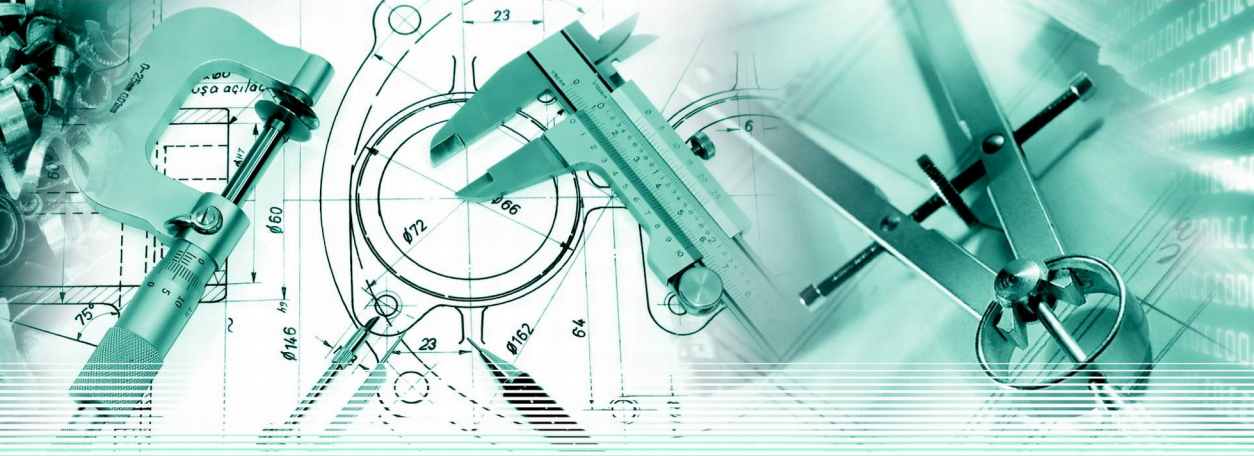


A XV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI

PROCEEDINGS OF THE XV-TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES

2. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET

2015

A XV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI

PROCEEDINGS OF THE XV-TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE

2.

ISSN 2393 – 1280

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

MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE

2.

A XV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI

PROCEEDINGS OF THE XV-TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES

Szerkesztette / Edited by
BITAY ENIKŐ – MÁTÉ MÁRTON

ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET
Kolozsvár
2015

A kötet megjelenését támogatta a Magyar Tudományos Akadémia,
a Bethlen Gábor Alap, a Kolozs Megyei Tanács, a Communitas Alapítvány
és az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya

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

Copyright © a szerzők / the authors, EME/ TMS 2015

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

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

Kiadó / Publisher: Erdélyi Múzeum-Egyesület
Felelős kiadó / Editor-in-Chief: Biró Annamária
Szerkesztette / Edited by: Bitay Enikő
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/10598/28465
DOI:10.33895/mtk-2015.02

A XV. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI
(KOLOZSVÁR, 2014. NOVEMBER 22.)

PROCEEDINGS OF THE XV-TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF TECHNICAL SCIENCES
(CLUJ, NOVEMBER 22. 2014.)

SZERVEZŐ / ORGANIZED BY:
Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya
Transylvanian Museum Society - Department of Technical 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)
Bakó László (Marosvásárhely)
Biró Károly (Kolozsvár)
Bitay Enikő (Marosvásárhely)
Csibi Vencel-József (Kolozsvár)
Dávid László (Marosvásárhely)
Dobránszky János (Budapest)
Dudás László (Miskolc)
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)
Gyenge Csaba (Kolozsvár)
Hollanda Dénes (Marosvásárhely)
Kása Zoltán (Kolozsvár)
Kelemen András (Marosvásárhely)
Kerekes Benedek (Nyíregyháza)
Kerekes László (Kolozsvár)
Kutasi Dénes Nimród (Marosvásárhely)
Losonczi Lajos (Marosvásárhely)
Márton László (Gyergyószentmiklós)
Márton László (Marosvásárhely)
Máté Márton (Marosvásárhely)
Orbulov Imre (Budapest)
Papp István (Marosvásárhely)
Sikolya László (Nyíregyháza)
Tóth László (Debrecen)

SCIENTIFIC ADVISORY BOARD / PEER REVIEWERS

Gyula Bagyinszki (Budapest, Hungary)
László Bakó (Târgu Mureş, Romania)
Károly Biró (Cluj, Romania)
Enikő Bitay (Târgu Mureş, Romania)
Vencel-József Csibi (Cluj, Romania)
László Dávid (Târgu Mureş, Romania)
János Dobránszky (Budapest, Hungary)
László Dudás (Miskolc, Hungary)
Zoltán Forgó (Târgu Mureş, Romania)
Ferdinánd-Zs. Gobesz (Cluj, Romania)
Csaba Gyenge (Cluj, Romania)
Dénes Hollanda (Târgu Mureş, Romania)
Zoltán Kása (Cluj, Romania)
András Kelemen (Târgu Mureş, Romania)
Benedek Kerekes (Nyíregyháza, Hungary)
László Kerekes (Cluj, Romania)
Dénes N. Kutasi (Târgu Mureş, Romania)
Lajos Losonczi (Târgu Mureş, Romania)
László Márton (Gheorgheni ,Romania)
László Márton (Târgu Mureş, Romania)
Márton Máté (Târgu Mureş, Romania)
Imre Orbulov (Budapest, Hungary)
István Papp (Târgu Mureş, Romania)
László Sikolya (Nyíregyháza, Hungary)
László Tóth (Debrecen, Hungary)

TARTALOM

ELŐSZÓ *13*

Jenei Dezső emlékére *17*

András József, Kovács József
A Zsil-völgyi szénbányászat a XX. század elején. A korukat meghaladó technológiai újítások *39*

Bakos Levente
Egészségvédelem és társadalmi felelősségvállalás veszélyes ipari rendszerekben *47*

Bitay Enikő, Márton László, Mohácsi Bugárszki Norbert, Angi Norbert
Egy ókori gabonaörlő szerkezet – a taposómalom újjászületése *55*

Dávid László, György Katalin, Kelemen András
Modell alapú prediktív irányítási algoritmus, állapotfüggő Riccati-egyenlet, illetve véges horizontú DLQR algoritmusok összehasonlítása *61*

Dezső Gergely, Szigeti Ferenc
Forgácsleválasztás vizsgálata kísérletekkel és szimulációval *75*

Farkas Loránd, Losonczi Lajos
Rendszerfejlesztés beágyazott biológiai-méréstechnikai autonóm kommunikációs hálózatokra *81*

Fekete Albert-Zsombor, Jakab-Farkas László
Parciális nyomások mérésére alkalmas beágyazott rendszer fejlesztése reaktív porlasztóberendezés számára *87*

Forgó Zoltán, Tolvaly-Roșca Ferenc
Gantry típusú, párhuzamos hajtású robot modellezése és vizsgálata *91*

Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kopenetz Lajos
A kolozsvári építőmérnöki képzés mai kérdései 97

Gyenge Csaba
Különleges csigahajtások egy korszerű technológiája 107

Kacsó Zoltán, Kelemen András, Imecs Mária
Indukciós gépek rotorfluxusának azonosítása csúszómód állapotmegfigyelővel 113

Kátai Zoltán
Algo–ritmika mindenkinek 121

Losonczi Lajos
Nem konvencionális megoldások neurobiológiai jelek nem invaziv méréstechnikájában 127

Márton László Ferenc, Kocsis Lóránd, Katona Norbert, Szigeti Péter
Biológiai jelfeldolgozás újabb módszerei 139

Máté Márton, Hollanda Dénes
Az arkhimédészi spirál fogirányvonalú hengeres fogaskerekek burkolásának a burkolt felületsereg elosztását jellemző aspektusáról 153

Orbán György
A püthagoraszi középarányosok jelentős tulajdonságai és szerepük az építészetben 161

Pásztor Judit, Forgó Zoltán
Altalajlazító munkaeszközének kinematikai és dinamikai vizsgálata 173

Popa-Müller Izolda, Papp István, Kakucs András
Tű- és cérnarángató mechanizmus pozíciójának vizsgálata kényszeregyenletek segítségével 179

Popa-Müller Izolda, Papp István, Kakucs András
Tű- és cérnarángató mechanizmus sebességének vizsgálata kényszeregyenletek segítségével 187

Selinger Sándor

A térinformatika alkalmazása az egyháztörténeti kutatásokban. Erdélyi unitárius egyházkörök térinformatika alapú történeti eseményrekonstrukciója *191*

Szabó Csaba, Imecs Mária, Szőke sz. Benk Enikő, Incze János Jób

Mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motor kettős mezőorientációs szabályozásának implementációja..... *199*

Talpas János

Műszaki alkotások megőrzése az idegenforgalom fejlesztésével *207*

Tihanyi Károly, Törzsök Péter, Dobránszky János, Bitay Enikő

Alumínium–szénszál kompozithuzal mikroszerkezetének vizsgálata *213*

Tolvaly-Roșca Ferenc, Forgó Zoltán

Modern fogaskerék-modellezési eljárások összehasonlító tanulmánya..... *219*

Vajdics Dániel, Kovács-Coskun Tünde

A TRIP acél ponthegesztésének hatása *227*

Vekov Géza, Pokorádi László

Technikai rendszerek állapotleírásának kérdései..... *235*

SZERZŐK JEGYZÉKE *242*

CONTENT

FOREWORD..... *15*

Dezső Jenei's memory *17*

József András, József Kovács
The coal mining in Jiu valley at the beginning of the xx.th century. The age's up to date innovative technologies..... *39*

Levente Bakos
Study of CSR and health protection in dangerous industrial environments *47*

Enikő Bitay, László Márton, Norbert Mohácsi Bugárszki, Norbert Angi
Construction of an ancient grainmill – the rebirth of the treadmill *55*

László Dávid, Katalin György, András Kelemen
Comparisons between applied model predictive control, state dependent Riccati equation, and finite horizon discrete optimal control algorithms *61*

Gergely Dezső, Ferenc Szigeti
A study on chip formation by experiments and simulation *75*

Loránd Farkas, Lajos Losonczi
Embedded system and autonomous communication network development for measurement of biological signal *81*

Albert-Zsombor Fekete, László Jakab-Farkas
Development of an embedded partial pressure measuring system for use in reactive sputtering system *87*

Zoltán Forgó, Ferenc Tolvaly-Roșca
Modelling and analysis of Gantry type, parallel driven robot *91*

Ferdinánd-Zsongor Gobesz, Lajos Kopenetz
Current issues of civil engineering education in Cluj-Napoca..... *97*

Csaba Gyenge

Modern technology for manufacturing the special worm gears transmissions 107

Zoltán Kacsó, András Kelemen, Mária Imecs

Induction machine rotor flux identification using sliding mode observer 113

Zoltán Kátai

Algo–rythmics for all 121

Lajos Losonczi

New ways in non-invasive neurobiological signal recording 127

László Ferenc Márton, Lóránd Kocsis, Norbert Katona, Péter Szigeti

New methods in biological signal processing 139

Márton Máté, Dénes Hollanda

Aspects of the repartition of the meshed surface manifold by the meshing process of cylindrical gears with archimedean spiral shaped toothline 153

György Orbán

The important proprieties of Pythagorean means, and its role in the architecture 161

Judit Pásztor, Zoltán Forgó

Research about the kinematics and the dynamics of the subsoiler's working tool 173

Izolda Popa-Müller, István Papp, András Kakucs

Needle and thread pulling mechanism's position examination with constraint equations 179

Izolda Popa-Müller, István Papp, András Kakucs

Needle and thread pulling mechanism's Speed examination with constraint equations 187

Sándor Selinger

GIS use in church history. GIS based event reconstruction of Transylvanian Unitarian Church history 191

Csaba Szabó, Mária Imecs, Enikő Szőke Benk, János Jób Incze
Implementation of the double field-oriented control structure for sensorless cage induction motor 199

János Talpas
Development of tourism – a manner to preserve the technical creation 207

Károly Tihanyi, Péter Törzsök, János Dobránszky, Enikő Bitay
Microstructural characterization of Al-C composite wire 213

Ferenc Tolvaly-Roșca, Zoltán Forgó
Comparative study of modern gear modelling methods 219

Dániel Vajdics, Tünde Kovács-Coskun
Resistance spot welding effect in case of TRIP steel 227

Géza Vekov, László Pokorádi
Questions regarding the description of the state of technical systems 235

LIST OF AUTHORS 242

ELŐSZÓ

Iskolaerősítő, fejlesztő, tudományosságra nevelő törekvéseink záloga az anyanyelven írt és közölt, a magyar szakmai körökben megvitatott tudományos eredmények megőrzése.

Ennek jegyében indítjuk útjára a *Műszaki Tudományos Közlemények* sorozat e második darabját, amelyet – akárcsak az elsőt – új, rendhagyó és mégis klasszikusnak ígérkező tanulmánykötetnek szánunk, egyszerre általánosnak, mégis sajátosnak, a magyar tudományfejlesztéshez értelemszerűen szorosan kapcsolódónak, ám az interdiszciplinaritás összhangját is megszólaltatónak.

A *Műszaki Tudományos Közlemények* arra hivatott, hogy a műszaki tudományok egy-egy tudományos ülésszakán, konferenciáján, emléknapján elhangzott előadásokat gyűjtse egy csokorba. A sorozat az EME kiadásában indult el 2014-ben, első száma *A magyar tudomány napja Erdélyben* 12. központi fórumán, 2013. november 22-én elhangzott plenáris műszaki előadás, illetve a november 23-án a *XIV. műszaki tudományos ülésszak*on elhangzott előadások írott változatát tartalmazza.

A jelen kiadványban (MTK, 2015. 2. szám) *A magyar tudomány napja Erdélyben* 13. központi fórumán, 2014. november 21-én, a reáltudományok területéről elhangzott két plenáris előadás (Kátai Zoltán és Selinger Sándor előadása), illetve a november 22-én a *XV. Műszaki tudományos ülésszak*on elhangzott huszonnégy előadás írott változatát tesszük közzé, lehetőséget teremtve ezzel a széles körű terjesztésre.

A bevezető írás Jenei Dezső emlékére készült, ebben szakmai munkásságának lényegét foglaljuk össze, illetve a nevével fémjelzett műszaki tudományosságért emléklap jelentőségéről s az eddigi kitüntetettekről számolunk be. Ezt követi az ötvenhét szerző huszonhat tanulmánya az első szerzők névsorának rendjében, angol kivonattal együtt.

A Kárpát-medencei térségben tevékenykedő, a műszaki tudományok valamely területét művelő, kiemelkedő kutatók, egyetemi oktatók, doktorandusz és egyetemi hallgatók egyéni vagy csoportos kutatásainak legfrissebb eredményeit tarthatja kezében az Olvasó.

A kiadvány áttekintést nyújt az erdélyi és a magyarországi, tágabb értelemben a Kárpát-medencei magyar tudományosság irányairól, törekvéseiről és eredményeiről, arra ösztönöz, hogy egymás munkáját megismerjük, fokozzuk az együttműködést és új kutatócsoportok létrehozását segítsük elő.

A kötet és a tanulmányok külön-külön is elérhetők online módon az Erdélyi Digitális Adattárban: http://hdl.handle.net/10598/28465.

Köszönet a szerzőknek, akik a tudományos ülésszakon vállalták az aktív részvételt, s értékes tanulmányukat közlésre kínálták.

Külön köszönetünket fejezzük ki a szaklektoroknak, akik vállalták a tanulmányok szakmai értékelését, s véleményükkel, tanácsaikkal hozzájárultak a kötet szakmaiságához.

Meggyőződésünk, hogy a kötet, mely szintetizáló szemlélettel közvetíti az információkat (nem adott szűk terület szakkiadványa), nemcsak a kiforrott teljesítménnyel rendelkező kutatók, hanem a BSc és MSc szakos hallgatók, doktoranduszok, üzemmérnökök, valamint a tudomány iránt laikus módon érdeklődők számára is érdekes és értékes olvasmány.

Kolozsvárt, 2015 februárja

Bitay Enikő
az Erdélyi Múzeum-Egyesület
Műszaki Tudományok Szakosztályának elnöke

Foreword

Our scientific results written and professionally discussed in our mother tongue are the preconditions of education strengthening and developing our schools and the devotion to science.

This aim is served by the present second issue of *Műszaki Tudományos Közlemények* (*Papers on Technical Science*), which – similarly to the first one – should be a new, unconventional but promisingly classical volume of papers. It is closely connected with the development of Hungarian science and at the same time contributes to interdisciplinary canon.

The task of *Műszaki Tudományos Közlemények* (*Papers on Technical Science*) is to collect papers read at a scientific session, conference or anniversary day. The series published by the Erdélyi Múzeum-Egyesület (Transylvanian Museum Society) started in 2014, the first issue contained the written text of the technical plenary paper read at the 12th central session of The Day of Hungarian Sciences in Transylvania on 22 November 2013 and papers read at *The XIV-th International Conference of Technical Sciences* on 23 November.

The present issue of the series *Műszaki Tudományos Közlemények* (*Papers on Technical Science*) (MTK, 2015. No 2) contains the written texts of the two exact scientific plenary papers read (by Zoltán Kátai and Sándor Selinger) at the 13th central session of *The Day of Hungarian Sciences in Transylvania* on 21 November 2014 and 24 papers read at *The XV-th International Conference of Technical Sciences* on 22 November offering the possibility of their wide-spread distribution.

The preliminary paper is a commemoration of Dezső Jenei, it sums up his results and delineates the memorial leaf acknowledging technical scientific work which bears his name. The names of previous laureates are also listed. The volume contains 26 papers of 57 authors in an alphabetical order, by the name of the first author, English abstracts are added.

You can read about the latest individual or team results of outstanding researchers, university teachers, PhD and undergraduate students working at one or another field of technical sciences in the Carpathian basin.

The volume reviews the trends, approaches and results of Hungarian science in Transylvania and Hungary or rather in the whole of the Carpathian basin. It urges us to get to know each other's work, increase cooperation and establish new research teams.

The volume and the individual papers are available on-line at http://hdl.handle.net/10598/28465 (on the homepage of the *Erdélyi Digitális Adattár / Transylvanian Digital Database*).

We would like to acknowledge the participation of the authors who have offered their papers for publication.

We would also like to acknowledge the selfless work of experts who were ready to evaluate the papers, this way assuring the high professional level of the present volume.

We are convinced that the present volume transfers information not only for a narrow circle of experts but in a synthetizing way and it will be interesting for BSc, MSc and PhD students, production engineers and non-professional readers as well as for mature researchers.

Cluj, February, 2015

Enikő Bitay
president
Technical Sciences Department
Transylvanian Museum Society

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 17–38.
http://hdl.handle.net/10598/28677
DOI: 10.33895/mtk-2015.02.01

JENEI DEZSŐ EMLÉKÉRE

DEZSŐ JENEI'S MEMORY

Bitay Enikő

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

Abstract

This paper is a commemoration of Dezső Jenei, it sums up his life, scientific results and delineates the memorial diploma acknowledging technical scientific work which bears his name. The names of previous laureates are also listed.

***Keywords**: Dezső Jenei, technical training, technical science, Tehnofrig, Dezső Jenei memorial leaf*

Összefoglalás

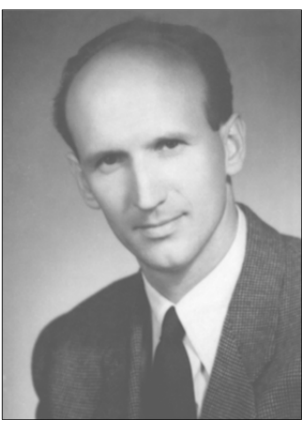
Jelen írás Jenei Dezső emlékére készült, melyben életútját, szakmai munkásságát, közéleti tevékenységének lényegét foglaljuk össze, illetve a nevével fémjelzett műszaki tudományosságért emléklap jelentőségéről s az eddigi kitüntetettekről számolunk be.

