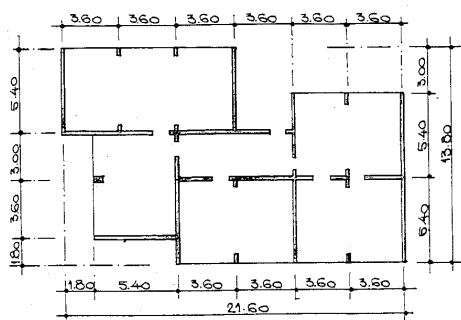
6. ábra. A P100-1/2006-ban megjelent  $a_gR$  (PGA) térkép (a), valamint az ellenőrzési periódus zónái (b).

2013. augusztus 8. -án lett jóvá hagyva a P100 legújabb változata (P100-1/2013), ami 2014. január elsejétől lesz hatályos [8]. Ez a szabvány még több újdonságot vezet be, a talajgyorsulásoknál figyelembe vett ÁVI (IMR) 225 évre lett emelve, a magas (DCH) és közepes (DCM) duktilitású osztályok mellé bevezeti az alacsonyt (DCL) is, előírva a kimondott helyi duktilitás ellenőrzését (elfordulászámítással) rudakként, illetve bevezet egy  $\Omega$  hajlékonysági tényezőt, ami (még) nem szerepel az európai EC8-as szabványban.

#### 4. Számítási példa és következtetések

A szabványfejlődés egyszerű szemléltetéséhez egy 1970-ben tervezett ötszintes lakóház szerkezetét választottuk, mely az 1977-es földregést minden károsodás nélkül átvészelte. Az épület cellaszerkezetes, ahol a öntött vasbeton falak, pillérek és gerendák alkotják a szerkezetet. A terv szerint előre gyártott vasbeton födémelemeket használtak. Az alaprajz is mutatja, és a számítások is bizonyították, hogy az épületen csavaró hatást kelt a külpontosság miatt a földregés. A kiszámolt önrezgési módok periódusai a **2. táblázat**ban vannak feltüntetve, mint látható, az  $X$  irányú periódusok a jelentősebbek. Elhelyezésként a Szemerja negyedét választottuk Sepsiszentgyörgyön. A különféle szabványok szerint számított globális szeizmikus együtthatók szintén a **2. táblázat**ban vannak feltüntetve a könnyebb öszvetésért, a három lengésalak szerint.

Az újabb szabványok alkalmazásához már a talajgyorsulás referenciaértékét kell figyelembe venni. Az EC8 (SR EN 1998-1:2004) illetve a P100-1/2006 alkalmazása eltér a régebbi szabványok előírásaitól, ezért az ezek alkalmazásából kapott értéket nem foglaltuk táblázatba.



7. ábra. A példaként számolt lakóház alaprajzának vázlatja.

A Sepsiszentgyörgynek megfelelő talajgyorsulás referenciaértéke  $0,20g$  a térkép szerint (ÁVI = 100 év). Erdélyre az  $a_{g(475\text{év})} / a_{g(100\text{év})} = 1,45$  érvényes, így a tényleges talajgyorsulás értéke  $2,8449 m/s^2$  lesz. Az  $X$  irányban számolt rugalmas válaszspektrum globális szeizmikus együtthatója az első három lengésalakra  $0,473$ ;  $0,184$ ; illetve  $0,102$  lesz, összesítve  $0,518$  (mivel  $\eta = 0,8165$ ). Ha ezeket az értékeket elosztjuk a  $q$  viselkedési tényezővel (ami DCM esetén  $3,00$  lesz), megkapjuk a tervezési válaszspektrum  $X$  irányban érvényes globális szeizmikus együtthatóit:  $0,193$ ;  $0,078$  és  $0,054$  az első három lengésalakra, összesítve pedig  $0,215$  lesz. A fenti értékek természetesen más olyan helységek esetében is érvényesek, ahol a talajgyorsulás referenciaértéke és az ellenőrzési periódus megegyezik a Sepsiszentgyörgyével ( $a_g R = 0,20g$  és  $Z_I: T_C = 0,7s$ ).

Könnyen észrevehető, hogy a globális szeizmikus együttható értéke (ami a földregési terheléssel egyenesen arányos) csökkenő tendenciát mutatott a P.13-63-as szabványtól a P.100-78-as szabványig. Ez azt jelenti, hogy az illető periódusban a műszaki-gazdasági fejlődés a szerkezetek kisebb anyagbefektetését ítélte fontosabbnak (a pénzmegtakarítást helyezte előtérbe) a szeizmikus kockázattal szemben. Ezt a szemléletet felborította az 1977-es földregés tanulsága, ezért mutatnak növekvő tendenciát a globális szeizmikus együttható értékei a P.100-78-as szabványtól napjaink felé. A túlzott kockázatvállalás tehát nem bizonyult gazdaságosnak. A jelenlegi P100-1/2006 alkalmazása is szigorúbb keretet teremt az EC8-hoz képest, és a soron következő P100-1/2013 még nagyobb szeizmikus biztonságot ígér.



2. táblázat. A lakóház önrezgési periódusai a főtengelyek szerint, valamint a régi szabványok szerint kiszámított globális szeizmikus együttható értékei

Lengésforma Tengely- irány $T [s]$	1			2			3		
	$X$	$Y$	$\theta$	$X$	$Y$	$\theta$	$X$	$Y$	$\theta$
Szabvány:	0,345	0,212	0,148	0,065	0,052	0,041	0,032	0,026	0,024
	A globális szeizmikus együtthatók értéke:								
P.13-63	0,0738			0,0144			0,0063		
P.13-70	0,054			0,0106			0,0046		
P.100-78	0,0736			0,0144			0,0063		
P.100-81	0,0775			0,0144			0,0063		
P.100-90	0,082			0,016			0,007		

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] ASRO: SR EN 1998-1:2006, Eurocod 8: *Proiectarea structurilor pentru rezistența la cutremur. Partea 1: Reguli generale, acțiuni seismice și reguli pentru clădiri*. Asociația de Standardizare din România, București, 2006.
- [2] CSEAL – MCInd: *Normativ pentru proiectarea antisismică a structurilor clădirilor de locuit și social-culturale*. P-13-63. București, 1963.
- [3] CSEAL – MCInd: *Normativ pentru proiectarea antisismică a structurilor clădirilor de locuit și social-culturale*. P-13-70. București, 1970.
- [4] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pannonian\\_Basin.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Pannonian_Basin.svg)
- [5] ICCPDC: *Normativ pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*. P-100-78. București, 1978.
- [6] ICCPDC: *Normativ pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*. P-100-81. București, 1981.
- [7] MLPAT: *Normativ pentru proiectarea antisismică a construcțiilor de locuințe, social-culturale, agrozootehnice și industriale*. P-100-90. București, 1990.
- [8] MDRAP: *ORDIN MDRAP nr. 2465/08.08.2013 privind aprobarea reglementării tehnice „Cod de proiectare seismică - Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri”*, indicativ P 100 - 1/2013. ([http://www.mdr.ro/userfiles/rt\\_OMDRAP%202465.pdf](http://www.mdr.ro/userfiles/rt_OMDRAP%202465.pdf)).
- [9] Simon B.: *Földregések*. Magyar Királyi Tudományos Társaság. Budapest, 1943.
- [10] UTCB: *Cod de proiectare seismică – Partea I – Prevederi de proiectare pentru clădiri, P100-1/2006*. Universitatea Tehnică de Construcții București, București, 2006.
- [11] Y. Ren et al.: *Upper mantle structures beneath the Carpathian–Pannonian region: Implications for the geodynamics of continental collision*. Earth and Planetary Science Letters 349-350, Elsevier B. V., 2012. 139–152.
- [12] Zsákai R.: *A cunami előrejelzése*. ABV Katasztrófavédelem, 67–77. ([http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2012/1/06\\_zsakairobert.pdf](http://portal.zmne.hu/download/bjkmk/bsz/bszemle2012/1/06_zsakairobert.pdf))
- [13] Zsíros T.: *A Kárpát-medence szeizmitása és földregésveszélyessége*. Magyar földregészkatalógus (456-1995). MTA GGKI, Budapest, 2000.

## A ZÖLDENERGIÁK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK TECHNIKAI ASPEKTUSAI

### SOME TECHNICAL ASPECTS REGARDING THE GREEN ENERGIE PRODUCING

Gyenge Csaba

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Gépgyártás-technológiai Tanszék, 400641 Cluj-Napoca, B-dul Muncii nr.103-105, tel/fax: +40-264-415001, Csa-ba.Gyenge@tcm.utcluj.ro.

#### Abstract

In the first part of paper, I present the constructive particularities of special gear boxes used at vertical tower wind turbines and the quality requirements. In the following part I present the new CNC gear grinding methodology and technology, developed by our team, with which it was possible to realize the high quality of geometrical parameters and quality roughness. In the last part of paper I will present some the practical industrial results and used control technology.

**Keywords:** green energy, wind turbines, gearing.

#### Összefoglalás

A dolgozat első részében ismertetem a függőleges tornyú szélturbinák szerkezetében alkalmazott fogaskerék hajtóművek konstruktív jellegzetességeit és a minőségi igényeket. A második részben röviden bemutatom az általunk kifejlesztett CNC köszörülési technológiát, amellyel el lehet érni a különleges fogazatok pontossági és felületminőségi követelményeit. A dolgozat végén ismertetem az ipari megvalósításainkat és a jellegzetes mérési eredményeket.

**Kulcsszavak:** zöldenergia, szél turbina, hajtómű

#### 1. Bevezető

Ismeretes, hogy a megújulóenergia-források szerepe folytonosan nő, és a Greenpeace becslései szerint 2050-ben Románia az összenergia-szükségletének 85%-át megújuló forrásokból kell fedezze. A Román Statisztikai Intézet adatai szerint [7], 2011-ben az össz 63252 GkW kitermelt energiából 40%-ot a gázalapú hőerőművek termelték, 22%-ot a vízerőművek, 16%-ot az atomerőmű és csak 4%-ot a szélerőművek. Az optimista előrejelzések szerint, 2013 végéig a szélerőművekben termelt energia meg kell duplázodjon, és

így Románia világviszonylatban a 13-ik helyet foglalhatja majd el a szélerőenergia felhasználása terén (a legújabb értesülések szerint már 7% felett van).

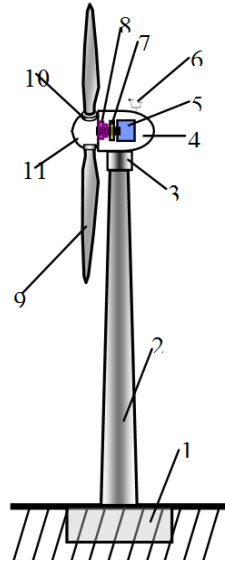
Természetes, hogy a szélerőművek felépítése elég komplex, és az előállítási, valamint felszerelési árak elég magas, így – egyelőre – a szélerőművekben előállított energia ára jóval magasabb, mint a hő-, vagy vízerőművekben előállítotté. Viszont a gáz-, valamint szénhidrátkészletek elég gyors csökkenése arra figyelmeztet, hogy minél intenzívebben foglalkozzunk az újrahasznosítható üzemanyagokkal működő energiatermelőkkel.

Kutatócsoportunk több mint 4 éve foglalkozik a szélturbinákban alkalmazott hajtóművek gyártástechnológiájának fejlesztésével annak érdekében, hogy minél kisebb költségekkel minél jobb minőséget és élettartamot lehessen elérni a szükséges fogaskerék-hajtóművek számára.

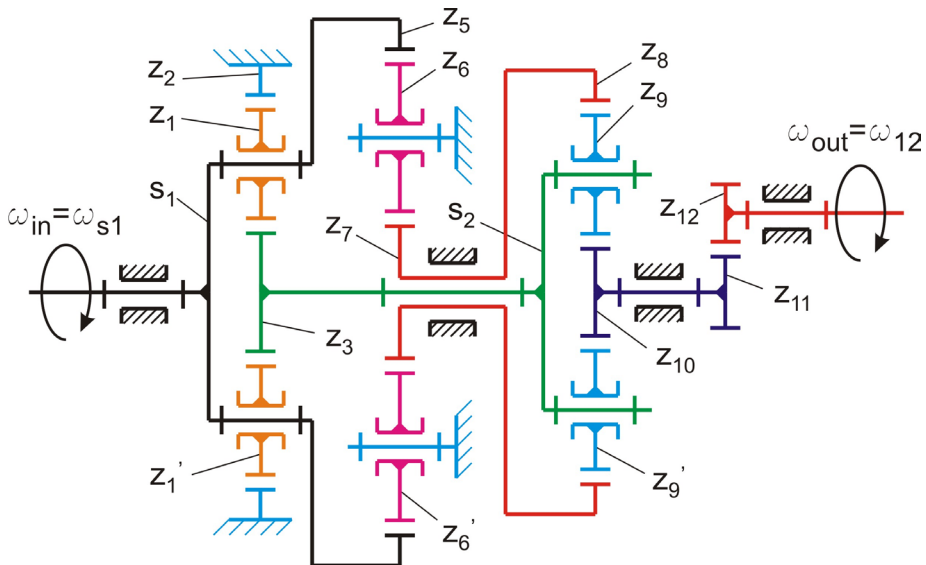
A dolgozat keretében igyekszem ismertetni ez irányú jellegzetes elméleti és gyakorlati kutatásaink eredményeit.

## 2. A szélturbinákban alkalmazott hajtóművek konstruktív és működési jellegzetességei

Ismereteink szerint [8] a napjainkban alkalmazott szélérőművek nagy része vízszintes tengelyű lapáttal dolgozik (1. ábra).



1. ábra. Vízszintes tengelyű szélturbina felépítése: 1 – fundamentum, 2 – torony, 3 – szélirányra állító berendezés, 4 – gondola, 5 – generátor, 6 – szélmérő, 7 – fék, 8 – hajtómű, 9 – rotorlapát, 10 – lapát irányító, 11 – forgószárnyagy.



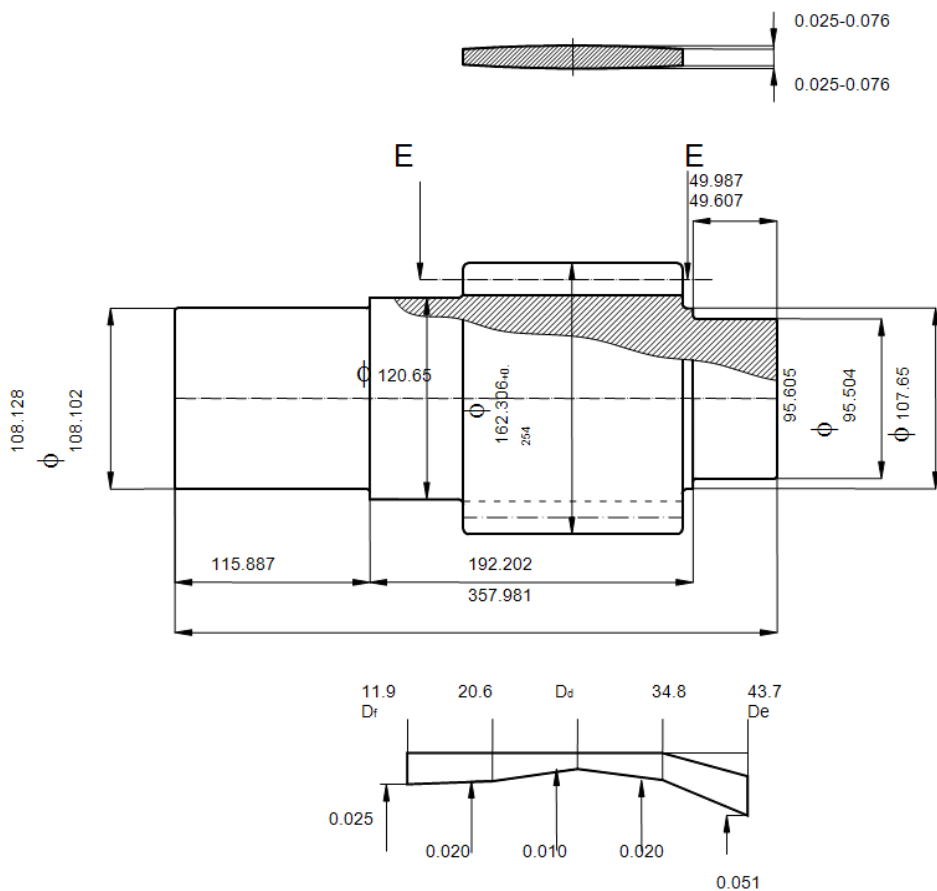
2. ábra. A kétlépcsős bolygó rendszerű multiplikátor kinematikai vázlatja

Amint az ábrán láthatjuk, a primer tengely (amin a paletták vannak) kis fordulatszámú forgása bemegy a multiplikátorba, ahonnan egy tengelykapcsoló révén (amelyik szükség esetén fékként is működik) meghajtja az áramgenerátor tengelyét.

Rendszerint a fordulatszám-növelő (multiplikátor) bolygó felépítésű (2. ábra), és aránylag kis méretek mellett nagy áttételi arányokat kell biztosítson.

Amint az ábrán láthatjuk, a légcsavarak primer tengelye végén az  $S_1$  kapcsoló fedél van rögzítve, amelyben a három  $Z_1$  bolygókerék van beágyazva. A fedél jobb

oldalán a  $Z_5$  belső fogazatú kerék van felfogva. Az említett bolygókerékek úgy a  $Z_2$  belső fogazatú keréken gördülnek, mint a  $Z_3$  keréken. Ezzel egyidőben, a belső fogazatú  $Z_5$  kerék forgatja a  $Z_6$  bolygókerékeket, és ezek meghajtják a  $Z_7$  kereket, amelyek össze van kötve a  $Z_8$  koszorúkerékkel, amelynek fogfelületein gördülnek a  $Z_9$  bolygókerékek. Ezek a bolygókerékek hajtják meg a  $Z_{10}$  fogaskereket. Ennek tengelyén fekszik a  $Z_{11}$  kerék, amely a  $Z_{12}$  kerék révén meghajtja a kimenő tengelyt. A fentiek szerint a hajtómű nagy átviteli arányt tud biztosítani ( például 50:1-hez).



3. ábra. A gyakorlati kísérletek keretében gyártott bolygókerék rajza

Mivel ezek a hajtóművek nagy magasságban kell működjenek és turbinák sokszor igen változatos terepre vannak beépítve, mind szerelésük, mind karbantartásuk elég nehéz. Ezért a technikai feltételek minimum 10 éves élettartamot igényelnek.

Ugyanakkor a nagy magasságban való működésük minél kisebb rezgésekkel kell járjon, ellenkező esetben károsan befolyásolják a terep állapotvilágát.

Az említett igényeket csak igen komplex és nagy pontosságú fogaskerék-hajtóművekkel lehet kielégíteni.

Kutatásaink keretében az  $m = 8...14$  mm-rű bolygókerékek technológiájával foglalkoztunk. A **3. ábrán** a kerék konstrukciós rajza látható, valamint az **1 táblázatban** a technikai adatai.

Amint a **3. ábra** alsó részén láthatjuk, a fogprofil eltér a hagyományos evolvens fogazatok alakjától, és annak érdekében, hogy ezt a komplex alakú fogazatot megfelelő pontossággal és felületi érdességgel lehessen megmunkálni, a CNC vezérléshez folyamodtunk.

**1. táblázat** A 3. ábrán feltüntetett bolygókerék adatai

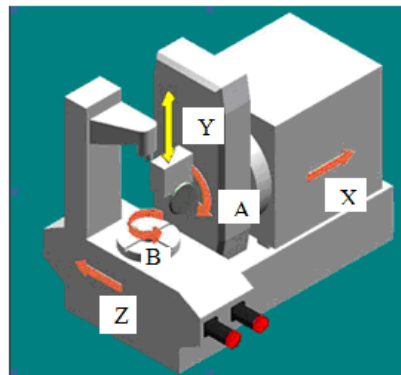
Fogszám	17	Pitch diameter	142.24
Diametral pitch	3.0357	Alapkör-átmérő	128.913
Modul	8.367	Fejkör-átmérője	162.306
Kapcsoló szög	25°	Fogmagasság	10.033

### 3. A kifejlesztett fogazat simítási technológia

A szélturbinák hajtóműveiben alkalmazott komplex profilkorrektációs fogaskerékek simító megmunkálása érdekében a nagyváradi TECHTRANS, valamint a szatmárnémeti UNIO gyárakkal közösen, egy hagyományos NILES típusú fogaskerék-köszörűgépet felújítottunk, japán FANUC vezérléssel (**4. ábra**).



**4. ábra.** A FANUC vezérléssel felújított fog-köszörűgép munkatere



**5. ábra.** A CNC fogköszörűgép felépítése és koordináta-rendszere

A köszörülendő fogaskerék legördülési mozgását a köszörűkorong által megvalósított burkoló fogaslécen, a Z tengelyirányú elmozdulás, valamint a B tengely körüli forgással valósítottuk meg (**5. ábra**). Az X tengelyirányú mozgás szintén CNC vezérelt, és vele biztosítható a szükséges tengelytávolság. Az Y tengelyirányú mozgással a hosszirányú profilmódosításokat lehet programozni, míg

az X tengely körüli forgással a szerszám dőlési szögét.

Általában egy profilkorrekció nélküli fogárok megköszörüléséhez a **2. táblázat**ban feltüntetett műveletelemek szükségesek.

**2. táblázat.** Egy fogárok köszörüléséhez szükséges alapművelet-elemek

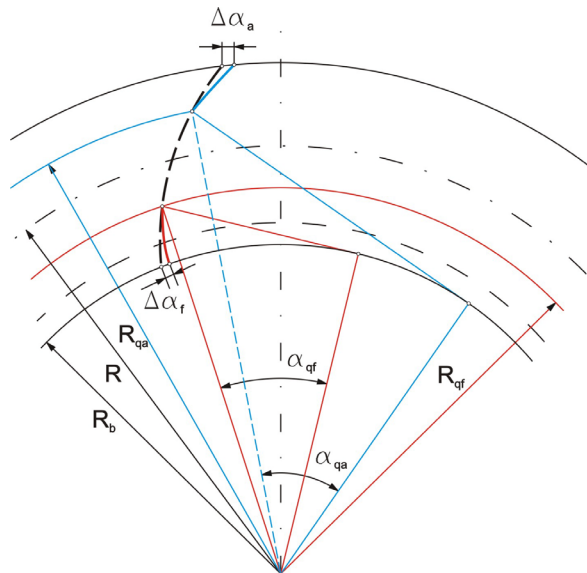
A műveletlem száma	Műveletlem elnevezése
f0	A szerszám megfelelő beállítása az előmunkált fogárokba
f1	Beforgatás a bal fogoldal kezdőpontjába
f2	A szerszám és az előnagyolt bal fogoldal közötti játék megszüntetése
f3	<b>A bal fogoldal köszörülése</b>
f4	Átgördítés a jobb fogoldalra
f5	A szerszám és az előnagyolt jobb fogoldal közötti játék megszüntetése
f6	<b>A jobb fogoldal köszörülése</b>
f7	Egy foggal való osztás

A profilkorrekciós fogprofilok legördüléséhez az f3 és f4 műveletelemeket fel kellett bontani három illetve négy szakaszra.

Ezek szerint egy profilkorrekciós fogárok köszörüléséhez minimum 14 műveletlem paramétereit kellett meghatározni. Erre a célra több matematikai algoritmust fejlesztettünk ki.

#### 4. A CNC vezérlés programozásához szükséges paraméterek meghatározásához kifejlesztett algoritmusok

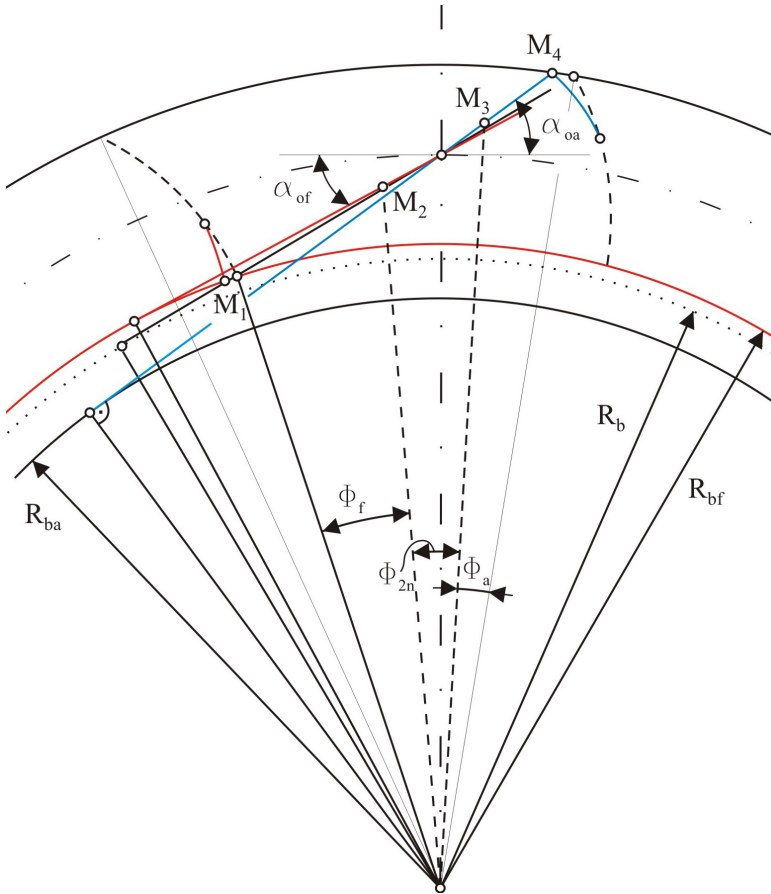
A CNC vezérlést igen precízen kellett beprogramozni, valamennyi műveletlem számára, főleg a profilkorrekciós fogazatok esetében. Ennek érdekében egy saját elképzelés szerint a fogprofil három jellegzetes részét, három különböző evolvens szakasszal valósítottam meg (**6. ábra**).



**6. ábra.** A három evolvens szakaszból kialakított fogprofil

A három evolvens szakasz burkolása három kapcsoló egyenesen történik, amelyek

az  $R_{bf}$ ,  $R_b$  és  $R_{ba}$  alapkörökhöz tartoznak (7. ábra).

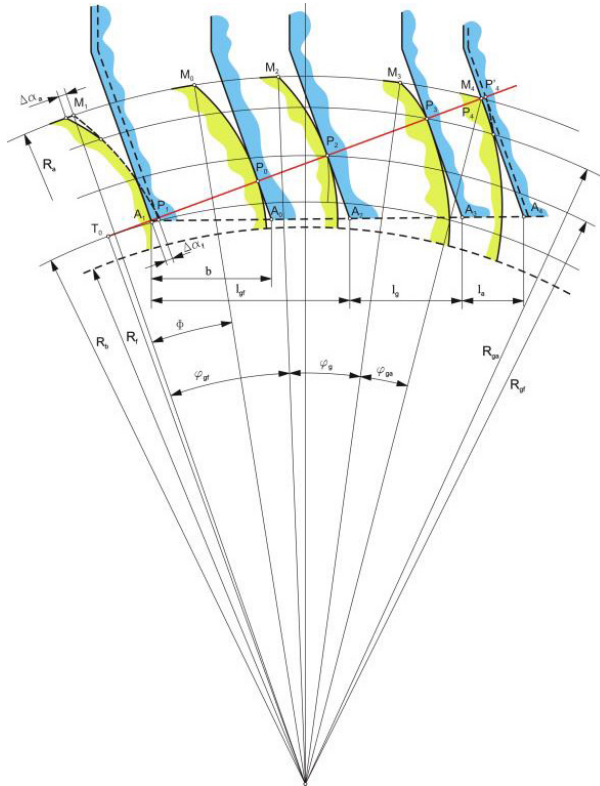


7. ábra. A profilkorrektíós fogprofil kapcsoló egyenesei

Az algoritmusok felépítése céljából pontosan meg kellett határozni a technológiai kapcsoló pár jellegzetes relatív helyzeteit (8. ábra).

Az ábrán látható tangenciális, valamint forgásirányú paraméterek meghatározása

céljából több algoritmust fejlesztettünk ki a különböző szabványok szerint tervezett fogaskerekek számára (DIN, STAS, AGMA, Stb.) (3. táblázat).



8. ábra. A technológiai kapcsoló pár jellegzetes helyzetei, CNC fogköszörülésnél

3. táblázat. Kifejlesztett algoritmusok hengeres fogaskerekek CNC köszörülésére

Szám	Algoritmus kódja	Elnevezése	Alkalmazási terület
1	Ag. 1.1.	Általános algoritmus profileltolások dőlt fogú fogaskerekek számára	$R_f \leq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
2	Ag. 1.m	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós dőlt fogú fogaskerekek számára	$R_f \leq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
3	Ag. 1m.x	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós AGMA fogaskerekek számára	$R_f \leq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
4	Bg. 1.1	Általános algoritmus profilkorrekció nélküli egyenes fogú fogaskerekek számára	$R_f \geq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$



5	<b>Bg. 1.m</b>	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós egyenes fogú fogaskerek számára	$R_f \geq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$
6	<b>Bg.1.m.x</b>	Módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós AGMA ferde fogú fogaskerek számára	$R_f \geq R_b \cos \alpha_t$ $\alpha_t \neq \alpha_s$

A **4. táblázat**ban egyenes fogazatú, AGMA normák szerint tervezett profilkorrekciós fogaskerek CNC köszörüléséhez

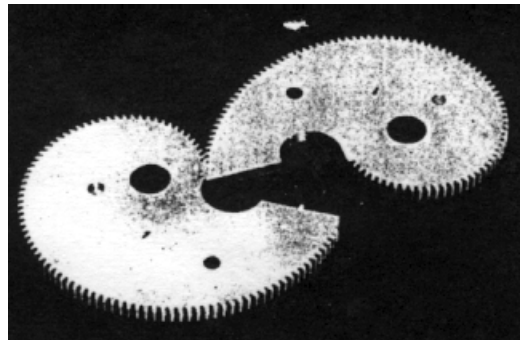
szükséges paraméterek matematikai meghatározása látható.

**4. táblázat.** Bg.1m. Algoritmus a módosított algoritmus profileltolások és profilkorrekciós egyenes fogú, AGMA normák szerint tervezett fogaskerek CNC köszörüléséhez

Fogszakasz	Z irányú tangenciális mozgás	B irányú körmozgás
Láb	$l_{gf} = - \left[ \frac{1}{\cos \alpha_s} \left( \sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2} + \Delta \alpha_f \right) \right]$	$\varphi_{gf} = \arctg \left[ \frac{\sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2}}{R_b} - \frac{\Delta \alpha_f}{R_f} \right]$
Közép	$l_g = - \frac{1}{\cos \alpha_s} \left[ \sqrt{R_{qa}^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2} \right]$	$\varphi_g = \arctg \frac{\sqrt{R_{qa}^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{gf}^2 - R_b^2}}{R_b}$
Fej	$l_{ga} = - \left[ \frac{\sqrt{R_a^2 - R_b^2} - \sqrt{R_g^2 - R_b^2}}{\cos \alpha_s} - \Delta \alpha_a \right]$	$\varphi_{ga} = \arctg \left[ \frac{\sqrt{R_a^2 - R_b^2} - \sqrt{R_{qa}^2 - R_b^2}}{R_b} - \frac{\Delta \alpha_a}{R_b} \right] + \Delta \alpha_f$

Természetesen a megvalósított CNC géppel bármilyen profileltolások fogazat is köszörülhető.

Ugyanakkor megfelelő programozással körhagyó fogazatok (**9. ábra**) is köszörülhetők, anélkül hogy bármilyen sablonra vagy más vezérlésre szükség lenne.



**9. ábra.** Körhagyó fogaskerék

A fentiekből megállapíthatók a kifejlesztett fogköszörűgép és technológia legfontosabb jellemzői:

- nincs szükség a hagyományos beállítás-hoz szükséges váltókerekre, és ezáltal a beállítás nagyon egyszerű;
- a beállítás a géphez csatolt számítógéppel történik;
- a gép rugalmas, többcélú felhasználást biztosít;
- bármilyen profilkorrekció és profileltolás megvalósítható;
- nem szükséges a szerszám és a megmunkálendő fogazat profilszögeinek egyenlőnek lennie;
- megfelelő továbbfejlesztéssel hordóalakú, valamint hengeres-kúpos (Maag Taschenbuch 1985) fogaskerekek is készíthetők.

## 5. Ipari kutatások

A kifejlesztett technológiát a szatmárnémeti UNIO gyárban vezették be, és mai napig is sikeresen alkalmazzák.

Az előzetes gyakorlati kísérleteket az **5. táblázat**ban ismertetett adatú fogaskerekre végeztük.

A teszt fogaskerekeket egy CNC fogaskerékmérő központon ellenőriztük (**10. ábra**).

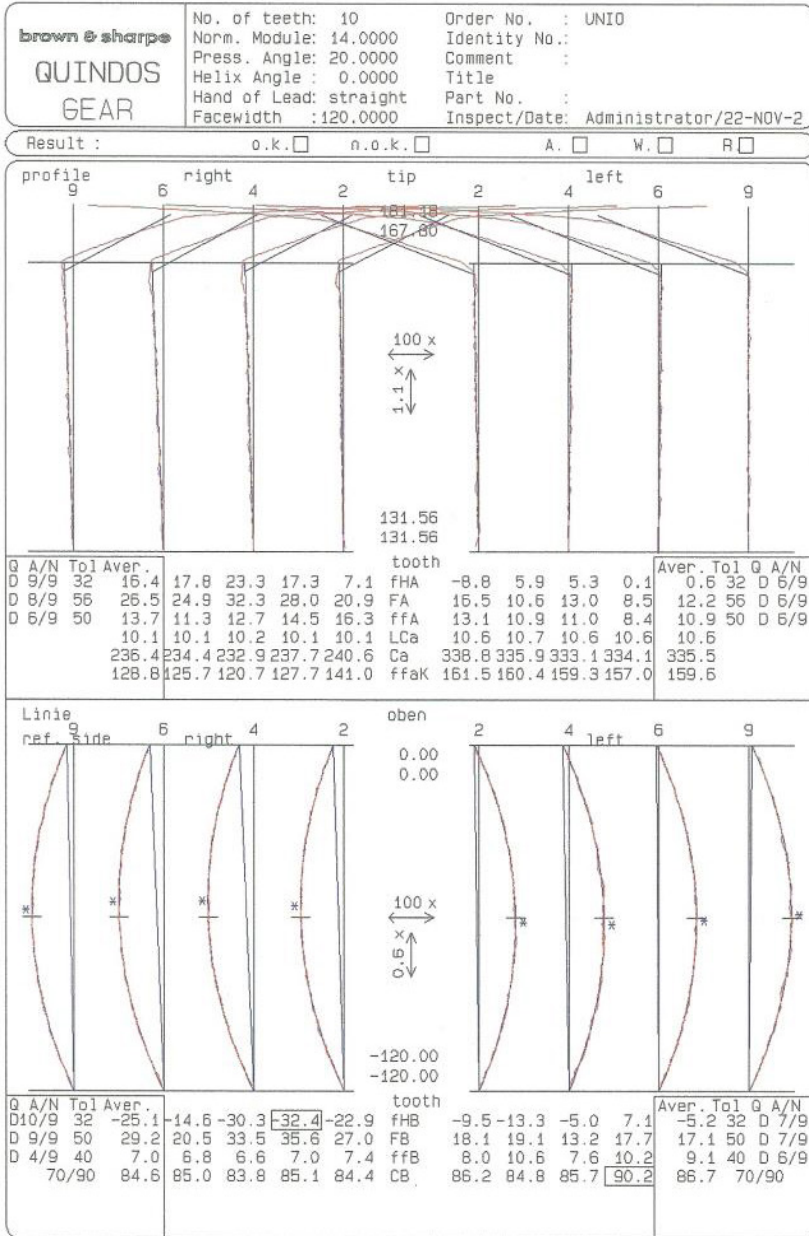


**10. ábra.** Az UNIO gyár tulajdonában lévő CNC fogaskerék-ellenőrző központ

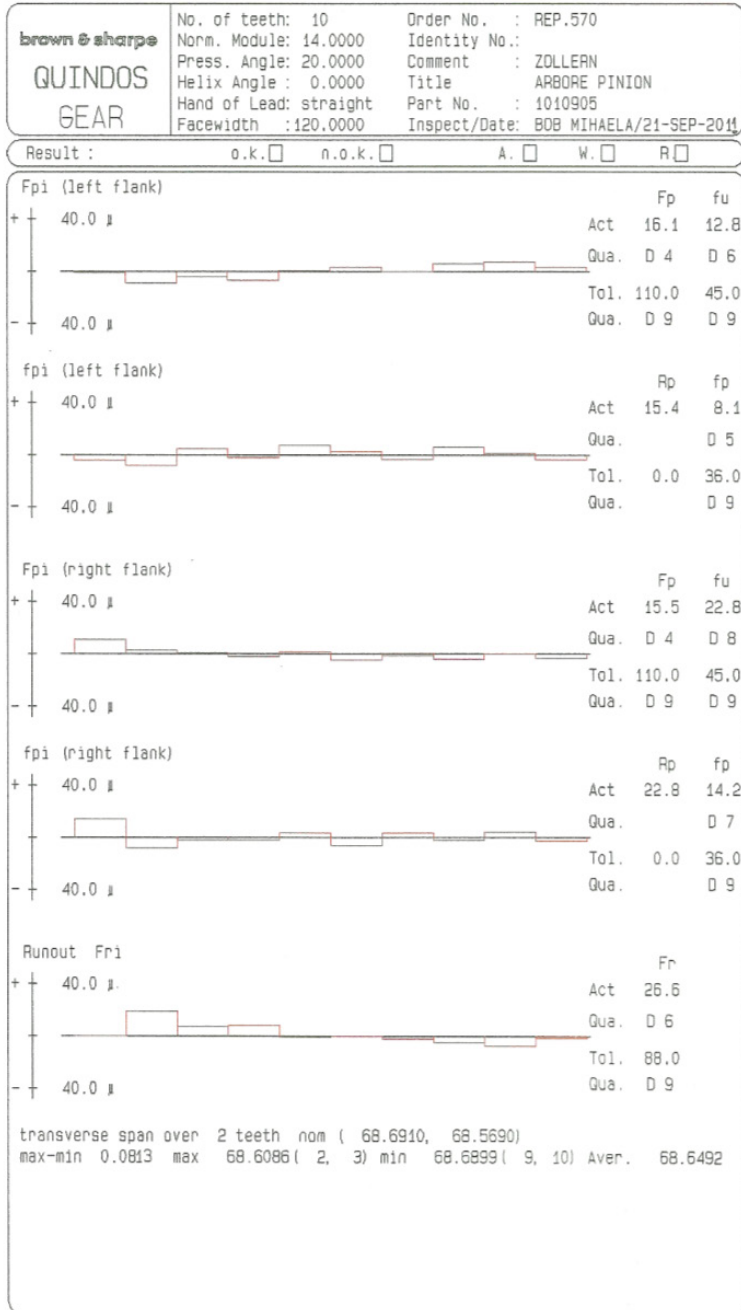
A **11. és 12. ábrákon** a fogprofil, valamint osztáshiba diagramjai láthatók.