***Kulcsszavak**: Jenei Dezső, műszaki oktatás, műszaki tudományosság, Tehnofrig, Jenei Dezső-emléklap*

1. Bevezető

Jenei Dezső az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának alapítója és első elnöke, a most is folyó tudományszervezői tevékenységek elindítója, mozgatója volt.

Jenei Dezső gépészmérnök, szakíró, műfordító, szótárszerkesztő, a kétnyelvű Kolozsvári Almérnöki Intézet, illetve a kolozsvári Mechanikai Intézet tanára, majd a Tehnofrig Gépgyár főmérnöke volt. Intézményalapítóként és főmérnökként a műszaki oktatásban és az iparfejlesztésben egyaránt fontos szerepet játszott. A magyar műszaki oktatást szívügyének tekintette. Kiemelten fontosnak tartotta a magyar műszaki nyelv ápolását, neve szótárszerkesztői tevékenysége révén is ismertté vált. Közéleti szerepet vállalt több síkon, az unitárius egyház főgondnoka, valamint a magyar oktatást támogató tanügyi törvénytervezet mozgatórugója volt a változás éveiben is.



1. ábra. *Jenei Dezső-portré*

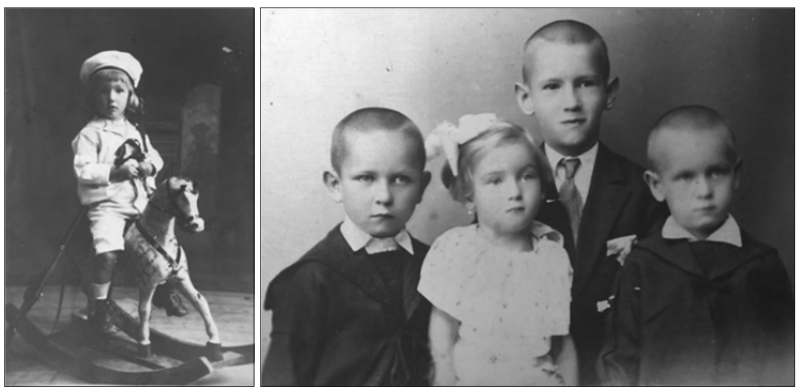
2. Jenei Dezső (szakmai) életútja

Család, gyermekkor

Édesapja, id. Jenei Dezső 1888. december 26-án született Naszódon. Postafőfelügyelőként dolgozott, kezdetben Naszódon, Csíkszeredában, majd 1935-ben Kolozsvárra helyezték át. Sajnos hivatali állását Kolozsváron jóformán el sem tudta foglalni, betegsége súlyosbodott, korházba került, s még az év nyarán elhunyt (1935. július 29-én).

Jenei Dezső édesanyja, Bartha Piroska másodszülöttként jött világra 1891. február 8-án Szilágyballán egy hétgyermekes családban. Apja, Bartha Károly a naszódi általános iskola tanítója volt 33 éven keresztül (51 évesen hunyt el 1915-ben), édesanyját, Bartháné Takács Ilonát korán elvesztette (1905), s az sem adatott meg neki, hogy nevelőanyja, Bartáné Balogh Laura szeretetét élvezze, hiszen hároméves házasság után ő is elhunyt (1909. március 22-én, 26 éves korában). Ekkor Bartha Piroska IV. éves tanítóképzős növendék volt.

Jenei Dezső 1919. november 7-én született Naszódon, Beszterce-Naszód vármegyében, szülei első gyermekeként, három testvére volt: Miklós (1922), Szilárd (1924) és Hajnal (1926).



2. ábra. *Jenei Dezső gyermekkori képei, a jobb oldali fotón Dezső a háttérben, elöl a három testvére: Miklós, Szilárd, Hajnal (családi hagyaték)*

Tanulmányai

Elemi iskoláit Csíkszeredában kezdte, ahol 1925–1929 között édesanyja is tanított. Ezt követően Szamosújvárra került, nagynénje Jenei Jolán férje, Urs Nicolae ott volt postafőfelügyelő, s fiatal, tudásra törekvő unokaöccsét a családba fogadta. 1929–1935 között itt járt iskolába, román tannyelvű osztályba.

1935-ben édesapja Kolozsvárra helyezésekor ő is követte a családot, s a Gheorghe Bariţiu Líceumban folytatta tanulmányait, itt érettségizett 1937-ben.

A gimnázium jelentősebb tanárairól név szerint megemlékezett feljegyzéseiben: dr. Ioan Armeanca és dr. Gheorghe Rick (matematika), Mircea Prişcu (természettudományok), Vasile Vasiliu (fizika–kémia), valamint dr. Szentiványi Sándor (vallás és erkölcstan) tanárokat említette. Az 1977. június 25-én tartott 40 éves érettségi találkozóra meghívottak listájából tudhatjuk meg (EME, Jenei-hagyaték), hogy kik lehettek azok a további tanárai, akik a találkozó idején még életben voltak: Bolcaş Mircea, Dragomir Nicolae, Iancu Victor, Mesaroşiu V. Ioan, Petruca Gheorghe, Popa Grigore, Tătaru Nicolae, Voiculescu Lucian.

A találkozót Mărіuţiu Gheorghe egykori osztálytárs szervezte, körlevelében gondosan összeállította a nyolctagú tanár- és negyvenegy tagú diáklistát, külön csoportosítva azokat, akiket nem tudott elérni (13 volt osztálytárs nevét). A találkozót a volt iskola épületében tartották (az egykori fizikumban), amely akkor a kolozsvári Műszaki Intézetnek (Institutul Politehnic) adott otthont. Az osztálytársak között szép számban találunk magyarokat is: Sulyok István, Kolozsvári Gyula, Papp Albert, Nagy Ferenc, Kiss Attila, Sóos Géza stb. Papp Alberttel (aki Budapesten élt) szoros kapcsolatot tartott fenn élete végéig, levelezésükben sok szakmai, családi gondot, eseményt megosztottak egymással. Valószínűleg egykori osztálytársakkal és egyetemi kollégákkal úgyszintén fenntartott kapcsolat alakította ki azt a hálózatrendszert, amely Bukarestre, Budapestre és más országok városaira is kiterjedt, s segítette Jeneit a szakmai önmegvalósításban, a közösségi értékek ápolásában.

3. ábra. *Jenei Dezső, 1935*

Egyetemi tanulmányait a bukaresti Politechnikai Elektromechanika Karán kezdte el, s háromévi tanulmány után (1937–1940) Budapesten folytatta.

A bukaresti Műegyetem tanárai, akikre tisztelettel emlékezik emlékirataiban: N. Vasilescu Karpen (1870–1964), az elektromosságtan, Contantin Teodorescu, a szilárdságtan, Dumitru Pompei, az analitikus geometria oktatója volt.

4. ábra. *Jenei Dezső egyetemi diákigazolványa,1937*

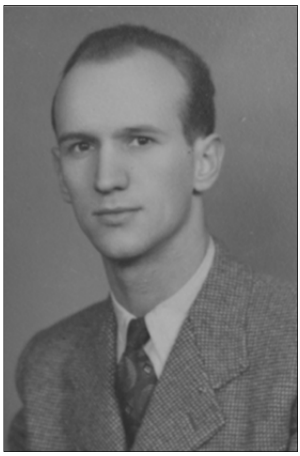
A magyar királyi József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetemen – a bécsi döntést követően – folytatja tanulmányait két szakon, mint ezt az alábbi dokumentumok is tanúsítják: az 1941/42-es tanévben a gépészmérnöki, illetve a gazdasági és kereskedelmi osztályának hallgatója.

Jenei Dezső feljegyzésében a következő tanárait említi meg, akik az egyetemen tanították, s mérnöki képesítésében nagy hatással voltak rá: Pattantyús-Ábrahám Géza (1885–1956), áramlástan, vízerőgépek, emelőgépek; Pöschl Imre (1871–1963) villamos gépek; illetve Verebélÿ László (1883–1959) villamos erőművek és villamos vasutak tantárgyak oktatói.

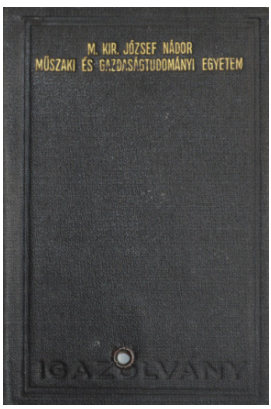
Vizsgamunkáját, melynek témája egy kapocsfeszültségű turbógenerátorral ellátott erőmű kapcsolóberendezésének terve, Verebélÿ László egyetemi tanár irányította, 1942. június 18-án védte meg sikeresen.

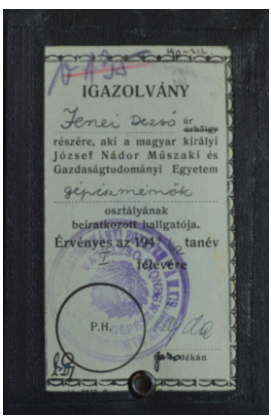
Gépészmérnöki oklevelet a budapesti József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem állított ki számára 1942 júniusában.

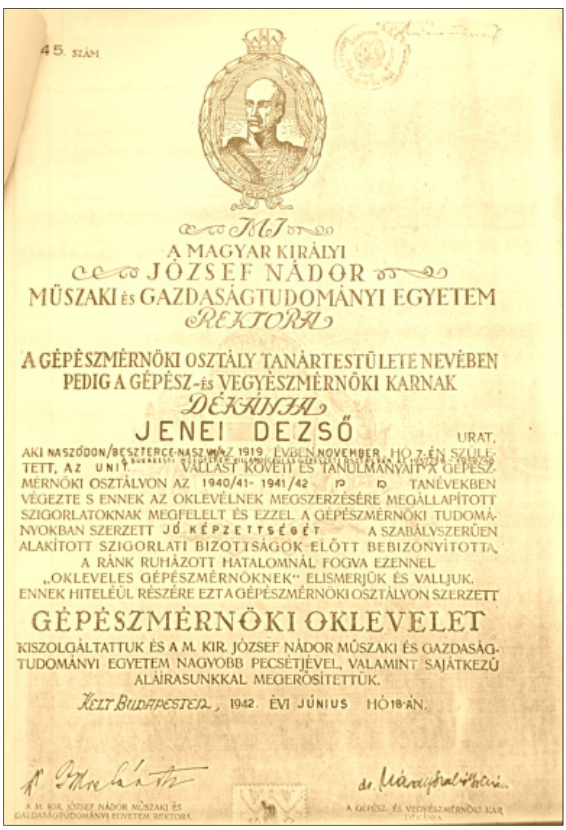
Jenei Dezső így emlékszik egyetemi éveire, a budapesti alma materére: „*Mindig hálával és lelki elfogultsággal gondolok a budapesti műegyetemi éveimre, az ottan kapott értékes szakmai tudományos ismeretekre és ezenfelül főképpen arra a meleg lelki táplálékra, amit a MŰEGYETEM az Ő egészében adott, s mely döntően befolyásolta egész későbbi életfelfogásomat.*” (Válaszlevél az Arany díszoklevélről való értesítésre 1994. október 24. Unitárius Levéltár, Jenei-hagyaték)



5. ábra. *Jenei Dezső portré 1941-ben*







6. ábra. *Jenei Dezső egyetemi diákigazolványa, az 1941/42-es tanévbe és gépészmérnöki oklevele 1942. június 18.*

Szakmai pályafutásának kezdete

Mérnöki pályafutását a Magyar Siemens-Schuckert Műveknél kezdte Budapesten (Magyar Siemens Művek Villamossági Rt. Budapest, Gyömör út), itt okleveles gépészmérnökként, üzemmérnökként dolgozott három évet (1942–1945). A villamos gépek és berendezések gyártásánál és az új berendezések kipróbálásánál is jelen volt a világhírű Siemens cég bécsi gyárában.

Időközben, az 1942–1944 közötti kötelező katonai szolgálat keretében tartalékos tiszti iskola elvégzése után híradós mérnökzászlós lett. 1943–1945 között a M. Kir. Honvédelmi Minisztérium Haditechnikai Intézetében szolgált villamos mérnöki beosztásban, a radarberendezések tanulmányozása és azok felszerelése volt a feladata. 1945. május 15-én jelentette be a Honvédelmi Minisztérium Hadipari csoportjánál az áttelepülési szándékát Kolozsvárra.

7. ábra. *Jenei Dezső híradós hadapród [Családi-album]*

A műszaki oktatásban kifejtett tevékenysége

Középiskolai mérnöktanár

Kolozsvárra való hazatérése jelentette oktatói tevékenységének kezdetét is, 1945–1948 között a kolozsvári magyar tannyelvű Gép- és Villamos Ipari Középiskola mérnöktanára, a villamos ismeretek tanszék vezetője. Itt oktatja az erősáramú elektrotechnikát és matematika tantárgyakat.

Ugyanebben a periódusban a Romániai Magyar Népi Szövetség Országos Tanügyi Bizottságának tagja. 1945–1948 között részt vett a román kormánnyal a magyar nyelvű oktatási hálózat kifejlesztése érdekében folytatott tárgyalásokon, hangsúlyozottan támogatta a magyar nyelvű műszaki oktatás beindítását közép- és felsőfokon.

No. 269/1944.
LEGITIMAŢIE
dipl. ing. Jenei Desideriu
profesor
este elev la ~~şcoala primară~~, liceul
Tehnic el. mec. de stat
din Cluj
care are drept a circula pe teritoriul
intregului oraş, comuna
Cluj asigurându-i-se scutirea de munca obştească.
Data Cluj la 30 Iunie 1945.
Inspector general:
AUREL COZA
dir. şcolei

ШКОЛЬНОЯ ИНСПЕКТОРСТВО
КЛУЖ
INSPECTORATUL ŞCOLAR
REGIONAL
C L U J
TANKERÜLETI
FŐIGAZGATÓI HIVATAL
KOLOZSVÁR
Minerva, Cluj — 7139

№ 269/1944
СПРАВКА
Енэй Дежеш
дип. инженер
ЕСТЬ УЧЕНИК
НАРОДНОЙ
ШКОЛЫ ~~ГИМНАЗИЙ~~ проф.
электротехник.
ИЗ ГОР.
КЛУЖА И ПОЭТОМУ ИМЕЕТ
ПОЛНОЕ ПРАВО ДВИЖЕНИЯ ПО ВСЕМУ
ГОРОДУ И НЕ МОЖЕТ БЫТЬ ВЗЯТ
НА НИ КАКИЕ РАБОТЫ.
ГЕН ИНСПЕКТОР:
АУРЕЛ КОЗА.
DIRECTOR:

No. 269/1944.
IGAZOLVÁNY
Jenei Dezső
az áll. gép- és villamosipari
~~elemi~~ iskola, ~~gimnázium~~, ~~polgári~~
iskola ~~tanulója~~ tanára. Mint ilyen, egész
Kolozsvár város,
község területén szabadon járhat és
közmunka alól felmentendő.
Kelt Cluj, 1945. 6. 30.
COZA AUREL s. k.
tanker. főigazgató
iskola-igazgató

Jenei Dezső áll. gépészmérnök

8.ábra. *Háromnyelvű igazolvány: Jenei Dezső a kolozsvári állami gép- és villamosipari iskola tanára (1945. június 30.).*

A magyar műszaki oktatás ügyéért s a magyar oktatásért mindvégig határozottan kiállt a későbbiekben is.

Osztályfőnöke volt az 1948-ban érettségizett osztálynak. Egykori diákjairól a negyvenéves érettségi találkozó emlékdokumentumaiból tájékozódhatunk. Ebben a névsorban lelhetők fel a későbbi munkatársak is (pl. Hoch Sándor, Bocsárdi András). (A Villamosipari Középiskola 1948-ban végzett növendékeinek 40 éves érettségi találkozó csoportképének névlistája, EME, Jenei-hagyatéka)

9. ábra. *A Villamosipari Középiskola 1948-ban végzett növendékeinek tablója (Jenei Dezső – osztályfőnök).*

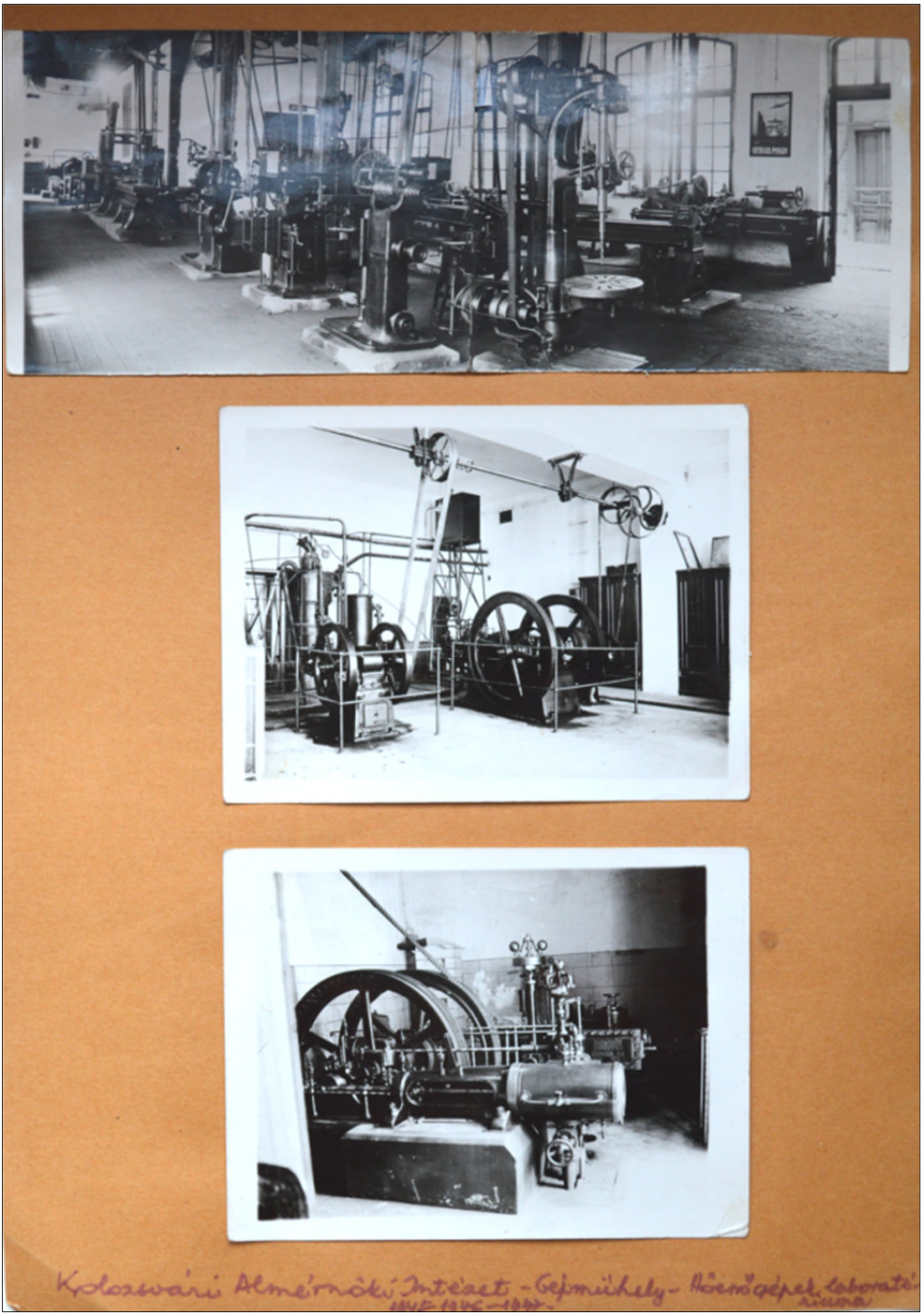
Előadótanár műszaki felsőfokú intézményekben

1947-ben Kolozsváron megalakult a kétnyelvű Almérnöki Intézet, melynek keretében magyar nyelvű műszaki képzés indult mintegy 40 hallgatóval. Jenei Dezső 1947-től az Intézet magyar tagozatán a Mechanika és szilárdságtan tanszék vezetőtanára volt. Kolozsváron magyar nyelven az első műszaki főiskolai előadások 1947. március 20-án hangzottak el. Az első öt kinevezett magyar tanár: Imecs Márton – matematika, Papp Lajos – ábrázoló geometria, Felszeghy Ödön – fizika és kémia technológia, Jenei Dezső – mechanika, szilárdságtan és Czikéli Ernő – gépelemek, mechanikai technológia.

A következő évtől, 1948-tól az intézet neve kolozsvári Mechanikai Intézet (Institutul de Mecanică), melynek Jenei Dezső tanára. Az Elektrotechnika tanszéken az előadásokat és gyakorlatokat magyar nyelven tartotta; a Gépelemek és Villamos hajtások tanszékek vezetője, itt az előadások és gyakorlatok román nyelven folytak.

1948-tól további 8 tanárral bővült a magyar tagozat: Bartha Miklós, dr. Bereczky Tibor, Hajdú Márton, Koller Viktor, dr. László Tihamér professzor, Maros Dezső, Müller Géza és Pallos István, valamennyien gépészmérnökök.

Jenei Dezső Alexandru Domşa rektor megbízásából megszervezte a villamos mérések laboratóriumát és a gépelemek szertárát.



10. ábra. *A kolozsvári Almérnöki Intézet gépműhelye: hőerőgépek laboratóriuma (1945, 1946, 1947) (Jenei-hagyaték, EME)*

Oktatott tantárgyai: elektrotechnika, gépelemek (1948–1949 között), 1951-ben előadótanárként az elektronika ipari alkalmazásait oktatta.

Oktatási tevékenysége alatt törekszik a magyar nyelvű műszaki oktatás bővítésére, a magyar nyelvű oktatók bevonását beadványokkal sürgeti, s jegyzetírásra is serkenti a kollégákat. Füstös Kálmánnal közösen írta az *Útmutatások az elektrotechnikai laboratórium mérési gyakorlataihoz* című főiskolai jegyzetet, mely 1949-ben jelent meg Kolozsvárt.

Sajnos 1953-tól megszűnt a magyar nyelvű műszaki főiskolai oktatás. Ennek ellenére „*megállapítható, hogy működése igen hatékony volt, sok magyar anyanyelvű szakembert készített fel az életre, akik mind eredményesen vettek részt úgy a köznapi, mint az ipari és tanügyi életünkben*”. [Jenei, 1997, X.].

A szakemberképzésen túl a magyar tannyelvű tanszékek jelentős eredményei közé kell sorolnunk a felsőfokú szakirodalom magyar nyelven beindított sorozatát. Első lépésként az oktatáshoz szükséges jegyzetek kezdtek napvilágot látni, így az említett, 1949-ben megjelent Jenei–Füstös-jegyzet után a következők is megjelentek: 1950-ben Nagy Aladár: *Elektrotechnika I.*, 1951-ben Felszeghy Ödön és Nagy László: *Technikai fizikai laboratóriumi jegyzet* és 1952-ben Felszeghy Ödön, Bálint Octavian és Nagy László: *Technikai fizikai jegyzet – Hőtan és molekuláris fizika*.

Miután a magyar nyelvű műszaki felsőoktatás megszűnt, s hamarosan a szakiskolák is, az oktató, értékes szakembereket Jenei az időközben újonnan létesült Tehnofrig gépgyárba vitte át, melynek 1949-től főmérnöke volt. Ügyes meglátás volt ezen értékeket hasznosítani s nem hagyni elkallódni őket.

Kisiparos tevékenysége: a MEOPEL vállalat (műhely) vezetője, résztulajdonosa

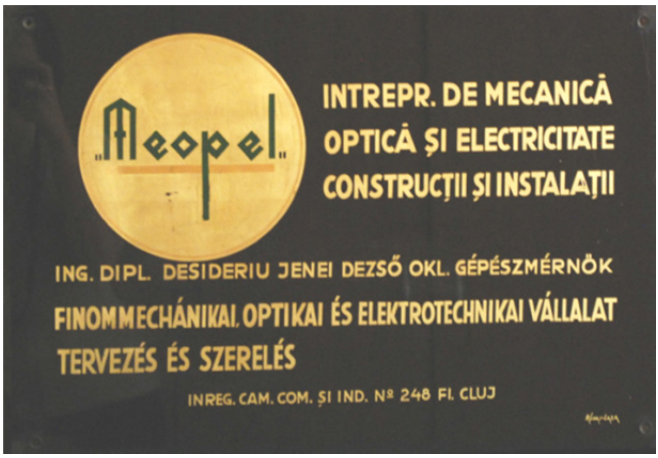
1945-ben magánvállalatot alapít MEOPEL néven (finom**Me**chanika, **Op**tika, **El**ektrotechnika). Oktatási tevékenységével párhuzamosan a finommechanika, optika és elektromosság MEOPEL műhely műszaki vezetője és tulajdonosa volt.

Foglalkozási ágazatok:

- gyártmányok: iskolai körzők, kéziszerszámok, fogorvosi fogók, ipari fogók, bádogollók, különleges ütőszerszámok, csavar mangorlógépek, cipőipari gépek és cserealkatrészek;
- falvak villamosítása.

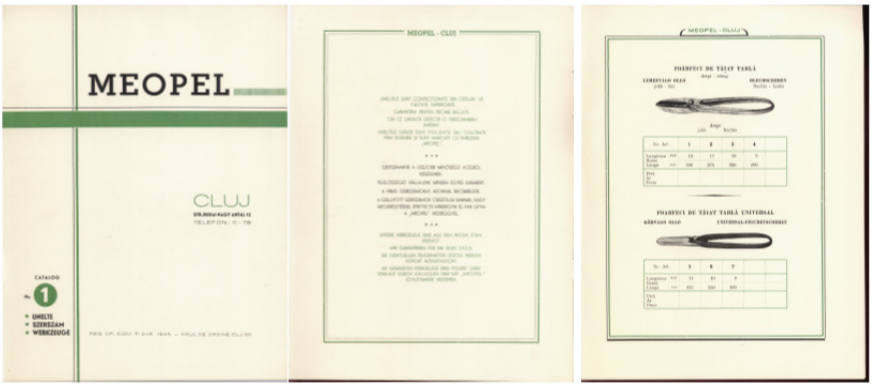
A műhely beindulásához a Budai Nagy Antal utca 12. szám alatti házas telket vette igénybe, amely 1944 év őszén a háborús viszonyok következtében olyan súlyos rongálódást szenvedett, hogy helyiségei használatra alkalmatlanná váltak. A műhely helyiségének bérleti szerződését a Szent Mihályról elnevezett római katolikus plébániával 1945. szeptember 30-án kötötte meg 8 évre (1953. augusztus 1-ig) a felújítások fejében. A felújításokat a bérlő a szerződést követően 1945. november 7-ig elvégezte, költségéről (6 000 000 lej, építési és javítási költségek) a plébánia igazolása tanúskodik.

A cégtábla, a termékkatalógusok igényességről, precizitásról, komolyságról tanúskodnak. Minden szükséges dokumentumot, szakmai képesítéseket igazoló tanúsítványokat („brevet de meserie”), a működéshez szükséges iratot beszerzett, hogy a tevékenységet gördülékenyen, biztonságosan s jogszerűen folytathassa.



11. ábra. *A MEOPEL cégtáblája (EME, Jenei-hagyaték)*

12. ábra. *A Mesterségi tanúsítványok: kovács, gépész (precíziós szerelő), villanyszerelő – 1947-ben kiállított dokumentumok*



13. ábra. *MEOPEL termékkatalógus (részlet) (EME, Jenei-hagyaték)*

Az államosítások időszakát megelőzően a MEOPEL műhely 68 tételben felsorolt teljes felszerelését (összesen 106 392 lej értékben) 1949. augusztus 19-én Jenei önként adományozta a kolozsvári Unirea gyárnak [MEOPEL adományozólevél, EME, Jenei-hagyaték], mely az alkalmazottakat is átvette. Az adományozási szándékot a huszonhárom alkalmazott is tudomásul vette, s aláírta, egyetértésüket tanúsítva [MEOPEL adományozást fenntartó levél 890/11.06.1949., EME, Jenei-hagyaték].

Már kisiparosként jól érzékelhető volt mérnöki, irányítói rátermettsége, a termékek gyártásának szervezéséhez, a komplex feladatok szakszerű megoldásához, a kivitelezés igényességéhez, a gazdaságos irányításhoz való különös érzéke, tehetsége.

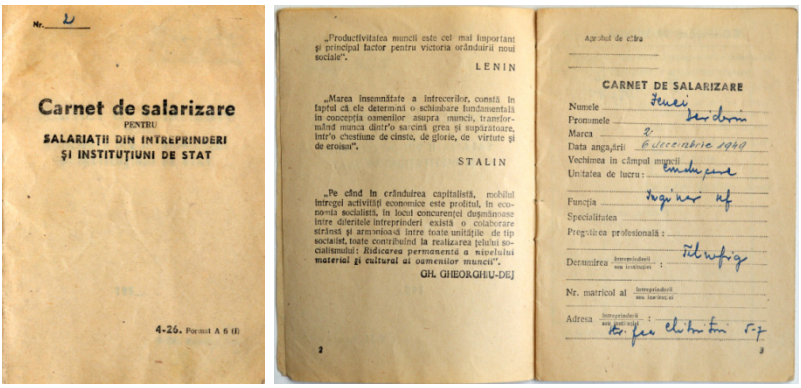
Embersége, jelleme, szaktudása által sok értékes szakembert vont maga köré, akiket további pályafutása során is magával vitt, akikkel közreműködött, tisztelt, és akiknek tiszteletét elismerését élvezhette.

Mindezen előzmények oktatási, kisiparosi tapasztalatai egy új iparágban, új üzem felépítésére is alkalmassá tették, sikerei mindezt később igazolták.

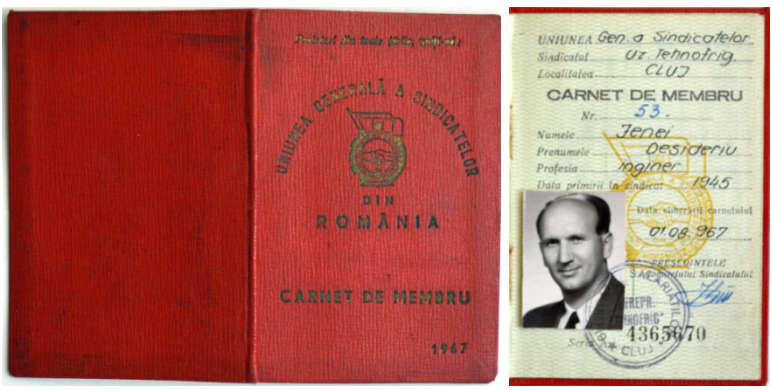
Ipari tevékenysége: Tehnofrig-főmérnök

A Tehnofrig Gépgyár hűtő- és élelmiszeripari gépeket, berendezéseket, technológiai sorokat kutató, tervező és gyártó vállalat volt, melynek Jenei Dezső 1949. december 6-tól lett főmérnöke nyugalomba vonulásáig (1973). A kolozsvári gyufagyár 1944-ben lebombázott épületeinek újjáépítése 1949. október 16-án indult el. 1950. január 15-én beindult a termelés 32 munkás és 63 építőmunkás segítségével. Jenei Dezső szakmaisága és kiváló szervezői tevékenysége már a kezdeti időszakban megmutatkozott, a romokból hatékonyan működő gyárat teremtett s működtetett mint operatív vezető. A Tehnofrig Délkelet-Európa egyik legnagyobb élelmiszeripari gépgyárává fejlődött Jenei Dezső főmérnöksége alatt.

14. ábra. *Jenei Dezső 1954-es arcképe*



15. ábra. *Jenei Dezső munkakönyve, 1953(?).*



16. ábra. *Jenei Dezső szakszervezeti igazolványa, 1967. augusztus 1.*

17. ábra. *Jenei Dezső Tehnofrig üzemi munkaigazolványa, 1969*

Jenei Dezső emlékiratában feljegyzi, hogy a „*vállalat feladata volt, meghonosítani Romániában, az élelmiszeripari, valamint a hűtőipari gépek és komplex berendezések gyártását és továbbfejlesztését*". Végső célként, melynek megvalósításában mint főmérnök nagyon nagy szerepet vállalt, „*biztosítani az ország gazdag élelmiszer-nyersanyagkészletének cél-*

szerű feldolgozását és tartósítását s egyben reszt venni a Kölcsönös Gazdasági Segítség Tanácsa (KGST) által szervezett gépipari szakosodásban és biztosítani gyártmányaink exportját úgy keletre, mint nyugatra."

Jenei Dezső feljegyzéseiből sok adatot megtudhatunk, melyekből arra lehet következtetni, hogy főmérnöksége ideje alatt nem csupán egy vállalatot teremtett, hanem az összes hozzá tartozó egységet is létrehozta (iskola, könyvtár, internátus, munkásszálló, sport- és kulturális egységek, étkezde, kutatóintézet stb.), hogy megfelelő termékfejlesztési kutatóbázist kialakítson, szakember-utánpótlást biztosítson, s a szociális gondokat orvosolja, illetve a szabadidős tevékenységeket is segítse. Mindezekre kiterjedt a figyelme, energiája, s az évek során a Tehnofrig szépen fejlődött.

Mindez számokban kifejezve: Jenei távozásakor, 1973-ban, a Tehnofrig majdnem 5000 alkalmazottat foglalkoztatott (ebbe beleszámítva a műszaki középfokú- és a szakiskola növendékeit is). A Tehnofrig s az akkori vezetőség érdeme a Tervező-Kutató Intézet létrehozása is, melyben 40 tudományos kutató, 180 mérnök, 600 géptervező és technológus dolgozott. A mérnökök nagy része a Kolozsvári Műegyetem végzettje volt, a fizikusok és vegyészek többségben a kolozsvári Babeş–Bolyai Tudományegyetem diplomásai, a technikusok pedig a Tehnofrig műszaki középfokú és a volt kolozsvári Gép- és Villamosipari Középiskola (melynek egykor Jenei is tanára volt) végzettjei. A szakmunkások döntő többsége a vállalat szakiskolájában szerzett szakképesítést, tehát a szakemberek képzésében is a Tehnofrig oktatási törekvéseinek eredményességét láthatjuk. A létrejött korszerű iskola 24 tanteremmel rendelkezett, 6 laboratóriuma volt, 5 tanműhelye, illetve tornaterme s sportpályája. Az iskola saját könyvtárral, illetve egy 400 férőhelyes internátussal rendelkezett. A műszaki középfokú kádereket, valamint a szakmunkásokat képző iskolába való felvételkor elsőbbséget élveztek a vállalat alkalmazottai, illetve az alkalmazottak gyermekei.

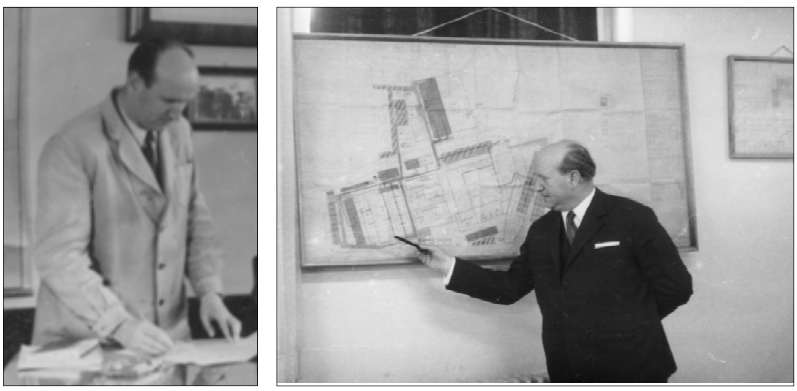
18. ábra. *Jenei Dezső a Tehnofrig üzem főmérnöki irodájában*

Jenei Dezső főmérnöki tevékenysége alatt az 1950–1973-as években történt beruházások tették lehetővé az üzem nagyméretű bővítését. Feljegyzéseiben Jenei a következő adatokat említi: *„a termelési felület 1973-ban elérte a 65 000 m^2-t, a gyártott gépek és berendezések összsúlya meghaladta a 3000 tonnát, áruértéke pedig a 420 millió lejt"* [ez kb. 70 millió USD-nek megfelelő összeg, akkori árfolyamon]. *„A prototípusokat gyártó műhely felülete 1200 m^2, az üzemi próbatermek 2000 m^2 területet foglaltak el."* Ebben az időszakban épült meg a vállalat 500 férőhelyes munkásotthona és az étkezde, mely egy időben 1200 személyt

tudott ellátni. A gyártelepen az alkalmazottak rendelkezésére álltak modern kulturális és művészeti létesítmények, valamint sportpályák.

A Tehnofrignak saját műszaki könyvtára volt, melynek könyvállománya Jenei feljegyzései szerint mintegy 150 000 kötetet tett ki, és 40 nyugati, illetve 180 hazai, valamint a keleti országokból származó szakfolyóirattal is rendelkezett.

Jenei Dezső irodájába belépve az íróasztala körül ott voltak a könyvhalmazok, hisz minden beérkezett könyv és folyóirat először az ő kezén ment keresztül. Igényes volt, a műszaki irodalmat folyamatosan tanulmányozta, a legfrissebb dokumentációkat, katalógusokat, folyóiratokat tüzetesen átnézte, s miután áttanulmányozta, felírta annak a szakembernek a nevét, akihez tovább kellett jutnia szakmai dokumentálódásra.



19. ábra. *Jenei Dezső dokumentálódás közben a bal oldali fotón, a jobb oldalin pedig egy előadás közben, melyben az üzem fejlesztését mutatja be (A hűtőberendezések korszerűsítése a Román Szocialista Köztársaságban, konferencia 1971. március 15–16.)*

Korán kezdte a munkanapot, a délelőttjeit különböző megbeszélések, ülések, terepszemlék töltötték ki, a délutáni hat órai szünet előtt még egyszer körbesétálta az üzemet, majd irodájába visszahúzódva szakmai írásokat olvasott és látta el az irodai munkafeladatait. Sokat járt kiszállásra, nagyon tájékozott volt, terepszemléi, tanulmányútjai főleg a Tehnofrig termékeinek bővítésére, fejlesztésére irányultak. A vállalat folyamatos fejlesztési lehetőségeinek felkutatására törekedett, gazdaságos termékek kialakítása, illetve a termékek hasznosítási lehetőségeinek felkutatása által.

Tanulmányutak

Kormányszakértőként sok nemzetközi kormányközi és minisztériumközi tárgyaláson is részt vett (KGST-országok, NSZK, USA, Dánia, Belgium).

Többször volt külföldön tanulmányúton a Szovjetunió (1956, 1960), Csehszlovákia (1957, 1962, 1964), Lengyelország (1962, 1963, 1965, 1967,1968), Magyarország (1962, 1967, 1968, 1970), NDK (1970, 1972), Bulgária (1971, 1972), NSZK (1972, 1973), Dánia (1973), Belgium (1973), Franciaország, Amerikai Egyesült Államok (1973) számos városában, ahol hűtőipari és légkondicionáló berendezéseket, kompresszorokat, élelmiszeripari gépeket gyártó és technológiai vonalak, hűtőipari és légkondicionáló gépek automatizálását kutató és tervező intézeteket, illetve vállalatokat látogatott meg, és helyszínen tanulmányozta a fejlesztési terveiket és a velük lehetséges együttműködést a jövőre való tekintettel. Mindezen tanulmányi utak a kutatásait is segítették. Kutatási területe a motorok és a gépgyártás fej-

lesztése volt. Jelentősebb kutatási témái: a háromfázisú aszinkron villamos motorok fordulatszámának változtatása, a hűtő- és élelmiszeripari berendezések és technológiai sorok fejlesztése. Önéletrajzában tételesen felsorolta a tanulmányutak helyszíneit, időpontját s a dokumentálás témáját is.