**5. táblázat.** A gyakorlati kísérletek keretében megmunkált és leellenőrzött fogaskerekek adatai

N°	norm	$m_n$	$z$	$\alpha$	$\beta$	Addendum modification	Profile modification
Wheel 1	DIN	12	18	$20^0$	0	0	-
Wheel 2	AGMA	10,808511	30	$28^0$	0	0	$\Delta\alpha_f = 0,027$ $\Delta\alpha_a = 0,033$
Wheel 3	DIN	8	70	$20^0$	$10^0$ (left)	$x = -0,411$	-
Wheel 4	DIN	8	16	$20^0$	$10^0$ (right)	$x = 0,411$	-
Wheel 5	DIN	12	14	20	0	0	-
Wheel 6	AGMA	10,948275 (DP-2,32)	18	$25^0$	0	0	$\Delta\alpha_f = \Delta\alpha_a = 0,038$



11. ábra. A fogprofil és -irány diagramja



12. ábra. Osztáshibák diagramja

A részletes ellenőrzések alapján a kifejlesztett technológiával előállított komplex profilú fogaskerekek beilleszkednek a DIN 3962 szabvány 5. pontossági osztályába, és a szélturbinákat gyártó németországi cég megfelelőknek találta.

## 6. Következtetések

A minél komplexebb konstrukciójú hajtóművek, valamint az igényelt pontossági és működési feltételek új technológiákat igényelnek. A CNC vezérlések nagy segítséget nyújtanak ez irányban, de ezek megfelelő programozása és beállítása megfelelő fogazáskinetikai és matematikai számításokat igényelnek. Az utolsó 4 évben csoportunk a szélturbinákban alkalmazott hajtóművek fogaskerekei korszerű technológiájának fejlesztésével is foglalkozott. A statisztikai előrejelzések szerint 2030-ban a világ őszenergia szükséglete kb. 50%-kal lesz nagyobb a mostanihoz viszonyítva. A kőolaj- és földgáztartalékok, szintén az előrejelzések szerint, alig 2040–2070-ig tudják fedezni a szükségleteket.

A fentiek következtében a szakemberek mind jobban kell figyeljenek a megújuló energiaforrásokra, és így mind nagyobb fejlődés észlelhető a szélenergiát felhasználó turbinák fejlesztésében, gyártásában. A szélturbinák minél környezetkímélőbb működése és élettartalma nagymértékben függ a beépített hajtóművektől is. Ezek szerint úgy értékelhetjük, hogy a fentiekben ismertett ez irányú kutatásaink hozzájárulhat-

nak e turbinák felépítési és működési paramétereinek javításához.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bonori, G.: *Optimum profile modifications of spur gears by means of genetic algorithms*. Journal of Sound and Vibration Volum 313, Issue 3-5, 17 June 2008. 603–616.
- [2] Gyenge, Cs., Mera, M., Bâlc, N.: *Research on Calculating the Parameters Value for Modification the Longitudinal Profile of the Cylindrical Gears*. In: Proceedings of DAAAM 2001, 24-27 Okt. Jena. ISBN 3-901-19-4, 175–176..
- [3] Gyenge, Cs., Bob, M., Bob, D.: *Measurement of a spur gear on a BROWN&SHARPE GHIBLI TRAX machine using QUINDOS*. Anals of DAAAM for 2006 proceedings, Vienna. ISSN 1726-9679:151–152.
- [4] Gyenge, Cs., Bob, M., Ros, O.: *Some characteristic aspects regarding grinding of spur gears with profil modifications*. In: The 20th DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM "Intelligent Manufacturing & Automation ISSN 1726-9679. 645–646.
- [5] Ráfa, A., Gyenge, Cs.: *Some specific aspects regarding the manufacturing of renewable energy exploitation equipment*. In: MicroCAD International Scientific Conference. Miskolc – Hungary 20-21 March 2010 (pag. 191-196) ISBN 978-963-661-4 0. ISBN 978-963-661-823-0. 191–196.
- [6] Ráfa, A., Gyenge, Cs., Pacurar, A.: *Applied mathematical algorithm at the manufacturing of gears with profile modifications*. Acta Tehnica Napocensis – Applied mathematics and mechanics, Volume 55, Issue 1., 249–252, 2012; ISSN- 1221-5872.
- [7] <http://www.insse.ro>.
- [8] <http://www.ewea.org>.

## KETTŐS MEZŐORIENTÁCIÓS SZABÁLYOZÁSI STRUKTÚRA MECHANIKAI ÉRZÉKELŐ NÉLKÜLI KALICKÁS INDUKCIÓS MOTOROS HAJTÁS RÉSZÉRE

### DOUBLE FIELD-ORIENTED CONTROL STRUCTURE FOR SENSORLESS CAGE INDUCTION MOTOR DRIVE

Imecs Mária

*Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások  
Tanszék, Románia, Kolozsvár, str. Bariju 28, maria.imecs@emd.utcluj.ro*

#### Abstract

The paper presents two simple vector control structures without speed sensor for induction motor drives fed by a voltage-source inverter (VSI) with open-loop voltage-controlled space-phasor-based pulse-width modulation procedure, which are suitable for implementation with help of digital signal processors dedicated to controlled electrical drives. The speed feedback value is generated by a torque, respectively a torque-producing current-component-controller in cascade combination with the speed controller. In order to reduce the rotor-parameter dependence in the computation of the forward control variables, the double field-orientation is applied, and the calculus of the controlled rotor-flux feedback value is made by compensation with the leakage fluxes of the stator flux, which is identified from the measured phase currents and voltages. The stator-current control variables are directly generated by the speed and flux controllers as rotor-field-oriented components and the stator-voltage control variables are computed in stator-field-oriented coordinates. Consequently, there are combined the advantages of two types of field-orientation procedures avoiding the rotor-resistance dependency and conferring good control dynamics and stability, robust behavior at reduced computation capacity and motor-parameter-dependence.

**Keywords:** *Space Vector Modulation (SVM), direct field-orientation, slip-frequency compensation, DC-link frequency converter, vector control, digital implementation, voltage-source inverter (VSI)*

#### Összefoglalás

A dolgozatban bemutatott két egyszerű vektoriális szabályozási struktúra a nyílt hurkú térfázoros feszültség típusú ISzM-mel vezérelt feszültségforrás jellegű váltóirányítóról táplált mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motoros hajtásokra alkalmazható, melyek implementációra alkalmasak a hajtástechnikának szánt digitális jelfeldolgozó vezérlőegységekkel. A sebességvisszacsatolás jelét a sebességszabályozóval kaszkádban bekötött nyomaték-, illetve nyomatékképző aktív áramösszetevő-szabályzó generálja. A rotoellenállás-függőség elkerülésére a vezérlőágban kettős mezőorientációt alkalmazunk, és a visszacsatolásokhoz szükséges rotorfluxust a mért fázisáramokból és feszültségekből identifikált státorfluxusból a szórési fluxusok kompenzálásával számoljuk. Ezek szerint az állórészáram alapjelének a generálása forgórészfluxus szerinti mezőorientált összetevőkkel, míg az állórészfeszültség vezérlő mennyiségeinek a számítása állórészfluxus szerinti mezőorientált koordinátákkal történik. Így lehet egyesíteni a két mezőorientációs eljárás előnyeit, kiküszöbölve a rotoellenállás-függőséget, ezáltal biztosítva a jó szabályozási dinamikát és stabilitást, robusztus viselkedést, alacsonyabb számítási kapacitás és alacsony motorparaméter-függőség mellett.

**Kulcsszavak:** *térfázoros impulzusszélesség-moduláció, direkt/közvetett mezőorientáció, csúszás-kompenzálás, egyenáramú közbensőkörös frekvenciaváltó, vektoriális szabályozás, numerikus implementáció, feszültséginverter*

## 1. Bevezető

A kalickás (rövidrezárt forgórészű) indukciós motor (KIM) a kefe nélküli (angolul „Brushless”) forgómezős váltakozó áramú (VÁ) gépek kategóriájába tartozik. A hagyományos villamos gépek között a legegyszerűbb, a legolcsóbb és a legrobosztusabb; kevés karbantartást igényel, és az üzemeltetése a legbiztonságosabbak közé tartozik. Ennek köszönhetően a legelterjedtebb gép a villamos hajtásokban.

A korszerű villamos hajtásokban (VH) háromfázisú VÁ motorokat alkalmaznak, melyek matematikai modelljei (MaMo) változó paraméterűek, többváltozósak, bonyolult belső kapcsolatokkal. A nemlineáris MaMo-knak tulajdonítható, hogy ezeknek a VH-knak szabályozása bonyolult és sokáig nehezen kivitelezhető volt. A modern VH-technikában a szabályozás elméleti háttérét a térfázor (TF – Park-vektor) elméleten alapuló (vektoriális vagy mátrixos) állapotváltozós, úgynevezett általános egyenletrendszerek szolgáltatják [1], [2].

A vektoriális szabályozási rendszerek a mezőorientáció (MO) elvén alapulnak, és szétcsatolt többváltozós struktúrákhoz vezetnek, melyek a TF-es MaMo-kat figyelembe véve, az egyenáramú (EÁ) motorokhoz hasonlóan a VÁ motorokat szabályozhatóvá teszik. Mindez nem történhetett volna meg a teljesítményelektronikának és a számítástechnikának az utóbbi évtizedek során bekövetkezett robbanásszerű fejlődése nélkül [3], [4], [5], [6].

A VÁ-VH szabályozására a beavatkozó szerv egy statikus frekvenciaváltó (SzFV), mellyel az úgynevezett „veszteség nélküli” szabályozást lehet biztosítani. Az SzFV-k nagyrészt feszültségforrás jellegű (FFJ) egyenáramú közbensőkörös (EÁ-KK) felépítésűek, a hálózat felől egyszerűbb esetben diódás egyenirányítóval (DEI) és a hajtómotor felé impulzusszélességmodulációval (ISzM) vezérelt IGBT-s

(„Isolated-Gate Bipolar Transistor”) FFJ váltóirányítóval (FVI, angolul VSI – „Voltage-Source Inverter”), mellyel kvázi szinuszos VÁ-t lehet megvalósítani, ugyanakkor a kimeneti frekvencia és feszültség amplitudójának a változtatásával a VÁ-VH-t szabályozni lehet [7], [8], [9], [10].

A felépítésénél fogva FVI nem mindenképpen működik FFJ-vel. A hajtómotor betáplálásának a feszültség- vagy áramforrás jellegét (ÁFJ) az FVI-nek alkalmazott ISzM-s vezérlésseljárás határozza meg, ami lehet nyílt hurkú feszültség-alapjellel vezérelt (ebben az esetben megőrződik a zFFJ) [8], vagy zárt hurkú áram-alapjellel szabályozott, mely esetben az FVI ÁFJ-vel fog viselkedni a közvetlen áram-visszacsatolásnak tulajdoníthatóan. Ez utóbbi a VH dinamikája és stabilitása szempontjából sokkal előnyösebb [9], [10].

A VH-technikának szánt és a piaci forgalomban lévő digitális jelfeldolgozó vezérlőegységek (DJF-VE) a gyakorlati kivitelezésében viszont csak nyílt hurkú feszültség-ISzM eljárásokat tesznek lehetővé, kizárva az áram-visszacsatolásos ISzM-módszereket, melyekkel viszont a VH-kban jobb szabályozási minőséget lehet megvalósítani. A kettős mezőorientáció (KMO) az adott feltételek mellett megpróbálja a különböző rendszerek megoldásainak előnyeit egy struktúrában érvényesíteni [11], [12], [13].

Az utóbbi években a mechanikai érzékelők nélküli rendszerek újra az érdeklődés központjába kerültek. Előnyei közé sorolhatjuk a kisebb méretet, a csökkentett zajérzékenységet, a szenzorkábelek kiküszöbölését, az egyszerűbb hardver igényt. Barátságatlan környezetben is többnyire mechanikai érzékelővel nem rendelkező motorokra van szükség. Az évek során a sebességérzékelő nélküli technikák széles skáláját fejlesztették ki. Ezek közé tartoznak a nyílt hurkú becslők, a referenciamodell alapú adaptív rendszerek (MRAS – “Model Reference Adaptive System”), a Luenberger megfigye-

lők, a Kálmán-szűrős eljárások stb. Mindezek ellenére a mechanikai érzékelő nélküli technikák legfőbb hátránya a leszűkített sebességtartomány, amely korlátozza az ipari alkalmazhatóságát [14].

Nem túl igényes sebességszabályozást egyszerűbb struktúrákkal is meg lehet oldani, melyeknek az egyik hátrányos oldala viszont a paraméterfüggőség [1], [15], [16] [17]. Ezeknek a gyakorlati implementációra való alkalmassága KMO alkalmazásával megoldható, és mellyel a rotorellenállásfüggősége ( $R_r$ ) elkerülhető. Az alábbiakban ezek a szabályozási rendszerek kerülnek bemutatásra.

## 2. A forgómezős motorok kéthurkú vektoriális szabályozása

A VÁ gépekben a forgómezőt az állórészben háromfázisú tekercseléssel valósítjuk meg. A külső gerjesztésű kompenzált EÁ motoroknál a mechanikai és mágneses mennyiségek szabályozása a sajátos felépítésüknek köszönhetően, két egymástól független hurokban valósítható meg, az armatúra, illetve a gerjesztő tekercsek segítségével. A VÁ motornál ez a természetes szétcsatlósítás közvetlenül nem vehető észre, sem a háromfázisú felépítésükből (KIM-nél gerjesztés sincs), sem a MaMo-ból, a matematikai nemlinearitások miatt. Ezért a VÁ motorok elektromágneses szempontból sokkal nehezebben tanulmányozhatók, és szabályozásuk is jóval bonyolultabb.

### 2.1. A háromfázisú motorok kéthurkú szabályozása

Ha a VÁ motoroknál csak az állórészben avatkozhatunk be, akkor szabályozásra csak két referencia-alapjelt lehet előírni, ugyanis az SzFV-vel a betápláló sztátorfeszültségnek ugyancsak két paraméterét (frekvencia- és alapharmonikus amplitúdó) lehet változtatni. Következésképpen az EÁ motorokhoz hasonlóan két külső főhurkos szabályozási struktúrát lehet kialakítani.

Ezek az KIM-nél a mechanikai mennyiségekre (pozíció, sebesség, nyomaték, aktív áram), illetve a mágneses mennyiségekre (eredő fluxusok, mágnesezési áramok) vonatkozhatnak. Egy adott terhelőnyomaték hatása alatt a villamos motor akkor üzemel optimálisan, azaz akkor szívja a minimális áramot, ha függetlenül a sebességtől a fluxus amplitúdóját a névleges értéken tartjuk. Ezt a KIM-nél a tápfeszültség amplitúdójának és frekvenciájának a beállításával érhetjük el. Mivel a betáplálási frekvenciát a meghajtott munkagép üzemi körülményei (a terhelőnyomaték és előírt fordulatszám) szabják meg, a fluxus állandó értéken tartása a feszültség amplitúdójának a megfelelő megválasztásával történik skaláris (lehet akár nyílt hurkú is) vagy zárt hurkú vektoriális szabályozása által.

A kéthurkú szétcsatlósított szabályozást vektoriálisan, az MO elve alapján lehet megvalósítani. Ebben az esetben szükség van nemcsak a fluxus értékének (modulusának), hanem helyzetszögének (pozíciójának) is az identifikációjára [1], [5], [18], [19], [20].

### 2.2. Vektoriális szabályozás a mezőorientáció elve alapján

Az MO a villamos gépek nyomatékon alapuló analógiájához vezet. A nyomatékképzést a MaMo-ban egy vektoriális szorzat írja le, melynek Ampère törvénye alapján az egyik komponense mindenképpen a mágneses mező, a másik pedig egy olyan áram, melynek iránya a mező mágnesezési tengelyének az irányától eltér. A KIM-nél az elektromágneses nyomatékot (EMNy) fel lehet írni bármelyik eredő ( $\underline{\Psi}_s$  – állórész-/sztátor-,  $\underline{\Psi}_r$  – forgórész-/rotor- vagy  $\underline{\Psi}_m$  – légrés-/ mágnesezési, azaz a hasznos) fluxussal és a megfelelő árammal:

$$\begin{aligned} m_e &= k_{MI} z_p (\underline{i}_r \cdot \underline{x} \underline{\Psi}_r) = k_{MI} z_p (\underline{i}_r \cdot \underline{x} \underline{\Psi}_m) = k_{MI} z_p \\ &(\underline{\Psi}_m \cdot \underline{x} \underline{i}_s) = k_{MI} z_p (\underline{\Psi}_s \cdot \underline{x} \underline{i}_s), \end{aligned} \quad (1)$$

ahol a  $z_p$  a póluspárok száma,  $k_{MI} = 3/2$  az egy póluspárra eső nyomatékkoefficiens, mely a térfázor meghatározási koefficiensé-



től függ (ebben az esetben  $k_{ph} = 2/3$ ) [1], [2], [3].

Az MO-t tehát elvileg három fluxus szerint végezhetjük el. Ezek csak a szórás fluxusokban ( $\underline{\Psi}_{\sigma s}$  és  $\underline{\Psi}_{\sigma r}$ ) különböznek, melyek nemcsak a fluxusvektorok nagyságát, hanem a térbeli pozíciójukat is befolyásolják, mint ahogyan az **1. ábrán** is látható.

A koordináta-rendszer (KooR) MO-ja azt jelenti, hogy a komplex sík  $d$  („direct”) valós tengelyét ráforgatjuk a megfelelő szögelfordulással ( $\lambda_s$ , vagy  $\lambda_r$ ) valamelyik forgó fluxusnak megfelelő TF-re ( $q$  a „quadrature” imaginárius tengely). Akkor az orientációs fluxusösszetevők a saját MO-s KooR-jükben [1], [2], [12]:

$$\Psi_{rd\lambda r} = \Psi_r = |\underline{\Psi}_r| = \underline{\Psi}_r \text{ és } \Psi_{rq\lambda r} = 0, \text{ illetve } \Psi_{sd\lambda s} = \Psi_s = |\underline{\Psi}_s| = \underline{\Psi}_s \text{ és } \Psi_{sq\lambda s} = 0. \quad (2)$$

Az állórész-orientált fix tengelyhez képest az összes TF átlagosan a szinkron sebességgel forog, ezért a mezőorientált összetevők (vetületek) EÁ jellegű változók – állandósult üzemmódban állandó mennyiségek, melyek az egyenáramú jelleget a tranzienis folyamatok alkalmával is megőrzik. Ezek szerint mezőorientációval a KIM-t a szabályozási struktúrában, mesterségesen, egy ekvivalens EÁ géppé alakítjuk át [1], [21]. Így, az eredeti VÁ motort EÁ-ban szétcsatolva szabályozzuk, majd a vezérlő mennyiségeket visszaalakítjuk természetes szinuszos (állórész-orientált KooR-re vonatkoztatott) mennyiségekre, azaz a KooR-t visszaforgatjuk. Ennek következtében a két szétcsatolt szabályozási hurkot vektoriálisan összezsacatoljuk, megőrizve a beavatkozó változók vektoriális jellegét [1], [5], [18], [20].

Visszaforgatáskor a beavatkozó jel (áram vagy feszültség TF) térbeli pozíciójának a meghatározására a vektoriális rendszer kötelezően megköveteli visszacsatolásként az orientációs ( $\underline{\Psi}_s$ , vagy  $\underline{\Psi}_r$ ) mezőnek megfelelő TF  $\lambda_s$ , illetve  $\lambda_r$  szögelfordu-

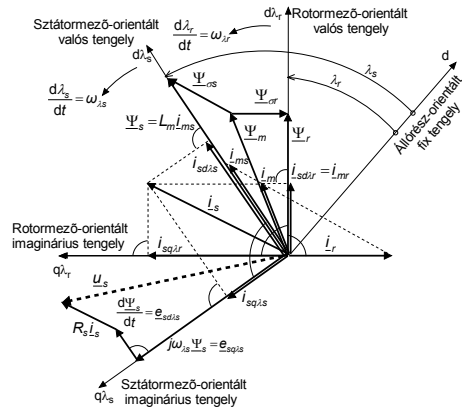
lását, melynek az időbeli változása (deriváltja) adja a forgó fluxus szögsebességét:

$$\omega_{\lambda s} = d\lambda_s / dt \text{ és } \omega_{\lambda r} = d\lambda_r / dt, \quad (3)$$

melyek állandósult állapotban vagy állandó fluxus- és áramviszonyok mellett egyenlők:

$$\omega_{\lambda s} = \omega_{\lambda r} = z_p \Omega_0 = 2\pi f_s, \quad (4)$$

ahol  $\Omega_0$  a szinkron szögsebesség (mechanikai szögben mérve), mely meghatározza a hajtás üzemeltetési  $f_s$  frekvenciáját és az  $\underline{e}_{\lambda s} = j\omega_{\lambda s} \underline{\Psi}_s$  indukált forgási elektromotoros feszültséget (EMF), mely látható az **1. ábrán**.



**1. ábra.** A kalickás indukciós motor térfázor-diagramja szabályozott forgórészfluxus ( $\Psi_r = ct.$ ) esetén, a státor áram mezőorientált összetevőivel: a nyomatékképzők  $i_{sq\lambda r} \perp \underline{\Psi}_r$  és  $i_{sq\lambda s} \perp \underline{\Psi}_s$ , valamint a reaktív jellegűek  $i_{sd\lambda r} = i_{mr}$  és  $i_{sd\lambda s} \neq i_{ms}$ .

Ezek szerint az előírt frekvencia értékére vonatkozó információt a vezérlő mennyiség TF pozíciószöge rejtett módon (belsőleg) tartalmazza, és a KIM kapcsain természetesen magától adódik. Ez azzal magyarázható, hogy a vektoriális szabályozásnak köszönhetően a vezérlésre szolgáló áram vagy feszültség TF-je jó dinamikával követi az orientációs mező forgását, ugyanis a  $\lambda$  szögvisszacsatolás az úgynevezett önkommütációt/szabályozást biztosít (angolul

„Self-commutation/control”), mely a szinkron típusú gépek vezérlésére jellemző.

A vektoriális szabályozási rendszerekben mind a beavatkozó jel generálása, mind a beavatkozó SzFV vezérlése is vektoriális jelleggel kell hogy rendelkezzen. Vezérlésre vagy poláris koordinátákkal dolgozunk, ami azt jelenti, hogy a modulus mellett a vektorok (TF-ek) fázisszögét is azonosítani kell, vagy olyan háromfázisú koordinátákkal, amik megőrzik a vektoriális jelleget, áramban vagy feszültségben, attól függően, hogy milyen típusú a SzFV kimenetén az inverter és annak az ISzM vezérlése.

### 2.3. Az orientációs mező megválasztása

A rotorfluxus  $\Psi_r$  szerinti mezőorientáció (RMO) klasszikusnak tekinthető a KIM-es VH-k szabályozásában. Mivel a forgórész tekercseinek megfelelő rudak felépítésükénél fogva rövidebbek vannak zárva, tehát  $u_r = 0$ , és emellett, ha a  $\Psi_r$  fluxus amplitúdója állandónak tekinthető (állandósult állapotban vagy/és szabályozott fluxussal működő VH esetében), akkor az  $i_r$  rotoráram és a  $\Psi_r$  rotorfluxus TF-jei merőlegesek egymásra (lásd az **1. ábrát**). Ennek a merőlegességnek köszönhetően a KIM EMNy-je ennek a két mennyiségnek nemcsak a vektoriális szorzatával, hanem azok modulusának a szorzataként is kifejezhető. Ugyancsak az  $i_r \perp \Psi_r$  sajátosságának a következménye, hogy a sztátoráram TF-jének a két vetülete,  $i_{sd\lambda r}$  (a fluxussal egyirányú d – direkt, reaktív jellegű) és  $i_{sq\lambda r}$  (a fluxusra merőleges q – kvadratúra, aktív jellegű) mezőorientált áram-összetevőknek felelnek meg, melyek arányosak a nyomatékképző változókkal:

$$m_e = -k_M \Psi_r i_r = k_{Mr} L_m i_{mr} i_{sq\lambda r} = k_{Mr} L_m i_{sd\lambda r} i_{sq\lambda r} \quad (5)$$

ahol  $i_{mr} = \Psi_r / L_m$  a rotorfluxussal arányos mágnesezési áram,  $L_m$  a háromfázisú hasznos induktivitás és  $\sigma_r = L_{\sigma r} / L_m$  a rotor szórási koefficiense. Tehát a mezőorientált sztátor-áram:

$\underline{i}_s = i_{sd\lambda r} + j i_{sq\lambda r}$ , ahol az RMO-s összetevők  $i_{sd\lambda r} = i_{mr} = \Psi_r / L_m$  és  $i_{sq\lambda r} = -(1 + \sigma_r) i_r$ . 6) Az (1) és (5) szerint az EMNy képlete az  $i_s$  RMO-s ( $i_{sq\lambda r}$ ) és hasonlóképpen az SMO-s ( $i_{sq\lambda s}$ ) aktív áramösszetevővel is felírható:

$$m_e = k_{Mr} \Psi_r i_{sq\lambda r} = k_M \Psi_s i_{sq\lambda s}, \quad (7)$$

ahol  $K_{Mr} = k_{M1} z_p / (1 + \sigma_r) = k_M / (1 + \sigma_r)$ .

Az MO-s KooR-ben a fluxusra merőleges áramösszetevő minden esetben aktív, azaz nyomatékképző, viszont a fluxussal egyirányú összetevő csak a RMO-s KIM-nál arányos a szabályozott fluxussal [1], [2], [12]. A fentiek szerint az RMO esetén a mezőorientált áramösszetevők közvetlenül generálhatók a fluxus, illetve a sebesség vagy a nyomaték szabályozókkal. Ezenkívül az állandó rotorfluxusnak megfelelő statikus mechanikai jelleggörbék a sebességnyomaték síknegyedekben párhuzamos egyenesekhez vezetnek, melyek hasonlóak a külső gerjesztésű EÁ gépek jelleggörbéivel. Ez azt jelenti, hogy a KIM-nak megnő a statikus stabilitása, túlterhelési kapacitása is nagyobb lesz, ugyanakkor gyorsabban reagál a szabályozás alkalmával, azaz jobb a vezérelhetőségi dinamikája [3], [11].

A sztátorfluxus szerinti mezőorientáció (SMO) esetén a fluxusszabályozóból generált  $i_{ms}$  mágnesezési áram nem egyenlő a d irányú  $i_{sd\lambda s}$  összetevővel (lásd az **1. ábrát**). A különbség terhelés-, azaz csúszásfüggő [2]. Ezenkívül a sztátorfluxus szabályozása gyengébb minőségű rendszerre vezet stabilitás és dinamika szempontjából is, ezért a szétcsatolt szabályozásra kevésbé javasolt [11], [12]. Viszont ha az SzFV FFJ nyílthurkú ISzM-es eljárással vezérelt, a sztátorfeszültség vezérlőjelének a számolása SMO KooR-ben sokkal egyszerűbb, és ami lényegesebb, nem rotorparaméter-függő [1], [12].

### 2.4. A kettős mezőorientáció alkalmazása

A KMO ötletét a KIM vektoriális struktúráinak implementációja során adódott

kompromisszumos megoldások hátrányainak az elkerülésére való törekvés váltotta ki.

Az RMO-val szabályozott, ÁFJ-vel működő SzFV-ről táplált KIM hajtásnak van a legegyszerűbb és a motorparaméterektől legkevésbé függő vektoriális szabályozási struktúrája, mely csökkentett számítási kapacitást igényel, és az EÁM-hoz hasonló viselkedéssel (kiváló dinamika, a legjobb statikus stabilitás és túlterhelhetőség) üzemel. A beavatkozó vezérlési jelszámítás teljesen motorparaméter független. Sajnos a használatos DJF-VE-k nem támogatják a fent említett rendszerek megvalósításához szükséges zárt hurkú ÁFJ ISZM eljárás implementálását, ugyanis csak a nyílt hurkú feszültségben vezérelt (vivóhullámos vagy TF-es) ISZM módszerekkel teszik lehetővé.

Az RMO-val szabályozott, FFJ-vel működő SzFV-ről táplált KIM hajtás, annak ellenére, hogy jó statikus stabilitással és jó dinamikus viselkedéssel rendelkezik, a szabályozási struktúrája bonyolult, és magas a számítási szükséglete, valamint a nagy rotorparaméter-függősége miatt jobb minőségű, nem túl költséges VH-khoz nem ajánlott. Ezek a hátrányok SMO-val elkerülhetők, viszont ezzel a VH stabilitása és viselkedése más szempontok miatt romlik le.

SMO-val szabályozott, FFJ-vel működő SzFV-ről táplált KIM hajtás szabályozási struktúrája egyszerű, kevésbé számításigényes, kvázi paraméterfüggetlen számításokat igényel. Robosztus viselkedése ellenére lustábban reagál a sebességalapjel változására és a nyomatékperturbációra. Kis tehetlenségű VH-k esetén stabilitási problémák léphetnek fel.

Az előzőek alapján egy olyan struktúra, mely egyesíti az említett rendszerek előnyeit és implementálási lehetőségeit KMO-val valósítható meg, melynek az alkalmazásával jelentősen meg lehet javítani a feszültségben vezérelt KIM-os VH minőségét, ugyanis ezáltal nagyrészt kiküszöbölhetőek a két eljárás hátrányai, a következőképpen:

a rotorfluxus-szabályozás megnöveli a stabilitást az sztátórfluxus-szabályozással szemben; a sztátor-áram RMO-s összetevőit a fluxus és a sebesség szabályozók közvetlenül generálják, ezáltal leegyszerűsödik a struktúra alapjelképző része, és megnövekedik a VH dinamikája; az SMO az állórész-feszültség vezérlő mennyiségeinek a számítását leegyszerűsíti és rotorparaméterfüggetlenné teszi, megnöveli a VH robusztus viselkedését.

A KIM KMO-s struktúráját és a szimulációs eredményeit először 2008-ban hoztuk nyilvánosságra angol nyelvű közleményekben [22], [23], [24], majd 2009-ben magyarul is [13]. Az implementációs eredmények közzétételére 2011-ben került sor [25], [26], [27].

### 3. Sebességérzékelő nélküli mezőorientációs indukciós motoros hajtások

A csúszáskompenszálást (CsKo) a skaláris szabályozásokban is alkalmazták az SzFV vezérlési frekvenciájának meghatározására, ahol a csúszást a sebességszabályozó generálhatja [5], [18], [20]. Olcsóbb, kisebb számítási kapacitást igénylő, viszont elfogadható pontosságú gyakorlati kivitelezésre alkalmas, mechanikai érzékelő nélküli sebességszabályozásnak megfelelnek egyszerűbb megoldások is, melyek a csúszáskompenszálás eljárást alkalmazzák a sebesség vagy a frekvencia meghatározásához [1], [10], [21], [22].

#### 3.1. Csúszáskompenszálás direkt és indirekt rotormező-orientációs struktúrákban

Az indirekt (közvetett) mezőorientáció (IMO) a CsKo eljárás alapul. A csúszás abszolút értékéből és a forgórész megmért  $\omega_r$  szögsebességéből (mechanikai szögben mérve) meg lehet határozni azt a szögsebességet

$$\omega_{\lambda r} = \Delta\omega + z_p \omega_r, \quad (8)$$

mely megfelel a (4) alapján a szinkronsebességnek és megadja a betáplálási frekvenciát.

A csúszás számítása RMO-s struktúrákban nem okoz gondot, ugyanis a sztátoráram RMO-s összetevőinek az arányával számolható ki, akár az alapjelekből [5], [18], [20], akár a visszacsatolásból származó jelekkel kombinálva, akár a visszacsatolásban az  $I\text{-}\Omega$ -nak nevezett rotorfluxus identifikációs eljárásból (a sztátoráram és a forgórész szögsebességéből a *rotor-feszültség MaMo* alapján) származó értékekből [1], [12]:

$$\Delta\omega = i_{sq\lambda r} / i_{sd\lambda r} \tau_r, \quad (9)$$

ahol  $\tau_r = L_r / R_r, = L_m (1 + \sigma_r) / R_r$ , a rotor időállandója ( $L_r$  – a rotor 3-fázisú inductivitása).

Ha a vezérlési ágba a (8) és a (9) alapján számított szinkronsebességéből integrálás útján nyert  $\lambda_r$  mezőorientációs szöggel forgatunk vissza [1], [16], [17], akkor IMO-ról beszélünk [11], [15].

Direkt (közvetlen) mezőorientáció (DMO) esetén a  $\lambda$  mezőorientációs szöget a forgó orientációs fluxus állórész-orientált (szinuszos) kétfázisú összetevőiből egy VA segítségével közvetlenül számoljuk ki [1], [2], [11]. Ha a fluxusidentifikáció az  $\underline{e}_s$  sztátor EMF integrálásával történik (a sztátorfeszültség MaMo alapján), akkor a (7)-et a mechanikai érzékelő nélküli rendszerekben a forgórészsebesség meghatározására is lehet használni:

$$\omega = z_p \omega_r = \omega_{\lambda r} - \Delta\omega, \quad (10)$$

ahol  $\omega$  villamos szögben következik. Ilyen sebességérzékelő nélküli DMO-s vektoriális VH-t is javasoltunk az [1]-ben.

Japánban már a '80-as évek végén ipari alkalmazást nyert egy egyszerű, nem túl igényes, de elfogadhatóan pontos sebesség-szabályozás, mely aktív (nyomatékképző) áramösszetevővisszacsatoláson alapszik, és CsKo-val alkalmaz IMO-t [15]. Hasonló

struktúrájú az a rendszer is, melyet az [1]-ben mutattunk be és szimulációs eredményeit a [16] és [17]-ben közzeltük. Ezekben a struktúrákban a csúszászámításban a (9)-ben szereplő reaktív jellegű áramösszetevőt, a (6) alapján, a szabályozott fluxus alapjével helyettesítették.

A CsKo hátránya abban áll, hogy a csúszás számításához szükség van a rotorparaméterekre, éspedig az  $R_r$ -re, melynek az értéke a hőmérsékletváltozás miatt széles határok között mozog, és melynek az identifikációja bonyolult és nagy számítási kapacitást igényel.

### 3.2. Kaszkádkapcsolású szabályozóval generált sebességvisszacsatolás

Az előzőekben említett mechanikai érzékelő nélküli hajtások egyszerű szabályozási struktúrái  $R_r$ -függőek, mert mindegyik valamilyen formában alkalmazza a CsKo-t [1], [15], [16], [17]. Ezenkívül a beavatkozó szerv közvetlen áramvisszacsatolással szabályozott SzFV, ami nem kompatibilis a VH-technikai alkalmazásoknak szánt DJF-VE-ekkel. Áttérve a feszültségben való vezérlésre RMO-val a rotorparaméterfüggőség még hangsúlyozottabb lesz. Azokban az áram ISzM-mel vezérelt FVI-s mechanikai érzékelő nélküli KIM VH-kban, melyek a [15]-ben alkalmazott megoldáshoz hasonlóak, ahol kaszkádban kapcsolt aktív áramszabályozóval generálják a sebesség visszacsatolási értékét (vagy helyette akár nyomatékszabályozót is lehet alkalmazni), mindnél ki lehet küszöbölni a CsKo alkalmazását, és meg lehet szüntetni a  $R_r$ -függőséget, ha olyan DMO-t alkalmazunk, melynél az orientációs mezőt az EMF integrálása alapján számoljuk.

Az implementációra alkalmas feszültség ISz-M-mel vezérelt FVI-s VH-k esetében viszont a sztátorfeszültség számítását csak a KMO-val lehet  $R_r$ -függetlenné tenni. Az alábbiakban két ilyen szabályozási rendszer kerül bemutatásra.

#### 4. Kettős mezőorientációs sebességérzékelő nélküli szabályozási struktúrák

Az előzőkben már láthattuk, hogy ha a mechanikai érzékelő nélküli hajtásokban a sebességvisszacsatolásban nem alkalmazunk CsKo-t, és az orientációs fluxus identifikálása az sztátorfeszültség egyenletei alapján történik a mért sztátoráramok és feszültségek segítségével, akkor az  $R_r$ -függőség megszüntethető. Ezt a fluxus-identifikációs módszert régebben csak a teljes hullámmal működő inverterekről táplált VÁ motoroknál használták, főleg az ÁFJ váltóirányítós (CSI – „Current-Source Inverter”) VH-knál, ahol a feszültséget is meg tudták mérni, ugyanis ezeknél a feszültség-hullám eléggé megközelíti a szinuszos formát [1]. Viszont nem lehetett alkalmazni FFI ISzM-FVI inverterről táplált hajtások esetében, mert annak idején a szaggatott feszültséget nem tudták valós időben azonosítani, ugyanis az ISzM vezérlés analóg módon történt. Napjainkban egyébként a digitális ISzM vezérlésnek köszönhetően ez a módszer terjedt el a leginkább. Az szaggatott sztátor-feszültséget gyakran a mért EE-KK feszültségből ( $U_d$ ) és a DJF-VE által szolgáltatott ISzM logikából számolják ki [13], [22], [23], [24].

Ennek a fluxusidentifikációnak a gyakorlati megvalósításával járó nehézségek implementációban ma már megoldhatók. Például az ideális integrátort alul-áteresztő szűrőkkel meg lehet közelíteni, amivel elkerülhető az integrátor kimenőjelének a zérus-frekvenciájú mérési maradékfeszültségek által okozott telítődése, valamint a kimenőjel eltolódása, amit a bemenőjel kezdeti fázishelyzete okozhat [11], [28], [29].

Az alábbiakban két olyan KMO-s struktúráról lesz szó, melyeket a [13], [22], [23] és [24]-ben közölt mechanikai érzékelős változat adaptálásával alakítottuk ki, alkalmazva az aktív hurokban egy kaszkádban bekötött visszacsatolási sebességértéket

generáló szabályozót. Mindegyik szabályozási rendszer direkt (közvetlen) RMO-ra és SMO-ra épül.

##### 4.1. Aktív áramszabályozóval generált sebességvisszacsatolás

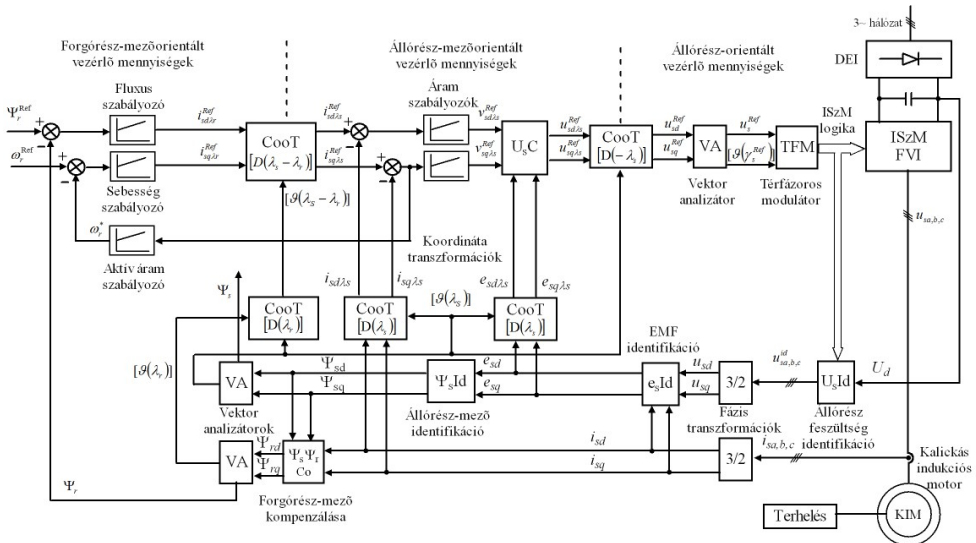
A 2. ábrán bemutatott struktúrában a sebesség szabályozásához szükséges visszacsatolási sebességértéket az SMO-s aktív (nyomatékképző) áramösszetevő kaszkádba kapcsolt szabályozójával generáljuk. A struktúra többi része megegyezik azzal a már szimulálás által érvényesnek elfogadott változattal, ahol viszont a sebesség visszacsatolását mechanikai érzékelő adta [13], [22], [23], [24].

A fluxus meghatározása a mért állórész-áramok ( $i_{sa,b,c}$ ) és az identifikált ( $u_s^{id}_{a,b,c}$ ) feszültségekből történik, miután a 3/2-es direkt fázistranszformációs blokkokkal két-fázisú összetevőkre ( $i_{sd} - i_{sq}$ , illetve  $u_{sd} - u_{sq}$ ) alakítjuk. Azután a természetes fix (állórészorientált) KooR-ben felírt sztátorfeszültség-egyenletek alapján az  $\mathbf{e}_s \mathbf{Id}$  ( $\mathbf{Id}$  – identifikációs) blokkban az indukált EMF-t kétfázisú összetevőit ( $e_{sd} - e_{sq}$ ) számítjuk ki, melyeket a  $\Psi_s \mathbf{Id}$  blokkban integrálunk, és az állórészfluxus ( $\Psi_{sd} - \Psi_{sq}$ ) összetevőit nyerjük. Ezekből a  $\Psi_s \Psi_r \mathbf{Co}$  kompenzáló blokkban, a mért sztátoráramok és a szórási koefficiensek segítségével, az áramfluxus-egyenletek alapján, a rotorfluxus ( $\Psi_{rd} - \Psi_{rq}$ ) összetevőit számoljuk ki [1], [11], [16].

A kiszámított fluxusok  $\Psi_r$  és  $\Psi_s$  modulusát egy-egy VA vektoranalizátor adja. Mivel a vektoriális rendszerben különböző orientációjú kétfázisú összetevőkkel számolunk, ezért a TF-ek KooR-jeinek a forgatásához  $\mathbf{CooT}$  blokkokat alkalmazunk, melyekben gyakorlatilag a TF-ek pozíciószögeinek a trigonometriai függvényeire van szükség. Ezeket  $[\vartheta(\lambda)] = [\cos(\lambda), \sin(\lambda)]^t$  úgynevezett „oszillátor” mátrixokkal jelöltük, ahol zárójelben a orientációs TF pozíciója szerepel, illetve a szükséges forgatási szög. KMO esetén mindkét (rotor- és sztátor-) fluxus pozíciószögére szükség van. Mivel a

fluxusszámításokat természetes kétfázisú összetevőkkel végezzük, azaz VÁ jelként kerülnek feldolgozásra, ezért a VA blokkokból közvetlenül az  $[\mathcal{G}(\lambda_r)]$  és  $[\mathcal{G}(\lambda_s)]$  mát-

rixokkal jelölt változókat egyszerű osztásokkal  $(\cos\lambda_{r/s} = \Psi_{rd/sd} / \Psi_{r/s}$ , illetve  $\sin\lambda_{r/s} = \Psi_{rq/sq} / \Psi_{r/s})$  számolhatjuk ki [1].



2. ábra. Implementációra alkalmas mechanikai érzékelő nélküli, egyszerűbb strukturájú kettős mezőorientációs vektoriális indukciós motoros hajtás nyomatékképző aktív áramszabályozóval generált sebességvisszacsatolással.

Ugyancsak VA blokkot alkalmazunk a ISzM-FVI TF-es modulátornak (TFM blokk, angolul SVM – „Space-Vector Modulator”) a vezérlő jeleinek a generálására, mely a státorfeszültség alapjelének megfelelő TF poláris koordinátáinak, vagyis az  $u_s^{Ref}$  modulus (amplitúdó) és a  $\gamma_s$  pozícióhelyzetnek megfelelő  $[\mathcal{G}(\gamma_s^{Ref})]$  mátrix.

Az alárendelt áramszabályozási hurkokban az státoráram SMO-ját a  $[D(\lambda_s)]$  mátrixoperátorral jelölt, és az állórész-feszültség visszaorientálását természetes frekvenciájú kétfázisú összetevőire a  $[D(-\lambda_s)]$ -vel jelölt **CooT** blokkal végezzük el. Az orientációs állórész-mező  $\lambda_s$  szögelfordulása az 1. ábra térfázor diagramján is látható.

Ezenkívül ugyancsak egy  $[D(\lambda_r)]$ -vel jelölt **CooT** blokkal (melynek a kétfázisú

komponens bemeneten a  $[\mathcal{G}(\lambda_s)]$  mátrixra van szükség) számolhatjuk ki a két orientációs mező közötti pozíciószög-különbség  $[\mathcal{G}(\lambda_s - \lambda_r)]$  mátrixát is [1], [13]. Ezzel átorientálja SMO-s komponensekre ( $i_{sd\lambda_s} - i_{sq\lambda_s}$ ) a sebesség- és fluxuszabályozók által generált RMO-s állórészszám összetevőket ( $i_{sd\lambda_r} - i_{sq\lambda_r}$ ), ugyanis az SMO-s KooR-ben az állórészfeszültség számítását sokkal egyszerűbben, és ami lényegesebb, rotorparaméter-függetlenül lehet elvégezni [1], [12]. Az állórészfeszültség  $U_sC$  számítási blokkjában szükség van az EMF SMO-s ( $e_{sd\lambda_s}$  és  $e_{sq\lambda_s}$ ) komponenseire is, ezért a természetes ( $e_{sd}$  és  $e_{sq}$ ) kétfázisú összetevőket is egy  $[D(\lambda_s)]$  mátrixszal jelölt **CooT** blokkal mezőorientáljuk.

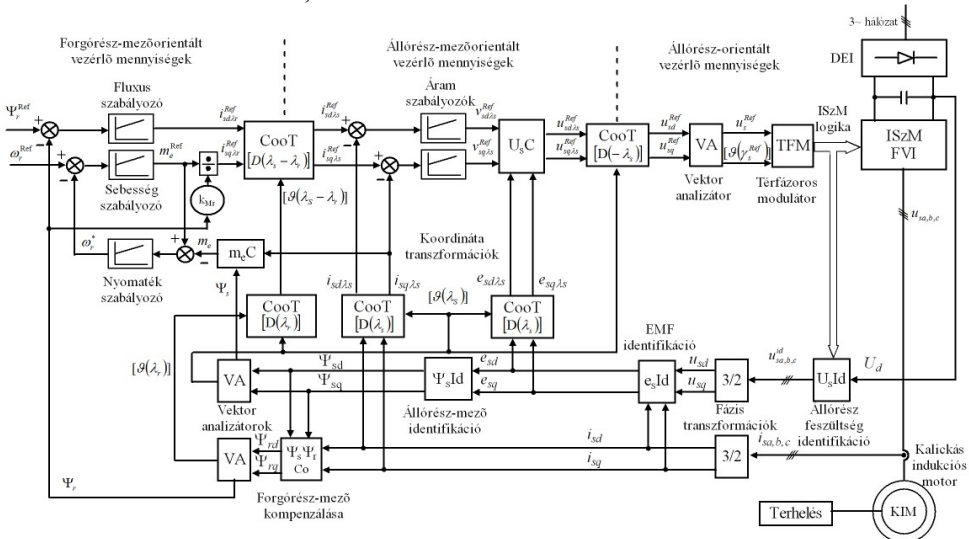
A 2. ábrán bemutatott rendszerhez képest egy egyszerűbb strukturát úgy képezhettünk ki, hogy lemondunk a vezérlő ágban

lévő két áramszabályozóról. Ebben az esetben a kaszkádkapcsolásban bekötött sebességet generáló áramszabályozó RMO-s aktív (nyomatékképző) összetevővel dolgozik, hasonlóképpen az [1], [15], [16] és [17]-ben közölt változatokhoz. Következésképpen a visszacsatolásban az állórész-áram természetes kétfázisú ( $i_{sd} - i_{sq}$ ) összetevőit  $[D(\lambda_r)]$  mátrixszal jelölt **CooT** blokkal kell mezőorientálni, és mivel csak az aktív ( $i_{sq,r}$ ) komponensre van szükség, csak a mátrix felső sorával kell számolni, ami csak két

szorzást jelent és egy összeadást a négy szorzás és két összegzés helyett.

### 4.2. Nyomatékszabályozóval generált sebességvisszacsatolás

Mint már említettük a 3. fejezet végén, hogy a kaszkádban kapcsolt aktív áramszabályozó helyett lehet nyomatékszabályozóval is generálni a sebesség visszacsatolási jelét. Egy ilyen szabályozási struktúrát mutatunk be a **3. ábrán**.



**3. ábra.** Implementációra alkalmas mechanikaiérzékelő nélküli kettős mezőorientációs vektoriális indukciós motoros hajtás kaszkádban kapcsolt nyomatékszabályozóval generált sebességvisszacsatolással.

Az  $m_cC$  nyomatékszámítási blokk SMO-s, míg a nyomaték alapjelét osztó blokk RMO-s összetevőkkel számol a (7) szerint EÁ mennyiségekkel. Az osztásra fel lehet használni a rotorfluxus előírt alapjelét is.

## 7. Következtetések

A bemutatott mechanikai érzékelő nélküli vektoriális szabályozási struktúrák egyszerűségét a kaszkádkapcsolású szabályozónak tulajdonítható, mely a nyomaték, illetve a nyomatékképző aktív áramösszetevő sza-

bályozásával generálja a sebességvisszacsatolási értéket. Az implementáció szempontjából a piaci forgalomban lévő és a hajtástechnikának szánt digitális jelfeldolgozó vezérlőegységekkel való kompatibilitást a térfázoros feszültség ISZM eljárás biztosítja, mely a kommutációs veszteségek szempontjából optimalizálható az úgynevezett kétfázisú (a harmadik fázis pihen) „Flat-Top” szakaszos modulációval, mellyel akár 30%-os veszteségcsökkentést is el lehet érni az inverterben, vagy ennek hálózatbarát egyenirányítóként vagy aktív szű-

röként való alkalmazásánál [9], [10], [30], [31], [32]

A fluxusra merőleges áramösszetevő minden esetben aktív, azaz nyomatékképző komponens, viszont a fluxussal egyirányú összetevő a kalickás indukciós motornál csak abban az esetben arányos a szabályozott fluxussal, ha a forgórészfluxus szerint orientálunk. Ezért ajánlott a rotormezőorientáció a szabályozási struktúra vezérlő ágában. A térfázoros ISzM viszont a paraméterfüggőség szempontjából sztátormezőorientációval előnyösebb. A kettős mezőorientációval mindkét orientációs eljárás előnye érvényesíthető, ha megfelelő fluxus-identifikációt alkalmazunk. A további kutatási munka célja a bemutatott rendszernek a tanulmányozása *MATLAB-Simulink*<sup>®</sup> szimulációs programozási környezetben.

### **Szakirodalmi hivatkozások**

- [1] Kelemen, Á., Imecs, M.: *Vector Control of AC Drives*, Vol. 1: *Vector Control of Induction Machine Drives*. OMIKK-Publisher, Budapest, 1991. ISBN 963 593 140 9.
- [2] Imecs, M.: *A villamos gépek modern szabályozási módszerei a térfázor elmélet alapján*. Plenáris előadás, XVI. Fialtal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, FMTÜ Nemzetközi Tudományos Konferencia, Műszaki Tudományos Füzetek, Erdélyi Múzeum Egyesület kiadványa, Kolozsvár, 2011, ISSN 2067–6–808, <http://eda.eme.ro/handle/10598/13994>, XIX–XLIV.
- [3] Imecs, M.: *Villamos hajtások szabályozása mai szemmel*. Plenáris előadás, ENELKO 2000, Energetika–Elektrotechnika Konferencia, EMT kiadó, Kolozsvár, 2000. 7–16.
- [4] Imecs, M., Szabó Cs., Incze J. J.: *Frekvenciaváltós villamos hajtások négynegyed üzeműben*. ENELKO 2002 III. Energetika–Elektrotechnika Konferencia, EMT kiadó, Kolozsvár, 2002. 53–58.
- [5] Imecs, M., Incze J. J., Szabó Cs., Ádám T.: *Váltakozó áramú hajtások skaláris és vektoriális szabályozási struktúrái*. Plenáris előadás, ENELKO 2003 IV. Energetika–Elektrotechnika Konferencia, EMT kiadó, Kolozsvár, 2003, ISBN 973–86097–5–5, 82–98.
- [6] Imecs, M., Incze J. J., Szabó Cs., Ádám T., Szóke Benk Enikő: *Kis és nagy teljesítményű hálózatbarát egyenáramú közbenső-körös frekvenciaváltós hajtások*. Plenáris előadás, ENELKO 2004., V. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, EMT kiadó, Kolozsvár, 2004, ISBN 973-86852-9-X, 86–96.
- [7] Imecs, M.: *Synthesis about pulse modulation methods in electrical drives*, Part 1: *Fundamental aspects*. Plenáris előadás, Proceedings of CNAE '98, Uni. Craiova kiadó, Romania, 1998, 19–28.
- [8] Imecs, M.: *Synthesis about pulse modulation methods in electrical drives*, Part 2: *Closed-loop current controlled PWM procedures*. Plenáris előadás, Proceedings of CNAE '98, Uni. Craiova kiadó, Romania, 1998. 29–33.
- [9] Imecs, M.: *Synthesis about pulse modulation methods in electrical drives*, Part 3: *Open-loop voltage-controlled PWM procedures*. Plenáris előadás, Acta Universitatis CIBIENSIS, Vol. XLI Technical series, H. Electrical Engineering and Electronics, "Lucian Blaga" University of Sibiu, 1999, 15–26.
- [10] Imecs, M.: *Open-loop voltage-controlled PWM procedures*. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> ELECTROMOTION International Conference, Patras, Greece, Volume I, 1999, 285–290.
- [11] Imecs, M., Incze J. J., Szabó Cs.: *Fluxus-identifikációs és szabályozási módszerek kalickás indukciós motorok mezőorientált hajtásrendszereiben*. ENELKO 2009 X. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Marosvásárhely, 2009, ISSN 1842–4546, 60–65.
- [12] Imecs, M.: *Kalickás indukciós motorok forgó- és állórész mezőorientált vektoriális szabályozási rendszereinek összehasonlítása*. ENELKO 2009 X. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Marosvásárhely, 2009, ISSN 1842–4546, 66–71.
- [13] Imecs, M., Szabó Cs., Incze J. J.: *Kalickás indukciós motorok vektoriális szabályozása kettős mezőorientációval*. ENELKO 2009 X. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Marosvásárhely 2009, ISSN 1842–4546, 72–77.
- [14] Holtz J.: *Sensorless control of induction motors*, Proceedings of the IEEE, Vol.90, No.8, Aug. 2002, 1358–1394.
- [15] Akeshi Maeda; Tung Hai Chin; Hiroichirou, Tanaka; Takashi, Koga; Ysugutosi, Ohtani: *Today's AC drive industrial application in Japan*. 4<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics



- and Applications, EPE'91, Florence, Italy, 1991, 2-618-2-624.
- [16] Imecs, M., Negrea C. Alin, Szabó Cs., Incze J. J.: *Sebességérzékelő nélküli aktív áramszabályozáson és közvetett mezőorientáción alapuló vektoriális aszinkron motoros hajtás szimulációja*. ENELKO 2013 XIV. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia, Nagyszében, 2013, ISSN 1842-4546, 54-59.
- [17] Negrea C. A., Imecs, M., Szabó Cs., Incze I. I.: *Speed sensorless vector control system for induction motors based on active current and flux computation*. Proceedings of the 4th International Conference MACRo 2013, Tg. Mures, Sapientia University, 2013, ISSN 2247 - 0948, ISSN-L 2247 - 0948, 154-163.
- [18] Imecs, M., Szabó Cs.: *Control structures of induction motor drives - state of the art*. Proceedings of the 4th Workshop WESIC 2003, Lillafüred, Miskolci Egyetem kiadó, 2003, ISBN 963 661 570, 495-510.
- [19] Imecs, M., Trzynadlowski, A. M., Incze, I. I., Szabó Cs.: *Vector control schemes for tandem-converter fed induction motor drives*. IEEE Transactions on Power Electronics, 2005, Vol. 20, No. 2, 493-501.
- [20] Imecs, M.: *A survey of the speed and flux control structure of squirrel-cage induction motor drives*. Acta Universitatis Sapientiae, Series Electrical and Mechanical Engineering, No. 1, 2009, ISSN 2066-8910 (online <http://www.acta.sapientia.ro/acta-emeng/emeng-main.htm>), ISSN 2065-5916 (nyomtatásban) 5-28.
- [21] Blaschke, F.: *Das Prinzip der Feldorientierung, die Grundlage für die Transvektor-Regelung von Drehfeldmaschinen*. Siemens-Zeitschrift, 45, Heft 10, 1971, 757-760.
- [22] Imecs, M.; Szabó Cs.; Incze I. I.: *Vector control of the cage induction motor with dual field orientation*. CINTI 2008, Budapest, 2008, ISBN 978-963-7154-82-9., 47-58.
- [23] Imecs, M., Incze, I. I., Szabó, Cs.: *Double field orientated vector control structure for cage induction motor drive*. Scientific Bulletin of the „Politehnica” University of Timisoara, Transaction of Power Engineering, Tom 53(67), Special Issue, 2008, ISSN 1582-7194, 135-140.
- [24] Imecs, M., Incze, I. I., Szabó Cs.: *Dual field orientation for vector controlled cage induction motors*. Proc. of the 11<sup>th</sup> IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems, INES 2009, Barbados, CD-ROM, ISBN: 978-1-4244-4111-2, 143-148.
- [25] N. S. Preda, Maria Imecs, I. I. Incze: *Vector control method for squirrel-cage induction motors using dual field orientation*. PRODOC Conference Volume, Uni. Tehnica Cluj-Napoca, kiadó, Kolozsvár, 2011, CD-ROM.
- [26] Preda, N. S., Rus, D. C., Imecs, M., Incze, J. J., Szabó, Cs.: *Vector control method using dual field orientation for speed control of induction motors*. ENELKO 2011 XII. Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia, Kolozsvár, 2011, ISSN 1842-4546, 68-74.
- [27] Preda N. Șt.: *Optimizarea și implementarea controlului vectorial cu orientare dublă după câmp al mașinii asincrone cu rotor în colivie*. PhD doktori tézis, Kolozsvári Műszaki Egyetem, 2011, Témavezető: Imecs Mária.
- [28] Incze, I. I.: *Implementarea unor structuri de comandă scalară și reglare vectorială pentru motoare de inducție*. PhD tézis, KME, 2004, Témavezető: Imecs M.
- [29] Incze I. I.; Imecs, Mária; Szabó, Cs.; Vásárhelyi J.: *Orientation-field identification in asynchronous motor drive systems*. 6<sup>th</sup> IEEE International Carpathian Control Conference ICC 2005, Lillafüred-Miskolc, 2005, Vol. I, ISBN 963 661 644 2, 131-136.
- [30] Preda, N. S., Incze, I. I., Imecs, M., Szabó, Cs.: *Flat-top space-vector modulation implemented on a fixed-point DSP*. 5<sup>th</sup> International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, SACI 2009, Temesvár, CD-ROM, ISBN: 978-1-4244-4478-6.
- [31] Preda, N. S., Rus, D. C., Incze, I. I., Imecs, M., Szabó, Cs.: *Analysis and DSP implementation of flat-top space-vector modulation*. Scientific Bulletin of “Politehnica” University of Timișoara, Romania, Transactions on Automation Control and Computer Science (BS-UPT TACCS), Vol. 55 (69), No. 2, June 2010, 73-80.
- [32] Preda, N. S., Rus, D. C., Incze, I. I., Imecs, M., Szabó, Cs.: *Fixed-point DSP implementation of advanced discontinuous PWM methods*. 11<sup>th</sup> International Carpathian Control Conference - ICC 2010, Eger, Miskolci Egyetem, 2010, ISBN 978-963-06-9289-2, 149-152.

## BOLYGÓDUGATTYÚS PNEUMATIKUS MOTOR

### PNEUMATIC MOTOR WITH PLANETARY PISTON

Kakucs András<sup>1</sup>, Papp István<sup>2</sup>, Forgó Zoltán<sup>3</sup>, Tolvaly Roşca Ferenc<sup>4</sup>

*Sapientia–EMTE, Műszaki és Humántudományok kar, Gépészmérnöki tanszék,  
Cím: 540485, RO, Marosvásárhely, Segesvári u. 1/c,*

<sup>1</sup>kakucs2@ms.sapientia.ro

<sup>2</sup>pappistvan@ms.sapientia.ro

<sup>3</sup>zforgo@ms.sapientia.ro

<sup>4</sup>tferi@ms.sapientia.ro

#### Abstract

In our project, which was supported by the Institute for Scientific Research of the Sapientia Foundation, we have developed a Wankel-engine-like (fig. 1) planetary-piston pneumatic motor. The essence of the innovation is that the "fuel" of the engine is compressed air and it has more simultaneously active chambers. The number of these chambers can be increased, leading to a curved polygonal contour of the piston moving inside a stator with complex geometry. This machine is a volumetric one (i.e. not a turbine) and its efficiency can be increased by letting the compressed air to expand in the active chamber.

*Keywords: planetary piston, pneumatics*

#### Összefoglalás

A KPI által támogatott kutatási pályázatunk keretében egy bolygódugattyús pneumatikus motort fejlesztünk. E motor felépítésében a Wankel-motorra (**1. ábra**) emlékeztet, amely egy belső égésű motor. Az újítás abban áll, hogy a motor sűrített levegővel fog működni, és nem egy, hanem több egyidejűleg aktív munkatere van. A munkaterek száma megnövelhető, ennek következtében a bolygódugattyú nem egy görbült oldalú háromszög, hanem egy sokszög profilú elem lesz, amely egy bonyolultabb geometriájú állórészben fog bolygómozgást végezni. Ez egy térfogat-kiszorítású gép (tehát nem turbina), amelynek a gazdaságos működtetéséhez a levegőt kiterjeszkedni hagyjuk az aktív munkatérben.

*Kulcsszavak: bolygódugattyús motor, pneumatika*

#### 1. A motor geometriája

Kiindulási alapként tekintünk a Wankel-motort. Legfontosabb alkatrészei (**2. ábra**, [1], [2]):

- az állórész, amelynek fedőlapjaiban vannak a bebocsátó és kibocsátó nyílások (ugyanis e motornak nincsenek szelepei), ez tartja az álló, külső fogazású

fogaskereket és a tengely csapágycsapatát, ide vannak becsavarozva a gyújtógyertyák, a jártaiban keringő folyadék pedig a motor hűtését oldja meg;

- a forgórész, amelyben fellelhetjük a belső fogazású bolygókeréket és a tömítés elemeit; valamint

- a tengely, amely excenteres megoldású a kisméretű excentrikusság miatt (nem lehet forgattyús mechanizmust építeni).  
A forgórész egy görbült oldalú háromszög, amely bolygómozgást végez az állórészben. A forgórész körbe kell mozogjon az állórészben, anélkül hogy megszorulna, ez a mozgás pedig egy összetett síkmozgás.



1. ábra. Wankel-motor (forrás: internet)



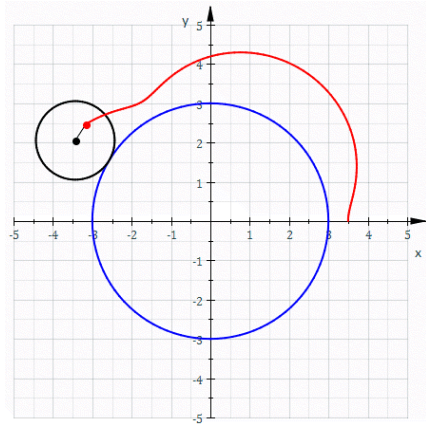
2. ábra. Kétdugattyús Wankel-motor fontosabb alkatrészei (forrás: internet)

### 1.1. Az állórész

Az állórész üregének körvonalát úgy lehet megszerkeszteni, hogy az álló fogaskerék gördülőkörén legördítjük a belsőfogazású bolygókerék gördülőkörét, ez utóbbi gördülőkörhöz pedig hozzárendeljük a bolygódugattyú élének megfelelő végpontokat. E pontok rajzolják ki a keresett körvonalat, amely egy epitrochoid.

Az epitrochoid az a görbe, amelyet egy körön csúszásmentesen legördülő második

körrel együtt forgó pont ír le, a 3. ábra szerint.



3. ábra. Epitrochoid (forrás: Wikipédia)

Ennek parametrikus egyenletei:

$$x(\theta) = (R + r) \cdot \cos(\theta) - d \cdot \cos\left(\theta \cdot \frac{R+r}{r}\right), \quad (1)$$

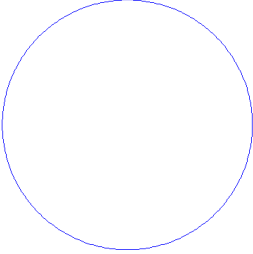
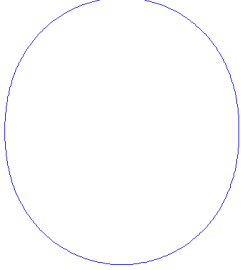
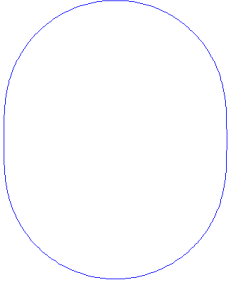
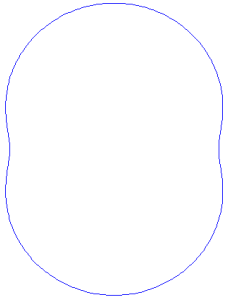
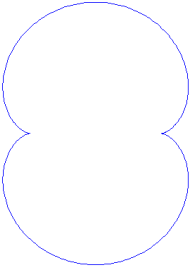
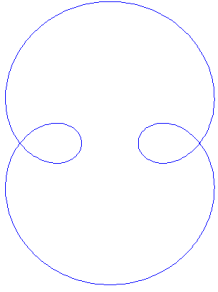
$$y(\theta) = (R + r) \cdot \sin(\theta) - d \cdot \sin\left(\theta \cdot \frac{R+r}{r}\right),$$

ahol  $R$  az álló,  $r$  pedig a legördülő kör sugara,  $d$  az epitrochoidot megrajzoló pont távolsága a legördülő kör középpontjától,  $\theta$  pedig a paraméter (ez tulajdonképpen a két kör érintkezési pontjának központi szöge az ábrázolt koordináta-rendszer  $x$  tengelyétől mérve).

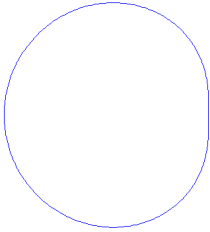
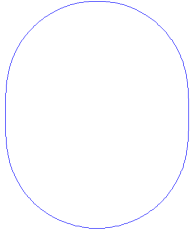
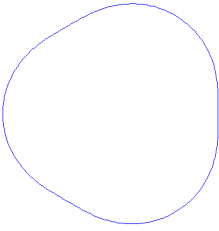
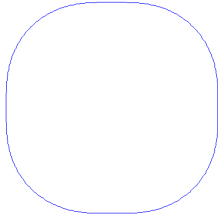
Céljainknak csak olyan epitrochoid görbék felelnek meg, amelyek önmagukban záródnak (egyébként a dugattyú éle eltávolodna az állórész belső felületétől, és a munkaterék egybenyílnának), tehát  $R$  és  $r$  aránya egész szám kell legyen (a Wankel-motor esetében ez az arány 2). A  $d$  távolság az epitrochoid legnagyobb és legkisebb sugarának viszonyát adja meg, tehát a Wankel-motor esetében a rotor „8”-ra emlékeztető formáját.

Egy egyszerű kis programot írtunk, kívánt epitrochoidot, néhány példa a következő két táblázatban látható.

1. táblázat. Különböző paraméterezésű kettős hurkú epitrochoidok

$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = \infty (d = 0)$ 	$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = 5$ 
$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = 3$ 	$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = 2$ 
$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = 1$ 	$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = \frac{1}{2}$ 

2. táblázat. Epitrochoidok, a hurkok száma 1, 2, 3 és 4

$\frac{R}{r} = 1, \quad \frac{r}{d} = 2$ 	$\frac{R}{r} = 2, \quad \frac{r}{d} = 3$ 
$\frac{R}{r} = 3, \quad \frac{r}{d} = 4$ 	$\frac{R}{r} = 4, \quad \frac{r}{d} = 5$ 

A táblázatok alapján levonható egy pár következtetés a  $d$  paramétert illetően:

- minél kisebb az értéke, annál közelebb áll az epitrochoid egy  $R' = R + r$  sugarú körhöz;
- ha  $d < r$ , akkor az epitrochoid sima;
- ha  $d = r$ , akkor az epitrochoid csúcsban találkozó ívekből fog állni (ez egy epiciklois lesz);
- ha  $d > r$ , akkor az epitrochoid hurkolt lesz.

Nyilvánvaló tehát, hogy:

- a motorunk esetében  $\frac{R}{r} = (n - 1)$  egész szám kell legyen, ahol  $n$  a dugattyú élei száma;
- az élek tömítésének szempontjából az epitrochoid minél simább kell legyen ( $d < r$ ),

– azonban  $d$ -t nem vehetjük tetszőlegesen kicsinek, ugyanis a munkatér térfogatának a motor egy ciklusa alatt egy  $V_{min}$  és  $V_{max}$  érték között kell változnia, ami a belső égésű motor esetén az  $\varepsilon$  kompresszióviszonyt, a pneumatikus motorunk esetében pedig a sűrített levegő kiszorítási térfogatát és expanzióját definiálja;

– amennyiben  $\frac{r}{d} = n$ , az epitrochoid egy lekerekített szabályos sokszöghöz hasonlít (nem azonos azzal, tehát nem lehet egyenesekből és körívekből megszerkeszteni).