Sajnos sikeres üzemvezetői, főmérnöki pályáját 1973-ban bekövetkezett leváltása kettétörte. Közvetlen kollégái sajnálattal emlékeznek arra az időszakra, melyet a politikai érdekek határoztak meg. Elismerései között hiába volt ott egy állami kitüntetés is (*„Jenei Dezső főmérnököt, Orosz Béla igazgatót és Jeremiás Lajos élmunkást Állami Díjjal tüntették ki 1954-ben a hűtőkompresszor 20 000 kcal/h és a 400 l/h teljesítményű tejfölözőgép megvalósításáért”)*, minden addigi tevékenysége átértékelődött.

Országos viszonylatban Jenei Dezső főmérnöksége ideje alatt (az 1949–1973-as időszakban) a vállalat több mint háromszáz új terméket, élelmiszer- és hűtőipari gépet, illetve technológiai vonalakat honosított meg. Mint írta, a vállalat eredményes működésére két szám volt jellemző: „*a befektetett töke 400 millió lej (kb. 66 millió USD) és az államháztartásba befizetett több mint 1 milliárd lej (140 millió USD) tiszta nyereség*” (az akkori pénzértékben). Ezenfelül, megjegyezte, hogy *„az ország gazdaságának rendelkezésére állt egy sok milliárd lej értékű, nemzetközi hírnévvel rendelkező gépgyártó üzem”*.

20. ábra. *Jenei Dezső tervezői kollégák körében (balról a harmadik)*

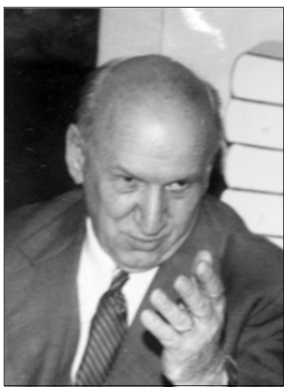
A műszaki tudományosságért folytatott tevékenysége nyugdíjas éveiben

1973–1979 között betegnyugdíjas, majd 1979-től öregségi nyugdíjas. Nyugdíjas időszakában sok közérdekű ügyet vállal fel, s szakmai tudását, szorgalmát is jól kamatoztatta a műszaki tudományosság érdekében.

Szótárszerkesztés

1973-tól műszaki szótárak és magyar nyelvű műszaki tankönyvek szerkesztésével foglalkozott. 1979-ben jelent meg a *Román–magyar műszaki szótár* (23 000 román címszóval) Bukarestben a Kriterion Könyvkiadónál, melyet Biró András és Rohonyi Vilmos mérnökökkel közösen szerkesztett. Majd 1981-ben a *Magyar–román műszaki szótár* I–II. kötete, mintegy

30 000 magyar címszóval látott napvilágot. Pálfalvi Attila professzorral közösen voltak főszerkesztői a *Magyar–román műszaki nagyszótárnak*, amely mintegy 120 000 magyar címszót tartalmaz, és 1988-ban jelent meg a bukaresti Műszaki kiadónál (Editura Tehnică). A sikeres kiadás Jeneinek és Pálfalvinak egyaránt köszönhető, s tanúsítja jó szervezőkészségüket, szakmaiságukat, a nagy horderejű munkálatokban való kitartásukat s nem utolsósorban a csapatmunkára való rátermettségüket. Jenei Dezső lakása a munkálatok alatt igazi műhellyé alakult. Többnyire itt tartották a sok egyeztető ülést s az ünnepi zárómegbeszélést, melyről fényképek is készültek. A szótárkészítésben részt vevő szerzők névsora: Biró András, dr. Félszeghy Ödön, Füstös Kálmán, Jenei Dezső, Jodál Endre, Kelemen Béla, Kohut Cseh Edit, Magyarosy Gyöngyvér, Magyarosy Jenő, Pálfalvi Anna-Mária, dr. Pálfalvi Attila, Pallos István, Rohonyi Vilmos, dr. Szabó Lajos, Székely Győző és Tuzson Gábor. Kiadói szerkesztő: Hatházi Ferenc.



21. ábra. Magyar–román műszaki szótár *zárómegbeszélése, 1988. január 28-án, Jenei Dezső lakásán (Bartók Béla u. 4. sz.)*

Fontosnak tartotta a magyar műszaki nyelv ápolását, a magyar nyelvű műszaki képzést, a műszaki értelmiség összefogását, a műszaki közösség szakmai és kulturális ismereteinek bővítését. Gyakran tartott előadásokat a Kriterion Könyvkiadó író-olvasó találkozóin és a Tehnofrigban működő Kós Károly Műszaki-művelődési Kör ülésein.

Első műszaki könyvismertetése a Korunkban jelent meg (1974/11). Számos írását, recenzióját olvashatjuk a hazai magyar nyelvű műszaki irodalomról, szakkönyvekről, szakma és anyanyelv viszonyáról a Korunkban (1976/3, 1978/4, 1979/12), illetve A Hét 1978-as és 1979-es évkönyveiben. Több társával együtt részt vett az Atanasiu–Arieşanu–Peptea-féle fémmegmunkáló szakmunka II. részének fordításában (*A fémmegmunkálás technológiája, szerszámai és munkagépei*, 1980), tagja volt a bukaresti Műszaki Könyvkiadó és az Magyar Tudományos Akadémia közös kiadványaként készült román–magyar és magyar–román műszaki nagyszótár szerkesztőbizottságának. A Munkásélet hetilap Műszaki Értelmező Kisszótár c. rovatának, illetve a Romániai Magyar Irodalmi Lexikonnak is szerkesztője volt [1].

3. A közösségi tevékenysége

1973–1999 számos erdélyi magyar vezető személyiséggel együtt (Nagy Géza, Takács Lajos, Balogh Edgár, Demeter János, Kacsó Sándor, Kovács Zoltán stb.) több alkalommal emlékiratokkal fordult az államhatalom vezetőihez a magyar nyelvű iskolahálózat kifejlesztése érdekében, óvodák, elemi, középfokú, felsőfokú intézmények megtartásáért és újak létesítéséért.

Közbelépéseik eredményeként (1980) megmaradt középiskolának a kolozsvári 3.sz. középiskola (a volt Piarista Gimnázium). Sajnos eredménytelen volt a törekvése 1978-ban a magyar tannyelvű műegyetem, valamint a magyarul előadó mérnöktanárok továbbképzése érdekében. (l. B. Kovács András megjelent cikkeit a Romániai Magyar Szóban 2093.sz. 1996. augusztus 13.; 2099.sz. augusztus 14.; 2253. sz. 1997. január 22. és 2302. sz. 1997. március 18.).

A Romániái Unitárius Egyház[1] főgondnoka

A rendszerváltás után mint főgondnok cselekvően részt vett a romániai kultusztörvénytervezet kidolgozásában. Sikerült külön törvénycikkekben előírni a jogtalanul elvett egyházi javak visszaszolgáltatását, a megsemmisültekért kárpótlást biztosítani, valamint a felekezeti oktatás visszaállítását kieszközölni.

22. ábra. Jenei-portré (EME, Jenei-hagyaték)

Az 1991 és 1992 években bírósági tárgyalásokon és az állami főügyészségnél történt közbenjárásain sikerült visszaszerezni az unitárius püspökség számára a jogot, hogy a tulajdonában levő kolozsvári kereskedelmi helyiségek bérbeadását saját maga gyakorolja. „*Ily módon az unitárius egyház évi 150 000 USD jövedelemhez jutott. Ez képezi ma is az unitárius egyház alapvető gazdasági hátterét*”– írta 1997-ben.

Munkájának elismeréséül 1990-től a Romániai Unitárius Egyház tiszteletbeli főgondnoka lett. 1991–1995 között az Erdélyi Keresztény Magyar Történelmi Egyházak Elöljáróinak Állandó Értekezletének elnökségi tagja volt. Ennek keretében 41 beadvány munkapéldányait készítette el, s tartotta fenn személyesen az államelnöknél, miniszterelnököknél, miniszte-

[1] A Romániái Unitárius Egyház neve 1996-tól Erdélyi Unitárius Egyház, majd 2012-től Magyar Unitárius Egyház lett.

reknél és a Vallásügyi Minisztériumban. A beadványok és emlékiratok (mellékletekkel együtt több mint 1500 oldal) az erdélyi magyar történelmi egyházaktól jogtalanul elvett javak visszaadását, a felekezeti oktatás visszaállítását és a vallásügyi törvénytervezett megszavazását sürgették.

Az RMDSZ alapító tagja, a Hívó Szó aláírója

Jenei Dezső tagja volt annak a felelősen gondolkodó magyar értelmiségi csoportnak, amely 1989 decemberében úgy ítélte meg, hogy az erdélyi magyarság saját kezébe kell vegye sorsának irányítását. Jenei Dezső is aláírta a Hívó Szó röpiratot (aláírók: Balázs Sándor, Balogh Edgár, Balogh Ferenc, Benkő Samu, Cseke Péter, Csép Sándor, Cs. Gyimesi Éva, Csetri Elek, Gáll Ernő, Jakó Zsigmond, Jenei Dezső, Kántor Lajos, Kányádi Sándor, Lászlóffy Aladár, Nagy György), amely a magyar közösséghez fordulva a következőket állapítja meg zárszóként: „*meg kell teremtenünk nemzetiségi közéletünk korszerű intézményi kereteit, amelyek gondjainknak és törekvéseinknek nyilvánosságot biztosítanak. Természetesen részt kérünk ezeken keresztül az ország egészének társadalompolitikai irányításából*." (Szabadság I. évf. 2. sz. 1989. december 24. *Hívó Szó*).

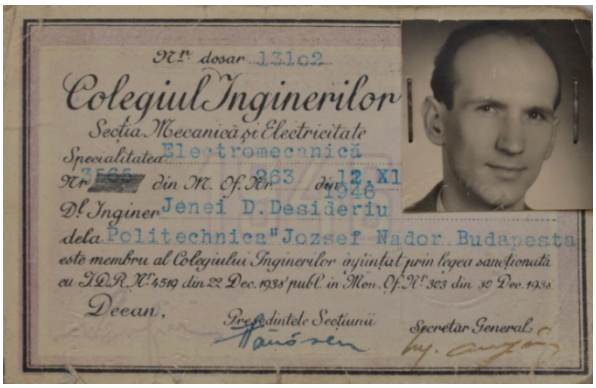
1990–1994 között, a Kolozsváron alakult Bolyai Társaság vezetőségi tagjaként 7 emlékirat munkapéldányait szerkeztette meg a széles profilú magyar nyelvű Bolyai Egyetem felállítása érdekében.

Beadványait Mihai Șora oktatásügyi miniszterhez (1990. jan. 16., márc. 27., május 5.) Petre Roman miniszterelnökhöz (1990. ápr. 16.), Gheorghe Ștefan oktatásügyi miniszterhez (1991. aug.10., aug.14., aug. 18.) intézte.

Feljegyzései szerint 1995-ben az RMDSZ elnökség felkérésére, megszövegezte a Romániai Nemzetiségek Oktatási Törvénytervezetét; 1996 májusában megfogalmazta Romániának az Európai Unióhoz történő csatlakozása esetében az országunkban működő Vallási Felekezetek elvárásait az Európai Unióban.; 1997. febr. 24. tanulmányt készített a 30 000 egyetemi hallgatóval rendelkező, széles profilú magyar nyelvű egyetem számára, körvonalazva a szükséges épületek kiterített felületeit, elhelyezési lehetőségeit Kolozsvár és Marosvásárhely környékén (Campus), valamint az előbecsült beruházás nagyságrendjét.

4. Tagságok

Jenei Dezső sokrétű tevékenységet folytatott, számos közéleti szerepet és szakmai tagságot vállalt, s mindvégig komolyan és aktívan vett részt az ezekből származó feladatok teljesítésében. Jelentősebb intézmények, szervezetek, amelyeknek tagja volt: Magyar Elektrotechnikai Egyesület (1942–44); Romániai Mérnök Kamara (1945–1952); Romániai Mérnökök és Technikusok Tudományos Egyesülete (1950–1973); Románia Tudományos és Technológiai Nemzeti Tanácsa (1966–1973); Bolyai Társaság Választmánya (1991–1993); Erdélyi Múzeum-Egyesület (1990–2004); Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának elnöke (1991–1994); Erdélyi Múzeum-Egyesület tiszteleti tagja 1996. május 4. Az EME tiszteleti tagságra Maros Dezső és Pálfalvi Attila professzorok terjesztették elő, laudálták. Az okiratban ez olvasható érdemei rövid összefoglalójaként: *„a kolozsvári gépgyártás korszerűsítéséért, a műszaki tudományok gazdagításáért, a magyar műszaki nyelv ápolásáért, az anyanyelvi oktatás érdekeinek védelméért és Egyesületünk Műszaki Tudományos Szakosztálya megszervezése során szerzett elévülhetetlen érdemeiért az Erdélyi Múzeum-Egyesület közgyűlése tiszteleti taggá választotta."*


Nr. dosar 13102
Colegiul Inginerilor
Secția Mecanică și Electricitate
Specialitatea Electromecanică
Nr. 3565 din M. Of. Nr. 863 din 12 XI 1926
Dl Inginer Jenei D. Desideriu
dela Politechnica "Jozsef Nador Budapesta
este membru al Colegiului Inginerilor înjinfat prin legea sanctionată cu D.D.R. Nr. 4519 din 22 Dec. 1938 publ. în Mon. Of. Nr. 303 din 30 Dec. 1938.
Decan.
Președintele Secțiunii
Secretar General

23. ábra. *A Mérnöki Kamara tagsági igazolványa (EME, Jenei-hagyaték)*

5. A Műszaki Tudományok Szakosztály alapítója, első elnöke

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület újraalakulásakor, 1990-ben merült fel az igény, hogy a műszaki tudományoknak is legyen szakosztálya. Jenei Dezső kezdeményezése jelentős fordulatot jelentett a műszaki társadalom életében. A szakosztály tevékenységének kidolgozása és a most is működő programok elindítása Jenei érdeme. „*Jenei Dezsőtől, aki a változás pillanatában pontosan tudta, hogy mi az a hagyaték, mi az a hagyomány, amire építkezni kell, amit meg kell tartani. Kezdeményezője volt annak, hogy az Erdélyi Múzeum-Egyesület a kor kívánalmainak megfelelően Műszaki Szakosztállyal bővüljön ki, és a felnövő erdélyi mérnök-nemzedék ebben a szervezeti keretben szerezzen és biztosítson magának fejlődési, kibontakozási lehetőséget*” – hangzott el Benkő Samu búcsúbeszédében [4].

24. ábra. *Jenei Dezső utolsó fotója*

A technikatörténeti és ipartörténeti kutatásokat az 1990-ben megalakult Műszaki Tudományok Szakosztály elsőrendű feladatául tűzte ki. Jenei Dezső már az ezt megelőző időszakban a technikatörténeti kronológia összeállítására vállalkozott. Erre a komplex feladatra a műszaki szakterület alábbi jeles képviselőit szólította fel: Barabás Tibor, Bucur Ildikó dr., Csetri Elek dr., Demeter Vodnár János, Farkas Zoltán, Gáll Miklós, Halász Béla, Hints Miklós, Hoch Sándor, Jurás Tibor, Kacsur György, Nagy Baka György, Papp István, Pál András, Pálfalvi Attila dr., Pálfalvi Gábor, Szabó Árpád dr., Szakács József, Székely Győző, Telegdy Csetri Klára, Veres József. A kötet szerkesztését Jenei Csetri Elek történésszel közösen végezte. Az egyetemes kronológia végül 1997-ben jelent meg, majd egy második kiadást is megért 1998-ban (*Technikatörténeti kronológia*. Stúdium Könyvkiadó, Kolozsvár, 1997). „*A huszonegy mérnök és egy történész hatalmas feladatot vállalt magára: adatgyűjtésük befejeztéig (1992) világszerte 20 millió szabadalmat jegyeztek be. Ebből az adatóceánból kényszerültek válogatni. Bevallásuk szerint bizonyos szakmunkák elérhetetleneknek bizonyultak. Erőfeszítésük, mindezek ellenére, dicséretesen gazdag lexikonszerű kötetet*

eredményezett, melyet szakember, leendő szakember vagy egyszerű alkalmi érdeklődő egyaránt bizalommal forgathat." – írta Ördög Béla, a Szabadság 1998. május 18.-i számában.

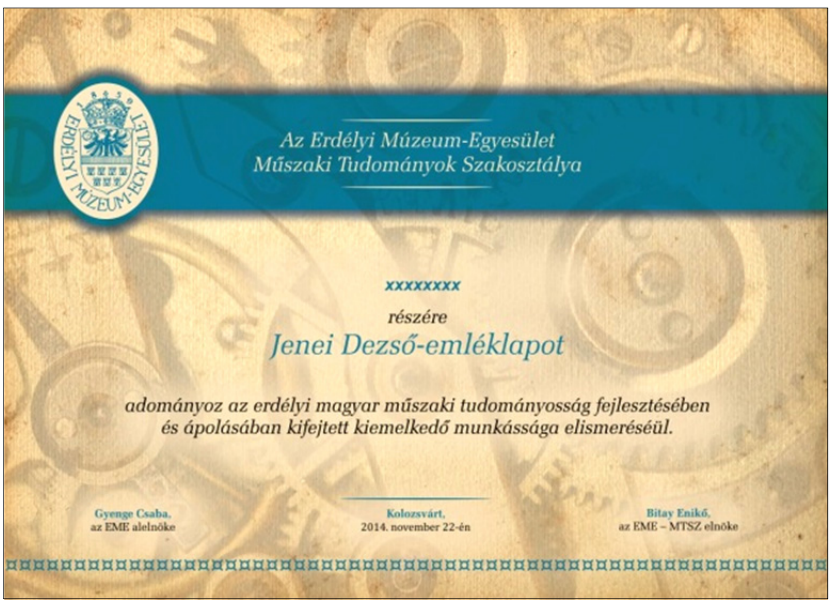
Az EME-MTSZ ülésein is gyakran lehetett hallani tudomány-, technika- vagy ipartörténeti előadásokat, melyeket Jenei szervezett, vagy amelyeknek előadója volt. 1991. november 29-én *Széchenyi István, a műszaki alkotó* címmel tartott előadást.

Az EME Műszaki Tudományok Szakosztályát elindítva, az első elnöki ciklus lejártával, átadta a stafétabotot a fiatal nemzedéknek, de a háttérben mindig figyelemmel és segítőkészséggel követte a szakosztályi tevékenységet, felismerte azt a tényt, hogy az aktív műszakisok által fejlődhet ki igazán egy közösségi munka.

A kiváló közéleti személyiséget 2004. október 8-án kísérték utolsó útjára a Házsongárdi temetőbe tisztelői, egykori diákjai, munkatársai s a szakosztály tagja. Jenei Dezső neve mindannyiunk számára jelkép, s munkájának továbbvitele elkötelezettségünk.

6. Emléklap a műszaki tudományosságért

A Jenei Dezső által ránk hagyott szellemiség jegyében szakosztályunk 2013-tól ünnepélyes keretet biztosít az erdélyi magyar műszaki tudományosságért kifejtett tevékenység elismerésére. A Műszaki Tudományos Ülésszakon adjuk át a Jenei Dezső-emléklapot. A nevét viselő emléklap egyben Jenei Dezső iránti tiszteletünk kifejezése, emlékének ápolása, adományozása által az erdélyi magyar műszaki tudományosságért kifejtett tevékenységet kívánjuk ösztönözni, elismerni.