### 1.2. A forgórész

Míg az állórész körvonalát a bolygódu-gattyú élei generálták (egyes szakcikk egy szabályos sokszög megforgatásával származtatják azt, ez az eljárás viszont nem

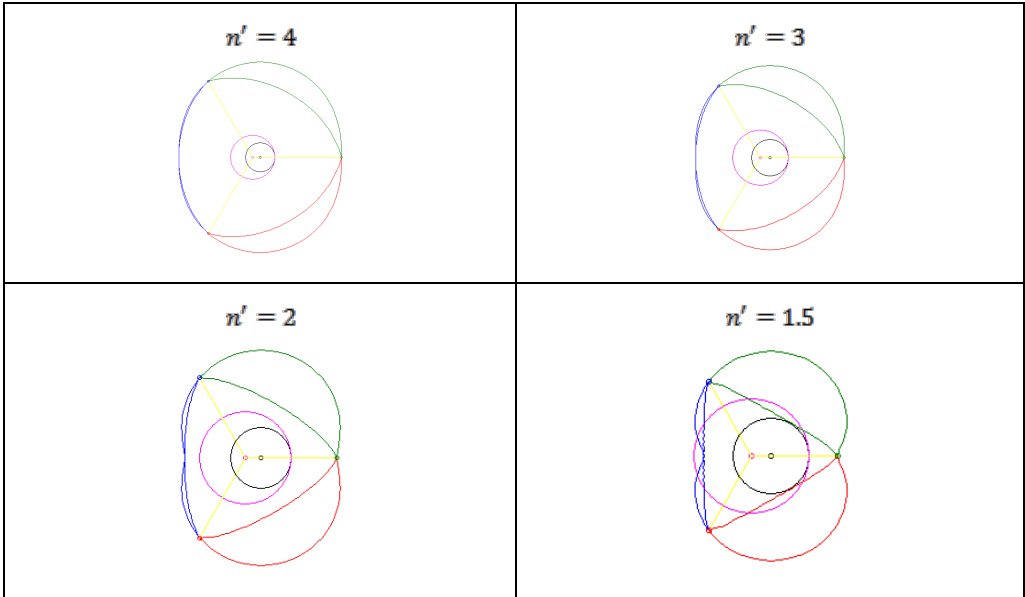
alkalmazható általánosan), addig a forgórész legnagyobb kiterjedését abból a feltételtől tudjuk meghatározni, hogy megszorulás nélkül körbe kell fordulnia az állórészben.

A szakirodalom a forgórész körvonalára nem ad meg általánosan használható egyenleteket. A Wankel-motor esetében a forgórészt néha Reuleaux-háromszög formájúnak tekintik, melyet úgy kapunk, hogy egy egyenlő oldalú háromszög csúcsaiból az oldalhosszal egyenlő sugarú köríveket húzunk. A dugattyú legnagyobb körvonalának egyenleteit talán meg lehetne állapítani, azonban a tervezés (CAD, CAM) és a kivitelezés (CNC) szempontjából előnyösebb a körvonalak koordináta-párokkal való leírása.

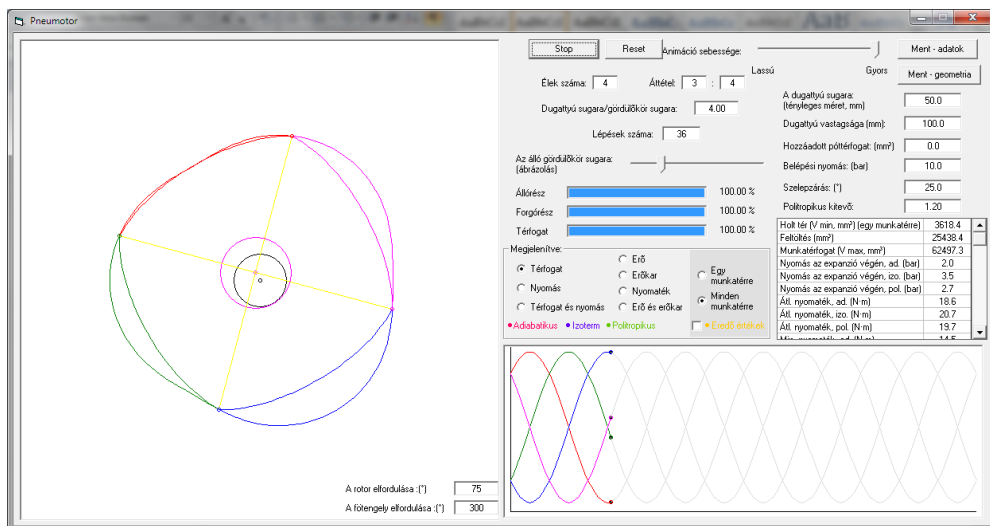
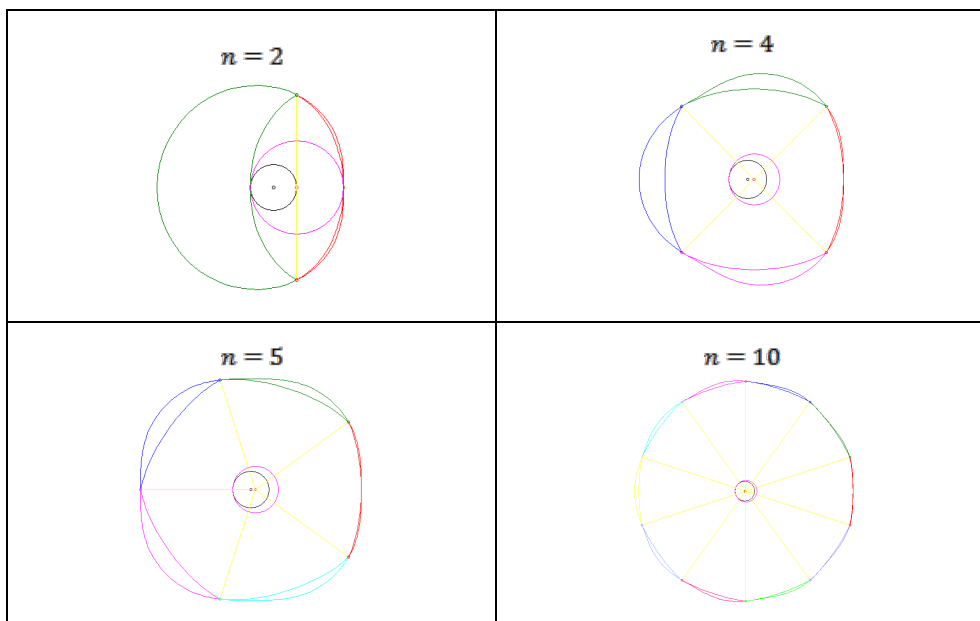
Ehhez egy újabb programot írtunk (4. ábra), amely első lépésben létrehozza az állórész körvonalait, majd a forgórész körbeforgatásával, mint egy burkológörbét, megállapítja annak körvonalát. Mindkét körvonal pontokból áll, amelyeket egy \*.csv állományba lehet menteni, más programokkal való feldolgozás céljából.

Néhány, e programmal a Wankel-motorra kapott dugattyúkörvonalat a 3. táblázatban mutatunk be. Látható, hogy minél nagyobb a dugattyú sugara a gördülőkörnek sugarához viszonyítva (az  $n'$  hányados), annál kerekdedebb a dugattyú. A hányados egy adott értéke alatt a belső fogazású kerék gördülőköre a burkológörbén kívül esik – ezt a motort igen nehéz lenne megépíteni.

3. táblázat. Dugattyú-burkológörbék háromszögű dugattyú esetén



4. táblázat. Dugattyú-burkológörbék 2, 4, 5 és 10 szögű dugattyú esetén



4. ábra. A program felhasználói felülete egy négyszögletű dugattyúval rendelkező motor esete.

A 4. táblázat az élek más  $n$  számára ad egy-egy példát.

A dugattyú valódi körvonala az így megszerkesztett burkológörbén belül kell legyen. A burkológörbét szabályos kör-

ívekkel és egyenes szakaszokkal is megközelíthetjük (tehát az valóban lehet egy Reuleaux-sokszög vagy akár szabályos poligon), amennyiben az így megrajzolt profil a burkológörbe belsejében van.

A burkológörbénél kisebb dugattyúprofil használata a holttér növekedéséhez vezet. Amennyiben a pneumatikus motor expanzió nélküli, vagy pedig a gépünket kompresszorként akarjuk alkalmazni, ez a holttér egyszersmind káros teret is jelent, tehát ilyen esetekben nem ajánlott túlzott mértékben eltérni a burkológörbétől.

## 2. Termodinamikai folyamatok

A forgórész és a dugattyú közötti teret a dugattyú élei  $n$  körbeforgó munkatérre osztják. Mialatt a dugattyú körbefordul, e munkaterek térfogata egy legkisebb  $V_{min}$  és egy legnagyobb  $V_{max}$  között alternál. E munkatér az ideális profilok közötti térből és a hozzáadott póttérfogatból áll. A Wankelmotor esetében e térfogatváltozás teszi lehetővé a klasszikus Otto-ciklus négy ütemének a lejátszódását. A pneumatikus motorunk esetében csak két ütemünk van:

- növekedő térfogat mellett sűrítettlevegő-bebocsátás, majd – ha expanziót is alkalmazunk – egy adott pillanattól a bebocsátószelep lezárásával expandáltatjuk azt;
- a térfogat csökkenése kezdetén a kibocsátószelepet megnyitjuk, azon keresztül távozik a levegő a következő ciklus kezdetéig.

E folyamatokat a következő **5. táblázat** tartalmazza.

A levegő expanziója opcionális. Előnye az, hogy a munkavégző ütem végén alacsony nyomású, tehát alacsony energiájú levegő távozik a gépből, a sűrített levegő nyomásából fakadó potenciális energia leg-

nagyobb részét a motor munkává alakítja át, tehát gazdaságosabbá válik a működtetés.

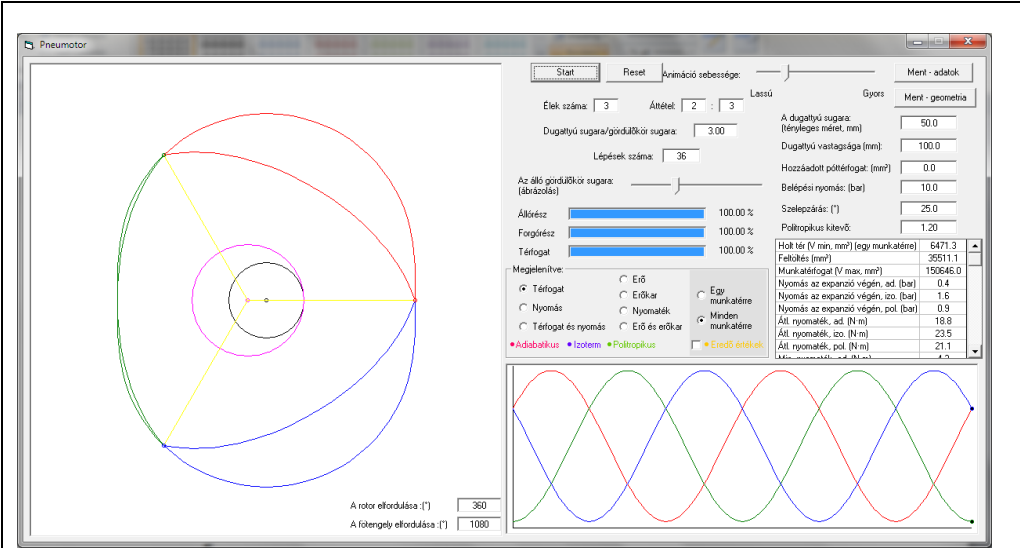
Az expandáltatás hátrányait a nyomaték erőteljes változása (amit valamennyire kompenzál az, hogy az  $n$  munkatérben lejátszódó folyamatok részben fedik egymást) és a szelepek, vezérlés beépítésének szükségessége jelentik.

A munkatérben végbemenő folyamatok a fenti két ütemnek és két holtpontnak megfelelően a következők (**5. ábra**):

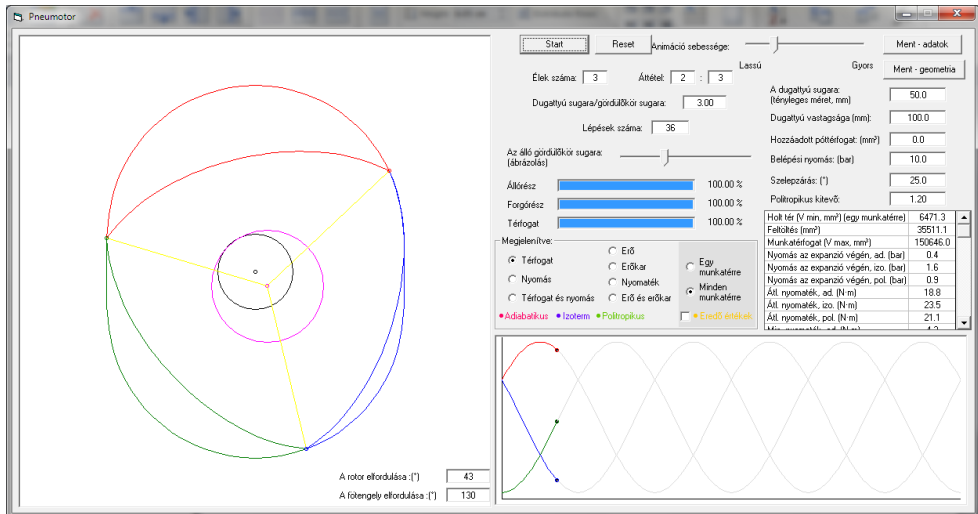
- 1→2: A „felső” holtpontban, szelepváltáskor hirtelen nyomásnövekedés, ami izochor folyamatnak tekinthető, ez nyitott rendszerben megy végbe.
- 2→3: A levegő bebocsátása izobár folyamat, ami nyitott rendszerben megy végbe.
- 3→4: A levegő expanziója zárt rendszerben megy végbe, ideálisan ez egy adiabatikus vagy pedig egy izoterm folyamat lenne. Valójában e folyamat a kettő között van. A pneumobilos tapasztalat azt mutatja, hogy azt politropikus folyamatként modellezhetjük (a munkahengerekkel megvalósított motor esetén a politropikus kitevő  $\kappa = 1.22$ -nek adódott).
- A kibocsátószelep „alsó” holtpontban való megnyitásakor ideálisan a munkatér fogatban levő nyomás az atmoszférikuskal egyenlő. Ettől eltérő nyomás esetén izochor nyomásváltozást kell feltételeznünk, ami a hatásfok romlásához vezet (ha az expanzió túl jól sikerül és a nyomás az atmoszférikus alá csökken, az első ütem megfelelő szakaszán fékező hatás lép fel!).
- 4→1: A második ütem alatt a térfogat csökken, ezalatt a kibocsátószelep nyitva áll. Ez egy nyitott rendszerben végbemenő izobár folyamat.



5. táblázat. A pneumatikus motor két üteme és két holtpontja

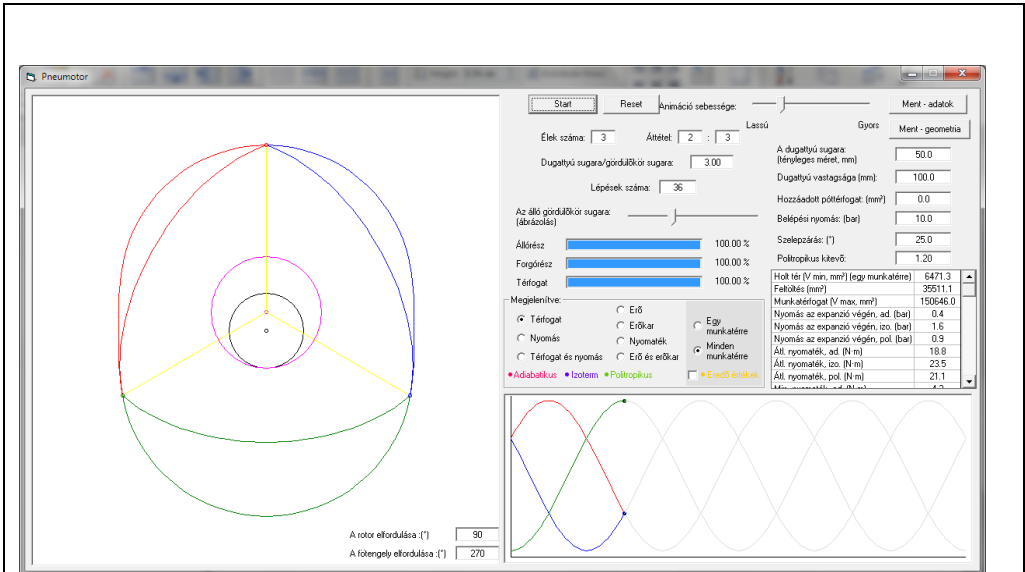


A zöld munkatér a legkisebb térfogatú, ez lenne a „felső holtpont”. Elkezdjük bebocsátani a sűrített levegőt. Ezalatt a piros munkatér növekedik (itt a levegő expandál, munkavégzés történik), a kék pedig csökken (itt a levegő távozik).

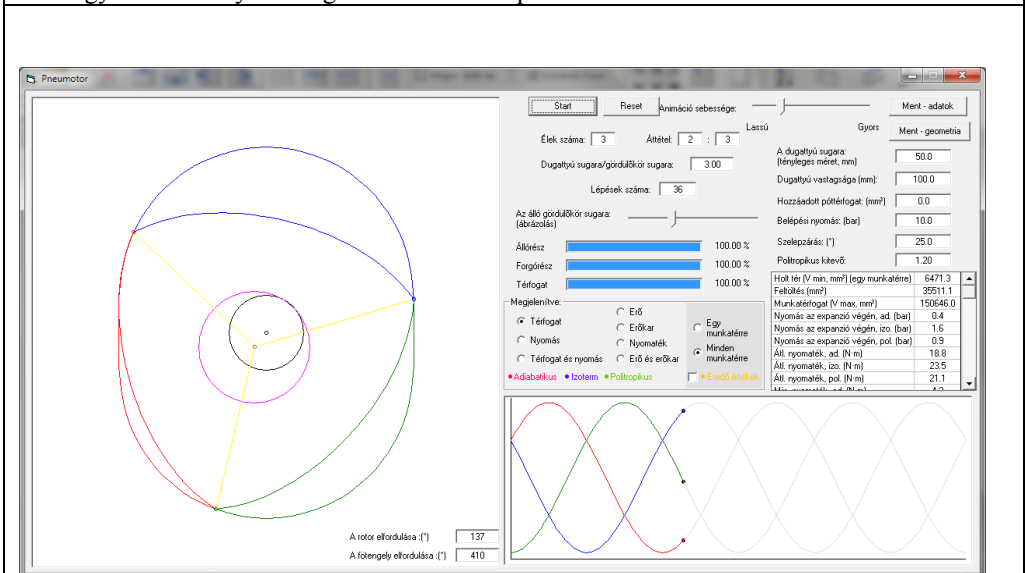


A zöld térfogat növekszik, ezalatt a bebocsátószelepet egy adott pillanatban lezárjuk, és attól kezdve itt a levegő nyomása az expanzió miatt csökkenni fog. Ez a munkavégző ütem, amely egy darabig párhuzamosan folyik a piros tér munkavégző ütemével.

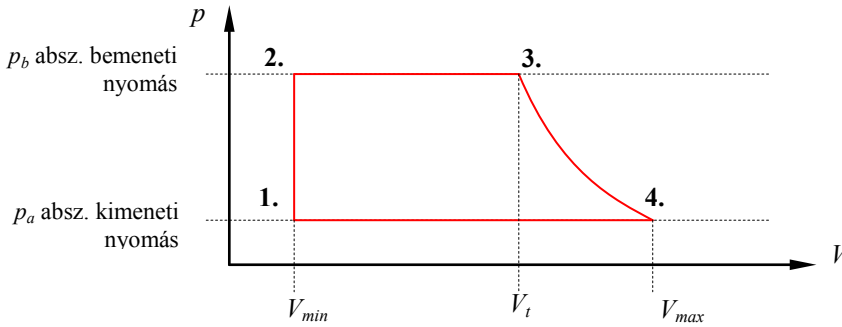
5. táblázat. A pneumatikus motor két üteme és két holtpontja (folyt.)



A zöld tér eléri a legnagyobb térfogatát, ez az „alsó” holtpont. Ekkorra az expandált levegő nyomása, ha takarékosan akarjuk üzemeltetni a gépünket, az atmoszferikus nyomás körül kell legyen. Ekkor nyílik meg a kibocsátószelep.



A zöld tér folyamatosan csökken, miközben a munkatérben maradt levegő távozik. Ez egészen addig tart, míg a térfogat el nem éri a legkisebb értékét, akkor szelepváltás történik, és a ciklus megismétlődik.



5. ábra. A motor termodinamikai ciklusa

E termodinamikai körfolyamat ideálizált, azonban a pneumobilos tapasztalat azt mutatja, hogy a szenzorokkal kimért indikált diagram nem különbözik lényegesen az ábrázolt, ideális ciklustól. Éppen ezért nem követünk el nagy hibát, hogyha a motor által kifejtett nyomatékot, végzett munkát e diagram alapján számítjuk ki.

Az általunk megalkotott program a 3→4 expanzióra három lehetőséget ajánl fel, mindhárom esetet egy  $p \cdot V^\kappa = \text{áll.}$  egyenlet ír le, ahol  $p$  az abszolút nyomás. Izoterm expanzióra  $\kappa = 1$  (Boyle–Mariotte-gáztörvény), adiabatikus expanzióra  $\kappa = 1.44$  (Poisson-egyenlet, az adiabatikus kitevő ezen értéke kétatomos gázokra érvényes), politropikus expanzióra  $\kappa \in (1, 1.44)$ ; az értékét kísérletileg lehet megállapítani.

A program e folyamatokra külön-külön kiszámolja a nyomás változását, a dugattyúra ható hidrosztatikai erőt, az erőnek a motor forgattyújához viszonyított erőkarját és végül az erő nyomatékát.

### 3. A motor vezérlése

Az eredeti Wankel-motornak nincsenek szelepei, akárcsak egy kétütemű dugattyús motor esetében csak beömlő- és kiömlőnyílásokkal találkozunk. Ez a megoldás azonban a pneumatikus motorunk esetében nem a legjobb, hiszen így nincs lehetőségünk a

működés optimális beállításaihoz. Ezek a beállítások dinamikusak kell legyenek. Mivel a pneumatikus rendszerekben a nyomásesés a hozam négyzetével együtt nő, a  $p_{be}$  bebocsátási nyomásunk igencsak terhelésfüggő lehet. Másrészt az expandáló levegő lehül, és ez a motor alkatrészeit is lehűti, így huzamosabb működtetés után a  $\kappa$  politropikus kitevő is érezhető módon megváltozhat.

A motorunkat tehát szelepekkel kell ellátnunk, a szelepeket pedig pl. egy PLC-vel kell vezérelnünk, a bemeneti nyomás, a hőmérséklet és a fordulatszám függvényében (ez utóbbi a szelepek késleltetését is figyelembe veheti, de készíthetünk szabályozott fordulatszámon működő motort is).

A vezérlés legnagyobb problémája az 5. ábrán levő 3-as pont kitűzése, amit a modellező programunkban a dugattyú elfordulási szögével adunk meg mint „Szelepszárás”-t. A  $V_t$  térfogat kiszámítása a

$$p_b \cdot V_t^\kappa = p_a \cdot V_{max}^\kappa \quad (2)$$

egyenlet alapján történik, ahonnan

$$V_t = \sqrt[\kappa]{\frac{p_a}{p_b}} \cdot V_{max} \quad (3)$$

Az így kapott  $V_f$  térfogattal meg kellene határozni a bebocsátószelep zárásának a „felső” holtponthoz viszonyított szögét. Mire erre analitikus képletünk egyelőre nincs, a szelepszárás szögét csak próbálkozással tudjuk beállítani.

#### 4. Következtetések: a motor méreteinek megválasztása

A motor jellemző paraméterei a nyomoték és a teljesítmény. Ez utóbbit az egy fordulatra kiszámolt mechanikai munka és a fordulatszám szorzataként adhatjuk meg. Itt megjegyzendő, hogy a motor tengelyének a fordulatszáma nem azonos a dugattyú fordulatszámaival, hanem annak  $n$ -szerese (tehát míg pl. a Wankel-motor dugattyúja bolygómozgása során a saját tengelye körül egyszer körbefordul, addig a főtengely három fordulatot tesz meg).

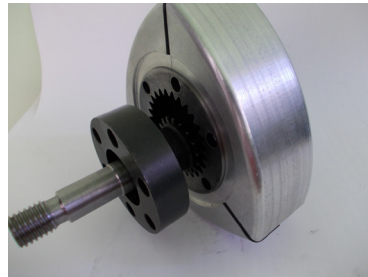
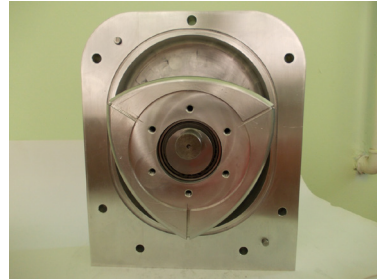
Az optimális geometria megválasztását parametrikus modellezéssel oldhatjuk meg. Azonos méretű és hasonló geometriájú (a **2. táblázat** szerint) motorokra kapott eredmények alapján (a szelep időzítésével azonos expanzióvégi nyomásokat állítottunk be) elmondhatjuk, hogy:

- az élek számának növekedésével a motornak a dugattyú egy fordulatára eső munkateret és feltöltése jelentősen csökken;
- ha a munkateret a főtengely egy fordulatára számítjuk, akkor a csökkenés még erőteljesebb lesz (mivel az előbbi értéket az élek számával kell elosztanunk);
- a holttér aránya az élek számával növekedik (a hatásfok tehát romlik), míg a feltöltés aránya állandó;
- azonos méretek esetén a motor teljesítménye az élek számának növelése folytán tehát jelentős mértékben csökken;
- megvizsgáltuk, hogy termodinamikai szempontból mit jelent a dugattyú su-

garának és a gördülőkör sugarának aránya:

- az arány növekedésével az állórész belső körvonala egyre simább (ez majd a tömítés szempontjából lesz érdekes);
- az arány növekedésével a nyomoték egyre csökken, de
- csökken a holttér százalékos aránya is.

E következtetések alapján a közeljövőben tanulmányozandó prototípusunkat egy háromélű dugattyúval terveztük meg és kiviteleztük. A termodinamikai szempontból optimális gép a **4. táblázat** bal felső részében szereplő, kétélű dugattyúval ellátott verzió lenne, azonban az egyenletes járáshoz ez valószínűleg két, egymáshoz viszonyítva  $90^\circ$ -kal elfordított dugattyúval kellene megépíteni.



6. ábra. A prototípus főbb alkatrészei

A megépített prototípus egyik sajátossága az, hogy a dugattyú éleit és oldalait lekereszteltük a tömítések könnyebb kivitelezésének érdekében. E lekeresztések miatt nem lehet alkalmazni az eredeti Wankel-motor két fedőlappal lezárt állórészes meg-

oldását, az most két, egymáshoz illeszkedő darabból áll (6. ábra).

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Kenneth, C. Weston: *Energy conversion*. (7. fejezet: The Wankel Rotary Engine), Pws Pub Co 1992, ISBN-13: 978-0534938611, elektronikus formában: [www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston/](http://www.personal.utulsa.edu/~kenneth-weston/)
- [2] Jan Norbye: *The wankel engine: design, development, applications*. (2. fejezet: Geometry) Chilton Book Co 1971, ISBN-13: 978-0801955914, elektronikus formában: <https://netfiles.uiuc.edu/ro/www/SocietyforExperimentalMechanics/wankelfiles/wankelgeometry.pdf?uniq=jufkq>

[3] Papp István: *A0 / 00993 / 2010.10.20. iktatószámú szabadalom egy bolygódugattyús belső égésű motorról*.

[4] Az „Aratók” és a „Prérifarkas” pneumobilcsapatok tervdokumentációi (2008-2011)

A bolygódugattyús pneumatikus motor kutatását a Sapientia Alapítvány keretein belül működő Kutatási Programok Intézete finanszírozta és tette lehetővé.

The development of the planetary-piston pneumatic engine was supported and financed by the Sapientia Foundation – Institute for Scientific Research.

## A SZEMCSEMÉRET ÉS A MECHANIKAI TULAJDONSÁGOK KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA HEGESZTETT VARRATOKNÁL

### INVESTIGATION OF THE RELATION BETWEEN THE GRAIN SIZE AND THE MECHANICAL PROPERTIES IN CASE OF WELDED JOINTS

Kovács-Coskun Tünde<sup>1</sup>, Pinke Péter<sup>2</sup>, Bitay Enikő<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1081, Magyarország, Budapest, Népszínház u. 8; Telefon / Fax: +36-1-6665368, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

<sup>2</sup>Szlovák Műszaki Egyetem Pozsony, Anyagtechnológiai Kar Nagyszombat, Paulínska 16, 917 24 Trnava, Szlovákia, peter.pinke@stuba.sk

<sup>3</sup>Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, O.p.9, C.p.4, ebitay@ms.sapientia.ro

#### Abstract

It knows that between the grain size and the mechanical properties can find relation [1]. The Hall–Petch equation shows a relationship between the grain size and the yield strength. This equation valuable in case of low carbon steels. Also in the literature we can find a linear function to numerate the yield strength from the hardness. We made some welding samples and measured the hardness and the grain size in the welded joint and the heat affected zone. We find a strong correlation between the grain size and the hardness in case of the tested steel. We supposed in base of our results that we can find a correlation between the grain size and the yield strength too. The hardness test is very quick and simple test what we use always to control the quality of the welded joint and the heat affected zone. If our supposition is real and we can find a correlation between the hardness and the yield strength it can be very usefully during the design of the welding technology.

*Keywords:* Hall–Petch-equation, grain size, hardness, yield strength

#### Összefoglalás

A fémek anyagoknál ismert, hogy mechanikai tulajdonságaikra a szemcseméretnek jelentős hatása van [1]. A Hall–Petch-egyenlet a szemcseméret és a folyáshatár közötti összefüggést írja le. Ebben a cikkben kísérletet tettünk, gyakorlati méréseket felhasználva arra, hogy kapcsolatot teremtsünk a szemcseméret, a keménység, valamint a folyáshatár között a Hall–Petch-egyenlet felhasználásával. A szemcseméreteket egy alacsony karbontartalmú acél hegesztett kötésében, illetve hőhatásövezetében mértük. A vizsgált acélminőség esetében egyértelmű kapcsolatot tapasztaltunk a keménység és a szemcseméret között.

Ennek alapján feltételezhető, hogy a hegesztett kötés különböző részein a folyáshatár értéke is megváltozik az alapanyaghoz képest. A keménységmérés igen gyors és egyszerű vizsgálati mód, amit a hegesztett varratok ellenőrzése során egyébként is alkalmaznak. Felvázoltunk egy összefüggést, amely alapján a keménységből a folyáshatár meghatározható, ez a gyakorlatban hasznos lehet a méretezés és a kötés szilárdságának ellenőrzése során.

*Kulcsszavak:* Hall–Petch-egyenlet, szemcseméret, keménység, folyáshatár

## Bevezetés

A gépészeti tervezési gyakorlat során gyakorta hivatkozunk a Hall–Petch-összefüggésre annak igazolásaként, hogy a mechanikai tulajdonságok és a szemcseméret szoros összefüggésben vannak, ezért a hőkezelés, hegesztés és más technológiák tervezése során igyekszünk a szemcsedurvulást elkerülni, finomszemcsés szerkezetet beállítani. Kísérletekkel igazolható, akár egy szokványos szakítóvizsgálattal is, hogy különböző szemcseméretű próbatesteket alkalmazva ez az összefüggés helytálló. Sajnos az irodalomban a Hall–Petch-egyenlet technológiai tervezés során való gyakorlati alkalmazásáról kevés szó esik.

Tanulmányunkban egy gyakorlati mérősorozat alapján arra kerestük a választ, hogy egy egyszerű keménységmérést elvégezve, hogyan kaphatunk a hegesztett kötés méretezéséhez segítséget nyújtó szilárdságértéket.

Hegesztési kísérletsorozatot végeztünk vastaglemezek (8 mm) sarokvarratának hegesztésére. A technológiai paraméterek ellenőrzése miatt a varrat ellenőrzését is elvégeztük, amely mikrocsiszolat szövet-szerkezet- és szemcseméret-meghatározásból és keménységmérésből állt. A hegesztett szerkezetek gyártástechnológiájának (paraméterbeállítás) meghatározásakor figyelembe kell venni a hőbevitelből következő átalakulásokat és szemcsedurvulást. Acélok esetében az átalakulási és szemcsedurvulási hajlam függ az előzetes hidegalakítás mértékétől, valamint a választott hegesztési eljárás paramétereitől. A varratok elkészítése során igyekeztünk a változók számát minimálisra csökkenteni, így a viz-

gált hegesztett varratok esetében a paramétereket nem változtattuk, előzetes hidegalakítást pedig nem végeztünk.

A kis szilárdságú, alacsony karbon-tartalmú acélon végzett keménységmérésből és szemcseméret-meghatározásból kapott adatsorozatot, az irodalomból ismert Hall–Petch- (1), valamint a keménység-szilárdság kapcsolatára (2) felállított összefüggéseket felhasználva kíséreltük meg a folyáshatár meghatározását.

## 1. A szemcseméret és a mechanikai tulajdonságok kapcsolata

### 1.1. Hall–Petch-összefüggés

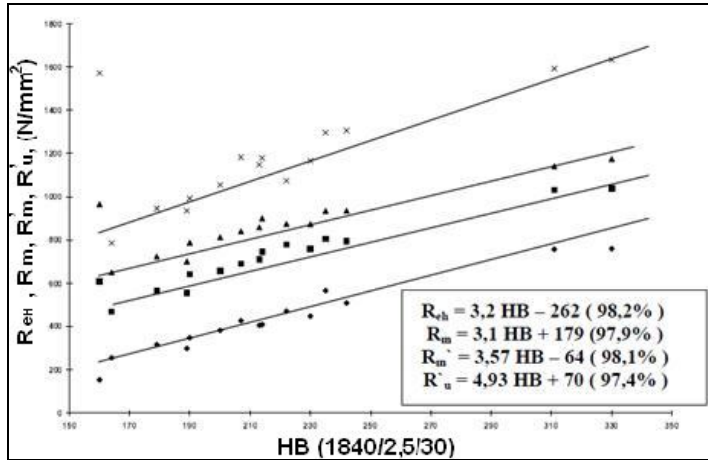
A Hall–Petch-összefüggés (1) kapcsolatot teremt a fémek anyag szemcsemérete és folyáshatára között, amelyből adódóan a folyáshatár és az átlagos szemcseméret négyzetgyöke között fordított arányosság van [2].

$$R_{eH} = R_0 + \frac{k}{\sqrt{d}} \quad (1)$$

Ahol:  $k$  anyagtól függő állandó,  $d$  átlagos szemcseátmérő,  $R_0$  (szilárdsági konstans).

### 1.2. A szemcseméret-keménység kapcsolata

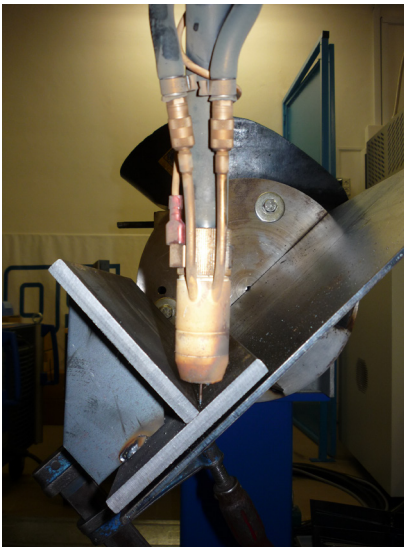
Az 1. ábrán látható, hogy a keménység ( $HB_{1840/2,5/30}$ ) és a folyáshatár ( $R_{eH}$ ), valamint a szakítószilárdság között szoros összefüggés mutatható ki számos acél, alumínium- és rézötvözet esetén [3].



1. ábra. Brinell keménység és a szilárdsági jellemzők kapcsolata [3]

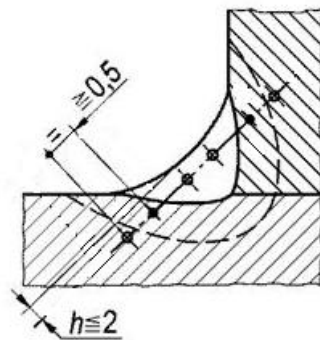
## 2. A szemcseméret és a keménység méréssel megállapított értékei

A szemcseméretet fémmikroszkóppal, a keménységet ( $HB_{1840/2,5/30}$ ) keménységméréssel határozzuk meg PA helyzetű sarokvarratok esetében, S235JR acélon mérve.



2. ábra. PA helyzetű hegesztés CLOOS Qirox QRC 320 típusú ívhegesztő robottal [1]

A varratokat PA (vályú helyzetű sarokvarrat) helyzetben a 2. ábra szerint hegesztettük MSG normál fogyóelektrodás irányított rövidzárlatos védőgázos (Corgon18 védőgáz alkalmazása mellett) ívhegesztési technológiával egy CLOOS Qirox QRC 320 típusú ívhegesztő robottal az Óbudai Egyetem, Bánki Kar CLOOS robothegesztő laborjában. A robothegesztés lehetővé tette, hogy az egyes darabok teljesen azonos beállítások mellett készüljenek el. A kézi hegesztésből adódóan ugyanis bizonyos pontatlanságok, bizonytalanságok származhatnak [4].



3. ábra. A keménységmérési pontok a varratban és a hőhatásövezetben



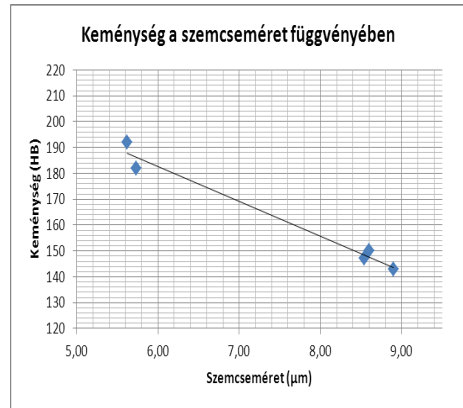
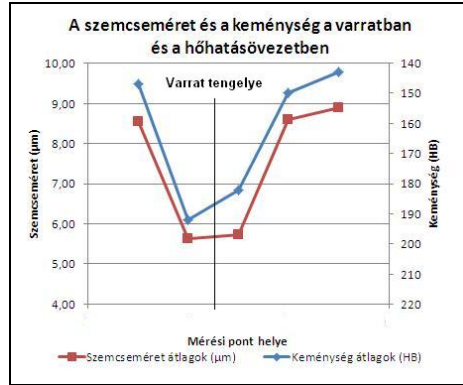
A mérési eredményeket az **1. táblázat** foglalja össze. A keménységértékek, valamint a szemcseméret a varratban azonos koordináták mentén két azonos elrendezésű és azonos technológiával hegesztett sarokvarrat metszetén kerültek meghatározásra.

**1. táblázat.** Átlagos szemcseméret és a keménység az azonos koordinátájú pontokon mérve

Szemcseátmérők (µm)	Keménységek (HB <sub>1840/2,5/30</sub> )
8,54	154,75
5,62	201,25
5,73	193
8,60	158,75
8,90	150

A varratban és a hőhatásövezetben a mérési pontokat a **3. ábra** szemlélteti. A keménységmérés eredményeit, valamint a szemcseméretet a varratban, illetve a hőhatásövezetben a **4. ábra** mutatja.

A **4. ábrán** a keménység és a szemcseméret változása szoros korrelációt mutat, melyet lineáris egyenlővel közelítettünk, de erre a kapcsolatra egyértelmű függvénykapcsolatot nem tudtunk felírni. Természetesen az elvégzett mérések száma alapján egyértelműen nem mondható ki, hogy keménység és a szemcseméret között a kapcsolat lineáris. Kutatásaink során tervezzük, ennek nagyszámú kísérletről és mérési eredményekből történő meghatározását.



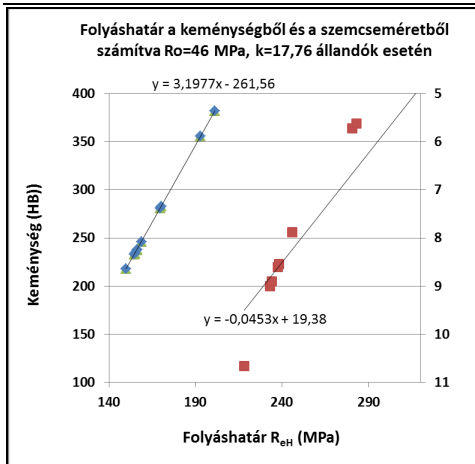
**4. ábra.** Keménység és a szilárdsági jellemzők kapcsolata [1]

Felhasználva az **1. ábra** összefüggéseiből a folyáshatárra vonatkozó egyenletet (2), valamint a Hall-Petch-összefüggést (1), amelyeket ha egymással egyenlővé teszünk, az alábbi (3) összefüggést kapjuk.

$$R_{eH} = 3,2 \cdot HB - 262 \tag{2}$$

$$3,2 \cdot HB - 262 = R_0 + k \cdot d^{-\frac{1}{2}} \tag{3}$$

Mérési eredményeink és a belőlük számított keménység-szilárdság értékek lineáris kapcsolatot mutatnak az **5. ábra** szerint.



5. ábra. Keménység és a szilárdsági jellemzők kapcsolata

A felírt összefüggések segítségével számíthatjuk a folyáshatárt a  $k$  tényezőből

2. táblázat. Számítással meghatározható szilárdsági értékek

HB keménységből (2) számított folyáshatár $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )	Szemcseméret $d$ ( $\mu$ m)	Átlagérték $k$ [5]	Hall Petch- (1) összefüggésből számítva ( $R_0=46$ MPa, $k=17,76$ ) $R_{eH}$ (N/mm <sup>2</sup> )
233,2	8,54	17,76	238,18
382	5,62		282,90
355,6	5,73		280,62
246	8,60		237,51
218	8,90		234,25

### 3. Következtetések

Keménység- és szemcseméret-méréseket végeztünk sarokvarrat hegesztését követően. Az irodalomban található összefüggések alapján kiszámítottuk a lokális folyáshatárt a szemcseméret és a keménység függvényében. A szemcseméretből és a keménységből meghatározott folyáshatárértékek között eltérést tapasztaltunk. A varrat tengelyétől távolabbi pontokon, ahol a keménység már az alapanyaghoz közeli, a folyáshatár-értékek mind a szemcseméret-

az (1) és (2) összefüggések szerint. A 2. táblázat azonos soraiban a felírt (3) összefüggés alapján közel azonos értékeknek kellene szerepelniük, ezzel szemben a varrat közepén, ahol a szemcseméret lecsökken (5,62–5,73 $\mu$ m), a számított folyáshatár értékek jelentősen eltérnek.

A mérési eredményeinkből kapott függvény az irodalomban talált (2) összefüggéssel közel azonos a keménység és a folyáshatár tekintetében. A Hall–Petch-összefüggés alapján számított értékek szintén illeszkednek egy hatványgörbére, de itt meg kell jegyezni, hogy a számításaink során  $R_0$  és  $k$  értékére az irodalomból átvett közelítő értékeket alkalmaztuk.

méréssel történő igazolása vezethet eredményre annak megítélésében, hogy a szemcseméret és a szilárdság közötti összefüggést meghatározhatjuk.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet kívánnak mondani a Cloos Crown International Kft.-nek, valamint Végh Sándornak a cég munkatársának, aki a hegesztési kísérletekben nyújtott támogatást, valamint Szilágyi Gábor egyetemi hallgatónak, aki a mérésekben segítette munkánkat.

### Szakirodalmi hivatkozások

[1] Szilágyi G., Kovács-Coskun T., Pinke P.: *Az összeállítási pontatlanság hatása a hegesztési*

*paraméterek korrekciójára sarokvarratok esetén.* FMTÜ XVIII. EME, Kolozsvár, 2013, 383–386.

- [3] Krállics Gy., Fodor Á.: A 17–4 PH Martenzites korrózióálló acél fázisátalakulásának vizsgálata dilatométerrel. *Anyagvizsgálók lapja* 2005/4. 107–109.
- [2] Varga Ferenc, Tóth László, Guy Pluvinage: *Anyagok károsodása és vizsgálata különböző üzemi körülmények között.* Miskolci Egyetem, 1999. 33.  
<http://edu.bzlogi.hu/mtesting/szoftverek/kem-enys.pdf>
- [4] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Hegesztéstechnika I.*, EME, Kolozsvár, 2010. 53–68.
- [5] Pinke P., Kovács-Coskun T.: *Mérnöki anyagtudomány.* Példatár II., ÓE egyetemi jegyzet, Budapest, 2012. 32–33.

## ARKHIMÉDÉSZ-FÉLE SPIRÁLIS FOGIRÁNYVONALÚ HENGERES FOGASKEREK FOGLÁBFELÜLETÉNEK MODELLEZÉSE

## THE MODELING OF DEDENDUM TRANSITION SURFACES BY CYLINDRICAL GEARS WITH ARCHIMEDEAN SPIRAL SHAPED TOOTHLINE

Máté Márton<sup>1</sup>, Hollanda Dénes<sup>2</sup>

(1) *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Cím: Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C Telefon / Fax: +40-265-206210/ +40-265-206211. Levelezési cím: mmate@ms.sapientia.ro*

(2) *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Cím: Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C Telefon / Fax: +40-265-206210/ +40-265-206211. Levelezési cím: hollanda@ms.sapientia.ro*

### Abstract

Cylindrical gears having the tooth line shaped by an Archimedean spiral were recently developed in the frame of a research contract supported by the Hungarian Academy of Sciences [1]. As well as known, most used cylindrical gears are the classical spur gears or helical gears forming an exterior or interior gear couple. Theory of these gears was developed and technology perfected longtime ago. Despite of this fact it still exist a challenge here. It consists in finding new ways to increase the load capacity and the quality of the teeth contact at equivalent dimensions in comparison with the classical cylindrical involute gears. Cylindrical gears having the tooth line shaped by an Archimedean spiral combine successfully the advantages of shaping using one common rake type tool [2] and those offered by the bevel gear cutting technologies regarding the localization of the contact patch. In our opinion there exist two basic aspects of the geometry that influence the load capacity: the values of curvatures on the tooth surfaces [3] and the shape of the dedendum transition surface situated between the enveloped tooth surface and the dedendum circle. This paper presents the geometrical model of the tooth dedendum transition surface. It starts from the general concepts of modeling the edge of the cutting tool, and continues with the discussion of the surface family generated by the tool's edge. The paper ends with conclusions regarding the further possible developments.

**Keywords:** involute, Archimedean spiral, tooth dedendum, modeling.

### Összefoglalás

Az Arkhimédész-féle spirális fogirányvonalú hengeres fogaskerekeket a Magyar Tudományos Akadémia segítségével megvalósult kutatási program keretében fejlesztettük ki [1]. Amint ismeretes, a hengeres evolvens fogaskerekek egyenes vagy ferde fogazású, külső vagy belső kapcsolódású fogaskerekek. Ezek elmélete és gyártástechnológiája mára már teljes egészében felfedezett és a végletekig tökéletesített. Mindezek ellenére a hengeres fogaskerekek területén továbbra is fennáll és egyre erősebb az a kihívás, aminek tétjét a fogak érintkezésének a tökéletesítése, valamint a teherbírás növelése képezi, a klasszikus fogaskerekekkel azonos méretek megtartása mellett. Az Arkhimédész-féle spirális fogirányvonalú fogakkal rendelkező hengeres fogaskerekek sikeresen ötvözik az egyetlen, fogasléc

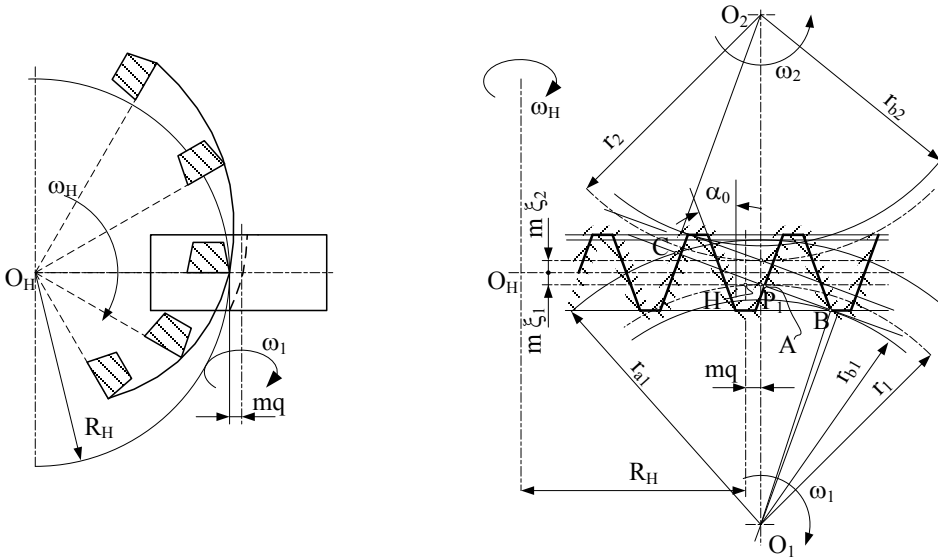
típusú szerszámmal való lefejthetőség [2] és a kúpfogaskerek hordkép-lokalizációra irányuló megoldások előnyeit. Nézetünk szerint két geometriai aspektus befolyásolja lényegesen a fogak terhelhetőségét és megfelelő kapcsolódását: a fogfelületek érintkezési pontokban felvett görbületeinek viszonya [3] és a foglábfelület alakja. Jelen dolgozat részletesen foglalkozik a vizsgált fogaskerekre jellemző foglábfelület lefejtésével, alakjának befolyásolhatóságával, valamint a reális származtatófelületekkel. Elsőként a szerszámél csatlakoztató részének modellezését tárgyalja, ezt követően a foglábfelület kialakító reális fogfelületsereg egyenleteinek levezetését nyújtja, majd a foglábfelület optimalizálásának lehetőségeivel zárul.

**Kulcsszavak:** evolvens, Arkhimédész-féle spirál, fogláb, modellezés

### 1. Az Arkhimédész-féle spirális fogirányvonalú hengeres fogaskerek lefejtésének elve

Az Arkhimédész-féle spirális fogirányvonalú fogaskerékpár lefejtési elvét az **1. ábrán** szemléltetjük [1, 2]. Az ábra bal oldalán felülnézetben látható a lefejtőszerszám elvi vázlata. Amint megfigyelhető, a kúpfogaskerék-marófejekhez hasonló felépítés  $z_s$  számú, Arkhimédész-féle spirálgörbére tájolt, egyenlő szögbeosztású, fogasléc-profil élvezetésű kést egyesít. A forgástengely a bal oldali vázlat síkjára merőleges. Amint a szerszámot óramutató járásával megegyező irányban forgatni

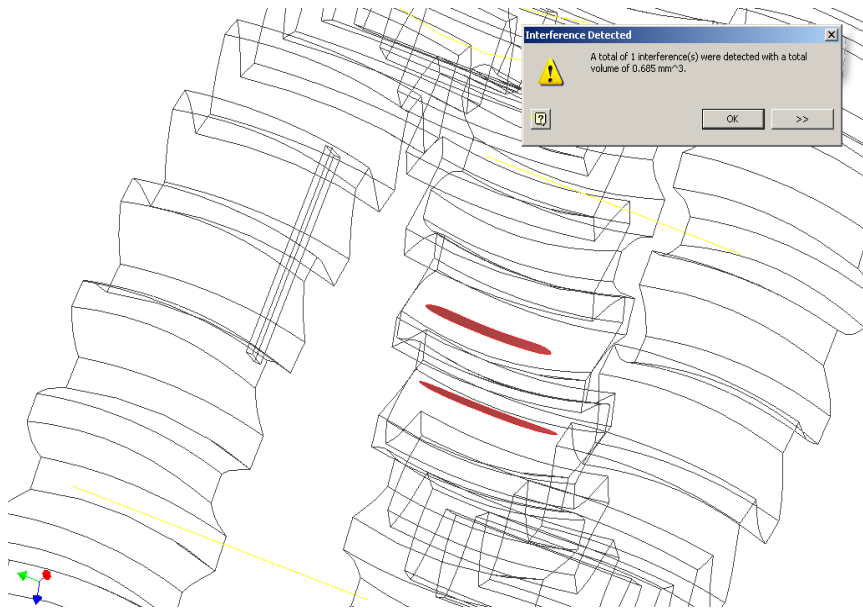
kezdjük,  $\omega_H$  szögsebességgel, bármely sugár irányában az  $a\omega_H$  sebességgel haladó fogaslécprofilat találjuk, amelyet matematikai modellként értelmezünk [4,5], és beírjuk két kapcsolódó fogaskerék közé, amint az **1. ábra** jobb oldalán szemléltettük. Tudván, hogy az Arkhimédész-féle spirális vezérgörbe paramétere  $a=0,5m$ , és így a fogasléc osztóvonalmenti fogosztása  $p=\pi m$ , belátható, hogy elvileg a javasolt szerszám fogasléccel egyenértékű származtatófelületek létrehozására alkalmas, így csoportkerek megmunkálásához megfelelő [6].



**1. ábra.** Az Arkhimédész-féle spirális vezérvonalú fogazat lefejtésének elvi vázlata [1,2]

A jobb oldali vázlat kimutatja, hogy a javasolt felületszármaztatás lehetővé teszi a hagyományosan értelmezett profileltolást és a tangenciális eltolás alkalmazását is, aminek következtében az érintkező fogak görbületeit a pontszerű érintkezés megvalósítása céljából módosítja. Az érintkező fogfelü-

leteket az [1]-ben részletesen kifejtett matematikai modell alapján kapjuk meg. A tökéletesen illeszkedő hordkép kimutatása az Inventor szoftver felhasználásával történt, aminek során a fogoldalak egymásba forgatásának elvét alkalmaztuk [3,4]. A modellt a **2. ábrán** szemlélhetjük.



2. ábra. A kapcsolódó fogoldalak és a hordkép helyzete [3]

## 2. A foglalófelület kialakítása

### 2.1. A foglalófelület sajátosságai a görbe fogú hengeres kerekek esetében

Az egyenes- vagy dőltfogú hengeres kerekek esetében a foglalógörbe a fogaskerék tengelyére merőleges síkban pontosan tanulmányozható. Ez a lefejtés azon sajátosságának köszönhető, hogy bármely tengelyre merőleges szelvényben a burkolás azonos módon történik. Ezekben az esetekben jó közelítéssel állítható, hogy a lécszerű számszámmal lefejtett fogazatok foglalógörbéje a számszám legtovábbi pontja által leírt hurkolt evolvens, a metszőkerék-

kel lefejtett fogazatoknál hurkolt epiciklois [4, 6]. A fogaskerékgyártó-számszabványok [7, 8, 9, 10] a lefejtőszámszám fogának fejszalagélé és oldalélé közötti csatlakoztatást körívvel, esetleg lecsapással (egyenes szakasszal) oldják meg. Ez esetben a burkolt felület tengelyre merőleges szelvénye közelítőleg azonos az elméleti görbékkel.

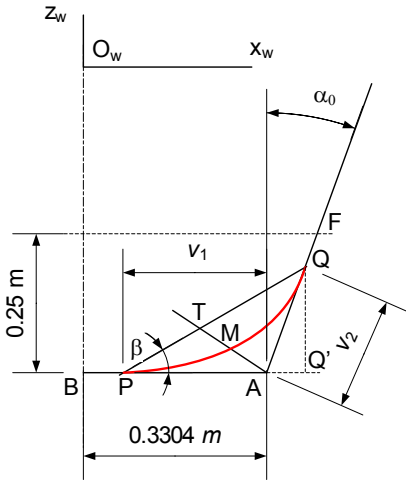
A görbe fogú hengeres fogaskerék esetében evolvensprofil kizárólag a lefejtőszámszám azon tengelysíkban keletkezik, mely a fogaskerék tengelyére merőleges. Bármely más síkban a klasszikus evolvenslefejtéshez képest „csúszás” áll elő, így a foglalófelület igen összetett mó-

don változik. Jelen modellezésnek pontosan az a végső célja, hogy elkerüljük azokat a beállításokat, amelyek következtében megengedhetetlenül terjedelmes foglábfelületzónák jönnének létre, és előállna a foglábfelület és a hasznos fogfelület kapcsolódásának lehetősége is.

A foglábfelület görbületét lényegesen befolyásolja az ezt előállító szerszámélrész görbülete. Annak érdekében, hogy a foglábfelületet a lehető legfinomabban tudjuk módosítani, a lefejtőszerszám élcsúcsszakaszát polinomként modellezzük.

### 2.2. A szerszám élcsúcsgörbéje

A szerszám élcsúcsgörbéjét a lábhézag kivágásához szükséges, 0.25 m magasságig terjedő oldalélszakaszra, illetve a fejél feléig terjesztjük ki elméletileg. A görbe meghatározó elemeit a 3. ábrán szemléltetjük.



3. ábra. A szerszám élcsúcsgörbéje

Az élcsúcsgörbe az  $O_w x_w y_w z_w$  koordináta-rendszerben értelmezett, melynek origója a fogprofil szimmetriatengelyének és a szerszámléc osztóvonalának metszéspontja. A görbe  $P$  kezdőpontja az  $AB$ ,  $Q$  végpontja pedig az  $AF$  szakaszon található, helyzetüket a  $v_1$ , illetve  $v_2$  paraméterek segítségével

szabályozzuk. A 3. ábra alapján felírható, hogy

$$\begin{cases} x_w^{(A)} = \frac{m\pi}{4} + \frac{j}{2} - (h_{0a}^* + c_0^*)m \operatorname{tg} \alpha_0 \\ z_w^{(A)} = -(h_{0a}^* + c_0^*)m \\ AF = c_0^*m / \cos \alpha_0 \\ v_1 \in (0, x_w^{(A)}], v_2 \in (0, AF] \end{cases} \quad (1)$$

A modellezett csatlakoztatási görbe a  $PAQ$  háromszög területén belül illeszkedő, a  $P$  és  $Q$  pontokat összekötő görbe, melynek határhelyzete maga a  $PQ$  egyenes. A továbbiakban a  $PQQ'$  és a  $PAQ$  háromszögekből

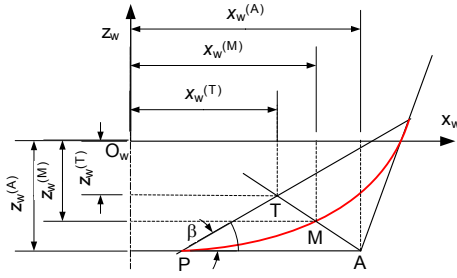
$$\begin{aligned} PQ &= (v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \sin \alpha_0)^{\frac{1}{2}} \\ \sin \beta &= \frac{QQ'}{PQ} = \frac{v_2 \cos \alpha_0}{(v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \sin \alpha_0)^{\frac{1}{2}}} \\ \cos \beta &= \frac{PQ'}{PQ} = \frac{v_1 + v_2 \sin \alpha_0}{(v_1^2 + v_2^2 + 2v_1v_2 \sin \alpha_0)^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (2)$$

A következő lépés a görbe harmadik kontrollpontjának a felvétele. Ez a  $T$  pont, mely a  $PQ$  határegyenesen illeszkedik, és meghatározó paramétere a

$v_3$ ,  $v_3 = PT / PQ$ ,  $v_3 \in (0,1)$ . A  $T$  pont koordinátái a következők lesznek:

$$\begin{cases} x_w^{(T)} = x_w^{(A)} - v_1 + v_3 PQ \cos \beta \\ = x_w^{(A)} - v_1 + v_3(v_1 + v_2 \sin \alpha_0) \\ z_w^{(T)} = z_w^{(A)} + v_3 v_2 \cos \alpha_0 \end{cases} \quad (3)$$

Végül a görbe negyedik kontrollpontját, egyben a görbe belső pontját határozzuk meg. Az  $M$  pont az  $AT$  szakaszon illeszkedik, és helyzetét a  $v_4$  paraméter határozza meg, amely a  $v_3$ -hoz hasonlóan töredékrészt fejez ki, tehát  $v_4$ ,  $v_4 = AM / AT$ ,  $v_4 \in (0,1)$ .



4. ábra. Az élcúcsgörbe belső kontrollpontjának definíciója

A 4. ábra alapján és a (3-as) képletek figyelembevételével felírhatók az M pont koordinátái:

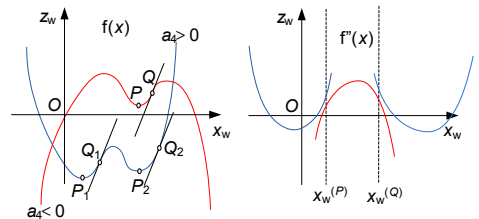
$$\begin{cases} x_w^{(M)} = x_w^{(A)} + v_4(x_w^{(T)} - x_w^{(A)}) = \\ = x_w^{(A)} + v_4(-v_1 + v_3(v_1 + v_2 \cos \alpha_0)) \\ z_w^{(M)} = z_w^{(A)} + v_4(z_w^{(T)} - z_w^{(A)}) = \\ = z_w^{(A)} + v_2 v_3 v_4 \cos \alpha_0 \end{cases} \quad (4)$$

A  $P$ ,  $Q$  és  $M$  pontok koordinátái birtokában az élcúcsgörbét negyedfokú polinomként írjuk fel, az alábbi feltételrendszer alapján:

$$\begin{aligned} f(x_w) &= \sum_{i=0}^4 a_i x_w^i \\ f(x_w^{(P)}) &= z_w^{(A)} \Leftrightarrow \sum_{i=0}^4 a_i (x_w^{(A)} - v_1)^i = z_w^{(A)} \\ f'(x_w^{(P)}) &= 0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^4 i a_i (x_w^{(A)} - v_1)^{i-1} = 0 \\ f(x_w^{(Q)}) &= z_w^{(Q)} \Leftrightarrow \sum_{i=0}^4 a_i (x_w^{(A)} + v_2 \sin \alpha_0)^i = z_w^{(A)} + v_2 \cos \alpha_0 \\ f'(x_w^{(Q)}) &= \operatorname{ctg} \alpha_0 \Leftrightarrow \sum_{i=1}^4 i a_i (x_w^{(A)} + v_2 \sin \alpha_0)^{i-1} = \operatorname{ctg} \alpha_0 \\ f(x_w^{(M)}) &= z_w^{(M)} \Leftrightarrow \sum_{i=0}^4 a_i (x_w^{(A)} + v_4(-v_1 + v_3(v_1 + v_2 \cos \alpha_0)))^i = z_w^{(A)} + v_2 v_3 v_4 \cos \alpha_0 \\ f''(x_w) &< 0, \quad \forall x_w \in (x_w^{(A)} - v_1, x_w^{(A)} + v_2 \sin \alpha_0) \end{aligned} \quad (5)$$

Az (5) feltételrendszer a  $v_i, i \in \overline{1, 4}$  kontrollparaméterek ismeretében öt ismeretlenes lineáris egyenletrendszerre alakul, amelynek megoldása a negyedfokú élcúcsgörbe polinomiális együtthatói. Ha a négy kontrollparamétert egyenrangúként kezeljük, akkor négyszeres végtelenség görbét találhatunk. Az optimális megoldás célratörőbb meghatározása érdekében elfogadjuk, hogy a  $P$  és  $Q$  pontok helyzetét kijelölő  $v_1$  és  $v_2$  paraméterek főparaméterek, amelyeket először jelölünk ki. A következő lépésben

kijelöljük a  $T$  kontrollpont helyzetét a  $PQ$  határszakaszon.



5. ábra. Az élcúcsgörbe konkavitasát biztosító feltételek grafikus ábrázolása



A negyedik paraméter számára meg kell határoznunk azt az intervallumot, amely biztosítja a második derivált szigorú pozitívítását, ami szükséges és elégséges feltétele az inflexiópontok nemlétezésének és a görbe domborúságának a kijelölt pontok között.

A második derivált pozitívításának a feltételét az **5. ábrán** szemléltettük. Ha negyedfokú polinom legnagyobb fokú együtthatója negatív, akkor egyetlen maximuma vagy két helyi maximumpontja és egyetlen helyi minimumpontja van – értelemszerűen a görbe lehetséges felhasználási szakasza a  $P$  és  $Q$  pontok közé eső szakasz; amennyiben  $a_4 > 0$  (kék görbe) és rendelkezik három lokális extrémummal, a grafikus képen két domború, növekvő szakaszt különíthetünk el. A második derivált előjelére ennek függvényében az alábbi kikötéseket tesszük:

- ha  $a_4 < 0$ , és a másodrendű derivált diszkriminánsa  $9a_3^2 - 24a_2a_4 \leq 0$ , a negyedfokú polinom grafikus képe folytonosan homorú, tehát a görbe alkalmtlan;
- ha  $a_4 < 0$ , és a másodrendű derivált diszkriminánsa  $9a_3^2 - 24a_2a_4 > 0$ , a negyedfokú polinom grafikus képének domborúsága akkor biztosított, ha az élcúscsgörbe szélső pontjainak abszcisszái az inflexiópontok abszcisszái között illeszkednek;
- ha  $a_4 > 0$ , és a másodrendű derivált diszkriminánsa  $9a_3^2 - 24a_2a_4 \leq 0$ , a negyedfokú polinom grafikus képe folytonosan domború;
- ha  $a_4 > 0$ , és a másodrendű derivált diszkriminánsa  $9a_3^2 - 24a_2a_4 > 0$ , a negyedfokú polinom grafikus képének domborúsága akkor biztosított, ha az élcúscsgörbe szélső pontjainak abszcisszái által meghatározott intervallum

az inflexiópontok abszcisszáinak intervallumán kívül esik;

- A domborúság feltétele mellé elengedhetetlenül be kell iktatni a folytonos növekvés korlátját is, az élcúscsgörbe alakjából kiindulva.

A fenti feltételek a  $v_3$  és  $v_4$  paraméterek értéktartományát hatékonyan leszűkítik. A számítások bonyolultsága elengedhetetlené teszi a számítógépes feldolgozást. Az élcúscsgörbe parametrikus egyenletei a domború szerszámoldalon [1] a következők lesznek:

$$\begin{cases} x_w(t) = t \\ y_w(t) = 0 \\ z_w(t) = \sum_{i=0}^4 a_i t^i \end{cases} \quad (6)$$

### 3. A származtató felületek sokasága

#### 3.1. A foglábfelület generálásának feltételei

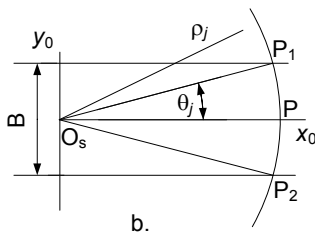
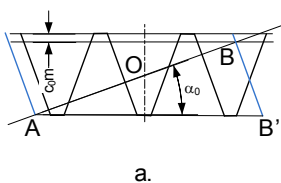
A burkolófelületek felírásában és elemzésében leghatékonyabbnak bizonyuló szakirodalom [4,5] azt az elvet követi, miszerint a burkolófelület a szerszámélek által létrehozott felületsereg burkolójaként jön létre. A burkolt felület felírásában a legtöbb esetben egyszerűsítés áll fenn, mely abból a tényből ered, hogy gyakran köszörűszer számot használnak modellként. Véges számú vágóél esetében a burkolt felületet a szerszámélek illeszkedő felülete adja, amely a szerszám munkadarabhoz viszonyított relatív mozgása során hozza létre a felületsereget.

Jelen dolgozatban egy alternatív modellt mutatunk be. Ennek lényege abból áll, hogy a burkolt felületet a szerszám éle a munkadarab rendszerében, a szerszámmunkadarab relatív elmozdulása során hozza létre, va-

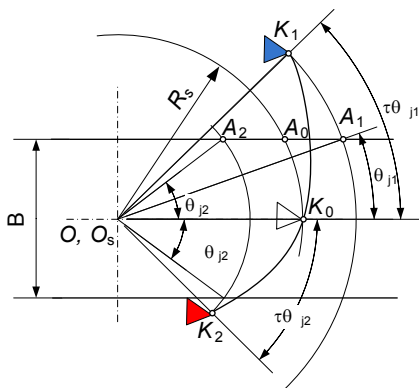
gyis a burkolt felületsereg adott elemének a vágóél-paramétertől különböző második paramétere pontosan a relatív mozgást jellemző kinematikai paraméter. A „léptetés” a vágóélek helyzetének pontos felírása, illetve az él belépése pillanatának pontos ismeretében írható fel. Az így keletkezett burkolt felületsereg diszkrét, mivel véges számú elemből áll. A legvalóságosabb burkolófelületet az egymást követő burkolt felületek metszéspontjaira felírt splinefelülettel lehet közelíteni. Ha matematikailag szeretnénk pontos eredményt, az így kapott diszkrét felületsereget úgy alakítjuk át végtelen elemű halmazzá, hogy a burkolt élék számát végtelenítjük, azaz az osztást folytonos változóként kezeljük.

### 3.2. A szerszámél-felületek meghatározása

Jelen modellt az [1]-ben részletesen leírt szerszámmra építjük. Megemlítjük, hogy a



6. ábra. A generálófelületek meghatározása



7. ábra. Akékek belépésének vázlata

fogazószerszámmak  $R_s$  referenciasugara annak a késnek a szerszámtengelytől való profil-szimmetriavonal-távolságát jelöli, amely nulla tangenciális profíletolás esetén a fogárok radiális szelvényének szimmetriavonalára esik. Ettől a ponttól számítjuk a kések kiosztási szögét. A 6.a. ábra alapján azonnal felírható a kések kiosztási szöge tudva, hogy a spirális paramétere  $0.5m$ :

$$\varphi_{zs} = 4(2h_{oa}^* + c_0^*) / \sin 2\alpha_0 \quad (7)$$

A késeknek egymáshoz viszonyított helyzetét indexszel jelöljük. A „0”-dik kés az alaphelyzetben  $R_s$  távolságra illeszkedik a forgástengelytől. A „j”-edik kés távolsága

$$R_j = R_s + j\tau \frac{m}{2}, \quad \tau = \frac{2\pi}{z_s} \quad (8)$$

A szerszám forgásiránya az óramutató járásával megegyező, tehát az alaphelyzetben levő lefejtő hajtás esetén a negatív indexű kések már elhaladtak, a pozitív indexűek pedig érkeznek. A kések számának pontos meghatározása az [1]-ben található.