25. ábra. *Jenei Dezső-emléklap, alapítva 2013-ban*

A XIV. Műszaki Tudományos Ülésszak 2013. november 23-i rendezvényének megnyitóján első ízben adtunk át Jenei Dezső-emléklapot Hollanda Dénes marosvásárhelyi professzornak, a Sapienta EMTE volt dékánjának, az erdélyi műszaki felsőoktatás fejlesztésében kifejtett munkássága elismeréséül, valamint Csibi Vencelnek, a Kolozsvári Műszaki Egyetem professzorának, az EMT alelnökének, a magyar műszaki tudományosság fejlesztésében

és ápolásában kifejtett tevékenységéért. A XV. Műszaki Tudományos Ülésszak november 22-i rendezvénye keretében a Jenei Dezső-emléklapot Dávid László, a Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem rektora vehette át az erdélyi magyar műszaki tudományosságért kifejtett tevékenysége elismeréseként. 2015. február 21-én a Műszaki Tudományok Szakosztály megalakulásának 25 éves jubileumi emlékülésén további három műszakis személyiség vehette át ezt az elismerést: Gyenge Csaba professzor, az MTA külső tagja, az EME alelnöke, Pálffy Károly nyugalmazott főmérnök, az EME-MTSZ választmányi tagja és Márton László nyugalmazott mérnök, műszaki író, az EME-MTSZ alelnöke.

26. ábra. *Dávid László átveszi a Jenei Dezső emléklapot,, 2014. november 22-én, a XV. Műszaki Tudományok Ülésszakán*

7. Zárszó

Jenei Dezső életútja folyamán mindvégig fontosnak tartotta, hogy (műszaki) értelmiségünk minden területen kamatoztassa tehetségét, az anyanyelvű oktatásért komoly erőfeszítéseket tett az 1990-es éveket követően, noha a magyar műszaki felsőfokú képzés elindítását már nem érhette meg. Pedagógusi képességei, szakmai tudása, kiváló mérnöki habitusa, ipari vezetői rátermettsége révén Jenei komoly értéket teremtett, épített, s stafétabotként adta át ezen törekvéseket, melyeket tisztelni, követni s értékelni szükséges.

Szakirodalomi hivatkozások

[1] Balogh Edgár (főszerk.): *Romániai magyar irodalmi lexikon II.* Kriterion Könyvkiadó, Bukarest, 1991. 501–502.

[2] Beke György: *Szakma és anyanyelv*. Beszélgetés Rohonyi Vilmossal és Jenei Dezsővel. A Hét Évkönyve, 1979. 285–94.

[3] Beke György*: Így látja a szakember*. Beszélgetés Jenei Dezsővel a magyar nyelvű szakoktatásról. A Hét, 1981/27.

[4] Benkő Samu: *Búcsú Jenei Dezsőtől (1919–2004).* Elhangzott 2004. október 8-án a kolozsvári Házsongárdi temetőben. In: Erdélyi Múzeum LXVI (2004). kötet, 3–4. füzet. 163.

[5] *Beszélgetés Jenei Dezsővel az Országos Tanügyi Bizottság működéséről*, 214–225. http://adatbank.transindex.ro/html/alcim_pdf1897.pdf, 2015. 03. 15.

[6] Bitay Enikő: *Tudományos fórum Jenei Dezső emlékére*. In: Szabadság 2013. 12. 14.

[7] http://tudosnaptar.kfki.hu/historia/egyen.php?namenev=jenei 2015. 03. 15.
[8] Híres unitáriusok http://www.unitar.hu/Tudastar/pantheon/pantheon1/jeneidezso1919.htm, 2015. 03. 15.
[9] Jenei Dezső: *Egy emlékkönyv margójára*, 194–213, http://adatbank.transindex.ro/html/alcim_pdf1896.pdf , 2015. 03. 15.
[10] Jenei Dezső: *50 éve történt…* FMTÜ II. EME, Kolozsvár, 1997.
[11] Pünkösti Árpád: Fischeráj. http://www.mozgovilag.hu/ , 2010.06.15
[12] Rostás Zoltán: *A műszaki könyv útja*. *Beszélgetés Jenei Dezsővel*. A Hét Évkönyve, 1978. 157–58.
[13] Szabó Piroska: *Jenei Dezső*. Arcképcsarnok. Művelődés, 1981/8–9.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 39–46. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.02
http://hdl.handle.net/10598/28529

A ZSIL-VÖLGYI SZÉNBÁNYÁSZAT A XX. SZÁZAD ELEJÉN. A KORUKAT MEGHALADÓ TECHNOLÓGIAI ÚJÍTÁSOK

THE COAL MINING IN JIU VALLEY AT THE BEGINNING OF THE XX.th CENTURY. THE AGE'S UP TO DATE INNOVATIVE TECHNOLOGIES

András József[1], Kovács József[2]

[1,2]Petrozsényi Egyetem, Gépész- és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari- és Szállításmérnöki Tanszék, 332008 România, Petroşani, str. Universității nr. 20, Telefon: +40-722-262067

[1]iosif.andras@gmail.com

[2]kovacsi@mail.com

Abstract

The Jiu Valley coalfield, discovered in early 19th century, has reached, under the favorable influence of the industrial revolution and the general economic boom occurred among the Austrian-Hungarian Empire, an outstanding development until the 1900's when it became one of its important industrial complexes. Being a new born coal mining region, the technical endowment incorporated the age's up to date results, which led to a dynamic evolution, in terms of production increase, social development transforming a retarded region into a flourishing, strong, social–economic structure. The paper deals with a short overview of these innovative elements which allowed this development.

***Keywords**: coal mining, Jiu Valley, technology, innovative, 20th century.*

Összefoglalás

A Zsil völgye gazdag szénvagyona, amelyet a XIX. század legelején fedeztek fel, és amelynek ipari méretű kitermelése a század 60-as éveiben indult be, több gazdasági és geopolitikai tényező kedvező hatására arra vezetett, a XIX. század utolsó negyedében és a XX. század elején, a Zsil völgye elnevezés alatt köztudatban ismert szénmedence, gazdasági-társadalmi és kulturális születése és fejlődése kibontakozott. Ezen ipari komplexum születése és fejlődése a térségben, amely a bányászatra alapozott és nagymértékben befolyásolva volt az ipari forradalom által, annak köszönhető, hogy újszülött bányavidék mivolta lehetővé tette a legkorszerűbb, a korában még újításnak számító eljárásokat és gépeket, berendezéseket vezettek be, ennek következtében pedig a termelés robbanásszerűen növekedett, ezzel együtt pedig a termelékenység és a gazdasági hatékonyság is. A jelen dolgozat ezeknek a korukat meghaladó technológiai megoldásoknak egy részét mutatja be.

***Kulcsszavak:** szénbányászat, Zsil völgye, XX. század, technológia, újítás*

1. A Zsil-völgyi szénbányászat kezdete és fejlődése a XX. század elejéig

A Zsil völgye altalajában rejlő gazdag kokszolható és magas fűtőértékű kőszénvagyon létezéséről már régebb, sokkal a XIX. század derekán történt ipari kitermelés megkezdése előtt volt tudomás [1].

Ennek kitermelése a XIX. század 60-as éveiben indult be, több gazdasági és geopolitikai tényező kedvező hatására, melyek következtében a XIX. század utolsó negyedében és a XX. század elején, a Zsil völgye elnevezés alatt a köztudatban ismert szénmedence gazdasági-társadalmi és kulturális születése és fejlődése kibontakozott.

A Zsil völgye korszerű fejlődése, egy ipari komplexum születése és fejlődése a térségben, amely a bányászatra alapozott és nagymértékben befolyásolva volt az ipari forradalom által, egy olyan jelenség, amely két erővonal által lett serkentve:

- a térség fő természeti altalaji kincsének, a szénnek a kitermelése, amely az ipari forradalom első szakaszában mint energia erőforrás annak elsődleges gerjesztő eleme;
- korszerű műszaki és technológiai eljárások bevezetése, amelyek nélkülözhetetlenek voltak a szénkészlet hatékony értékesítésére, úgy a kitermelés, mint az elsődleges feldolgozás terén.

A bányászat fejlődése általában és a kőszén kitermelése, különösképpen Európaszerte a XVIII. század végén és az egész XIX. század folyamán létrejött változó jelenségeknek köszönhető, melynek meghatározó tényezője az ipari forradalom volt.

A bányászat iránt az ipari forradalom által gyakorolt kedvező befolyás kétvetületű és kétirányú volt, éspedig, egyrészt mint a korabeli tudomány és technika vívmányainak alkalmazási területe, másrészt mint egyéb ipari ágaknak, a szállításnak stb. fejlődéséhez szükséges nyersanyagok szolgáltatója, amely befolyásolja a térség fejlődését.

Ugyanakkor a bányaipar fejlődésének igényei (szellőztetés, víztelenítés, természetes energiaforrásoktól független meghajtó berendezések stb.) kedvező, serkentő hatást gyakoroltak a műszaki tudományok és a technika fejlődésére.

Az ipari forradalom első szakaszának, mely a XIX. század 50-es éveig tartott, az volt a jellegzetessége, hogy a kőszenet kizárólag primer, mechanikai energiaforrásként alkalmazták, mely minőségét, egyéb alkalmazási területek mellett, mint például a kohászat, a villamos energia általános térhódítása idejéig megtartott.

Mindezen kedvező körülmények a XIX. század 60-as éveiben oda vezettek, hogy a Zsil-völgyében az ipari méretű kőszénbányászat beindul, és már a XX. század első évtizedének a statisztikái egy olyan társadalmi-gazdasági valóságot mutatnak, amely fél évszázad alatt ugrásszerű fejlődésről tanúskodik.

Ez a gazdasági fejlődés egyaránt társadalmi és kulturális fejlődést is előidézett, főleg a Zsil völgye bányászatában a legkorszerűbb műszaki vívmányok beillesztésének köszönhetően, ami arra vezetett, hogy ez az aránylag fiatal ipari komplexum 1895–1910 között Magyarország széntermelésének a 11,5-20% -át adta.

Az Európában és a Birodalomban már működő szénbányákhoz viszonyítva a Zsil völgyinek az volt a különlegessége, hogy újszülött bányavidék mivolta lehetővé tette a legkorszerűbb, a korban még újításnak számító eljárások és gépek, berendezések bevezetését, ennek következtében pedig a termelés robbanásszerűen növekedett, ezzel együtt pedig a termelékenység és a gazdasági hatékonyság is, mindezek megalapozták a térség társadalmi kibontakozását.

2. A Zsil-völgyi szénbányászat műszaki ellátása a XX. század elején

Egy hozzávetőleges számítás szerint az 1896-os évben az összes Zsil-völgyi bányák berendezéseinek és gépeinek összegezett teljesítménye körülbelül 1400 LE volt. A bányatársulatok a következő berendezésekkel rendelkeztek [8]:

- A „Salgótarján" társulatnak bérelt kincstári mélyművelési bányáiban a vasúti sínek hossza 1,5 km, a felszínen 1,7 km állati erővel és 7,2 km mozdonnyal; rendelkeztek négy 70 LE mozdonnyal, egy 60 LE aknagéppel; egy szellőztető ventilátorral és 670 csillével.
- A „Salgótarjáni" társulat mélyművelési bányáiban a vasúti sínek hossza 25 km, a felszínen 2,5 km állati erővel és 9 km mozdonnyal; rendelkeztek öt 400 LE mozdonnyal, két 160 LE aknagéppel, négy kötélpályával, 14 db egyenként 535 LE gőzkazánnal, két szivattyúval, egy ventilátorral és három osztályozó művel.
- Az „Urikány–Zsil-völgye" társulat mélyművelési bányáiban a vasúti sínek hossza 22,1 km, a felszínen 0,8 km gépi erővel; rendelkeztek négy 90 LE gőzkazánnal, két mozdonnyal, négy ventilátorral, három osztályozó művel és 502 csillével.
- A „Felső Zsil völgye" társulat mélyművelési bányáiban a vasúti sínek hossza 1,3 km, a felszínen 2 km állati erővel és rendelkeztek hat csillével.

Az 1914-es „Magyar bányakalauz" [8] összefoglalja a kb. 35 évvel későbbi helyzetet.

A „Salgótarjáni" társulat Zsil-völgyi bányáiban a szállítás a következőképpen történt:

- állati erő segítségével a mélyművelési bányákban 103,639 km hosszú vasúti pályán és 9,8 km hosszú külszíni vasúti pályán;
- a külszínen 1,2 km hosszú vasúti pályán 3 gőzmozdonnyal és 5,4 km-en elektromos mozdonnyal; a külszínen 0.2 km-en nyerges vontatóval, 0,2 km-en vég nélküli kábellel, 12,6 km-en kötélpálya segítségével,
- a bányában 2 km hosszúságban a külszínen 0,7 km-en gravitációsan.

Ezenkívül 19 függőleges emelő berendezés által, 13 akna gép által függőleges aknáknál, melyeknek hossza összesen 1818 m, 33 szállító berendezés által és 3660 csille és vagon segítségével.

Ugyanakkor létezett három szénosztályozó mű, 31 gőzkazán 4300 m^2 hősugárzó felülettel, négy gőz turbina összesen 3300 kW teljesítménnyel, hét elektromos generátor 5300 kW teljesítménnyel, 20 vízszivattyú, 50 ventilátor, 120 sűrítet levegővel működő fejtőkalapács, 28 szénvágógép, négy Craelius típusú fúrógép, 68 más berendezés és 150 km. hosszú elektromos vezeték.

A lónyai kincstári bányákban, melyeket a Petrozsény, Livazény és Petrilla községek kerületein létező bányászati koncessziókban műveltek, a szállítás a következőképpen történt:

- állati erő segítségével a mélyművelési bányákban 4,8 km hosszú vasúti pályán és 2,9 km hosszú külszíni vasúti pályán;
- a külszínen 40,5 km hosszú vasúti pályán 8 gőzmozdony segítségével,
- 4 km hosszú kötélpályán,
- 1 km hosszú lejtaknán a föld alatt és 0,25 km-en külszínen,
- 2 külszíni lejtőn összesen 80 m hosszúságban
- 7 függőleges aknán, melyeknek összes hossza 450 m.

Ezenkívül létezet: 8 gőzkazán 2120 m^2 hősugárzó felülettel, két gőzgép 3700 LE teljesítménnyel, két generátor 2700 kW teljesítménnyel, 11 szállítóberendezés, 12

vízszivattyú 109 LE összteljesítménnyel, egy 67 LE Seltner típusú osztályozó berendezés, 18 elektromos fúrógép, 3 darab 15 LE szénjövesztő berendezés, 16 elektromos berendezés, 2 kézi mélyfúrási és egy gőz mélyfúrási berendezés, 16,5 km hosszú elektromos vezeték és 61 kW-os világításra használt felszerelés.

Az „Urikány-Zsil völgye" társulat, mely az Urikány, Vulkán, Felső-Barbatyén, Alsó-Barbatyén, Livazény és Korojesd községek kerületei közelében fekvő bányászati koncessziókban művelt, a következőképpen biztosította a szállítást: 36,029 km hosszú vasúti pályán a mélyművelési bányákban és 8,931 km hosszú vasúti pályán a külszínen, továbbá a külszínen 6,326 km hosszú vasúti pályán gőzmozdony vontatással, 0,921 km hosszú vasúti pályán elektromos mozdony vontatással, 4,535 km hosszú kötélpályán, 0,663 km hosszú végtelen kábel által,1,061 km hosszú lejtaknán a föld alatt és 0,997 km lejtőn a külszínen, 13 aknán, 7 lejtaknán, melyeknek őszhossza 485 m, 7 függőleges aknán, melyeknek őszhossza 747 m, 10,23 LE elektromos mozdony által, 17 elektromos meghajtású szállító berendezés és 4 pneumatikus szállító berendezés által, valamint 2638 csille és vagon által melyeknek kapacitása egyenként 5 métermázsa. Ezenkívül létezett: 9 gőzkazán 1400 m^2 hősugárzó felülettel, 3 gőzturbina 8160 kW teljesítménnyel, egy gőzgép 408 kW teljesítménnyel, 132 Dinamo típusú generátor 4250 kW teljesítménnyel, 18, 945,6 LE, 16 Pelczerde ventilátor 230 LE, 7 osztályozó mű, 45 Otto típusú koksz kemence, 206 pneumatikus szénfúró, 7 szénjövesztő gép, 17 km hosszú elektromos vezeték és 720 kW-os világításra használt felszerelés.

A „Felső Zsil-völgye" társulat, amely Krividia falu és Vulkán, Urikány és Kimpu lui Neag községek kerületein művelt, a szállítást a kővetkezőképpen biztosította: 4 km. hosszú vasúti pályán a mélyművelési bányákban és 2 km hosszú vasúti pályán a külszínen állati erővel; három szállítási berendezés külszíni lejtaknán, összesen 130 m hosszúságban, öt szállítási berendezés lejtaknán a bányában 270 m hosszúságban és öt szállító berendezés függő aknán 236 m mélység hosszal, 7 szállító berendezés 110 LE teljesítménnyel, 280 csille egyenként 5,5-7,5 q kapacitással. Ugyanakkor létezett: 2 gőzkazán 70 m^2 hősugárzó felülettel, 5 szivattyú 53 LE teljesítménnyel, 6 Geisler típusú ventilátor, 2 elektromos meghajtású dobos szénelválasztó berendezés, 6 sűrített levegővel működő fejtőkalapács, elektromos fűrésztelep, 10 km hosszú elektromos vezeték és 7 km hosszú magas feszültségű vezeték Lupényban és 8 LE világításra használt felszerelés.

Az 1908–1911 időszakban megvalósult több nagyszabású létesítmény a Zsil-völgyi bányatársulatok üzemeiben:

- három, a ma lónyai bánya területét képező bányatelek (bányamezők) feltárásával, aknamélyítéssel;
- a petrozsényi villanytelep felépítése, 1912-ben, amely két egyenként 3700 LE teljesítményű turbógenerátorral volt ellátva;
- a petrozsényi, 230 tonna/óra kapacitású Északi szénosztályozó kiépítése;
- 1336 Friemann-Wolf típusú biztonságos benzinlámpák tárolását-karbantartását szolgáló lámpaházak létesítése stb.

Mindez arról tanúskodik, hogy negyven év leforgása alatt a Zsil-völgyi bányaiparban a legmegfelelőbb fejlesztési és szervezési módszerek lettek kifejlesztve és ennek eredményeként a XX. sz. elején kikristályosodtak azok a termelőszerkezetek, amelyek némi változásokkal a második világháború elejéig, de még az azt követő pár évig is működtek a Zsil Völgyében.

A befektető bányatársulatok azon iparkodtak, hogy a szénkitermelés minél magasabb hatékonysággal és kibírható önköltséggel történjen.

Jellemző elemekként említhetjük: a tárófejtéstől az aknafejtésre való áttérést; olyan fejtési módszerek bevezetését, amelyek a széntelepek terjedelmének és alakjának legjobban megfeleljenek; a gőz- és villamosenergia alkalmazásának kiterjedését; a fejtés gépesítése réselőgépek alkalmazásával, a szállítási eszközök abban az időben forradalmi jellegűnek mondható megváltoztatását (sodronypálya, gőzvitla, csillés-mozdonyos szintszállítás stb.) .

A lupényi bányák fejlesztése érdekében, az „Urikány–Zsil-völgye" Társaság is számottevő befektetéseket eszközölt.

Folyamatosan végeznek feltárási munkálatokat az Északi, Szt. István, Viktória, Ilona, Karolina aknáknál, a telek északi részén, valamint a Déli és Ella aknáknál, a telek déli részén, ezek megnyitásának érdekében.

A széntelepek feltárása egy következetes folyamat, melynek természetes következménye a széntermelés növekedése, ami majd a korszerű technikai eljárások bevezetését eredményezi.

Ami a szállítást illeti, érdemes megemlíteni, hogy ennek a folyamatos gépesítése volt a fő célpont. A lupényi bányákban a villamos meghajtású szállítási berendezéseket tartották a legmegfelelőbbnek. Ezért már 1898-ban bevezették a tárókban az első ilyen típusú rendszert. 1903-ban a Szt. István tárnában már 1450 m hosszú villamosított vasútvonal létezett, míg az Északi tárnában 1400 m és a Déli akna talptárnáján öt villamos meghajtású, a lupényi bánya műhelyében gyártott mozdonyokkal végezték a szállítást.