A késél csak addig generálja a foglalófelület anyagi részét, ameddig a fogazandó kerék határsíkjai közé illeszkedik. Az él különböző pontjainak a szerszám forgástengelyéhez viszonyított távolsága változik, ezért a legnagyobb  $\theta$  szöget az élcsúcsgörbe  $P$  pontjára kapunk, melynek sugara:

$$\rho_j = R_j + x_w^{(A)} - v_1 \quad (9)$$

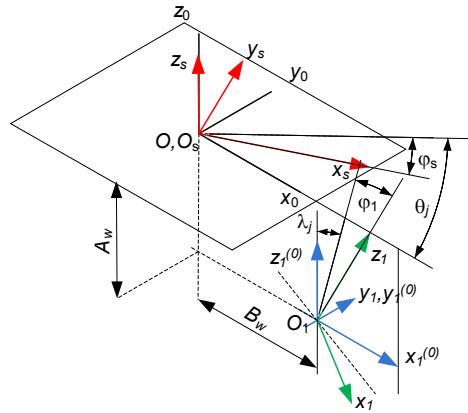
Jelöljük a továbbiakban a lefejtő hajtás áttételét  $i_{1s}$ -sel, ahol  $i_{1s} = \omega_1 / \omega_s = 1 / z_1$ . A lefejtő hajtáshoz tartozó alkalmazott koordináta-rendszerek helyzete a **8. ábrán** látható. Az  $Ox_0y_0z_0$  rendszer rögzített. A szerszám  $O_sx_sy_sz_s$  rendszere alaphelyzetben a rögzített rendszerrel egybeesik. A fogazandó kerék  $O_1x_1y_1z_1$  rendszere alapállásban az álló rendszerrel párhuzamos illeszkedésű. Az alapállás a „0”-dik és középállásának felel meg, vagyis az a helyzet, amikor a generáló profil síkja az álló rendszer  $y_0z_0$  síkjába illeszkedik. A „0”-dik és belépésének pillanatában a szerszám rendszere a forgásirányához képest ellenkező irányban van elfordítva,  $\theta_0$  szöggel. Ennek a helyzetnek megfelelően a fogazandó kerék is forgásirányával ellentétesen kell legyen elfordítva,  $i_{1s}\theta_0$ -val. A „j”-edik késnek „0”-dik késhez viszonyított helyzetét a  $j\tau$  központi szög határozza meg. A „j”-edik kés belépése akkor kezdődik, amikor az alaphelyzethez viszonyítva a szerszám rendszere  $\psi_j$  szöggel fordult el:

$$\psi_j = \tau j - \theta_j, \quad j \in \mathbf{Z}. \quad (10)$$

Innen a fogazandó kerék elfordulási szöge könnyen számítható, mivel  $\lambda_j = i_{1s}\psi_j$ .

A fentebb említett geometriai viszonyokat a **7. ábrán** tüntettük fel. A referencia sugárnál

nagyobb sugáron illeszkedő  $K_1$  és  $j_1$  indexe pozitív, míg az ennél kisebb sugáron illeszkedő  $K_2$  és negatív indexű. A  $K_j$  kések belépési pontjai az  $A_j$  pontok. Megfigyelhető, hogy a (10)-es képlet előjeltől függetlenül érvényes.



8. ábra. Az alkalmazott koordináta-rendszerek

A fogél által generált felület parametrikus egyenleteit a **8. ábra** alapján a fogaskerék rendszerében írjuk fel:

$$\mathbf{r}_1 = \mathbf{M}_{10} \mathbf{M}_{0s} \mathbf{r}_s \quad (11)$$

ahol a transzformációs mátrixok a kinematikai paraméternek és a helyzetparaméternek a függvényei:

$$\mathbf{M}_{10}(\lambda_j, \varphi_s) = \begin{pmatrix} \cos(\lambda_j + i_{1s}\varphi_s) & 0 & -\sin(\lambda_j + i_{1s}\varphi_s) & B_w \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin(\lambda_j + i_{1s}\varphi_s) & 0 & \cos(\lambda_j + i_{1s}\varphi_s) & -A_w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{0s}(\theta_j, \varphi_s) = \begin{pmatrix} \cos(\theta_j - \varphi_s) & -\sin(\theta_j - \varphi_s) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_j - \varphi_s) & \cos(\theta_j - \varphi_s) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (12)$$

A generálógörbe koordinátáinak homogén oszlop mátrixa ebben az esetben szintén helyzetparaméter-függő:

$$\mathbf{r}_s(j, t) = \begin{pmatrix} R_s + \tau j + t \\ 0 \\ \sum_{i=0}^4 a_i t^i \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ 0 \\ \sum_{i=0}^4 a_i t^i \\ 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} R_s + \tau j \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \mathbf{r}_s(t) + \mathbf{r}_s(j). \quad (13)$$

## 7. Következtetések

Jelen matematikai modell alkalmazása úgy történik, hogy rögzítünk egy tetszőleges  $(v_1, v_2, v_3, v_4)$  élcsúcsgörbeparaméternegyest, a 2.-es szakaszban leírtak alapján, majd kiszámítjuk a burkolt foglalbfelületet. A számítások alapján lehetőség nyílik a *pontos, valóság-hű testmodell* megépítésére. A végeselemes vizsgálat alapján kimutathatóvá válnak a fogtőben fellépő feszültségek, melyeknek értékeit kapcsolatba hozzuk a generáló szerszám élcsúcsgörbéjének megfelelő pontjaival, és ezáltal esély nyílik arra, hogy véges számú programfuttatással megtaláljuk a lehető legkedvezőbb szerszám kialakítást.

Megemlítjük, hogy a fentebb vázolt modell a kapcsolódó fogoldalak valós egyenleteinek kiszámítására is alkalmas. Ebben az esetben a generálógörbe oszlop mátrixának helyzetfüggetlen összetevőit a lécpofil parametrikus egyenletei teszik ki.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Máté, M.: *Spirálfogazati hengeres kerekek geometriája és gyártástechnológiája*. Magyar Tudományos Akadémia, Domus Hungarica egyéni kutatási ösztöndíj, B2011061 sz. Nyertes pályázat.
- [2] Máté, M., Hollanda, D.: *The Cutting of Cylindrical Gears Having Archimedean Spiral Shaped Tooth Line*. 13th International Conference on Tools, 27–28 March 2012, Miskolc, ISBN 978-963-9988-35-4, 357–362.

- [3] Máté, M., Hollanda, D., Tolvaly-Roşca, F., Popa-Müller, I.: *Az Arkhimédész-féle spirális vezérgörbéjű fogazat hordképének lokalizációja a tangenciális eltolás megfelelő beállításával*. XXI-ik OGÉT-2013, Arad, ápr. 25–28. Konferenciakötet, ISSN 2068-1267, 265–268.
- [4] Litvin, F. L.: *A fogaskerékapcsolás elmélete*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó, 1972.
- [5] Dudás, I. *The Theory and Practice of Worm Gear Drives*. Penton Press, London, 2000.
- [6] Szeniczai, L.: *Általános fogazás*. Nehézipari Műszaki Könyvkiadó, 1952.
- [7] ISO 4468:2009. *Gear hobs – Accuracy requirements*.
- [8] ISO 2490:2007. *Solid (monobloc) gear hobs with tenon drive or axial keyway, 0,5 to 40 module - Nominal dimensions*.
- [9] DIN 1829-1 *Schneidräder für Stirnräder; Bestimmungsgrößen, Begriffe, Kennzeichnung*.
- [10] DIN 1829-2 *Schneidräder für Stirnräder; Toleranzen, Zulässige Abweichungen*.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás az Európai Unió és Magyarország támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú „Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése konvergencia program” című kiemelt projekt keretei között valósult meg.

### Acknowledgement

This research was supported in the framework of TÁMOP 4.2.4. A/2-11-1-

2012-0001 „National Excellence Program – Elaborating and operating an inland student and researcher personal support system” key project. The project was subsidized by the European Union and co-financed by the European Social Fund.

## ZARÁNDOKLAT, TURIZMUS ÉS ÉPÍTÉSZEZET KOLOZS MEGYÉBEN A MÁRIA-ÚT MENTÉN

### PILGRIMAGE, TOURISM AND ARCHITECTURE IN CLUJ COUNTY, NEAR THE „WAY OF MARY”

Orbán György<sup>1</sup>, Talpas János<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erdélyi Múzeum–Egyesület, 400009 Kolozsvár/Cluj-Napoca Napoca/Jókai u. 2–4, levelezési cím, orban@esvvv.com

<sup>2</sup>Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Földrajz Kar, 400006 Kolozsvár/Cluj-Napoca, Str. Clinicilor Nr.5–7. talpasjanos@gmail.com

#### Abstract

The scope of the paper is to present conclusions of the development and research of pilgrim centers and building surveying near the „Way of Mary”, from the past three years.

*Keywords:* pilgrimage, tourism, architecture

#### Összefoglalás

A dolgozat célja az elmúlt három évben a Mária-út mentén kialakított zarándokszállások kutatása és azt megelőző épületfelmérések bemutatása és eredményeinek összegzése.

*Kulcsszavak:* zarándoklat, turizmus, építészet

#### 1. A zarándoklatok eredete

Bhardway [3] összegezte azokat a minimális feltételeket, amelyeknek teljesülniük kell ahhoz, hogy zarándoklatról beszélhessünk. Szavai szerint: „egy vallásos meggyőződéssel rendelkező egyén, egy szent hely vagy cél, amit kítűz maga elé, és a fizikai tett, ami által végrehajtja az utazást.” Közös tulajdonsága a zarándoklatoknak és a hitbéli meggyőződésből megtett utazásoknak az, hogy minden esetben szükség van egy utazás, vándorlás megtételére.

#### 2. A zarándoklat infrastruktúrája

Stoppford [4] a zarándoklat megtételéhez szükséges infrastruktúrákat határozta

meg. Elsődlegesek maguk a szentélyek (melyek, mint hely magukban rejtették vagy szimbolikusan hordozták a szent motivációt), de természetesen az „utak, hajók, hidak, zarándokszállások, korházak, temetők, védett menedékhelyek” is elengedhetetlenek voltak. Ugyanúgy számos szolgáltatásra is szükség volt, mint ételmezés, víz, emléktárgyak, ruházat és védelem. Stoppford [4] alapján saját értelmezésben összefoglalva [8] a zarándoklatok két nagy infrastruktúrával rendelkeznek: a szellemi (mely a motiváció) és a fizikai (melyet Stoppford világitott meg). A fizikai infrastruktúra három nagy fejezetre bontható:

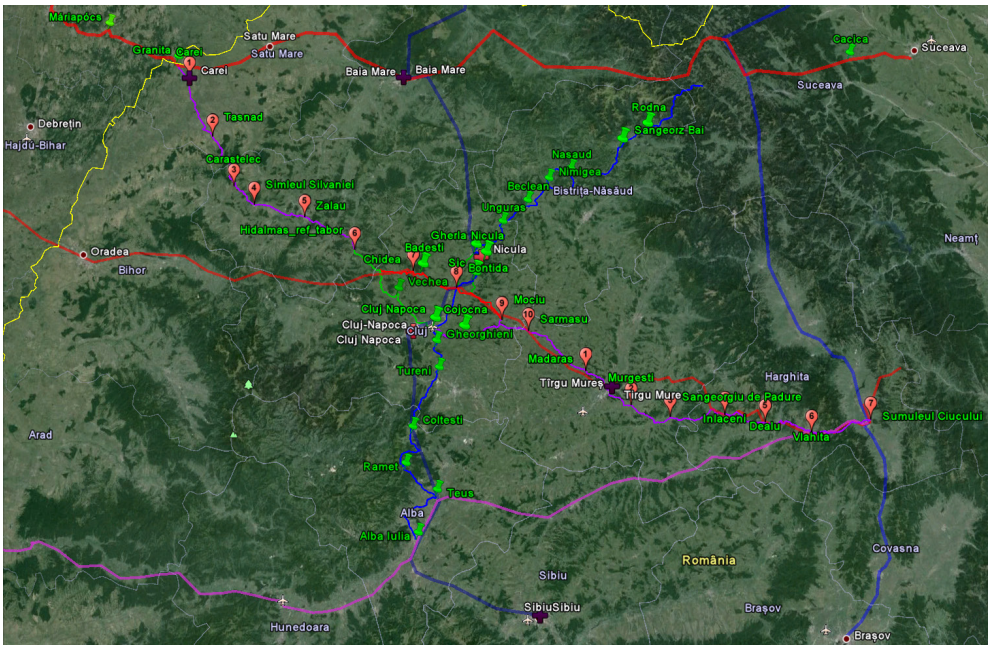
- útvonal és út;
- szállás és szolgáltatás;

– szentélyek (mint az immateriális infrastruktúra helye, megnyilatkozásai). A dolgozatban a zarándoklat, szállás és szolgáltatás fizikai infrastruktúrájával foglalkoztunk, a másik kettőt csak a kontextusba helyezés kedvéért érintettük.

### 3. A Mária-zarándokút

A Mária-út a Santiago de Compostellába vezető nagy nyugat-európai Szent Jakab-zarándokúthoz hasonlóan szellemi és kulturális motivációval rendelkezők vagy csak egyszerűen a kirándulni vágyók útvonala. Így határozta meg a kelet-európai Mária-kultusz zarándokhelyeit összekötő úthálózatot a Mária Út Egyesület.

A Mariazellt Csíksomlyóval és Czestochowát Medjugorjával összekötő zarándokút erdélyi szakaszának végcélja Csíksomlyó. Ugyanakkor, mint minden zarándokút, számos útvonala és útiránya van, alapvetően a valamilyen helyi és egyetemes spiritualitással rendelkező helyeket köti össze, melyeknek átfogó tematikája a Mária-tisztelet. Az útvonalat különböző motivációjú emberek használják többnyire kisebb csoportokban vagy magánosan. A zarándokút jellegéhez tartozik a gyalogos, illetve biciklis vándorlás.



1. ábra. A Mária-zarándokút erdélyi szakaszai [8]

### 4. Szállások és szolgáltatások – építészeti igény

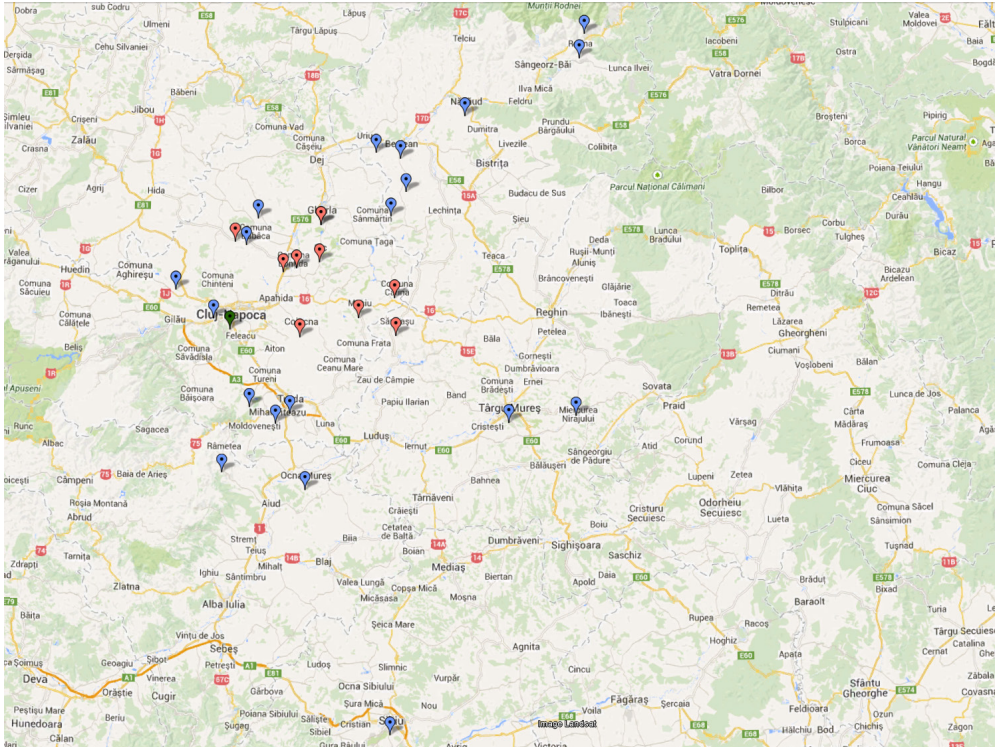
Egy nap alatt a zarándokok gyalogosan átlag legtöbb 30 km távolságot tudnak megtenni. Ez a tény évezredek óta változatlan,

és így a gyalogos zarándoklatok materiális infrastruktúrájának egyik meghatározó alapeleme, hogy megfelelő távolságokon a zarándokok megszállhassanak és étkezhesenek, illetve a kapcsolódó szolgáltatásokat igénybe vehessék.

## 5. A szállások kialakításának lehetőségei – épületfelmérések

A Mária-út erdélyi szakaszában, különösen Kolozsvár környékén, de egészen Óradnától Nagyszebenig vagy Hídalmástól Jobbágyfalváig kifejezetten Mária-utas zarándokszállások nem voltak kialakítva. A zarándokokat eltérő körülmények között

fogadták a jószándékú helyi lakosok, különböző egyházak és szervezetek. Ezért vált szükségessé egy standard körülményeket biztosító, előre látható szálláshálózat kialakításának a lehetőségét bemutatni. Az épületállomány akár részleges megismerése és felmérése, építészeti dokumentálása is évet vett igénybe.



2. ábra. Épületfelmérések: 2011 és 2013 zöld, 2012 piros, 2013 kék

### 5.1. Épületfelmérések 2011-ben

Az Erdélyi Múzeum–Egyesület (EME), az Erdélyi Ferences Rendtartomány, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME), a Kolozsvári Műszaki Egyetem (KME) és a Romániai Építészek Rendjének segítségével került sor a kolozsvári ferences kolostor és templom felméré-

sére. A munka során az előző évek anyagát is felhasználtuk. A felmérések anyagát az EME digitális tertárában rögzítettük.

### 5.2. Épületfelmérések 2012-ben

A BME, a Szamosújvári Katolikus Plébánia, az EME, a KME és a Gyulafehérvári Római Katolikus Érsekség segítségével került sor épületfelmérésre több településen



Kolozs megye északi részén. Felmértük [1] a katolikus egyház és esetenként a református egyház ingatlanjait a következő településeken:

- Szamosújvár (5 épület): ferences kolostor (felhasználva a meglevő anyagot), örmény székesegyház, örmény Salamon-templom, református templom, örmény ház, örmény plébánia;
- Kide (2 épület): plébánia, református vendégház;
- Bonchida (4 épület): református parókia, református templom, református vendégház, plébánia;
- Szék (2 épület): plébánia, templom;
- Kolozs (2 épület): templom, katolikus óvoda;
- Mócs (2 épület): plébánia, templom;
- Katona (3 épület): katolikus rendelőépület, boltépület, harangláb;
- Nagysármás (1 épület): kápolna,
- Válaszút (1 épület): kápolna.

A felmérések alkalmával, turistajelzőként, megközelítőleg 180 km hosszan, a terepen kijelöltük (a Mária Út Egyesület iránymutatása szerint) a zarándokutat.

### 5.3. Épületfelmérések 2013-ban

A BME, a KME, az EME és a helyi plébánosok segítségével került sor épületfelmérésre Erdélyben a Mária-zarándokút mentén. Felmértük [2] a katolikus egyház és esetenként a református egyház ingatlanjait a következő településeken:

- Óradna (4 épület): görög katolikus templom, görög katolikus templomrom, plébánia, templom;
- Radnaborberek (1 épület): templom;
- Naszód (1 épület): templom;
- Vice (3 épület): református templom, templom, plébánia;
- Csicsókeresztúr (2 épület): templom, plébánia;
- Bethlen (2 épület): templom, plébánia;
- Apanagyfalva (1 épület): plébánia;

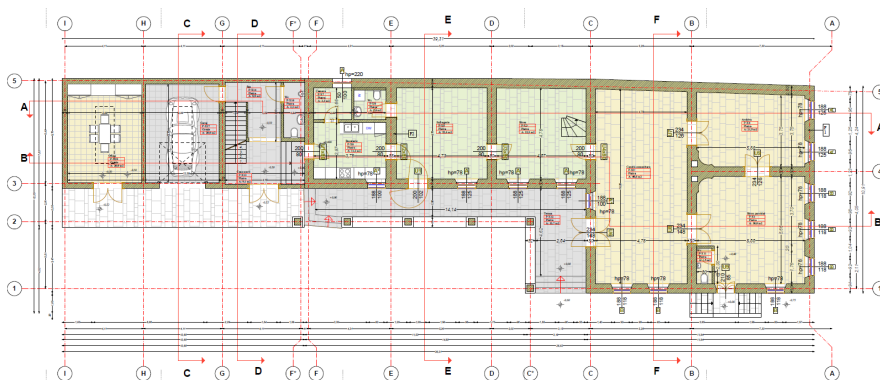
- Bádok (2 épület): régi iskola, református templom;
- Magyarsárd (1 épület): romtemplom;
- Kisbács (1 épület): templom;
- Szamosújvár (1 épület): református ravatalozókápolna;
- Kolozsvár (1 épület): bérpalota,
- Torda (5 épület): ferences kolostor, ferences templom, templom, református iskola, református ravatalozókápolna;
- Marosújvár (1 épület): templom,
- Peterd (1 épület): zarándokház;
- Torockószentgyörgy (1 épület): templom és plébánia;
- Szentmihály (2 épület): kápolna, plébánia;
- Sínfalva (1 épület): plébánia;
- Marosvásárhely (1 épület): jezsuita templom;
- Jobbágyfalva (3 épület): templom, plébánia, melléképület;
- Nagyszeben (4 épület): a Tereziánus temploma, jezsuita templom, kápolna, ravatalozókápolna.

## 6. Szállás és szolgáltatás, konkrét példák

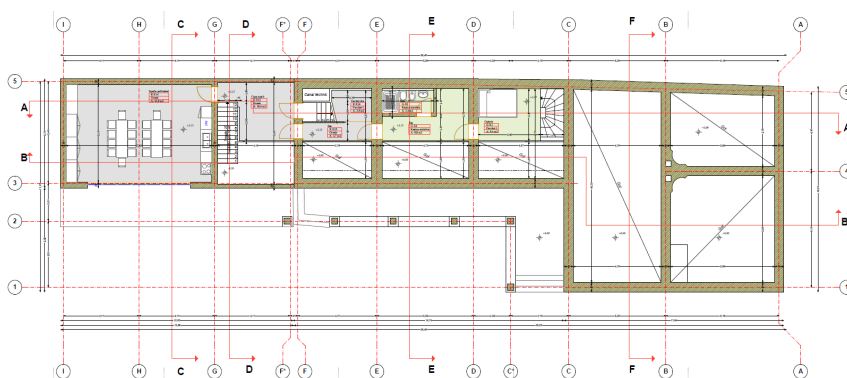
Az épületfelmérések célja a szálláshelyek kialakítására alkalmas és rendelkezésre álló épületállomány megismerése és dokumentálása. 2011–2012-ben a szamosújvári katolikus plébánia számára kifejlesztett és elkészített zarándokszállásterv és meghatározott építészeti program alapján [5], a felmért és alkalmas épületek zarándokszállássá való áttervezése a felmérések eredménye.

### 6.1. Szamosújvár

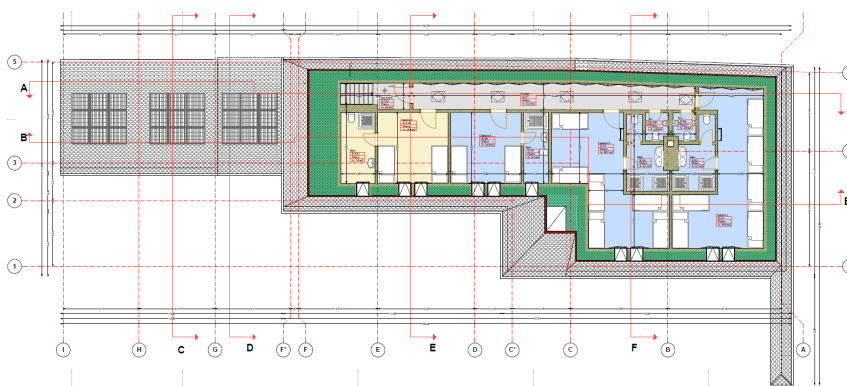
A szamosújvári új plébánia tervezésében a tervezési program része volt egy zarándokszállás kialakítása is. Itt került sor a többi zarándokszállás funkcionális sémájának is alapját képező, konkrét és gyakorlatba ültetett alappélda megtervezésére. A tervezés után, az építkezés 2013-ban el is kezdődött és a tervek szerint 2018-ig tart.



3. ábra. Szamosújvár-arándokszállás és plébánia – földszint



4. ábra. Szamosújvár-arándokszállás és plébánia – félemelet



5. ábra. Szamosújvár-arándokszállás és plébánia – tetőtér



6. ábra. Szamosújvár–zarándokszállás és plébánia – építkezés

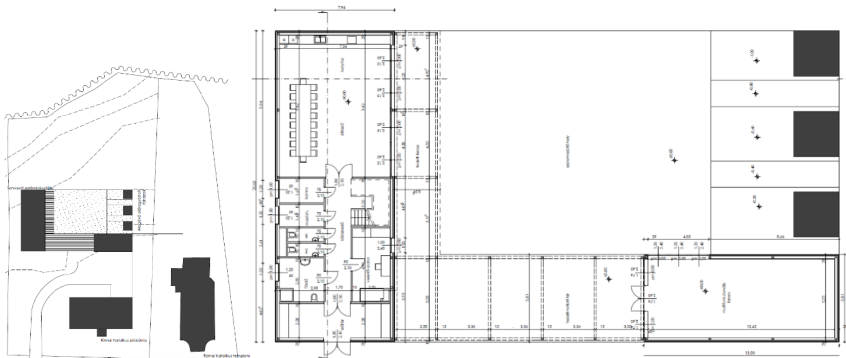
A zarándokszállások funkcionális sémája [6]. A minimális funkcionális követelmények (30 fő részére): szállás, két nagy hálóterem, zuhanyzók (4 db.) és mellékhelyiségek (4 db.), egyéni szobák igényesebb utazók számára, saját fürdőszobával; szolgáltatások: étkezőterem, saját kiszolgálás vagy ellátás, mosókonyha és szárítógép; adminisztráció: a fogadásra alkalmas iroda, ruha- és csomagtároló.

## 6.2. Kolozs

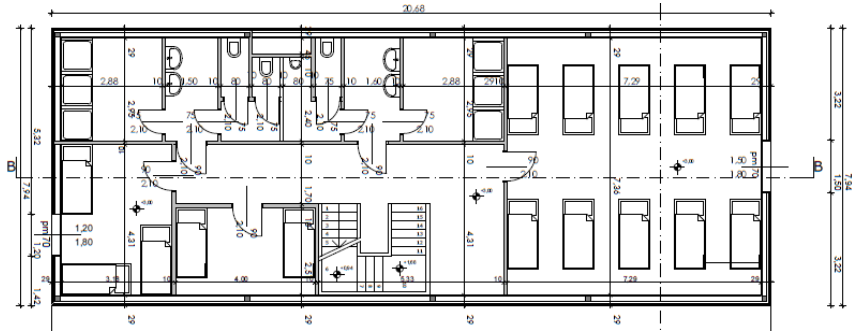
A kolozsi plébánia terveit a turisztikai potenciál miatt emeltük ki [7]. A kolozsi

sósfürdő mint turisztikai vonzerő a zarándokszállás kihasználtságát segít növelni. A zarándokszállás programja itt annyiban módosult, hogy a szálláshelyek kialakításában az egyéni (kisebb szobák) kialakításával biztosítottuk a szálláshelyek számát. Így egy magasabb komfort biztosítása mellett a szállást a sósfürdőt látogatók is igénybe vehetik. A fenti megfontolások alapján ezen a helyszínen 3, egymást akár kiegészítő tervjavaslat is született.

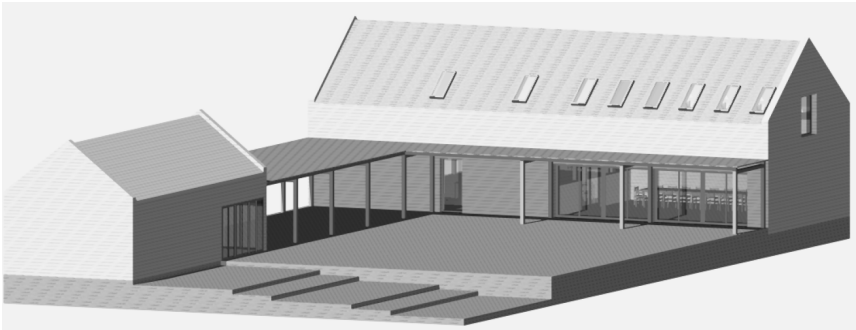
A plébánia mellett kialakítandó új épület: 1. változat, befogadóképesség 30 fő.



7. ábra. Kolozs – 1. változat – földszint



8. ábra. Kolozs – 1. változat – emelet

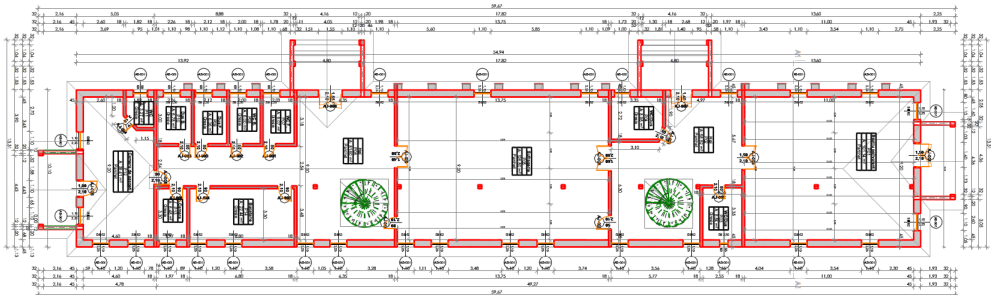


9. ábra. Kolozs – 1. változat – látványterv

### 6.3. Peterd

A felmérések nem csak Mária-utas zarándokszállások terveinek kidolgozásához járultak hozzá. Peterden, a felmérések eredményeként egy gyerektáboroztatásra alkalmas épület jött létre. Az épület természetesen alkalmas zarándokok befogadására

vagy különböző tematikus programok szervezésére is vagy alkalmi turistacsoportok fogadására. A helyi adottságok miatt, mivel közvetlenül a Tordai-hasadék bejáratánál fekszik, felhasználási lehetőségei rendkívül kedvezőek. Kapacitását tekintve akár több autóbusznyi embert is képes befogadni.



10. ábra. Peterd-vendégház – földszint



11. ábra. Peter-vendégház – fénykép

## 7. Következtetések

Az építészeti felmérések a megvalósított és a tervezett példák alapján hasznosnak bizonyultak. Kivitelezhetőségüket a gyakorlat igazolja. A turisztikai és zarándokút fejlesztése így közösen egy reális programnak bizonyul, melyet a jövőben pályázati dokumentációvá és fundamentális fejlesztési keretté lehet alakítani [8] a helyi közösségek és az egyház együttműködéseként.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Budapesti Műszaki Egyetem, Építészettörténeti és Műemléki Tanszék – Mezős Tamás, Orbán György, Starowicz Annamária és egyetemi hallgatók: *Diákok nyári felmérő és tervező gyakorlata: Mária-út – plébániák és templomok felmérése és tervezése*. 2012.
- [2] Budapesti Műszaki Egyetem, Építészettörténeti és Műemléki Tanszék – Mezős Tamás, Orbán György, Bodó Balázs és egyetemi hallgatók: *Diákok nyári felmérő és tervező gyakorlata: Mária-út – plébániák és templomok felmérése és tervezése*. 2013.
- [3] Elsner, J., Rutherford, I.: *Pilgrimage in Graeco-Roman and Early Christian Antiquity: Seeing the Gods*. Oxford University Press, Oxford, 2007. 353.
- [4] Stopford, J.: *Some Approaches to the Archaeology of Christian Pilgrimage*. In:

World Archaeology vol. 26. 1994. Nr. 1. 57–72.

- [5] Orbán, Gy.: *A Római Katolikus Erdélyi Egyházmegye ingatlanvagyonának felmérése és hasznosítása – Mária Zarándokút*. XVII. Fialat Műszakiak Tudományos Ülésszaka (FMTÜ), EME kiadó, Kolozsvár, 2012. 263–266.
- [6] Talpas, J., Orbán, Gy., Márton, L.: *Egyházi ingatlanok hasznosítási lehetőségei a Mária-zarándokút Északkelet-Kolozs megyei szakaszán*. XVIII. FMTÜ, EME kiadó, Kolozsvár, 2013. 401–406.
- [7] Orbán, Gy.: *Sustainability aspects, of the roman-catholic ecclesiastic buildings situated on the pilgrim road “Way of Mary” in Transylvania on the north-east region of Cluj country*. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) WG 18 International Seminar on Environmentally Compatible Structures (ECS) November 7–9 2013. Cluj-Napoca, Romania, UTPRESS, Kolozsvár, 2013. 115–127.
- [8] Orbán, Gy.: *Analysis and valorisation of the built heritage of the roman-catholic church of transylvania within the pilgrimage route “Way of Mary”*. Doktori dolgozat, Kolozsvári Műszaki Egyetem, Kolozsvár, 2013. 53–228.

## ÚJ MÓDSZER A KAROS MECHANIZMUSOK DINAMIKUS KIEGYENSÚLYOZÁSÁRA

### A NEW METHOD FOR DYNAMIC BALANCING OF ARM MECHANISMS

Papp István<sup>1</sup>, Tolvaly-Roşca Ferenc<sup>2</sup>

*Sapientia EMTE, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Marosvásárhely, Gépész-  
mérnöki Tanszék, Cím: Románia, Marosvásárhely, Şoseaua Sighişoarei  
nr.1c; Telefon / Fax: +40-265206210,*

<sup>1</sup>pappistvan1944@yahoo.com

<sup>2</sup>tferi@ms.sapientia.ro

#### Abstract

The paper presents an optimized balancing method for spatial articulated mechanisms. The presented method offers an optimized solution, minimizing the remaining unbalanced forces and moments. Considering the combined effects of the forces and inertia moments, the offered solution can be applied for one or two balancing axes. The method calculates the phase angles for arbitrary chosen counterweights and the values for the corresponding counterbalancing forces.

**Keywords:** *balancing, optimal, mechanism, dynamic.*

#### Összefoglalás

A dolgozat tér és síkban fekvő karos mechanizmusok optimális kiegyensúlyozásának egyik módszerét mutatja be. A módszer a kiegyensúlyozatlanul maradt tehetetlenségi erők és a tehetetlenségi erők nyomatékainak minimális értékekre való csökkentésére ad megoldást. Nagy előnyt jelent az egy- vagy kéttengelyes kiegyensúlyozásra való alkalmazhatósága, figyelembe veszi a nyomatékok összhatásait, és kiszámítja a tetszőleges helyen választott ellensúlyok fázisszögét és az általuk kifejtett kiegyensúlyozó erők értékét

**Kulcsszavak:** *karos mechanizmusok, dinamikus kiegyensúlyozás, optimális*

#### 1. A megoldás elméleti alapjai

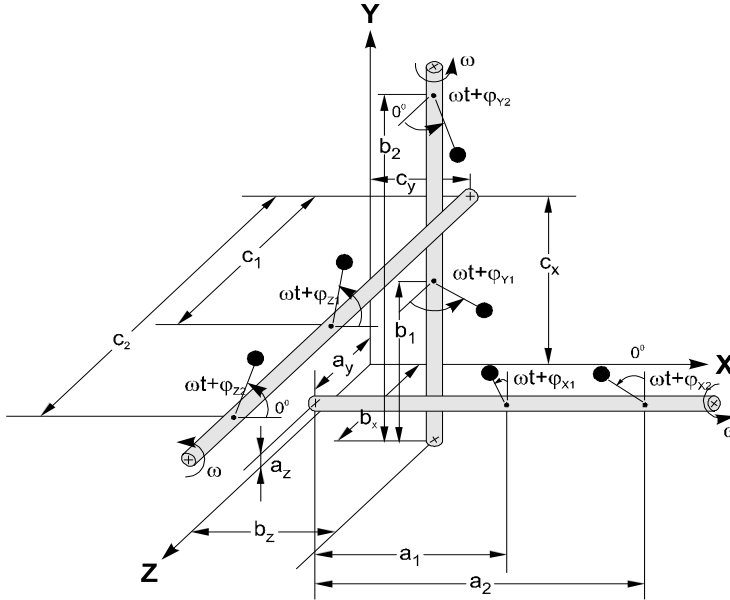
Képzeljünk el egy géptörzshöz rögzített OXYZ koordináta-rendszert, amelynek tengelyei rendre párhuzamosak a gépben forgómozgást végző, kiegyensúlyozásra alkalmas tengelyekkel (**1. ábra**). Az OX koordinátával párhuzamos kiegyensúlyozó tengely az OYZ síkot az  $y = a_z$  és  $z = a_y$  koordinátpontokban metszi. Erre a ki-

egyensúlyozó tengelyre elhelyezett ellensúlyok OX tengely szerint szabadon választott koordinátái  $x = a_1$  és  $x = a_2$ . Hasonlóképpen az OY koordinátatengellyel párhuzamos kiegyensúlyozó tengely az OXZ síkot az  $x = b_z$  és  $z = b_x$  pontokban metszi, az ellensúlyok pedig az  $y = b_1$  és  $y = b_2$  koordináta pontokban lesznek elhelyezve. Az OZ koordinátatengellyel párhuzamos kiegyensúlyozó tengely az OXY síkot  $x = c_y$

és  $y = c_x$  pontokban metszi, a tengelyhez tartozó ellensúlyok helyzetei a  $z = c_1$  és  $z = c_2$  koordinátákkal vannak jelölve.