A felvonógépek beillesztése terén is elöljáró helyzetben voltak a Zsil-völgyi bányák, az első ilyen gépet a Déli aknához szerelték fel, előbb egy 65 LE-s villamos motorral, melyet később egy 120 LE-sel helyettesítettek.

Öt sodronypálya biztosította a szén szállítását a négy osztályozó üzemhez.

A lupényi bányák folytonosan növekvő villamosenergia szükségletét 1900-ban a Szt. István akna közelébe telepített villanyközpont építésével elégítették ki. Ennek a XX. sz. 20-as éveiben kibővített utódjának, négy generátorának összesen 11800 kW teljesítménye volt.

A „Salgótarján" Társaság legfontosabb létesítménye a vulkáni bányák megnyitása volt 1900-ban. A szén minősége, a készlet nagysága arra vezettek, hogy három évvel a megnyitásuk után a társulat bányái között a vulkáni bányák az első helyet foglalják el a Társaság bányái között. A három bánya, amely itt megnyílt, a következő:

- a Nyugati bánya, amelyet egy 1580 m-es tároval tárnak fel, 1902-ben a Krividia völgyben, 630 m szinten;
- a Keleti bánya, amelyet egy 600 m. hosszú haránttároval nyitnak meg, 630 m. szinten, a Valea Arsului-ból, amely a 13., 9., 8., 7., 6., 5., 4. és 3. telepeket harántolta, ezzel a főszintet alapozva meg;
- a Chorin bánya, amelyet a mélyebb szintek feltárása végett nyitottak meg, a készlet azon részein, ahol a telepek vízszintesek vagy dőlésük kisebb.

Ily módon akarták, hogy a régebbi munkálatok ne gyakoroljanak befolyást az újabbakra. A Keleti és Nyugati bányák alapszintje a Chorin bányától, elválasztó szintként volt tekintve.

A bányát a főakna mélyítésével nyitották meg, melyet a Krivádia völgyében, 580 m-re észak felé a Keleti-Zsil folyó partjától helyezték el. Az aknamélyítést az I. világháború kitörése előtt kezdték el, és ennek befejezése után fejezték be.

A 352 m. mély akna a 619,2 és 267 m szintek között 5,72 m átmérőjű volt, a falak biztosítását 45 cm vastagságú betonhasábokkal végezték.

Ez az akna az akkori Zsil völgyében a legmélyebb volt, a fémszerkezetű aknatornyának magassága 30 m; a 600, később 1000 LE-s gőzmotorral meghajtott felvonógépe minden útnál, 500 m mélységből 20

m/s sebességgel 4 db. 700 kg. szenet tartalmazó csillét volt képes felhozni, azaz évente 500000 tonnát.

Az akna a 18., 17., 15., 13. telepeket harántolta, míg kelet felé 1400 m hosszúságban és nyugat felé 1600 m hosszúságban elővájt két csapásirányú tárna, amelyek nagy része a szénben vájatott, a 480 m szinten, a 15., 13., 8/9., 7., 5., 4., 3. telepek feltárását tették lehetővé.

A bányanyitáson kívül az úgynevezett Vulkáni Csoport a szén kitermeléséhez és nemesítéséhez szükséges műszaki feltételek biztosítására is nagy hangsúlyt fektetett.

A Chorin akna mellet, a Krivadia folyó völgyében egy 125 tonna/óra kapacitású központi osztályozó üzemet telepítettek, amelyet egy 40 LE villanymotor hajtott.

Ez az osztályozó mind a három vulkáni bánya termelését képes volt feldolgozni, 1909. év kezdettel a „Felső-Zsil völgyi" Társaságét is, a szenet, a meddő eltávolítása után 5 szemcseméretű osztályba szortírozta.

1900-ban teszik le alapját a régi vulkáni villanytelepnek. A telep egy 100 kVA generátorral volt ellátva, amelyet egy 130 LE gőzgép hajtott, és amelyhez 1905-ben egy 190 kVA turbógenerátor lesz hozzáadva. Mivel ez a telep nem elégítette ki – elektromos energia szempontjából – a „Salgótarján" Társaság bányáit, 1909-ben elkezdődik Vulkánban egy új villamos telep építése, ami elégségesnek bizonyult a Társaság bányáinak villamosenergiával való ellátásában. E villamos telepet 1910 februárjában adták át, amely két egyenként 1080kVA-es Siemens–Schuckert turbógenerátorral volt ellátva, amelyeket egy-egy 1200 LE Zoelly-turbina hajtott; 1913-ban lett megrendelve a harmadik 2500 kVA-es Siemens–Schuckert turbógenerátor, egy 2700 LE. Melms–Pfenninger turbina meghajtással; az egész berendezés gőzmeghajtása 13 atm nyomáson és 300 ^{0}C-on történt, öt kazán segítségével, 409,5m^2 égési felületen; 1910-ben szerelték fel a Vulkán–Petrozsény magasfeszültségű vonalat.

Felélénkült a bányászati tevékenység a „Salgótarján" társulat petrozsényi csoportja keretében is. Ez a csoport a Petrillai, Petrozsény Keleti, Petrozsény Nyugati, Dilzsa és Aninoszai bányákat foglalta magába.

Korszerűsítették a külszíni berendezéseket, az elhelyezésüket úgy rendezték, hogy egy ésszerű fejtési rendszernek feleljenek meg.

Úgy, mint Lupényben és a lónyai telepen, a vulkáni és petrozsényi csoportoknál is ütemesen áttérnek a tárófejtésről az aknafejtésre.

Így például a petrillai Deák bányánál 1912-ben befejeződik a főtelep kutatása és feltárása; a Deák aknát 1910-ben 143 m-ről 207 m-re mélyítik, 1913-ban a régi 60 LE felvonógépet, amelyet 1872-ben szereltek fel, egy erősebbel helyettesítik, és egy fémszerkezetű aknatoronnyal látják el; a többi bányatelepen is mélyítenek szállítási vagy szelőztetési aknákat.

A feltárási és elővájási műveleteken kívül, még említendő az 1900-ban a hidraulikus tömedékelés bevezetése, a száraz tömedékelés helyett vagy azzal együtt: a petrillai bányánál, 33 m^3/óra kapacitással és 1915-ben a Vulkáni bányáknál is.

A kitermelt szén osztályozása céljából, a „Salgótarján" Társaság két osztályozót működtetett a petrozsényi telepen, éspedig az 1910-ben épített Keleti osztályozót, melynek kapacitása 70 tonna/óra volt, amelyet egy 26 LE villamos motor hajtot és a Westfáliai rendszer szerint, mozgó választó szitákkal, a Keleti és a petrozsényi bányákból kifejtett szenet osztályozta; a Nyugati osztályozó pedig, amelyet 1896–1897 között építettek, melynek kapacitása 90 tonna/óra volt, amelyet egy 124 LE villamos motor hajtott, a Nyugati és Dilzsa bányákból kifejtett szén osztályozását végezte 80.

A Petrozsényi Csoport bányáinak szükséges villamos energiát az 500 kVA teljesítményű villanytelep szolgáltatta, amelyet a Brassói Társulat épített 1894-ben és to-

vábbfejlesztette 1898-ban és 1901-ben. A villanytelep 1916-ig üzemelt, de 1910. után csak rövid időközökben működőt, inkább mint tartalék berendezés szolgált.

Mint látjuk, a műszaki felruházás a Zsil-völgyi bányászat fontos jellegzetessége, ami biztosítja a Birodalom más részeiben folytatott bányászattal egyenlő vagy azt túlszárnyaló szintet, és megalapozza hosszú távú fejlődését.

Ezen előrehaladásokat a korabeli statisztikai adatok is tükrözik, de a korabeli egyetemi tankönyvek és cégek katalógusai tanúskodnak róla [12].

Egy, a petrozsényi bányahatóság által 1911-ben előterjesztett jelentésből kiderül – a bányahatóság abban az évben alakult – hogy a Zsil-völgyében 268,7 km hosszú ipari vasút létezett, melyből 45,6 km gőzmozdonyos vontatásra és 8,5 km villamos mozdonyos vontatásra voltak beállítva, valamint 16,7 km hosszú sodronypálya volt működésben; létezett 23 akna és 7 sikló; 11 villanygenerátor működött 9853 kVA, azaz 13400 LE teljesítménnyel; a gőzgépek összteljesítménye 2900 LE; 30 réselőgépet és 217 fejtőkalapácsot használtak, amelyeknek 17 kompresszor szolgáltatta a sűrített levegőt stb.

Ez a műszaki fejlődés a széntermelés fokozatos növekedését szolgálta, és valóban, ez az 1868-ban elért 852,90 tonnától (ez az első ismert széntermelésre vonatkozó adat) 1913-ban a termelés eléri a 2229855,30 tonnát, mely termelési szint csak a XX. sz. 40-es éveiben lesz újból megközelítve. Hozzávetőlegesen megjegyezzük, hogy a 2013. évi Zsil-völgyi széntermelés kb. ugyanennyire zsugorodott.

Ezek, a Zsil-völgyi szénbányászatnak az úttörőkorszakában beillesztett újítások alapozták meg annak a későbbi műszaki fejlődésnek a kibontakozását, amely a II. világháború kezdetéig biztosította a Zsil völgye bányászatának az európai és világszínvonalú nívóját. Ide sorolható például a szénbányászat fejlődésében egyedi technológiai újdonságnak számító, a lupényi bányában, az 1926–1927 évben beindított, a világon az első kísérletezése: a teljes fémbiztosítással ellátott frontfejtés 11].

Szintén a forradalmi újítások közé sorolható, a petrillai bányában, Franz Kasper mérnök által kifejlesztett, az első pajzs típusú lépegető biztosítás, 1941-ben, pár évvel az angol (1944) Dowty cég által fejlesztett biztosítás előtt és jóval a szovjet eredetű OMKT pajzs előtt. Feltételezhető, hogy valamikor az újító kapcsolatban lehetett Ursitz Jánossal (aki hasonló idomú pajzsot, már akkor a bányászatban alkalmazott hidraulikus támokkal látta el, és 1959-ben szabadalmaztatta [9]).

Nemcsak saját szakemberek fejlesztéseivel volt világszínvonalon a Zsil-völgyi szénbányászat, hanem az akkoriban csúcstechnológiáknak és gépeknek számító eljárásoknak az ipari alkalmazásával.

A két világháború között a műszaki fejlesztés tovább folytatódik. Ez az a korszak, amikor a műszaki fejlődés lépést tart az általános európai fejlődés szintjével, és az időszak kiemelkedő technológiai újdonságait hamarosan alkalmazzák. Ebben az időszakban a műszaki berendezések korszerűsítésre kerülnek, új bányaüzemek nyílnak, az elektromos energiát az összes bányászati létesítmények alkalmazzák.

A lupényi bányában, a 30-as években, több korszerű fejtőgépet próbálnak ki, e tevékenység eredményeképpen a fejtési termelékenység eléri az akkoriban csúcsértéknek számító 7 tonna/műszak értéket.

Ezzel kapcsolatban, ezeknek előzményeként megemlítjük a Victor Blasian által szabadalmaztatott réselőgépet, amelynek szerkezeti felépítése befolyásolta e gépek későbbi fejlődését.

3. Következtetések

A Zsil-völgyi kőszénbányákban, a XIX. sz. végén és a XX. sz. elején a korát meghaladó műszaki technológia vívmányait szé-

leskörűen vezették be. Ennek eredménye a termelt szén minőségének és mennyiségének, úgymint a termelékenység és a gazdaságosság ütemes növekedése volt. Ez a trend tükröződött úgy a korszerű, de a földtani viszonyoknak megfelelő fejtésmódszerek alkalmazásában, mint a bányaüzemek kulcsberendezéseinek az észszerű kiválasztásában és a műszaki eljárásokban (szállítás, jövesztés, energiaellátás, meghajtás, víztelenítés, szelőztetés) alkalmazott megoldásokban.

Így például 1880–ban használták az első sűrített levegős ütve működő fúrókalapácsot, 1895–ben az első pneumatikus forgással működő fúrógépet. 1892–ben vezetik be az első réselőgépet, 1909–ben pedig az első tárcsás réselőgépet.

1880 és 1910 között a pneumatikus erő használata általánosan elterjed, minden bányaüzemben. Ugyanebben az időszakban gőzzel hajtott berendezéseket folyamatosan felváltják az elektromos meghajtású berendezések.

Az időpontnak megfelelő legkorszerűbb előbb gőzgéppel, később villanymotorral meghajtott akna-felvonógépek, egyéb folyamatos és nemfolyamatos szállítóberendezések lettek beillesztve.

Megjegyzést érdemel a központi villanytelepekben a gőzturbinák alkalmazása és a háromfázisos váltóáram bevezetése, a gőzgépes meghajtások ütemes helyettesítése villanymotorossal, melyek a kornak mindannyi műszaki újdonságai voltak.

Ugyanakkor, említést érdemelnek azok a berendezések, eszközök, amelyek a munkabiztonságot szolgálták, ezek is a kornak megfelelőek voltak, mint például a szellőztetők, a villamos világítás, az egyedi biztonságos lámpák és a jelző-kommunikációs eszközök.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Hoffmann, K.: *Bericht über die im Auftrage der durchgführten geol. Untersuchungen des Sieben tertiaren Kohlenbeckens im Zsiltal*. Magyar Földtani Társulat Munkálatai, IV. k., 1868.

[2] Idem, *Das Kohlenbecken im Zsiltal*. V. k., 1870. Kantner János: A Zsilvölgyi m. kir. kincstári szénbányászat. B.K.L., 1903. II. kötet, 16 sz., 235-258.

[3] Andreics, J., Blascheck, A.: *A Salgótarjáni Kőszénbánya részv.-társ. zsilvölgyi bányái*. B.K.L., XXXVI. 1903. II. kötet, 15 sz., 125–191.

[4] Krizko Bohus: *Az Urikány-Zsilvölgyi magyar kőszénbánya részvénytársaság lupényi bányatelepének rövid ismertetése.* B.K.L., XXXVI. 1904. I. kötet, 2 sz., 83–112.

[5] *** *A Felső-Zsilvölgyi Kőszénbánya Társulat vulkáni bányaműveinek rövid ismertetése.* B.K.L., XXXVI. 1903. II. kötet, 20 sz., 537–543.

[6] Baron, M., Wersanski, E., Andras, I.: *Valea Jiului la începutul secolului XX / Zsil völgye a XX. század elején.* Universitas, Petroşani, 2013. ISBN 978-973-741-350-5

[7] Déry K.: *A magyar szénbányászat ismertetése, különös tekintettel az 1900. évi párisi Nemzetközi kiállításon résztvevő vállalatokra.* Werbőczy Könyvnyomda Részvény-társaság, Budapest, 1900. http://mek.oszk.hu/10800/10849/10849.pdf

[8] *Magyar Bánya Kalauz.* (Déry Károly alapítása) Nyolcadik évfolyam, 1914. Budapest, 186–190.

[9] *Hidraulikus páncélpajzs frontfejtések biztosítására*. Ursitz József bányamérnök, Petőfibánya, 1959. május 14. Szabadalmi leírás, OTH, http://epub.hpo.hu/e-kutatas/?lang=HU

[10] *Réselőgép*. Blásian Victor okl. bányamérnök Lupényben. 1912. november hó 20-ika. Szabadalmi leírás, OTH, http://epub.hpo.hu/e-kutatas/?lang=HU

[11] Ilias Nicolae, Andras I., Baron M.: "T*echnological premiers (news) in the Jiu Valley (Romania) coal-field until the 2nd world war.*" Fifth International Mining History Congress. Milos Conference Center-George Eliopoulos, 2001.

[12] *Modern Methods of Producing Coal.* 1902 Catalogue Number 48. http://books.google.com/books?id=wrBIAAAAMAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_book_other_versions_r&cad=2_1

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 47–54. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.03
http://hdl.handle.net/10598/28540

EGÉSZSÉGVÉDELEM ÉS TÁRSADALMI FELELŐSSÉGVÁLLALÁS VESZÉLYES IPARI RENDSZEREKBEN

STUDY OF CSR AND HEALTH PROTECTION IN DANGEROUS INDUSTRIAL ENVIRONMENTS

Bakos Levente[1]

[1]*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Műszaki és Humántudomány Kar, Gépész Tanszék, Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C; Telefon / Fax: +40-265-206210, levelezési cím: bakos@ms.sapientia.ro*

Abstract

The paper presents the results of a study in Tg. Mureș Region, on large companies regarding the CSR and health concerned activities. Based on a wider research on SMEs, the objective of the present study is to compare the CSR concerns and health issues on an average SMEs compared to a large industrial companies where dangerous technologies are used. We assume that the knowledge about the CSR and the health concerns are far more developed in the case of industrial environments.

Keywords: *CSR, dangerous environment, SMEs.*

Összefoglalás

A dolgozat kiindulópontja egy olyan kis és középvállalatokon végzett tanulmány, amely a vállalati felelősségvállalás és az egészségvédelem kérdéseit elemezte közel háromszáz Marosvásárhely környéki vállalkozás esetében. Ebből a nagyobb tanulmányból kiindulva, a jelen dolgozat témája, hogy összehasonlítsuk az átlagos kis és középvállalatok esetében tapasztaltakat ugyanabban a régióban tevékenykedő, veszélyes környezettel is rendelkező nagy ipari rendszerekkel. Azt feltételeztük, hogy a felelősségvállalás és az egészségvédelem kérdései jelentős mértékben jelen vannak ezekben a rendszerekben.

Kulcsszavak: *társadalmi felelősségvállalás, veszélyes technológiák, KKV-k*

1. Társadalmi felelősségvállalás, aktualitás, marketing trend vagy PR?

Az EU által intézményesített megközelítés alapján a társadalmi felelősségvállalás alatt azt „az üzleti koncepciót értjük, melynek értelmében a vállalatok – önkéntes alapon – társadalmi és környezetvédelmi szempontokat érvényesítenek üzleti tevékenységük során és partnereikkel fenntartott kapcsolataikban”[1]. A vállalati szociális felelősség (CSR–Corporate Social Responsability, a továbbiakban ezt az általánosan elterjedt rövidítést használjuk) kulcsszerepet játszhat a fenntartható fejlődésben, miközben javíthatja Európa innovációs potenciálját és versenyképességét. Ez gondolatmenet és meghatározás tulajdonképpen az Európai Bizottság egy korábbi, vitaindítónak szánt *Zöld Könyvéből* [2] átvett meghatározás. A Bizottság 2001 júliusában tette meg az első igazán fontos lépést CSR-ügyben, ekkor a cél az volt, hogy

bevezesse a köztudatba a témát, széles körű vitát és eszmecserét generáljon, továbbá, hogy kipuhatolja, hogy milyen partnerekre számíthat a kérdés további napirenden tartásában. A beérkezett mintegy 250 válasz jelezte: óriási az érdeklődés és a fogadókészség a téma iránt.

Mára már a társadalmi felelősségvállalás egyre divatosabb fogalom, olyannyira, hogy lassan beépül a hétköznapi szóhasználatba. Multinacionális cégek képviselői, helyi és európai rangú politikusok, kormányok és vidéki civil szervezetek gyakran szövik retorikájukba ezt a fogalmat. Ennek okai között minden bizonnyal megtaláljuk a valós vagy vélt társadalmi igényt. Mondhatnánk, hogy a dolgok ezzel rendben is vannak, hiszen a társadalmi felelősségvállalás létjogosultságát ma már kevesen vitatják, függetlenül attól, hogy a fogalom mögött hol a környezetvédelmet, az etikus magatartást vagy a szponzori tevékenységet feltételezzük.