Az **1. ábrán** szereplő kiegyensúlyozó tömegek pillanatnyi szöghelyzetét az  $\omega t + \phi$  kifejezéssel adhatjuk meg, ahol a  $\phi$  szög a fázisszög.

A kineti-statikus elvnek (D'Alembert-elvnek) megfelelően [1], a lengést gerjesztő erők és nyomatékok vektorkettőse a kiegyensúlyozó tömegek által gerjesztett erők és nyomatékok vektorkettőisének ellentétje, amely szerint összegük zéró, azaz:



**1. ábra.** A koordináta-rendszer, amelynek tengelyei rendre párhuzamosak a gépben forgómozgást végző, kiegyensúlyozásra alkalmas tengelyekkel

$$\begin{aligned}
 \sum F_x = 0 &= A_{FX} \cos \omega \cdot t + B_{FX} \cdot \sin \omega \cdot t + F_{Z1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_{Z1}) + F_{Z2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_{Z2}) \\
 &\quad + F_{Y1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_{Y1}) + F_{Y2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_{Y2}) \\
 \sum F_y = 0 &= A_{FY} \cos \omega \cdot t + B_{FY} \sin \omega \cdot t + F_{X1} \cos(\omega \cdot t + \phi_{X1}) + F_{X2} \cos(\omega \cdot t + \phi_{X2}) \\
 &\quad + F_{Z1} \sin(\omega \cdot t + \phi_{Z1}) + F_{Z2} \sin(\omega \cdot t + \phi_{Z2}) \\
 \sum F_z = 0 &= A_{FZ} \cos \omega \cdot t + B_{FZ} \sin \omega \cdot t + F_{X1} \sin(\omega \cdot t + \phi_{X1}) + F_{X2} \sin(\omega \cdot t + \phi_{X2}) \\
 &\quad + F_{Y1} \cos(\omega \cdot t + \phi_{Y1}) + F_{Y2} \cos(\omega \cdot t + \phi_{Y2}) \\
 \\
 \sum M_x = 0 &= A_{MX} \cdot \cos \omega \cdot t + B_{MX} \cdot \sin \omega \cdot t + b_1 \cdot F_{Y1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_{Y1}) + \\
 &\quad + b_2 \cdot F_{Y2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_{Y2}) - c_1 \cdot F_{Z1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_{Z1}) - c_2 \cdot F_{Z2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_{Z2}) - \\
 &\quad - a_y \cdot F_{X1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_{X1}) - a_y \cdot F_{X2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \phi_{X2}) + \\
 &\quad + a_z \cdot F_{X1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_{X1}) + a_z \cdot F_{X2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \phi_{X2})
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \sum M_y = 0 = & A_{MY} \cdot \cos\omega \cdot t + B_{MY} \cdot \sin\omega \cdot t + c_1 \cdot F_{Z1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{Z1}) + \\ & + c_2 \cdot F_{Z2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{Z2}) - a_1 \cdot F_{X1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_{X1}) - a_2 \cdot F_{X2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_{X2}) - \\ & - b_z \cdot F_{Y1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{Y1}) - b_z \cdot F_{Y2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{Y2}) + \\ & + b_x \cdot F_{Y1} \sin(\omega \cdot t + \varphi_{Y1}) + b_x \cdot F_{Y2} \sin(\omega \cdot t + \varphi_{Y2}) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sum M_z = 0 = & A_{MZ} \cdot \cos\omega \cdot t + B_{MZ} \cdot \sin\omega \cdot t + a_1 \cdot F_{X1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{X1}) + \\ & + a_2 \cdot F_{X2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{X2}) - b_1 \cdot F_{Y1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_{Y1}) - b_2 \cdot F_{Y2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_{Y2}) + \\ & + c_y \cdot F_{Z1} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_{Z1}) + c_y \cdot F_{Z2} \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_{Z2}) - \\ & - c_x \cdot F_{Z1} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{Z1}) - c_x \cdot F_{Z2} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi_{Z2}) \end{aligned}$$

A könnyebb érthetőség végett bevezetjük az következő jelöléseket:

$$\begin{aligned} Q_1 &= F_{X1} \cdot \cos\varphi_{X1}; & Q_2 &= F_{X2} \cdot \cos\varphi_{X2} \\ R_1 &= F_{X1} \cdot \sin\varphi_{X1}; & R_2 &= F_{X2} \cdot \sin\varphi_{X2} \\ S_1 &= F_{Y1} \cdot \cos\varphi_{Y1}; & S_2 &= F_{Y2} \cdot \cos\varphi_{Y2} \\ T_1 &= F_{Y1} \cdot \sin\varphi_{Y1}; & T_2 &= F_{Y2} \cdot \sin\varphi_{Y2} \\ U_1 &= F_{Z1} \cdot \cos\varphi_{Z1}; & U_2 &= F_{Z2} \cdot \cos\varphi_{Z2} \\ V_1 &= F_{Z1} \cdot \sin\varphi_{Z1}; & V_2 &= F_{Z2} \cdot \sin\varphi_{Z2} \end{aligned} \quad (3)$$

A (3) jelölésekkel, az (1) és (2) egyenletek a következő alakban írhatók:

$$\begin{aligned} \sum F_x = 0 = & (A_{FX} + U_1 + U_2 + T_1 + T_2) \cdot \cos\omega \cdot t + (B_{FX} - V_1 - V_2 + S_1 + S_2) \cdot \sin\omega \cdot t \\ \sum F_y = 0 = & (A_{FY} + Q_1 + Q_2 + V_1 + V_2) \cdot \cos\omega \cdot t + (B_{FY} + U_1 + U_2 - R_1 - R_2) \cdot \sin\omega \cdot t \\ \sum F_z = 0 = & (A_{FZ} + S_1 + S_2 + R_1 + R_2) \cdot \cos\omega \cdot t + (B_{FZ} + Q_1 + Q_2 - T_1 - T_2) \cdot \sin\omega \cdot t \\ \sum M_x = 0 = & (A_{MX} + b_1 \cdot S_1 + b_2 \cdot S_2 - c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_2 - a_y \cdot Q_1 - a_y \cdot Q_2 + a_z \cdot R_1 + \\ & + a_z \cdot R_2) \cdot \cos\omega t + (B_{MX} - b_1 \cdot T_1 - b_2 \cdot T_2 - c_1 \cdot U_1 - c_2 \cdot U_2 + a_z \cdot Q_1 + a_z \cdot Q_2 + \\ & + a_y \cdot R_1 + a_y \cdot R_2) \cdot \sin\omega \cdot t \\ \sum M_y = 0 = & (A_{MY} - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 + c_1 \cdot U_1 + c_2 \cdot U_2 - b_z \cdot S_1 - b_z \cdot S_2 + b_x \cdot T_1 + b_x \cdot T_2) \cdot \cos\omega \cdot t + \\ & + (B_{MY} - c_1 \cdot V_1 - c_2 \cdot V_2 - a_1 \cdot Q_1 - a_2 \cdot Q_2 + b_z \cdot T_1 + b_z \cdot T_2 + b_x \cdot S_1 + b_x \cdot S_2) \cdot \sin\omega \cdot t \\ \sum M_z = 0 = & (A_{MZ} + a_1 \cdot Q_1 + a_2 \cdot Q_2 - b_1 \cdot T_1 - b_2 \cdot T_2 + c_y \cdot V_1 + c_y \cdot V_2 - c_x \cdot U_1 - c_x \cdot U_2) \cdot \cos\omega \cdot t + \\ & + (B_{MZ} - a_1 \cdot R_1 - a_2 \cdot R_2 - b_1 \cdot S_1 - b_2 \cdot S_2 + c_y \cdot U_1 + c_y \cdot U_2 + c_x \cdot V_1 + c_x \cdot V_2) \cdot \sin\omega \cdot t \end{aligned} \quad (4)$$

Ahhoz, hogy a mechanizmus kiegyensúlyozását a teljes kinematikai ciklusra megvalósítsuk, a (4) egyenletnek a  $t$  időparaméter bármely értékére teljesülnie kell. Ez a feltétel csak akkor valósulhat meg, ha a rendszer minden egyenlete  $\cos\omega t$ -s és

$\sin\omega t$ -s tagjainak együtthatóit egyenlővé tesszük zéróval. Ezzel a feltétellel egy, 12 egyenletből álló és 12 ismeretlent tartalmazó lineáris egyenletrendszert kapunk, melynek mátrix alakja a következő:



$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -a_y & -a_y & a_z & a_z & b_1 & b_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_1 & -c_2 \\ a_z & a_z & a_y & a_y & 0 & 0 & -b_1 & -b_2 & -c_1 & -c_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a_1 & -a_2 & -b_z & -b_z & b_x & b_x & c_1 & c_2 & 0 & 0 \\ -a_1 & -a_2 & 0 & 0 & b_x & b_x & b_z & b_x & 0 & 0 & -c_1 & -c_2 \\ a_1 & a_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & -b_1 & -b_2 & -c_x & -c_x & c_y & c_y \\ 0 & 0 & -a_1 & -a_2 & -b_1 & -b_2 & 0 & 0 & c_y & c_y & c_x & c_x \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ R_1 \\ R_2 \\ S_1 \\ S_2 \\ T_1 \\ T_2 \\ U_1 \\ U_2 \\ V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -A_{FX} \\ -B_{FX} \\ -A_{FY} \\ -B_{FY} \\ -A_{FZ} \\ -B_{FZ} \\ -A_{MX} \\ -B_{MX} \\ -A_{MY} \\ -B_{MY} \\ -A_{MZ} \\ -B_{MZ} \end{pmatrix} \quad (5)$$

Ugyancsak az (3) egyenletekből számítjuk ki a kiegyensúlyozó erők fázisszögeit is, azaz:

$$\begin{aligned} \varphi_{X1} &= \tan^{-1}\left(\frac{R_1}{Q_1}\right) & \varphi_{X2} &= \tan^{-1}\left(\frac{R_2}{Q_2}\right) \\ \varphi_{Y1} &= \tan^{-1}\left(\frac{T_1}{S_1}\right) & \varphi_{Y2} &= \tan^{-1}\left(\frac{T_2}{S_2}\right) \\ \varphi_{Z1} &= \tan^{-1}\left(\frac{V_1}{U_1}\right) & \varphi_{Z2} &= \tan^{-1}\left(\frac{V_2}{U_2}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

A (6) egyenletekben lényeges a számláló és a nevező előjelének megtartása, mivel a fázisszöget előjelesen kell számítanunk. (Pozitív az előjel, ha a szöget az óramutató járásával ellentétesen mérjük.)

A gép törzsén rezgést okozó tehetlenségi és ezeket részben kiegyensúlyozó erők és nyomatékok kiegyensúlyozatlanul maradt erőinek és nyomatékainak Fourier-együtthatóit a következő mátrixegyenlet fejezi ki:

$$\mathbf{R}_i = \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j + \mathbf{F}_i \quad (7)$$

ahol,

$\mathbf{R}_i$  - a Fourier-sorral kifejezett, optimalizálás utáni kiegyensúlyozatlan erők és nyomatékok együtthatóinak oszlopmátrixa;

$\mathbf{P}_{ij}$  - a kiegyensúlyozó erők és tengelyek helyzetét meghatározó mátrix;

$\mathbf{Q}_j$  - az optimális kiegyensúlyozó erők oszlopmátrixa;

$\mathbf{F}_i$  - a Fourier-sorral kifejezett tehetlenségi erők és a tehetlenségi erők nyomatékai együtthatóinak oszlopmátrixa.

A (7) egyenletben kéttengelyes kiegyensúlyozás esetén  $i=1,2\dots 12$  és  $j=1,2\dots 8$ , egytengelyes kiegyensúlyozás esetén pedig  $i=1,2\dots 10$  és  $j=1,2\dots 4$ .

A kiegyensúlyozatlanul maradt erők és nyomatékok minimalizálására az együtthatókat meghatározó függvény kvadratikus alakját használjuk, azaz:

$$\mathbf{U} = \mathbf{R}_i^T \cdot \mathbf{R}_i \quad (8)$$

A (8) függvény optimális értéke meghatározható, ha a függvényt a „j” alkotóból álló kiegyensúlyozó  $\mathbf{Q}_k$  erők szerint deriváljuk, azaz:

$$\frac{d\mathbf{U}}{d\mathbf{Q}} = \sum_{k=1}^j \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{Q}_k} = \sum_{k=1}^j \left( \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k}^T \cdot \mathbf{R}_i + \mathbf{R}_i^T \cdot \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} \right) \quad (9)$$

Vegyük észre, hogy az  $\mathbf{R}_i$  oszlopmátrixra, valamint teljes deriváltjára felírható, hogy:

$$\frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} \cdot \mathbf{R}_i = \mathbf{R}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k}, \quad (10)$$

amely segítségével a (9) kifejezés a következő alakra hozható:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{d\mathbf{Q}} &= \sum_{k=1}^j \frac{\partial U}{\partial \mathbf{Q}_k} = 2 \cdot \sum_{k=1}^j \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} \cdot \mathbf{R}_i = \\ &= 2 \cdot \sum_{k=1}^j \mathbf{R}_i \cdot \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} \end{aligned} \quad (11)$$

Ha a (7) mátrixegyenletben a kiegyensúlyozatlanul maradt erők Fourier-együtthatóit a  $\mathbf{Q}_k$  általános erő szerint deriváljuk, akkor a következő kifejezésre jutunk:

$$\frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} (\mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j + \mathbf{F}_i). \quad (12)$$

Mivel a  $\mathbf{P}_{ij}$  és a  $\mathbf{F}_i$  oszlopmátrix nem függ a kiegyensúlyozó erőktől, következik, hogy:

$$\frac{\partial \mathbf{P}_{ij}}{\partial \mathbf{Q}_k} = 0 \quad \text{és} \quad \frac{\partial \mathbf{F}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} = 0. \quad (13)$$

Ezzel az eredménnyel a (12) kifejezés a következőképpen írható:

$$\frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} = \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j = \mathbf{P}_{ij} \cdot \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} \mathbf{Q}_j \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} \cdot \mathbf{R}_i &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} (\mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j) \cdot \mathbf{R}_i = \\ &= \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} \mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i = \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} \mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i \end{aligned} \quad (15)$$

Ha a (7), (14) és a (15) egyenlőségeket behelyettesítjük a (11) egyenletbe, megfelelő rendezés után a következő alakot kapjuk:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{d\mathbf{Q}} &= 2 \cdot \sum_{k=1}^j \frac{\partial \mathbf{R}_i}{\partial \mathbf{Q}_k} \cdot \mathbf{R}_i = \\ &= 2 \cdot \sum_{k=1}^j \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} \mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i = 2 \cdot \sum_{k=1}^j \frac{\partial}{\partial \mathbf{Q}_k} \mathbf{Q}_j \cdot \mathbf{P}_{ij} \cdot (\mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j + \mathbf{F}_i) \end{aligned} \quad (16)$$

Az  $U$  optimáló függvény helyi minimum értékét a következő feltétel határozza meg:

$$\frac{dU}{d\mathbf{Q}} = 0. \quad (17)$$

A fenti feltételhez elégséges hozzácsatolni a (16) egyenletből kifejezett feltételt, ahonnan megkapjuk a (18) egyenletet,

$$\mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i \cdot (\mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j + \mathbf{F}_i) = 0 \quad (18)$$

vagy a (19) összefüggést.

$$\mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i \cdot \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{Q}_j + \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i \cdot \mathbf{F}_i = 0. \quad (19)$$

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$\mathbf{N}_{jj} = \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i \cdot \mathbf{P}_{ij} \quad (20)$$

$$\mathbf{K}_j = \mathbf{P}_{ij} \cdot \mathbf{R}_i \cdot \mathbf{F}_i \quad (21)$$

Ezekkel a (19) egyenletet  $\mathbf{Q}_j$ -re lineáris alakra hoztuk:

$$\mathbf{N}_{jj} \cdot \mathbf{Q}_j + \mathbf{K}_j = 0. \quad (22)$$

A megoldás  $\mathbf{Q}_j$  erők meghatározására a következő,

$$\mathbf{Q}_j = -\mathbf{N}_{jj}^{-1} \cdot \mathbf{K}_j. \quad (23)$$

Feltételezzük, hogy az egytengelyű kiegyensúlyozást a gépben létező OZ tengely-



A kérdés az: hova és mekkora ellensúlyokat kell helyezni a mechanizmus tengelyére ahhoz hogy az egyenlet jobb oldalán lévő kiegyensúlyozatlanul maradt erők és nyomatékok abszolút értékei a minimálisra csökkenjenek? Erre a választ a (23), (25), és a (6) egyenletek megoldásával sikerül megszerezni.

A módszer nagy előnye az, hogy úgy a tér, mint a párhuzamos síkokban fekvő mechanizmusok, háromdimenziós optimális kiegyensúlyozására ad megoldást [3].

## 2. Alkalmazások

A fenti képletek alkalmazása rendkívüli egyszerű numerikusan. A továbbiakban Mathcad programban a **2. ábrán** látható karos mechanizmusra alkalmazzuk az elméleti képleteket. Az eredményeket hagyományos és Fourier-sorban kifejtett számítások hasonlításával a **4–9. ábrákon** szemléltetjük. FF előtaggal a Fourier sorral kifejtett erőket és nyomatékokat jelöltük.

### 2.1. Az erők és nyomatékok számítása hagyományos módszerrel

A program fontosabb képletei:

$$i=1 \dots 37;$$

$$L1 = 0.025 \text{ [m]}; \quad L2 = 0.20 \text{ [m]};$$

$$R2=0.10 \text{ [m]}$$

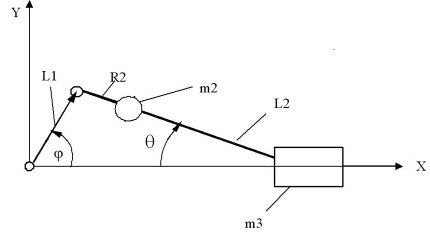
$$\varphi_i = (i-1) \cdot \frac{\pi}{18}$$

$$\theta_i = \text{asin} \left[ \frac{-L1 \cdot \sin(\varphi_i)}{L2} \right]$$

$$xG2 = L1 \cdot \cos(\varphi) + R2 \cdot \cos(\theta)$$

$$YG2 = L1 \cdot \sin(\varphi) + R2 \cdot \sin(\theta)$$

$$xG3 = L1 \cdot \cos(\varphi) + L2 \cdot \cos(\theta)$$



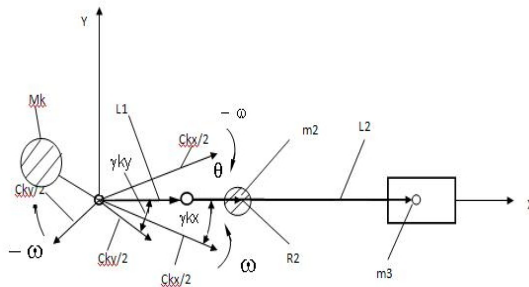
**2. ábra.** A kinematikai vázlat

$$\dot{\theta}_i = \left( \frac{-L1 \cdot \omega \cdot \cos(\varphi_i)}{L2 \cdot \cos(\theta_i)} \right)$$

$$\dot{x}G2 = -L1 \cdot \omega \cdot \sin(\varphi) - R2 \cdot \omega 2 \cdot \sin(\theta)$$

$$\dot{Y}G2 = L1 \cdot \omega \cdot \cos(\varphi) - R2 \cdot \omega 2 \cdot \cos(\theta)$$

$$\dot{x}G3 = -L1 \cdot \omega \cdot \sin(\varphi) - L2 \cdot \omega 2 \cdot \sin(\theta)$$



**3. ábra.** A fázisszögek

$$\ddot{\theta}_i = \frac{L1 \cdot \omega \cdot [\omega \cdot \sin(\varphi_i) \cdot \cos(\theta_i) - \omega 2_i \cdot \cos(\varphi_i) \cdot \sin(\theta_i)]}{(\cos(\theta_i))^2 \cdot L2}$$

$$\ddot{X}G2 = -L1 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\varphi) - R2 \cdot \omega 2_1^2 \cdot \cos(\theta_1) - R2 \cdot \varepsilon 2_1 \cdot \sin(\theta_1)$$

$$\ddot{Y}G2 = -L1 \cdot \omega^2 \cdot \sin(\varphi) - R2 \cdot \omega 2_1^2 \cdot \sin(\theta_1) - R2 \cdot \varepsilon 2_1 \cdot \cos(\theta_1)$$

$$\ddot{X}G3 = -L1 \cdot \omega^2 \cdot \cos(\varphi) - L2 \cdot \omega 2_1^2 \cdot \cos(\theta_1) - L2 \cdot \varepsilon 2_1 \cdot \sin(\theta_1)$$

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} = -M2 \cdot \begin{pmatrix} \ddot{X}G2 \\ \ddot{Y}G2 \end{pmatrix} - M3 \cdot \begin{pmatrix} \ddot{X}G3 \\ \ddot{Y}G3 \end{pmatrix}$$

$$MI2 = -Jz2 \cdot \varepsilon 2$$

$$Mt2 = -M2 \cdot (XG2 \cdot \ddot{Y}G2 - \ddot{X}G2 \cdot YG2)$$

$$MZ2 = Mt2 + MI2$$

## 2.2. Az erők és nyomatékok számítása Fourier sorban való kifejtéssel

$$FFXT_i = C1O + AFx \cdot \cos(\varphi_i) + Bfx \cdot \sin(\varphi_i)$$

$$fFx = CFx \cdot \cos(\varphi_i + \gamma kx)$$

$$FFYT_i = C2O + AFy \cdot \cos(\varphi_i) + BFy \cdot \sin(\varphi_i)$$

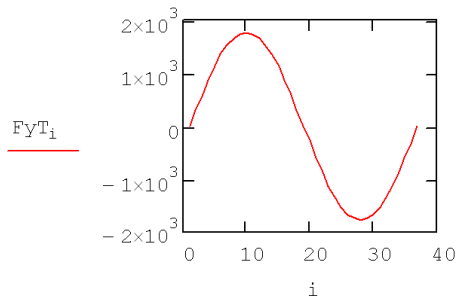
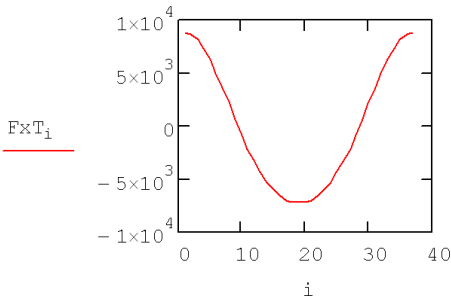
$$fFy = CFy \cdot \sin(\varphi_i + \gamma ky)$$

$$FMz_i = C3O + AMz \cdot \cos(\varphi_i) + BMz \cdot \sin(\varphi_i)$$

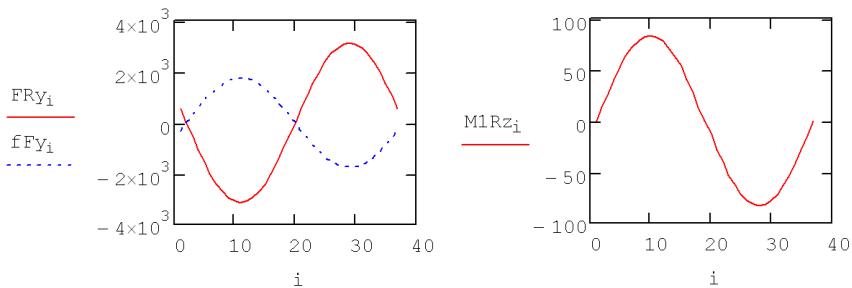
$$\tan \gamma kx = -\frac{Bkx}{Akx}$$

és

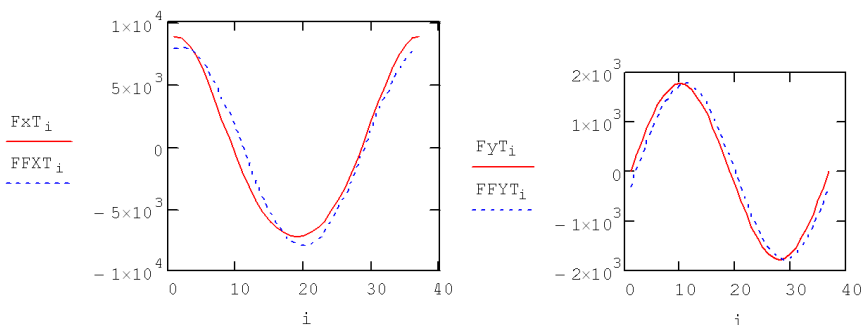
$$\tan \gamma ky = -\frac{Bky}{Aky}$$



4.ábra. Tehetetlenségi erők kiegyensúlyozás előtt.



5. ábra. A kiegyensúlyozás előtti és utáni  $FR_y$  és  $fFY_i$  erők diagramjai; a rendszer  $OZ$  tengelyhez viszonyított nyomatéka ( $Mz_2$ )



6. ábra. A kiegyensúlyozás előtti tehetetlenségi erők hasonlítása: Fourier-kifejtés előtt és után

Tehát létezik egy  $CF_x$  és  $CF_y$  modulusú vektor, amely szinkronban forog  $-10$  fokos kezdeti fázisszöggel eltolva. A  $CF_x$  modulusú vektor  $OX$  tengelyirányú alkotója képezi az  $fFx$  tehetetlenségi erőt, a  $CF_y$  pedig az  $OY$  tengelyirányú  $fFy$  tehetetlenségi erőt.

A két modulus nem egyforma, s habár szinkronban szaladnak, őket külön kell kezelni. Az  $fFx$   $fFy$  alkotók értékeit két külön-külön egymással szembeforgó fél modulusú erővel lehet helyettesíteni. Ezek közül csak a tengellyel együtt forgó alkotót vesszük figyelembe, amelynek modulusa  $CF$ , azaz:

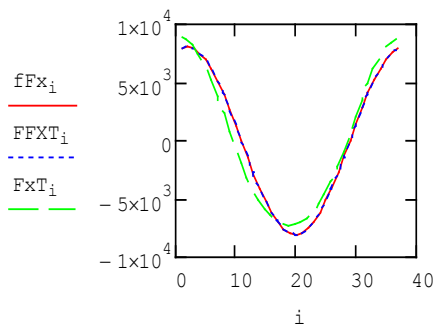
$$CF = \frac{(CF_x + CF_y)}{2}$$

A (23) és a (25) egyenletek szerint írt program a következő értékeket használja:

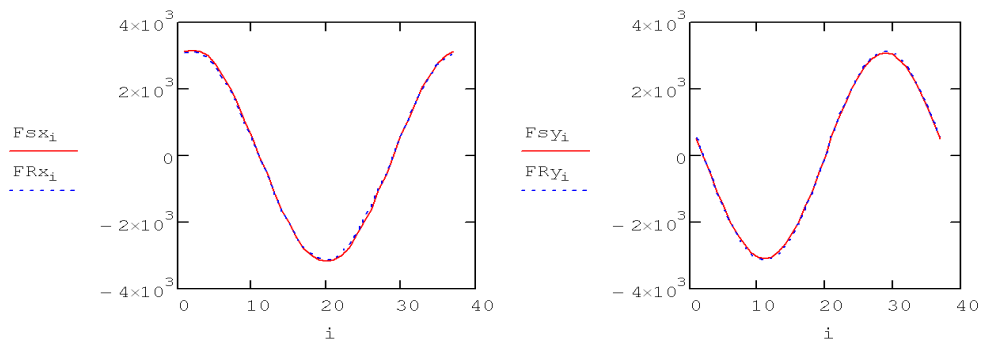
$$A_{M_x}=0; \quad B_{M_x}=0; \quad A_{M_y}=0; \quad B_{M_y}=0;$$

$$c_1 = -0.020; \\ c_2 = 0.020;$$

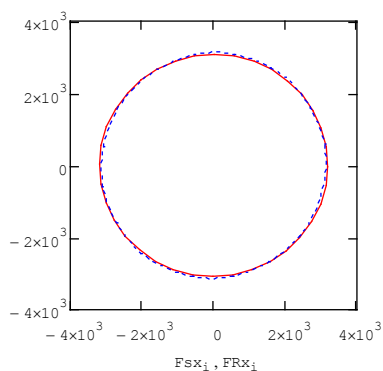
$$c_x = -0.070; \\ c_y = -0.120;$$



7. ábra. A kiegyensúlyozatlanul maradt  $F_x$  erők változásai



8. ábra. Az  $F_x$  és  $F_y$  erők összehasonlítása



9. ábra. A kiegyensúlyozatlanul maradt  $F_y$  erők modulusainak görbéje

A 7., 8. és 9. ábrák mindkét módszer szerinti kiegyensúlyozás után a kiegyensúlyozatlanul maradt erőket szemléltetik.

### Szakirodalmi hivatkozások

[1] Maros, D.: *Mecanisme*. Atelierul de multiplicare al I.P. Cluj, 1980.

[2] Stevens, E.N.: *Balancing of Machines*. San Francisco, California, ASME, paper 72-Mech.-52, 1972.

[3] Papp, I.: *Contribution on Dynamic Balancing of Spatial Mechanisms*. Phd. Thesis, Cluj Napoca, 1999.

## AZ ANTROPOGÉN EREDETŰ ANYAGOK VIZSGÁLATA DEBRECEN TALAJAIBAN

### THE INVESTIGATION OF ANTHROPOGENIC MATERIALS IN THE SOILS OF DEBRECEN

Sándor Gábor<sup>1</sup>, Szabó György<sup>2</sup>

*Debreceni Egyetem, Tájvédelmi és Környezetföldrajzi Tanszék, Magyarország,  
4032, Debrecen, Egyetem tér 1; Telefon: (52) – 512 – 900 / 22235 Fax: (52) - 512 –  
945*

<sup>1</sup>*sanyigabi7@gmail.com*

<sup>2</sup>*szabo.gyorgy@science.unideb.hu*

#### Abstract

In our study we examined the anthropogenic materials in the soils of Debrecen. We observed significant differences between the properties of soil samples with artefact and without it. We investigated the relationship among the artefact content and the acidity and the calcium carbonate content of the soils in Debrecen. The correlation analysis showed that the higher pH values depend on the artefact content with high calcium carbonate. We established, the human impact has an effect on the distribution of pH of soils.

*Keywords: artefact content, urban soil, pH, calcium carbonate*

#### Összefoglalás

Tanulmányunkban az antropogén eredetű anyagok szerepét vizsgáltuk Debrecen talajaiban. A szelvényeink rendkívül nagy bolygatottságot mutattak, amit az erős antropogén hatás eredményezett. Meghatároztuk a begyűjtött talajminták műterméktartalmát, kémhatását és kalcium-karbonát tartalmát. A két utóbbi talajtulajdonság alakulásában jelentős különbségeket fedeztünk fel a műtermékkel rendelkező és a műterméktől mentes talajminták esetében. A magasabb műterméktartalommal rendelkező talajmintáknál általában magasabb pH-t és kalcium-karbonát-tartalmat sikerült kimutatni. A laboratóriumi eredményeket statisztikai elemzésnek vetettük alá. A korrelációs vizsgálatok kimutatták, hogy a magasabb pH háttérben a magas kalcium-karbonát-tartalmú műtermékek állnak, tehát a talajok kémhatásának alakulásában az antropogén hatás egyértelműen kimutatható.

*Kulcsszavak: műtermék, városi talaj, kémhatás, kalcium-karbonát tartalom*

#### 1. Bevezetés

Városaink terjeszkedése nagyban hozzájárul a környezet megváltozásához. Az építkezések alkalmával gyakran szükség van tereprendezési munkálatokra. A terep-egyenesítés során a talajok is sérülhetnek. A feltöltésből adódóan számolnunk kell a

mesterséges anyagok mennyiségi növekedésével vagy akár egy teljesen új kultúrréteg kialakulásával is. Másrészt a magasabb térszínnek elegyengetésével, elhordásával a talaj egy mélyebb szintje kerül felszínre, amelyet így az antropogén hatások közvetlenül is érintenek [1]. A debreceni talajok vizsgálata során főleg az épületek



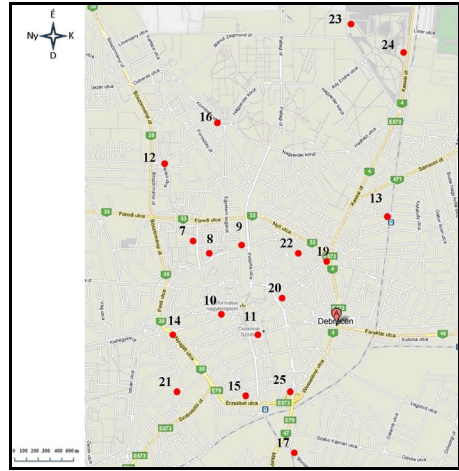
és a közlekedési pályák építésének nyomai-  
val találkozhatunk. Az építkezésekből visz-  
szamaradt bontási törmelék és anyagmara-  
dékok (vakolat, téglá, cement, gipsz) jelen-  
tős mennyiségben tartalmaznak meszet, ami  
negatív irányba módosíthatja a talaj egyes  
tulajdonságait [2]. Az antropogén hatásra  
módosult talajtulajdonságokkal és a műter-  
mékek talajban való előfordulásával több  
hazai és külföldi kutató is foglalkozott  
[3,4,5,6]

Tanulmányunkban azt vizsgáltuk, hogy  
a műtermékek jelenléte befolyásolja-e a  
talajok kémhatását, hogy ebben a tekintet-  
ben megfigyelhető-e valamilyen különbség  
a nagy mennyiségű építési és bontási törmel-  
lékkel rendelkező talajok és a műtermék-  
mentes talajok között.

## 2. Anyag és módszer

2012 augusztusától 2013 júniusáig 18  
talajszelvényt mintáztunk meg Debrecen  
területén (1. ábra). A szelvények helyét  
próbáltuk úgy megválasztani, hogy azok  
arányosan fedjék le a mintaterületünket. Az  
egy-egy szelvények mélysége 1 és 2 m között  
változott. A mintákat 20 centiméterenként  
vettük, így összesen 113 darab mintát gyűj-  
töttünk be. A szelvények többségénél meg-  
figyelhető egy mesterséges, kemény techni-  
kai réteg (járda, útburkolat), amely ese-  
tünkben néhol a 40 cm vastagságot is elér-  
heti. A laboratóriumi munkálatokat a Deb-  
receni Egyetem Tájvédelmi és Környezet-  
földrajzi Tanszékének Talajtani Laboratóri-  
umában végeztük. A vizsgálatok során a  
talajmintákat 40 °C-on kiszáritottuk, majd 2  
mm-es átmérőjű szitán átszítáltuk. Az így  
különválasztott antropogén eredetű anyagok  
tömegét az eredeti minta tömegéhez viszony-  
nyítottuk, és százalékos értéket számolva  
megkaptuk a műterméktartalmat. Tehát a  
mintákból eltávolítottuk az antropogén ere-  
detű anyagokat, s a további vizsgálatokhoz  
már csak az így nyert földes részt használ-  
tuk fel. A talaj pH-ját elektromos pH-

mérővel mértük desztillált vizes és KCl-os  
szuszpenzióban, a  $\text{CaCO}_3$  tartalmát 10%-os  
sósav hozzáadásával, Scheibler-féle  
kalciméterrel határoztuk meg.