A lényeg az, hogy mindig valami pozitív dolog eléréséről van szó a közjó érdekében. Az utca emberének, de még számos cégvezetőnek is még mindig leginkább az jut eszébe a felelős vállalatról, hogy az az elvárás, hogy támogatni kell a helyi zöld szervezeteket, a diákszövetséget vagy színházat, esetleg a hontalanokkal foglalkozó vagy rákos gyerekeket segítő alapítványt. A szolidaritás kétségtelenül fontos kérdés, szinte genetikai kódunkba íródott szabály, hogy az erősek feladata a gyengék segítése. De azt állítani, hogy például pusztán azért– s hadd vegyük példának azt a romániai vállalatot, amelyről még részletesebben is írunk, az Azomureş vegyi üzemet–, mert támogat egy-két élvonalbeli sportegyesületet, ez a cég egy felelős vállalat lenne, nyilvánvaló túlzás. S ha azt is megnéznénk, hogy a profitjának – de inkább az éves forgalmának– hány százalékát fordítja erre, akkor igazán az is kiderül, hogy ez a támogatás lehet, hogy még PR fogásnak is kevés, és a tudatos felelősségvállaláshoz semmi köze.

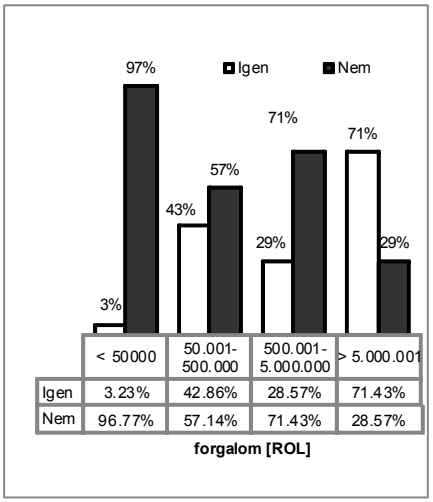
2. Előzmény: felmérés a társadalmi felelősségvállalás kérdésében KKV-nél

A szerző vezetésével pár hónapja befejeződött egy olyan kutatás, amely, több mint 300 Marosvásárhelyen és környékén tevékenykedő kis és középvállalat esetében azt vizsgálta, milyen mértékben vannak tisztában a CSR fogalmával és milyen mértékben használják ezt fel a nyilvános és belső kommunikációban. [3], [4]. A KKV-k a következő feltételeknek kellett megfeleljenek:

- a székhely Marosvásárhely Nagyvárosi Övezetben legyen;
- tevékenységi kör: bővebb értelemben vett ipari jellegű tevékenységek (kizártuk a kereskedelem, vendéglátóipar, turizmus, tanácsadás, közigazgatás, szállítás, stb. területeket);
- Alkalmazottak száma minimum 10;
- éves forgalom: min. 65 000 euró.

A ténylegesen mért adatok alapján a vizsgált populációban az átlag alkalmazottszám 35 volt, az átlagos formalom pedig 1500000 euró. A vállalatok helyszínén végzett kérdőíves felmérést 35 Sapientiás hallgató végezte el 2013. június–szeptember periódusban. Tekintettel arra, hogy ipari jellegű tevékenységeket vizsgáltunk, a KKV-ra egyébként jellemző alacsony forgalom, illetve az alacsony alkalmazottszám, ezen a területen kevésbé jellemző a vizsgált terület specifikuma miatt. Ezeket az átlagokat lényegesen torzítja a vizsgált közepes vállalatok teljesítménye. A kisvállalatok esetében mért gazdasági mutatószámok sokkal szerényebbek.

Az **1. ábrán** a CSR fogalmának ismertségét mutatjuk be, a cégek éves forgalma függvényében meghatározott csoportokban.

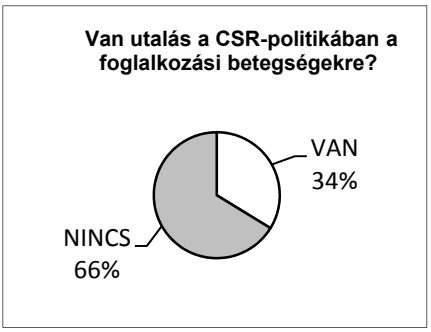


1. ábra. *A CSR fogalmának ismerete és a pénzügyi forgalom kapcsolatának vi-szonya az elemzett mintán*

A 300 cégből álló mintán mért adatok rosszabb számokat eredményeztek az országos és a nemzetközi szinten, nagyvállalatokon végzett kutatások adataihoz képest. Lásd [5], [6], [7]. Az ábrán az látható, hogy a pénzügyi forgalom növekedésével egyre inkább rendelkeznek a vállalatok vezetői CSR-el kapcsolatos ismeretekkel. Magyarán minél nagyobb egy vállalat, annál inkább odafigyelnek a felelősségvállalás kérdésére. Látható, hogy a kisvállalatok vezetőinek 97%-a nem hallott a CSR fogalmáról, míg a nagyobb vállalatoknál ez a szám 29%-ra csökken.

A mi esetünkben a célpopuláció 1623 cég, a minta reprezentatív, a relatív hiba ±4,87% és a megbízhatósági szint 95%.

Az ábrán látható eredmény önmagában az előre feltételezett eredményt jelenti, sőt a részletesebb elemezések sem mutattak számottevő eltéréseket. Tovább elemezve az adatokat, abban sem tapasztaltunk ellentmondást, hogy hipotézisként feltételeztük, hogy az egészséggel, munkavédelemmel kapcsolatosan a vállalatok nem éreznek kényszert arra, hogy többet tegyenek, mint a törvényes előírás. Erre vonatkozóan igen kifejező a **2. ábrá**n bemutatott helyzet.



2. ábra. *A vizsgált vállalatok CSR-politikája és a foglalkozási megbetegedésekre vonat-kozó felelősségvállalás*

Azok közül a vállalatok közül, ahol létezik valamilyen szintű CSR tevékenység – ez a vizsgált vállalatok alig 40%-a –, nos ezen vállalatok közül is több mint 66% nem gondolt az egészségvédelemmel kapcsolatos CSR-lehetőségekre. Amenynyiben csak a fent felsorolt néhány adatból indulunk ki, már akkor is felmerül a kérdés, hogy vajon mi lehet a helyzet ugyanazon a földrajzi területen elhelyezkedő nagyvállalatok esetében. A kis és közepes vállalatok esetében nyilvánvalóvá vált, hogy a vállalat növekedésével a CSR egyre fontosabb kérdés. Ugyanakkor néhány látványos kivételtől eltekintve alig van tudatosság a CSR-tevékenységekben, és a specifikusan vizsgált egészségvédelmi/munkavédelmi kérdésekben szinte teljes hiány mutatkozott. Ez ellentmond a nagyvállalatokon végzett, hazai vagy nemzetközi kutatásoknak. Lásd [5], [7].

További kérdéseket vet fel az, hogy az előző KKV-t vizsgáló kutatás hipotéziseiben nem szerepelt hangsúlyosan a földrajzi helyzet, csak a méret. Továbbá a minta reprezentativitása érdekében akkor nem kerestük azokat a vállaltokat, amelyekben magas kockázattal járó ipari tevékenység folyik. Ennek eredményeképpen fogalma-

zódott meg a jelen dolgozatban nagyvállalatokat elemző kutatás gondolata.

3. Egészségvédelem és felelősségvállalás nagy ipari vállalatoknál

Az alcímben, illetve tulajdonképpen a főcímben is megfogalmazott vizsgálati halmaz a valóságban lényegesen komplexebb és szűkebb is. Tulajdonképpen olyan nagyvállalatokat elemzünk a vállalásuk alapján – s ezt a nyilvános megjelenések elemzésére építjük –, amelyekben veszélyesnek tartott, magas kockázatú ipari folyamatok zajlanak. Két további kiválasztási kritérium volt az, hogy azon a földrajzi területen tevékenykedjenek, mint az előző kutatásban levő populáció, és az, hogy lehetőleg egy nagy multinacionális holdinghoz tartozzanak. Az első szempont azért lényeges, mert össze lehet hasonlítani a kis vállalatoknál kapott eredményekkel, az utóbbinak meg azért van értelme, mert lehetőség adódik a helyi vállalat és az anyavállalat CSR-koncepciójának az összehasonlítására. A továbbiakban a vizsgált vállalatok közül bemutatunk néhányat.

3.1. Azomureş vegyi kombinát

Az 1962-ben alakult vállalat a legnagyobb műtrágyatermelő Romániában. Jelenleg a kombinát három termelőüzemből áll: ammónia, ammónium-nitrát és a salétromsav gyártó üzemekből. A gyár 1966-tól elsősorban műtrágyaféléket és a műanyagiparban használt melamint gyárt. A rendszerváltás után folyamatosan átalakult, privatizálták, és végül 2012-től az új tulajdonos az Ameropa AG svájci konszern.

A honlapon [8] a CSR-re vonatkozó információk gyakorlatilag nem léteznek. Megtalálható ugyan egy-két kép, amikor (vélhetőleg) a gyár kapuján kívül 4-5 személy (a közel 3000 alkalmazottból és bedolgozóból) épp fát ültet. Tekintettel az igen negatív, környezetet szennyező arculatára a cégnek ez inkább rossz vicc, mint CSR-akció. A honlapon még megtalálható egy sajtóközlemény, amelyből kiderül, hogy az Azomureş és Gheorghe Hagi Futballakadémia partneri szerződést írt alá.

Bár a cég több helyi sportklub támogatója, ennek bemutatásáról a vállalat a honlapon elfeledkezik. Ennek vélhető oka, hogy sem az összeg, sem a téma nem fontos számukra.

A nemrég kinevezett fiatal vezetőség, a cég korábbi gyakorlatától eltérő módon, formális partneri viszonyt kezdeményezett 2014 szeptemberében a város vezetőségével, és a 2015. decemberig történő beruházások bemutatása kapcsán a sajtó fele is némileg nyitott ugyanebben a periódusban. Bár a beruházások több százmillió eurós értékre rúgnak, s szinte kivétel nélkül a környezetvédelemmel hozhatók kapcsolatba, a vállalat inkább a hatóságok által megfogalmazott elvárásoknak akar megfelelni – retorikai szinten is–, s távolról sem látszik a felelősségérzet a város lakosai, esetleg a saját alkalmazottaik iránt.

Ezenfelül a vállalat és a környezete közötti kommunikáció a jogszabályok által megkövetelt környezetvédelmi, biztonsági, munkavédelmi kommunikációra szorítkozik. A honlapon ezek megtalálhatók, így például a minőségre, a környezetvédelemre és a nagy balesetekre vonatkozó kötelezettségvállalás is. Ezek egyértelműen a normatívák által megfogalmazott kényszerűségből vannak jelen. Mindegyik dokumentum önmagában semmire nem használható, legfeljebb egy auditor számára egy „pipát" jelentenek a kötelező dokumentumok jegyzékében.

Szöges ellentétben az Azomureş vegyi kombináttal, az anyavállalat honlapján [9], a mindössze 12 szóösszetételt tartalmazó nyitó oldalon, az „Ameropa" szó háromszor, a „social responsibilty" kétszer jelenik meg! További három szó „integrity", „fairness" és „Foundation" szintén a felelősségtudatú vállalatra utaló fogalom.

3. ábra. *Az Azomureş vállalat karbantartási időszakban és működésben (forrás felső kép www.azomures.com, alsó kép http://andreeasoft.blogspot.com)*

Ennek a szembetűnő hangsúlykülönbségnek az a vélhető oka, hogy egy apró kommunikációs hiba óriási presztízs- és ebből kifolyólag egyben óriási pénzügyi veszteséget is jelenthet egy vállalat számára. Ebben a szektorban történt botrányok rávilágítottak a vállalatok sebezhetőségére, és fokozódott a tudatosság a vállalati magatartásminták tekintetében. Egyre kevésbé hagyható figyelmen kívül a különböző nyomásgyakorló csoportok (média, fogyasztók, környezetvédők, munkavállalók, politikai aktivisták, civil szervezetek) heves, gyors és hangos fellépése a vegyipari vállalatokkal és nem csak velük szemben.

Összegezve a fentieket, megállapítható, hogy az Azomureş esetében, mint igen érzékeny tevékenységi területen tevékenykedő vegyipari vállalatnál, ahol minden bizonnyal megfelelően kezelik a technológiából adódó veszélyeket, az egészségvédelemmel kapcsolatos felelősségvállalás kérdésében sokkal nagyobb nyilvánosság és elkötelezettség lenne elvárható. A nemzetközi szinten jelen levő különböző nyomásgyakorló csoportok egy kisváros szintjén, vagy nincsenek jelen, vagy nem elég hatékonyak.

3.2. Richter Gedeon gyógyszergyár

Az előző vegyipari vállalathoz valamelyest közelálló területen, a gyógyszeriparban, tevékenykedik az elemzésünkben szereplő második nagyvállalat.

A nemzetközi piacokon is igen ismert magyarországi anyavállalathoz tartozó marosvásárhelyi cég, a Gedeon Richter Romania SA a rendszerváltás előtti években épült Marosvásárhely belvárosában, ARMEDICA néven. A Richter cégcsoport tagjává, privatizációs folyamat eredményeként 1998-ban vált.

A cég honlapját elemezve megállapítható, hogy a cég eleget tesz annak a minimális elvárásnak, hogy bizonyságot tegyen – sajnos itt is csak egy formális nyilatkozat formájában–, a környezetvédelemre vonatkozó kötelezettség-vállalásáról.[10] Ugyanitt, egy szintén viszonylag „házi feladat”-szerű tájékoztatásból megtudhatjuk a szervezet felelősségtudatát a tudomány és az oktatás irányába és ennek a támogatásáról. Itt végre, kissé elrejtve, akár pár konkrétum is megtalálható.

4. ábra. *A Richter támogatja egy civil szervezet egészségmegőrző programját (forrás www.zi-de-zi.ro)*

Ezzel a rövid kis tájékoztatóval akár dicséretet is érdemelhetne a vállalat, hiszen olyan CSR-szerű tevékenységet tud felmutatni, mint amilyent a városban működő nagyvállalatok többsége nem.

A **4. ábrá**n látható eseményen a gyógyszergyár anyagilag is támogatta a ProCardia alapítvány „100méter az egészségért" projektjét. A partnerség nem jelenik meg a cég honlapján, pedig ez egy „igazi" CSR-momentum.

A gyógyszergyárnak szánt dicséret szinte elhamarkodottnak mondható, ha megnézzük ebben az esetben is az anyavállalat honlapját. Ehhez képest, bizony nagyon halovány a marosvásárhelyi vállalat CSR-tevékenysége. A Richter Gedeon Nyrt honlapján [11], végre megtaláltuk azt a CSR-tevékenységet, amelyet 300 marosvásárhelyi cégnél kerestünk, s nem találtunk: a munkahelyi egészségre és biztonságra vonatkozó felelősségvállalást. Kis kereséssel még konkrétumokról is beszámolnak a budapestiek.

Összegezve a fentieket, megállapítható, hogy az Gedeon Richter Romania esetében érzékelhető, hogy (hasonlóan a nemzetközi viszonyokhoz) a felelősségvállalásban a gyógyszeripar előbbre áll más iparterületekhez képest, és helyi szinten részben az anyavállalat, részben a helyi piaci viszonyok hatására létezik CSR tevékenység.

A dolgozat terjedelme nem engedi meg a többi nagyvállalat elemzésének a bemutatását, de Gedeon Richter viszonylag szerény, de pozitív példája nem köszön vissza olyan nemzetközi szinten is jegyzett helyi vállalatoknál, mint a Dürkopp Addler, CIE Matricon, Mobex és mások. Ezeknél kivétel nélkül szinte semmi értékelhető tevékenység nem mutatható ki, pedig az első két esetben létezik egy transznacionális anyavállalat, amelynek szintjén van értékelhető CSR-tevékenység.

3.3. CNE Cernavoda

A CNE Cernavoda vállalat nem más mint a román energetikai ipar talán legnagyobb büszkesége, az ország egyetlen atomerőműve. Az atomerőmű CSR-tevékenységének az elemzése alapvetően két ok miatt került be a dolgozatba. Elsősorban azért, mert az alaptevékenysége veszélyesnek minősíthető lenne, ha nem tartanák be az igen szigorú szabályokat. Másodsorban azért mutatjuk be, mert semmilyen kapcsolata nincs az általunk elemzett populációval. Ez azért érdekes, mert az elemzés konklúziói, amennyiben hasonlóak lesznek az elemzett populáción tapasztaltakhoz, akkor feltételezhető, hogy nem a régió sajátosságával állunk szemben, hanem több romániai kisvárosra jellemző sajátosságról van ez esetben szó.

A CNE Cernavoda, közismertebb nevén a Cernavoda Atomerőmű, jogi értelemben a bukaresti S.N. Nuclearelectrica S.A. cég fiókvállalata. Az erőmű a maga 11Twh óra teljesítményével a hazai elektromos energiafogyasztás 20%-át fedi le. A kb.93%-os termelési kapacitás kihasználtságával a világ harmadik leghatékonyabb üzeme. Forrás: [12], [13].

Ha elemezzük az erőmű honlapját, megtalálhatjuk, hogy a vállalat elkötelezett a személyzet és a lakosság védelme érdekében az olyan veszélyekkel szemben, amelyeket egy ipari környezet, jelen esetben egy atomerőmű jelenthet. Ez az érdekes szóhasználat, „ipari környezet jelenthet" érdekes módon az Azomureş vállalat retorikájában is gyakran fellelhető, enyhén jelezve azt, hogy nem az ő hibájuk és felelősségük, hogy egy lakott terület közelében folytatnak veszélyesnek is minősíthető tevékenységet. Az Atomerőmű honlapját elemezve megállapítható, hogy a vállalat a munka- és egészségvédelem területén a hazai és nemzetközi jogszabályok, illetve a szakma gyakorlatából származó óvintézkedéseket teszi meg a saját és a partnerek al-

kalmazottai védelmének érdekében. Ennyi és semmi több. Sőt ebben az igyekezetében is hivatkozik a gazdasági hatékonysági szempontok figyelembevételére.

Elemezve a honlapot megállapítható, hogy a vállalat minden bizonnyal törekszik a jogszabályok betartására – erre vonatkozóan kimerítő tájékoztatást is ad –, de hogy a társadalmi felelősségvállalás terén fogalma sincs, mi a feladata, az nem kétséges. A kötelező munka- és egészségvédelmi jogszabályok betartása, pontosabban az ebből fakadó tájékoztatási kötelezettségeknek eleget téve, a tájékoztató szövegből egyértelműen látszik a megfelelési kényszer, a puszta formalitás. Nyoma sincs a felelősségérzetnek, de még a PR-fogásoknak sem.

Ezzel szemben a bukaresti anyavállalat esetében világosan látható, hogy a CSR tevékenységek bemutatása igen fontos a számukra. Olyan CSR-projekteket is felsorolnak, amelyek az atomerőművel kapcsolatosak, de a leányvállalat honlapján nem szerepelnek (lásd **5. ábra**, ahol a CNE Cernavoda által épített híd látható, ez a CSR-projekt kifelejtődött az erőmű honlapjáról), illetve olyanokat is felsorolnak CSR-projektként – mint például élelmiszer-üzlet létesítése a gyár területén –, amelyek csak jóindulattal tekinthetők CSR-jellegű tevékenységnek.