1. ábra. A szelvények elhelyezkedése

## 3. Mintaterület jellemzése

Debrecen a Hajdúság és a Nyírség hatá-  
rán fekvő, több mint 200 000 fős város. Az  
eltérő táji adottságok a talajtani viszonyokra  
is hatással vannak, hiszen a nyírségi futó-  
homokos területeken döntően futóhomok  
váztalajok és humuszos homoktalajok borít-  
ják a felszínt. A löszös síkságainkon, így a  
Hajdúságban is a leggyakrabban előforduló  
talajtípusok a csernozjomok. A Hajdúság-  
ban a felszínhez közeli talajvízszintek jel-  
lemzőek, az alacsony térszíneken csapadé-  
kosabb időszakban a belvízveszéllyel is  
számolni kell. A magas sótartalmú talajvi-  
zekhez elsősorban a mélyben sós réti cser-  
nozjom és a mélyben sós alföldi mészele-  
dékes csernozjom megjelenése köthető [7].  
A mai belváros területén korábban négy  
különálló falu osztozott, azonban ezekből  
mára szinte semmi sem maradt meg. A bel-  
város központi része, a mai Kossuth tér, egy  
alacsonyan fekvő buckaközi, vizenyős mé-

lyedés volt, ahol csak pallókon lehetett közlekedni. A terület az évszázadok folyamán lassan feltöltődött, s ma már 2-3 méteres mélységben találjuk csak meg az eredeti talajfelszínt [8]. A belváros központi részét övező területek már magasabb térszínen fekszenek, ezért itt a kultúrréteg vastagsága általában kisebb. A talajfedés aránya a városközpontban a legmagasabb, kb. 75%. A belvárosi területen az úthálózat alapvetően sugaras szerkezetű. A beépítés jellege többnyire 2-4 emeletes lakótömbökből és zárt-homlokzatú utcára néző lakóházakból áll. Amíg a keleti városrészen a kertés családi házas beépítés jellemző, addig a nyugati oldalon a lakótelepek 4-14 emeletes panelháza uralkodnak. A mesterséges talajfedés aránya a keleti oldalon döntően 50% alatt van, nyugaton ugyan ez az érték 50-75% között mozog [9].

#### 4. Eredmények

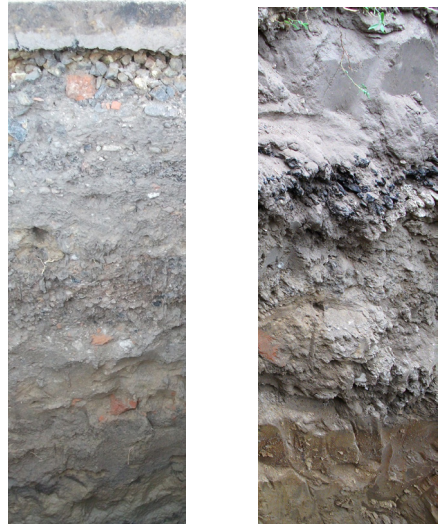
A debreceni talajszelvényeket vizsgálva megállapítottuk, hogy a pH átlagos értéke 8,07 tehát a gyengén lúgos tartományba sorolható. A mésztartalom szélsőséges értékeket mutat, a minimum érték 1,95% a maximum 16,85%.

1. táblázat. A vizsgált talajtulajdonságok statisztikai mutatói

Statisztikai mutatók / Talajtulajdonságok	Mütermék (%)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)
Átlag	5,35	8,07	7,74	5,67
Medián	3,30	8,22	8,00	5,09
Módusz	0,00	8,31	8,40	10,85
Minimum érték	0,00	6,32	5,19	1,95
Maximum érték	37,24	8,95	8,68	16,85

A müterméktartalom esetében is előfordulnak kiugró eredmények, azonban az átlagos érték alig haladja meg az 5%-ot (1. táblázat).

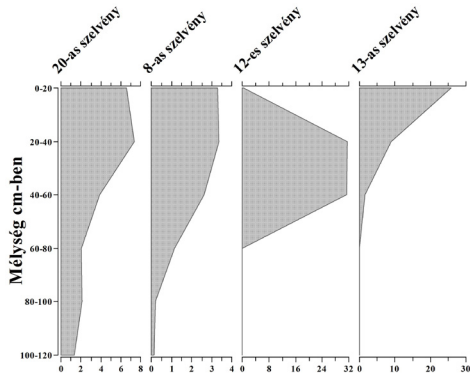
Az építkezési törmelékek, anyagmaradékok gyakran magas mésztartalommal rendelkeznek, így a talajba kerülve megnövelhetik annak kalciumtartalmát és pH értékét [10]. A magas mésztartalom bázikus kémhatást idézhet elő, a két paraméter között így egyértelmű az összefüggés [11]. A belvárosi szelvények nagy része tartalmazott műtermékeket, amelyek főleg építési, bontási törmelékek voltak (2. ábra).



2. ábra. Műtermékek a 17-es és a 12-es szelvényben

Az antropogén anyagok részaránya általában a mélyebb rétegek felé csökkent, több esetben 80-100 cm-es mélységben már nem is találtunk műterméket (20-as, 8-as, 12-es és 13-as szelvény) (3. ábra).

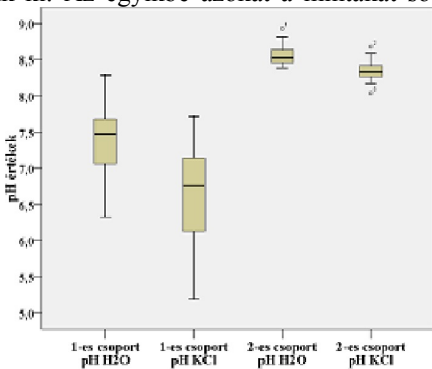
A megmintázott szelvények müterméktartalma rendkívül nagy változatosságot mutatott. Egyes helyeken, mint például a Városi Köztemető az elmúlt néhány évben használatba vett területen található két szelvény egyikében sem volt antropogén eredetű anyag (23-as és 24-es szelvény).



3. ábra. A műterméktartalom eloszlása (%) a 20-as, 8-as, 12-es és a 13-as szelvényekben

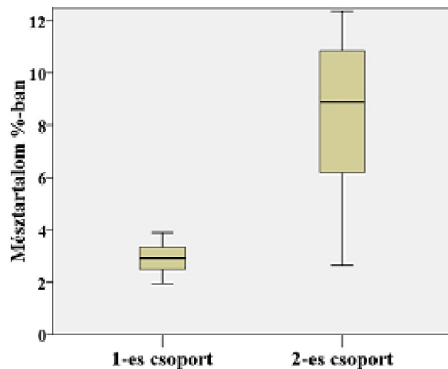
Ezen nemcsak a vizsgálatainkban fontos szerepet játszó paramétereket (mész tartalom, pH) befolyásoló magas mézstartalommal rendelkező anyagokat értjük, hanem minden olyan anyagot is, amely antropogén hatás következtében kerül a talajba. Más kutatók kimutatták, hogy a koporsókon található fémből készült részek (szegek, fogantyúk, kilincsek egyéb dísz tárgyak) szerepet játszhatnak a talaj nehézfém-szennyezésében [12], emellett arra is rámutattak, hogy a patogén eredetű anyagok megnövelhetik a talaj szerveszén-tartalmát [13].

A talajminták laboratóriumi vizsgálati eredményei alapján két csoportot alakítottunk ki. Az egyikbe azokat a mintákat so-



4. ábra. Az 1-es és 2-es csoport kémhatása és mézstartalma

roltuk (1-es csoport), amelyekben nem volt antropogén eredetű anyag (25 darab), míg a másikba olyan minták kerültek (2-es csoport), amelyekben a talált műtermékek feltételezhetően, felelősek lehetnek a talaj mézstartalmának és kémhatásának az alakulásáért, ezek döntően magas kalcium-karbonát-tartalommal bíró építési és bontási törmelékek voltak (74 darab). A maradék 14 darab mintát nem vontuk be a vizsgálatba, mert a bennük talált műtermékek (üveg, fém, műanyag) nem tartalmaztak karbonátos anyagokat. A kapott adathalmazt statisztikai vizsgálatoknak vetettük alá. Az alapstatisztikai mutatókból azt olvashatjuk le, hogy az 1-es csoportban a pH- és a mézstartalom esetében is jelentősen alacsonyabb volt a medián, a minimum és a maximum érték, mint a 2-es csoportban. Az 1-es csoport néhány mintájának pH-ja igen alacsonynak mondható ( $pH < 7$ ), messze elmarad a városi talajokra jellemző enyhén lúgos és lúgos tartománytól. Ezek a minták a Városi Köztemető területén található két szelvényből származnak. Egyik szelvény esetében sem figyeltünk meg komolyabb, emberi hatásra utaló bolygatást. A műterméket tartalmazó minták túlnyomó része gyengén lúgos és lúgos kémhatású (4. ábra).



A továbbiakban a két csoport adataiból Spearman-féle rangkorrelációt számoltunk. Az 1-es csoport esetében csak a desztillált vizes és a kálium-kloridos szuszpenzióban mért pH-értékek között sikerült erős korrelációs kapcsolatot kimutatni ( $r=0,75$ ,  $p<0,01$ ). Ugyanakkor a 2-es csoport esetében a pH értékek alakulása szoros pozitív

korrelációs kapcsolatot mutatott a mésztartalommal, emellett szintén pozitív korrelációs kapcsolat figyelhető meg a pH(KCl) és a műtermék-tartalom között. A műtermékek és a mésztartalom között megfigyelhető egy szignifikáns összefüggés, bár az nem olyan erős, mint az előző esetekben.

2. táblázat. A 2-es csoport korrelációs

Talajtulajdonságok	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CaCO <sub>3</sub> (%)	Műterméktartalom (%)
pH H <sub>2</sub> O		0,8**	0,49**	0,12
pH KCl	0,8**		0,53**	0,27*
CaCO <sub>3</sub> (%)	0,49**	0,53**		0,27*
Műterméktartalom (%)	0,12	0,27*	0,27*	

## 5. Következtetés

A szelvények vizsgálata alapján megállapítottuk, hogy Debrecen taljai nagymértékű antropogén hatás alatt állnak. A szelvények döntő többségében számolnunk kell műtermékek jelenlétével, amelyek legnagyobb részét magas kalciumtartalmú építési és bontási törmelékek alkotják. A városi talajokra jellemző módon a kémhatás az enyhén lúgos és lúgos tartományba sorolható, valamint a mésztartalom is többnyire magas értékeket mutat. A korrelációs vizsgálatok arra engednek következtetni, hogy a magasabb pH háttérben a magas CaCO<sub>3</sub>-tartalmú műtermékek állnak, ugyanakkor a műtermékek tényleges százalékos aránya és a pH alakulása közötti kapcsolat nem különösebben erős. Összességében azonban kijelenthetjük, hogy a talajok kémhatásának és mésztartalmának alakulásában az antropogén hatás kimutatható.

## Szakirodalmi hivatkozások

[1] Szabó, J.: *A települések hatásai*. In: *A társadalom hatása a földfelszínre (antropogéneomorfológia)* – szerk. Borsy Z. – Általános Természetföldrajz, 1998, 832.

[2] Magyar Cementipari Szövetség, <http://www.mcsz.hu/index.php?menu=2&oldal=5>, 2013

[3] Szegedi, S.: *Közlekedési eredetű nehézfémek Debrecen talajaiban és növényzetében, ennek talajtani összefüggései és városökológiai hatásai*. Doktori értekezés. – Kossuth Lajos Tudományegyetem Alkalmazott Tájélföldrajzi Tanszék, Debrecen, 1999. 138.

[4] Puskás, I., Prazsák, I., Farsang, A., Maróy, P.: *Physical, chemical and biological aspects of human impacts on urban soils of Szeged*. Journal of Environmental Geography, Vol.1.(1-2), 2008., 11–21.

[5] Jim, C. Y.: *Urban soil characteristics and limitations for landscape planting in Hong Kong*. Landscape and Urban Planning 40.4, 1998., 235–249.

[6] Howard, J. L., Olszewska, D.: *Pedogenesis, geochemical forms of heavy metals, and artifact weathering in an urban soil chronosequence*. Detroit, Michigan. Environmental Pollution 159, 2011., 754–761.

[7] Martonné, E. K.: *Magyarország tájfldrajza*. Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2008, 192.

[8] Csorba, P.: *Városökológiai sétaút Debrecenben*. Meridián Alapítvány, Debrecen, 2008., 44.

- [9] Szegedi, S.: *A debreceni hősziget jellegzetességei*. Környezetvédelmi Mozaikok – Tiszteletkötet Dr. Kerényi Attila 60. születésnapjára, Debrecen, 2003., 383–389.
- [10] Gécz, R.: *Városi talajok*. 2007., 1–10, [http://www.geography.hu/geographer/geczi\\_robert/GR\\_varosi\\_talajok.pdf](http://www.geography.hu/geographer/geczi_robert/GR_varosi_talajok.pdf)
- [11] Puskás I.: *Városaink talajai: a szegedi talajok komplex értékelése és osztályozása*. Doktori értekezés. Szegedi Tudományegyetem, Szeged, 2008., 154.
- [12] Olivier, J., Jonker, C.: *Mineral Contamination from Cemetery Soils: Case Study of Zandfontein Cemetery, South Africa*. International Journal of Environmental Research and Public Health 9. 2012., 511–520.
- [13] Charzyński, P., Bednarek, R., Świtoniak, M., Żołnowska, B.: *Ekranic Technosols and Urbic Technosols of Toruń Necropolis*. GEOLOGIJA, Lietuvas mokslų akademija, 2011., 179–185.

## ÜTEMEZÉSI FELADATOKRA ALKALMAZOTT GENETIKUS ALGORITMUS KERESZTEZŐ OPERÁTORAINAK VIZSGÁLATA

### EXAMINATION OF THE CROSSOVER OF GENETIC ALGORITHM APPLIED TO SCHEDULING TASKS

Simon Pál

*Miskolci Egyetem, Informatikai intézet, Alkalmazott Informatikai Tanszék 3515 Miskolc, Miskolc-Egyetemváros, pal.simon.8@gmail.com*

#### Abstract

Production scheduling problems are complex order design tasks, whose solution is still a difficult task nowadays. These tasks are usually modelled with the Travelling Salesman Problem. This is an NP-hard problem and can't be solved optimally within a reasonable time. Acceptable but not optimal solution provided by artificial intelligence procedures within a reasonable period of time. Such process is the genetic algorithm. This algorithm has been used for a long time to solve the travelling salesman problem. A key part of the algorithm is the crossover operator, that affecting the efficiency. Over time, many crossing operators were developed. Each of these has similar characteristics such as maintaining the position and the order of the subsequence. In this article I show the disadvantage of these characteristics. Then I present an operator that does not have these characteristics and thus it makes the algorithm more efficient. To support this increased efficiency I will present some test results.

*Keywords: scheduling, genetic algorithm, crossover, travelling salesman problem.*

#### Összefoglalás

A gyártásütemezési feladatok összetett sorrend előállítási feladatok, amelyek megoldásának előállítása napjainkban is nehéz feladat. Ezeket a feladatokat az utazó ügynök problémával jól lehet modellezni, amely egy NP-nehéz probléma, és nem oldhatók meg optimálisan ésszerű időn belül. Nem optimális, de elfogadható megoldást lehet elérni elfogadható időn belül mesterséges intelligencia módszerekkel. Egy ilyen módszer a genetikus algoritmus. Ezt a módszert már régóta alkalmazzák az utazó ügynök probléma megoldására. Az algoritmus egyik legfontosabb része az egyedek keresztezése, amely nagymértékben befolyásolja a hatékonyságát. Több keresztező operátort is kifejlesztettek napjainkra. Ezek mindegyike hasonló jellemzőkkel rendelkezik, mint például a keresztezni kívánt egyedekben lévő részsorrendek pozícióinak és sorrendjének megőrzése. Ebben a cikkben ezekre a jellemzőkre szeretnénk rávilágítani. Majd egy olyan operátort mutatunk be, amely nem rendelkezik ezekkel a jellemzőkkel, ezáltal hatékonyabbá teszi az algoritmust. Ezt a hatékonyságnövekedést teszteredmények bemutatásával támasztjuk alá.

*Kulcsszavak: ütemezés, genetikus algoritmus, keresztező operátor, utazó ügynök probléma.*

## 1. Bevezetés

Napjainkban egyre fontosabb az előállított termékek jó minősége és alacsony gyártási költsége. Ezeknek az elvárásoknak való megfelelés miatt nagyon fontos a korszerű technikák alkalmazása a gyártás során, ezáltal növelve a hatékonyságot a gyártási folyamat során felmerülő költségek csökkentésével. A gyártási költségek csökkentésének egyik leghatékonyabb módja a gyártó kapacitás legjobb kihasználása. Ennek elérése érdekében a gyártásütemezés hatékonyságát kell növelni.

A gyártásütemezés során felmerülő összetett ütemezési problémák modellezésére használható az utazó ügynök probléma [1–3]. Ami egy NP-nehéz probléma és optimálisan nem oldható meg valós időn belül. Azonban optimálishoz közeli megoldást lehet elérni heurisztikus vagy mesterséges intelligencia módszerekkel valós időn belül. A gyakorlatban ezek az optimálishoz közeli megoldások is elfogadhatók. Ilyen megoldást eredményező mesterséges intelligencia módszer a genetikus algoritmus.

A genetikus algoritmus az egyedpárok keresztezésével állít elő új egyedeket, amelyek pozitív tulajdonságai javulhatnak. A szelekció révén a jobb tulajdonságokkal rendelkező egyedek maradnak meg, így fokozatosan javul a megoldás és közelít az optimum felé.

Az algoritmus hatékonyságát nagymértékben befolyásolja az alkalmazott keresztező operátor. Napjainkra több keresztező operátort is kifejlesztettek. Ezek különbözőképpen keresztezik az egyedpárokat, de mindegyik hasonló azáltal, hogy vagy csak a sorrendet, vagy csak a pozíciót változtatják [4–6]. Feltételezéseink szerint a sorrendtervezési feladatoknál, mint az utazó ügynök probléma, hatékonyabb módszer is létezik.

A cikk első felében a problémát és a megoldására alkalmazott genetikus algorit-

must alkalmazó eljárást mutatjuk be. Majd a leggyakrabban alkalmazott keresztező operátorokat és azok tulajdonságait mutatjuk be, rávilágítva azokra a tulajdonságokra, amelyek jellemzőek ezekre az operátorokra. Végül egy új keresztező operátort ismertetünk, amely a meglévő operátoroktól eltérő jellemzőkkel bír. Teszteredményt mutatunk be, amely alátámasztja az általunk bemutatott operátor hatékonyságát.

## 2. Az utazó ügynök probléma

Az Utazó ügynök probléma egy sorrendtervezési probléma modell. Ezért jól használható különböző ütemezési problémák modellezésére, mint például a gyártásütemezés. [7]. Adott  $n$  város és minden város között lévő távolság. A feladat egy olyan legrövidebb bejárési útvonalat keresni, amely minden várost pontosan egyszer érint, és az út végén visszajutunk a kiindulási pontba [8].

Az utazó ügynök probléma a következőképpen írható le. Adott  $n$  város halmaza  $N = \{1, \dots, n\}$ . A távolságot  $i$  városból  $j$ -be jelölje  $d_{ij}$ , minden  $i \in N, j \in N, i \neq j$ . Az utazó ügynök útvonala legyen a következő  $\pi = (\pi(1), \pi(2), \dots, \pi(n))$  az  $N$  halmazra, ahol  $\pi(j)$  a  $j$ -ediként meglátogatott város. A feladat, hogy találjunk olyan  $\pi^*$  permutációt, ami minimalizálja a teljes út hosszát  $D(\pi^*)$ , ahol  $D(\pi^*)$  a következő:

$$D(\pi) = \sum_{j=1}^{n-1} d_{\pi(j)\pi(j+1)} + d_{\pi(n)\pi(1)} \quad (1)$$

A feladat nehézségét az adja, hogy a lehetséges bejárások száma  $n$  város esetén  $(n-1)!/2$ . Emiatt a feladat számítási igénye a városok számával exponenciálisan növekszik. Annak érdekében, hogy ésszerű időn belül meg lehessen oldani ezt a problémát heurisztikus vagy közelítő módszereket kell alkalmazni. Ilyen módszereket a mesterséges intelligencia algoritmusok kínálnak, amelyek optimálishoz közeli megoldást

eredményeznek, de furásidejük belátható időn belül marad.

### 3. Genetikus algoritmus

A genetikus algoritmus egy heurisztikus keresési algoritmus, amely a természetes evolúciót utánozza [9]. A keresési teret egyedek populációjával reprezentálja. Minden egyed egy-egy lehetséges megoldását jelenti a problémának, városok sorrendjét tartalmazza. Ez a sorrend az utazó ügynök által bejárando városok sorrendje. A genetikus algoritmus az egyedek keresztezésével, majd szelekciójával állítja elő a populáció egyes generációit.

A genetikus algoritmus pszeudókódja:

- kezdő populáció generálása
- ciklus
- egyedpárok kiválasztása
- gyerek elemek létrehozása az egyedpárokból
- gyerek elemek véletlenszerű mutálása
- populáció kiterjesztése a gyerek elemek hozzáadásával
- kiterjesztett populáció méretének csökkentése szelektálással
- amíg megállási feltétel
- legjobb egyed visszaadása

Először egy kezdő populációt kell generálni. Utána minden iterációban egyedpárokat kell kiválasztani. Ezek az egyedpárok lesznek a szülő egyedek, melyek genotípusát keresztezve jönnek létre a gyerek egyedek. Ezután az új gyerek egyedeket leíró genomot nullához közeli valószínűséggel mutálni kell. Az így létrejövő gyerek egyedeket a populációhoz adva bővíteni kell azt. Majd a célfüggvénynek megfelelő szelekciós művelettel az eredeti méretére kell csökkenteni a populációt. Minden egyes ilyen iteráció a populáció egy generációját állítja elő. A megállási feltétel egy adott generációs szám elérése.

## 4. Keresztező operátor

A genetikus algoritmus egyik kulcsfontosságú része a keresztezés, amely az egyedek genomjait változtatja egyik generációról a másikra. A keresztezés a természetben végbemerő génkeresztelés analógiáját utánozza. Ez egy olyan eljárás, amely két kiválasztott szülő egyedből generál egy gyerek egyedet. A következőekben az ütemezési, illetve a sorrendtervezési feladatoknál alkalmazott keresztező operátorokat mutatjuk be.

### 4.1. Sorrendkeresztelés (Order Crossover – OX)

Ez a legelső és legfőbb keresztező operátor változat, amelyet az utazó ügynök probléma megoldására alkalmaznak [10]. A leszármazott generálása során először az első szülőből választ egy rész sort, majd a másik szülő génjeinek relatív sorrendjét megőrizve örökíti azt tovább. Példaként vegyünk két szülőegyedet  $P_1$  és  $P_2$ -t. A  $P_1$  és  $P_2$  szülőekben jelöljük ki két vágási pontot (jelölje „|”), miközben a kijelölt szakasz mérete azonos marad.

$$P_1 = (1\ 4\ | \mathbf{6\ 3\ 2}\ | 7\ 5\ 8)$$

$$P_2 = (2\ 6\ | \mathbf{8\ 5\ 1}\ | 3\ 4\ 7)$$

A két vágási pont közötti részsorok átmásolódnak az  $O_1$  és  $O_2$  leszármazottakba.

$$O_1 = (\_ \_ | \mathbf{6\ 3\ 2}\ | \_ \_ \_)$$

$$O_2 = (\_ \_ | \mathbf{8\ 5\ 1}\ | \_ \_ \_)$$

A maradék üres helyeket töltjük fel a másik szülő második vágási pontjától kezdődően azon elemekkel, amelyek még nincsenek a leszármazottban.

A  $P_2$  szülő második vágási pontja utáni elemek sorban a következők:

$$3\ 4\ 7\ 2\ 6\ 8\ 5\ 1.$$

A 6, 3 és 2 eltávolítása után a másolásra kerülő elemek a következők:

$$4\ 7\ 8\ 5\ 1.$$

Ezeket beillesztve az leszármazottba a második vágási pont után a következőt kapjuk:

$$O_1 = (5\ 1\ | \mathbf{6\ 3\ 2}\ | 4\ 7\ 8).$$



Ezt az  $O_2$  –re is hasonlóan megtehetjük, amely a következőképpen alakul:

$$O_2 = (3\ 2\ |\ 8\ 5\ 1\ |\ 7\ 4\ 6).$$

#### 4.2. Az első sorrendkeresztezés operátor variáció (VOX1)

K. Deep és H. Mebrahtu a következő kérdést tette fel: Miért használjuk mind a két szülőben ugyanazokon a helyeken lévő vágási pontokat? [11] Az előzőekben bemutatott operátort alapul véve új keresztező operátorokat dolgoztak ki. Az elsónél a vágási pontok helyének meghatározásán változtattak, mégpedig azért, hogy a két szülőben különböző pozíciókban jelölték ki a vágási pontokat. Ugyanakkor a kijelölt szakasz hossza megegyezik.

Példaként ismét vegyünk két szülőt  $P_1$  és  $P_2$  –t, majd véletlenszerűen és eltérő pozíciókban kijelölünk két-két vágási pontot, miközben a kijelölt szakasz mérete azonos marad.

$$P_1 = (1\ |\ 4\ 6\ 3\ |\ 2\ 7\ 5\ 8)$$

$$P_2 = (2\ 6\ 8\ |\ 5\ 1\ 3\ |\ 4\ 7).$$

A vágási pontok közötti részeket másoljuk át a leszármazottakba. Az üres helyeket töltsük fel a másik szülő második vágási pontjától kezdődően azon elemekkel, amelyek még nincsenek a leszármazottban, ezek a következő elemek:

$$4\ 7\ 2\ 8\ 5.$$

Ezeket beillesztve a leszármazottba a második vágási pont után a következőt kapjuk:

$$O_1 = (5\ |\ 1\ 6\ 3\ |\ 4\ 7\ 2\ 8).$$

Ezt az  $O_2$  –re is hasonlóan megtehetjük, amely a következőképpen alakul:

$$O_2 = (8\ 4\ 6\ |\ 5\ 1\ 3\ |\ 2\ 7).$$

#### 4.3. A második sorrendkeresztezés operátor variáció (VOX2)

Ebben az esetben nemcsak a vágási pontok pozíciója különbözik, hanem a vágási pontok által közbezárt sor hossza is. A leszármazott előállításának lépései ebben az esetben is hasonlóak az OX operátornál alkalmazottakhoz.

Az előzőekhez hasonlóan vegyünk  $P_1$  és  $P_2$  szülőt, majd véletlenszerűen kiválasztott és eltérő pozíciókban kijelölünk két-két vágási pontot úgy, hogy közben a közbezárt sor hossza is véletlenszerű legyen.

$$P_1 = (1\ 4\ 6\ 3\ 2\ |\ 7\ 5\ |\ 8)$$

$$P_2 = (2\ |\ 6\ 8\ 5\ 1\ |\ 3\ 4\ 7).$$

A vágási pontok közötti részeket másoljuk át a leszármazottakba, majd a második vágási pont után a  $P_1$  szülőből a 3 4 2 6 8 1-et, míg a  $P_2$  szülőből a 3 2 7 4-et.

A leszármazottak a következők lesznek:

$$O_1 = (4\ 2\ 6\ 8\ 1\ |\ 7\ 5\ |\ 3)$$

$$O_2 = (4\ |\ 6\ 8\ 5\ 1\ |\ 3\ 2\ 7).$$

#### 4.4. Javasolt keresztező operátor

Az előzőekben bemutatott operátorok mindegyike rendelkezik ugyanazzal a közös tulajdonsággal. A szülő vágási pontjai közötti sor a leszármazottban is megtartja abszolút pozícióját. Ezáltal részben rögzülnek az elemek, így kevésbé rendeződik át szabadon az elemek sorrendje a leszármazottban.

Ebből kiindulva jött az ötlet, hogy miért ne legyen véletlenszerűen megválasztva a leszármazottban az a pozíció, ahová a szülőből örökölt sor kerül. Továbbá az üres helyek feltöltésére a másik szülő sorának kezdőpontjától kezdve történjen. Ezáltal mind a második szülőből feltöltésre kerülő elemek is megőrzik a relatív sorrendjüket. Így egy esetleges optimális szakasz mind a két szülőből továbböröklődhet a gyerekebe, miközben annak pozíciója változik. Mivel az utazó ügynök problémánál egy olyan sor előállítás a feladat, amelynek a kezdő és végpontja ugyanaz, ezáltal a pozíció változás pozitív hatást idézhet elő a leszármazott sorrendjében. Az azonosítás végett nevezzük a javasolt keresztező operátort RPOX operátornak.

Vegyünk két elemet, melyek legyenek  $P_1$  és  $P_2$  szülők, majd jelöljük ki a vágási pontokat.

$$P_1 = (1\ 4\ |\ 6\ 3\ 2\ |\ 7\ 5\ 8)$$

$$P_2 = (2\ 6\ 8\ |\ 5\ 1\ 3\ 4\ |\ 7).$$

A két vágási pont közötti részsorok átmásolódnak az  $O_1$  és  $O_2$  leszármazottakba.

$$O_1 = (\_ \_ | \mathbf{6\ 3\ 2} | \_ \_ \_)$$

$$O_2 = (\_ \_ \_ | \mathbf{5\ 1\ 3\ 4} | \_)$$

A maradék üres helyeket töltjük fel a másik szülőben levő elemekkel sorban az elejétől.

A  $P_2$  szülőből átkerülő elemek sorrendje a 6, 3 és 2 eltávolítása után következő:

$$8\ 5\ 1\ 4\ 7.$$

Ezeket beillesztve az leszármazottba a következőt kapjuk:

$$O_1 = (8\ 5 | \mathbf{6\ 3\ 2} | 1\ 4\ 7).$$

Ezt az  $O_2$  –re is hasonlóan megtehetjük, amely a következőképpen alakul:

$$O_2 = (6\ 2\ 7 | \mathbf{5\ 1\ 3\ 4} | 8).$$

## 5. Teszteredmények

Implementáltuk a genetikus algoritmust  $OX1$ ,  $VOX1$ ,  $VOX2$  és  $RPOX$  operátorokkal. A  $VOX1$  és  $VOX2$  operátorok esetében törekedtünk arra, hogy a lehető legpontosabban implementáljuk, azonban nem minden részlet volt elérhető hozzá.[11]

Két teszt volt végrehajtva. Az első esetben egy mesterséges feladat lett generálva 128 várossal. A távolságok a városok között 10 és 100 közötti véletlen számokból lettek generálva. Ezután egy minimális költségű optimális út lett létrehozva mesterségesen, amelyben a távolságok 1 és 10 közötti véletlen számokból lettek generálva. Mindez azért lett így meghatározva, hogy szignifikáns legyen a különbség a legkisebb költségű út és a többi lehetséges út között. A teszt során a populációszám 256-nak lett választva, míg a generációk száma 32 000-nek.

1. táblázat Az első teszt eredménye

generációk	→□	4000	8000	12000	16000	20000	24000	28000	32000
<b>OX1</b>	best	1134,9	964,0	928,8	879,5	727,2	695,4	695,4	674,2
	worst	1378,2	1160,2	1035,8	956,2	886,7	768,8	768,8	768,8
<b>VOX1</b>	best	827,0	679,8	600,2	574,9	452,4	426,7	423,9	411,1
	worst	960,7	769,8	698,1	684,6	641,2	525,5	525,5	493,9
<b>VOX2</b>	best	799,9	672,1	593,5	557,1	516,7	466,4	436,7	428,9
	worst	938,4	755,3	642,4	584,9	565,5	519,8	463,4	458,7
<b>RPOX</b>	best	777,8	594,0	528,3	487,7	468,1	437,5	409,2	389,8
	worst	800,1	674,1	577,2	556,2	540,9	518,2	516,2	516,2

Az algoritmus többször is futatva volt, majd a legjobb és a legrosszabb eredmények összesítésre kerültek. Az 1. táblázatban látható, hogy az  $RPOX$  operátort alkalmazva az algoritmus sokkal hamarabb közelít az optimum felé, mint a többi keresztesztő operátort alkalmazva.

A második teszt során hat benchmark probléma lett választva tesztfeladatnak, a TSPLIB-ből [12]. A teszt során a populáció maximális száma 128, míg a maximális generációszám 30 000 volt. A tábla mutatja a különböző keresztesztő operátorokat alkalmazó genetikus algoritmusok által elért legjobb és legrosszabb eredményeket.

A 2. táblázatban lévő értékek azt mutatják, hogy a VOX1 és VOX2 operátort alkalmazó algoritmusok az optimálishoz (zárójelben) közelebbi eredményeket értek el.

Tovább az is látszik, hogy a RPOX operátort alkalmazó algoritmus egy kicsivel még azoknál is jobban teljesített.

2. táblázat A második teszt eredménye

	solution	OX1	VOX1	VOX2	RPOX
<b>gr48</b> (5046)	best	6485,0	5207,0	5166,0	5128,0
	worst	7121,0	5486,0	5216,0	5501,0
<b>eli51</b> (426)	best	441,2	432,0	437,6	430,4
	worst	454,8	439,7	445,9	449,8
<b>eli76</b> (538)	best	660,9	572,3	569,3	560,1
	worst	708,9	585,1	577,0	585,0
<b>kroA100</b> (21282)	best	27 738,9	21 795,2	22 169,7	21 602,7
	worst	36 413,7	22 617,0	23 225,2	22 553,9
<b>eli101</b> (629)	best	752,1	677,0	673,8	668,4
	worst	835,0	698,6	699,3	693,7

## 6. Következtetések

A cikkben bemutattuk az Utazó ügynök problémájának megoldására alkalmazható genetikus algoritmus keresztező operátorait és egy új operátor alkalmazására is javaslatot tettünk. A keresztező operátorok tulajdonságainak ismertetésén túl rávilágítottunk a jellegzetességeikre. Majd egy olyan operátort mutattunk be, amely a meglévő keresztező operátoroktól eltérő tulajdonsággal rendelkezik. Ezáltal gyorsabb optimum eltérést biztosít, mint a referenciának választott sorrendkeresztező operátor, és legalább annyira hatékony, mint a meglévő variációi ennek az operátornak.

A genetikus algoritmus összetett termelés ütemezési programban való alkalmazásának feltárása és hatékonyságának növelé-

se még nem teljes. A cikkben nem tértünk ki a genetikus algoritmus paraméterei és a szelekciós eljárás által a keresési eredményre gyakorolt hatásra. Ezeknek és a felvetett új operátor további vizsgálata a következő lépés egy összetett ütemező program megalkotásában.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] E. D. Kosiba, J. R. Wright And A. E. Cobbs: *Discrete Event Sequencing as a Traveling Salesman Problem*. Computers in Industry, Vol. 19 (1992), No. 3, 317–327.
- [2] M. Gendreau, A. Hertz And G. Laporte: *New Insertion and Post-Optimization Procedures for the Traveling Salesman Problem*. Operations Research, Vol. 40 (1992), No. 6, 1086–1094.
- [3] D.J. Rosenkrantz, R.E. Sterns And P.M. Lewis: *An Analysis of several Heuristics for*

- the Traveling Salesman Problem*. SIAM Journal on Computing, Vol. 6 (1977), No. 3, 563–581.
- [4] G. Laporte: *The Traveling Salesman Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms*. European Journal of Operational Research, Vol. 59 (1992), No. 2, 231–247.
- [5] J. H. Holland: *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. (U Michigan Press, 1975).
- [6] L. Davis: *Applying Adaptive Algorithms to Epistatic Domains*. Proc of the International Joint Conference on Artificial Intelligence – IJCAI85, Vol. 1 (1985), 162–164.
- [7] Whitley, Darrell, Timothy Starkweather, and Dan Shaner. *The traveling salesman and sequence scheduling: Quality solutions using genetic edge recombination*. Colorado State University, Department of Computer Science, (1991)
- [8] Lenstra, Jan Karel, Ahg Rinnooy Kan, And David B. Shmoys. *The traveling salesman problem: a guided tour of combinatorial optimization*. Vol. 3. Chichester: Wiley, (1985)
- [9] D.E. Goldberg: *Genetic Algorithms in Search*. Optimization and Machine Learning. (Addison-Wesley, 1989).
- [10] Davis, L.: *Applying Adaptive Algorithms to Epistatic Domains*. Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence – IJCAI85, Vol. 1 (1985) 162–164.
- [11] K. Deep, H. Membrahtu: *New Variations of Order Crossover for Travelling Salesman Problem*. International Journal of Combinatorial Optimization Problems and Informatics, Vol. 2 (2011), No.1, 2–13.
- [12] <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLI/B95/> (megtekintve: 2013. November)