3. Következtetések

A tanulmányozott vállalatok esetében az a feltételezés, úgy tűnik, nem igazolódott be, mely szerint a nagyvállalatok érzékenyebbek a vállalati felelősségvállalás kérdésében. Ezek a vállalatok nem mutattak számottevő eltérést az eredeti – lényegesen nagyobb– KKV-ket tartalmazó mintához képest. Ez előrevetít egy eredetileg elhanyagolt tényezőt: a tevékenység lebonyolításának környezetét. Mivel a CSR-politika részben egy reakció a vállalat részéről a társadalom által gyakorolt hatásra, amennyiben ez a hatás kismértékben nyilvánul meg, ez esetben a reakció elmarad. Ezt látszik igazolni, hogy a két kisvárosban, Marosvásárhelyen és Cernavodán, az elemzett vállalatok szinte semmilyen érdemlegeset nem kívántak tenni a CSR területén, ugyanakkor ugyanaz a vállalat más környezetben igen fontosnak tartja jelezni valamely közérdeklődésnek örvendő kérdésben a szerepvállalást. A cernavodai esetben vélhetőleg a fővárosi „nyomás” hatására történtek CSR-projektek, de ezek inkább voltak érdekesek a fővárosnak, mint a helyi lakóknak. Egyébként elemezve a helyi sajtót nem találtunk arra vonatkozóan adatot, hogy esetleg az lenne az ok, hogy a helyiek úgy élik meg ezeket a projekteket, hogy ez nekik jár, tehát nem egy önként vállalt, felelősség, hanem egy korábbi alku következménye.

A vállalati felelősségvállalás a szakirodalomban eddig elsősorban a nagy és multinacionális vállalatokra jellemző elkötelezettséget jelentenek.

5. ábra. *A CNE Cernavoda által épített híd, mint CSR-projekt.*

Ez a kutatás rávilágított arra, hogy nemcsak a vállalat mérete vagy multinacionális jellege a meghatározó, hanem az is, milyen

elvárásai vannak annak a közösségnek, ahol kifejtik tevékenységüket. Függetlenül a termelési folyamat veszélyes jellegétől vagy a foglalkozási megbetege-dések megjelenésének valószínűségétől, ezek a vállalatok akkor tanúsítanak a jogszabályok feletti felelősségvállalást, ha ezek piaci elvárásokká lépnek elő, vagy a civilek nyomása számottevő.

A CSR-technikák hiánya nem feltétlenül a szándékos (?!) vagy a felelőtlen hozzáállás eredménye, hanem annak, hogy a társadalmi felelősség még nem jól felfogott anyagi érdek. A CSR politika által olyan potenciális előnyők érhetők el, mint a javuló vállalati arculat, a márka felértékelődése vagy az, hogy a vállalat vonzóbb lesz a jó szakemberek és a képzett munkaerő számára, s a cégnek könnyebben sikerül megtartania az értékes dolgozóit. Mindezek nem jelennek meg a társadalmi igény megfogalmazódása előtt. A jó kapcsolat a közösséggel, a médiával vagy a haló-ságokkal akkor válik igazán értékké, ha ez mindkét fél számára nyilvánvaló.

Ez esetben ameddig a civil érdekcsoportok nem erősödnek meg, a tudatos fogyasztók tömeges megjelenése nem lehetetleníti el a társadalmilag felelőtlen vállalatokat, addig nem várható általános változás ezen a téren.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] *** *A vállalati társadalmi felelősségvállalásra vonatkozó megújult uniós stratégia (2011–2014).* Brüsszel, 2011.10.25. COM (2011) 681 végleges. http://eur-lex.europa.eu/ LexUriServ/LexUriServ.do ?uri =COM:2011: 0681:FIN:HU:PDF, 2011. november 18

[2] *** *Green paper – Promoting a European framework for Corporate Social Responsibility.* Commission of the European Communities, Brussels, 18.7.2001, COM(2001) 366 final http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ. do?uri=CELEX:52001DC0366:EN:HTML, megtekintve 2011. november 18.

[3] Bakos, L.: *Survey on Managerial Attitudes Regarding CSR in the Case of SMEs.* International Conference of Management and Industrial Engineering, ICMIE 2013, Bucureşti, 2013 ISSN 2344-0937, 115–123.

[4] Bakos, L.: *Decision making and managerial attitude regarding Corporate Social Responsability in the case of Small and Middle Sized Companies.* Challenges and Innovation in Management and Innovation, SIM2013, Timişoara, http://www.sciencedirect.com/science/article/ pii/S187704281402031X

[5] Baleanu, T., E., Chelcea, L., Stancu, A.: *The Social Responsibility Of The Top 100 Romanian Companies. An Analysis Of Corporate Websites*. Amfiteatru Economic, Volume: 13 Issue: 29 Pages: 235–248. Published: 2011

[6] Kun A.: *A multinacionális vállalatok szociális felelőssége – CSR-alapú önszabályozás kontra (munka)jogi szabályozás.* Ad Librum, Budapest, 2009, ISBN**: 978-963-9888-86-9**

[7] *Studiu privind implicarea companiilor din România în activități de „Responsabilitate Socială Corporatistă*". POSDRU/93 /3.3/S/62346 pályázat, koordináló szerv: Bukaresti Kereskedelmi, Ipari és Mezőgazdasági Kamara http://www.centras.ro/ro/proiecte/parteneriat -pentru-dezvoltare-posdru-93-3-3-s-62346.html

[8] www.azomures.com, 2014. október 24.

[9] www.ameropa.com, 2014. október 24.

[10] www.gedeon-richter.ro, 2014.október 24.

[11] www.richter.hu, 2014.október 24.

[12] www.nuclearelectrica.ro, 2014.október 24.

[13] www.cne.ro

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 55–60. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.04
http://hdl.handle.net/10598/28548

EGY ÓKORI GABONAÖRLŐ SZERKEZET – A TAPOSÓMALOM ÚJJÁSZÜLETÉSE

CONSTRUCTION OF AN ANCIENT GRAINMILL – THE REBIRTH OF THE TREADMILL

Bitay Enikő[1], Márton László[2], Mohácsi Bugárszki Norbert[3], Angi Norbert[4]

[1]*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Műszaki és Humántudomány Kar, Gépész Tanszék, Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C; Telefon / Fax: +40-265-206210, ebitay@ms.sapientia.ro,*

[2]*Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, 400009 Cluj-Napoca, str. Napoca (Jókai u.) 2–4., martonlb@yahoo.com,*

[3]*Szent Miklós Rend Egyesület, Mohács*

[4]*Transilvania Egyetem, Brassó*

Abstract

The research of the evolution history of grain-mill mechanisms (from millstones to water-mills) represents an emphasized research field of the Department of Engineering Sciences of the Transylvanian Museum Society.

The results of research work performed in Magyargyerőmonostor, Kisbacon and Torockó are included in several publications. This paper presents the structure and the manufacturing technology of the treadmill that is considered a rare milling mechanism. The paper emphasizes the connection between the theoretical research and the practice of the manufacturing.

Despite of the fact that the studied treadmill was manufactured with the purpose to be only a museum object purpose, the realization is significant also from the point of view of technical history.

The 5.4 meter diameter treadmill of Mohács can be brought into rotation by the bodyweight of a person walking inside of the tread-wheel. The construction contains also an accelerating gear train containing two serial gear drives that increases the low angular speed of the tread-wheel – insufficient for performing the milling process- up to a value that fits the angular speed of the millstone grain mills. The millstone-couple's upper, rotating stone is fixed on the vertical axis of the final gear of the accelerating train.. This is completed by the other parts of the grinding unit. The treadmill is built up of three functional parts: the tread-wheel, the accelerating train and the grain-mill, which includes the two grindstones.

Keywords: *tread-wheel, train, power-transmission, grinding, grindstones.*

Összefoglalás

A gabonaőrlő szerkezetek fejlődéstörténetének kutatása (az őrlőkövektől a vízimalmokig) az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának kiemelt témaköre.
A magyargyerőmonostori, a kisbaconi, vagy a torockói kutatások eredményeit jó néhány közlemény, tanulmánykötet tartalmazza. Jelen dolgozat egy kevésbé ismert őrlőszerkezetet, a taposómalmot, annak gyártási folyamatát mutatja be, kapcsolatot teremtve az elméleti kutatások és a gyakorlati kivitelezés között.
Bár muzeális rendeltetéssel készült technikatörténeti objektumként is jelentős alkotás.

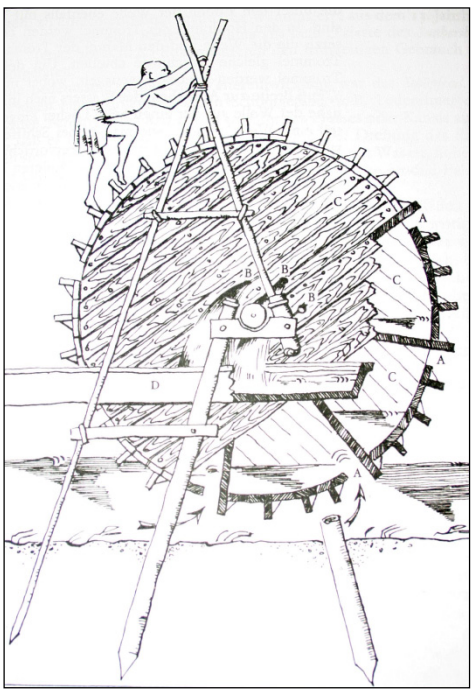
A mohácsi taposómalom 5,4 méter átmérőjű taposókerekét a belsejében lépkedő személy testsúlya hozza forgásba. A szerkezetnek kétlépcsős, gyorsító fogaskerék-áttétele van, ami az őrlőköves gabonamalmokra jellemző forgási sebességre növeli a taposókerék alacsony, az őrlésre alkalmatlan fordulatát.

Az utolsó fogaskerék függőleges tengelyére támaszkodik az őrlőkő pár felső, forgó köve. Ezt az őrlő egység többi részeleme egészíti ki. A taposómalom három funkcionális részből tevődik össze: a taposókerék; a gyorsító fogaskerék-áttételek és az őrlő kőpárt magában foglaló gabonamalom.

Kulcsszavak: *taposókerék, fogaskerék-áttétel, erőátvitel, őrlés, őrlőkövek.*

1. Bevezető

A taposókerék, a száraz malmok jellegzetes eleme, emberi erővel működtetett energiaforrás. A taposómalmok a taposókerék által létrehozott forgómozgást alkalmazzák. Bár malomnak hívják, megjelenése korában főleg vízemelő bányagépek működtetésében vált ismertté.



1. ábra. *Taposómalom ábrázolás Vitruvius leírása szerint [1].*

Első írásos említése Vitruvius (Kr.e. 88–26) Római építész és mérnök *De architectura* (Tíz könyv az építészetről) című művében szerepel [1], és vízemelő meghajtására használták (**1. ábra**).

Georgius Agricola a XVI. század közepén, kora bányászatát és kohászatát bemutató kötetében a *De Re Metallica*-ban [2] már a gyakorlatban is alkalmazott bányavízfelvonóként mutatja be. (**2. ábra**).

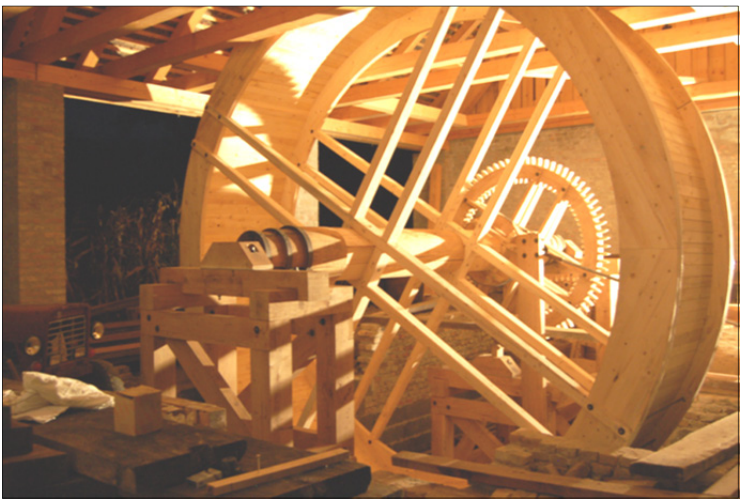
2. ábra. *Taposókerekes kannás vízemelő gép (A – taposókerék, B – tengely, C – kettős lánc, D – a kettős lánc egyik szeme, E – kannák, F – egyszerű kapocs, G – háromszor hajlított kapocs) [2]. Bányavízemelő meghajtása taposókerékkel, Agricola könyvéből [2]*

Gabonaőrlő berendezéseknél is alkalmazták, leírása magyar nyelven 1935-ből származik (Balázs György 1988, 403–415.) [3].

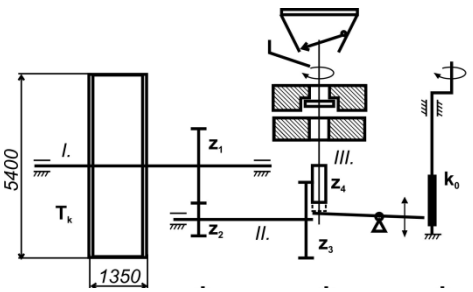
Jelen dolgozat azt a taposómalmot mutatja be, amely a mohácsi székhelyű Szent Miklós Rend Egyesület által létrehozott, a gabonaőrlés fejlődéstörténetét bemutató létesítmény számára készült (**3 a–b. ábra**).

A taposómalom három funkcionális részből tevődik össze, ezek:

- a taposókerék;
- gyorsító fogaskerék áttételek;
- az őrlő kőpárt magában foglaló gabonamalom;



3a. ábra. *A mohácsi székhelyű Szent Miklós Rend megrendelésére készült taposómalom.*



3b. ábra. *A taposómalom kinematikája*

A mohácsi taposómalom 5,4 méter átmérőjű taposókerekét a belsejében lépkedő személy testsúlya hozza forgásba. A szerkezetnek kétlépcsős, gyorsító fogaskerékáttétele van, ami az őrlőköves gabonamalmokra jellemző forgási sebességre növeli a taposókerék alacsony, az őrlésre alkalmatlan fordulatát.

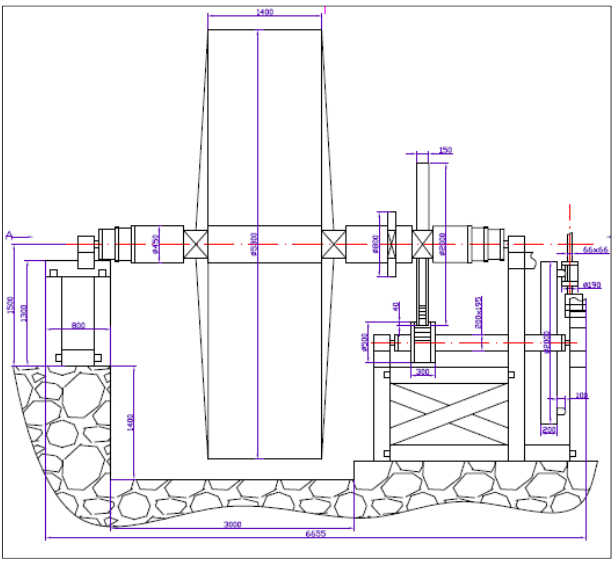
Az utolsó fogaskerék függőleges tengelyére támaszkodik az őrlőkő pár felső, forgó köve. Ezt az őrlő egység többi részeleme egészíti ki.

2. A mohácsi taposómalom jellegzetességei, felépítése, működése

A mohácsi taposómalom felépítése és működése a **4. ábra** segítségével követhető.

2.1 A szerkezet energiaforrása: a taposókerék

Fenyő fűrészáruból készült az 5400 mm átmérőjű, 1350 mm szélességű taposókerék. Két oldalán a 400 mm szélességű perecet kék-két pár küllő rögzíti és központosítja a 400x400 mm-re kialakított gerendely szakaszra. A taposókerék belső átmérője 5000 mm, ez a taposófelület. Az így kialakított belső felület hossza 15 m.



4. ábra. *A taposómalom felépítése, működési elve*

A taposó személy testsúlya a két és fél méteres sugárral, amit erőkarként értelmezünk, egy bizonyos nagyságrendű forgatónyomatékot hoz létre, amelynek értéke:

$$G_{test} \cdot R_{tk} = M_{tk} \qquad (1)$$

Ahhoz, hogy az így létrejött nyomaték legyőzze az örlési folyamattal kialakult súrlódásokat, erőhatásokat, a következő egyensúlyi egyenlet szerint kell működnie:

$$G_{test} \cdot R_{tk} \cdot \eta_{tk} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \geq F_{\text{őrlés}} \cdot R_{\text{kő}} \cdot \mu \qquad (2)$$

A fenti kifejezésben:

G_{test} – a taposó személy súlya [kg];

R_{tk} – a taposókerék sugara [m];

η_{tk} – a taposókerék hatásfoka;

η_1 – az első fogaskerékpár hatásfoka;

η_2 – a második fogaskerékpár hatásfoka;

$F_{\text{őrlés}}$ – az őrlési erő [N];

$R_{\text{kő}}$ – az őrlőkő sugara [m];

μ – súrlódási tényező, ami az őrlőkövek felületi érdességétől, az őrlendő gabonaszemek súrlódási és apríthatási tulajdonságaitól függ.

Az őrlés folyamán a két őrlőkő aktív felülete nem érintkezik egymással. Ezért a taposókerék által létrehozott energia a szerkezet meghajtását, valamint az őrlési felületek között található gabonaszemek aprítását kell megvalósítsa [4]. A taposó személy testsúlya által kialakított erőhatást az **5. ábra** mutatja be.

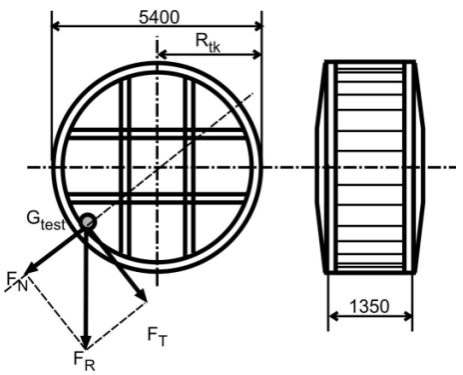
2.2. Az erőátvitel és gyorsító fogaskerék-áttételek

Megfelelő testsúlyú személy a taposókeréknek kb. három-percenkénti fordulatát, képes folyamatosan fenntartani. Ez a fordulatszám túl alacsony a folyamatos őrléshez. A normális őrlőkőfordulat 80-120 percenként [4]. Az **5. ábra** azt a két fogaskerékpárból álló hajtást mutatja be, amely a taposókerék három fordulatát megnöveli az őrlési sebességre.

Az első pár fogaskerék, a Z1/Z2 fogszáma 78/27 fog, az áttételi szám 2,9. A fogaskerekek homlokfogazatúak, beágyazott fogakkal. A fogágyak tölgyfából, a

fogak gyertyánból készültek. A gyertyán szilárdsági, valamint súrlódási tulajdonságai a legjobbak. E kerék rajza a **6. ábrán** látható.

A Z2 fogaskerék pálcás típusú (**7. ábra**), amire azért volt szükség, hogy a működés közben létrejött axiális alakváltozásokat a 2 m átmérőjű fogaskerék esetében kompenzálni lehessen. A Z2 fogaskerék anyaga megegyező a Z1 fogaskerék anyagával. A beépített fogakat acélkarikák rögzítik a faágyba. A második pár fogaskerék gyorsító funkciója mellett a vízszintes tengely forgását függőleges síkba viszi át. Gyakorlatilag úgy működik, mint egy 90 fokos, kúpos fogazású fogaskerékhajtás.



5. ábra. *A taposó személy által kialakított erőhatások*

6. ábra. *A két gyorsító fogaskerékpár*

7. ábra. *A homlokfogazású, fából készült fogaskerék*

Hasonló fogaskerékpár minden olyan őrlőszerkezet része, pl. a vízimalmoké is, amelyeknél az energiaforrás vízszintes tengelyt hajt [4].

A második pár fogaskerék áttételi száma: Z3/Z4 fogszáma 68/7 fog, vagyis 9,7. Így a két őrlőpár összességében 2,9 x 9,7 = 28,1. Ha tehát a taposókerék hármat fordul percenként, az áttételeknek köszönhetően az őrlőkő 3 x 28,1 vagyis 84,3 fordulattal fog működni.

A Z4 tengelye, amelyre a keresztvas, vagy a molnárok nyelvén a perpence van erősítve, hajtja az őrlőkő pár felső kövét. A percenkénti 84,3 fordulat elég az őrlési folyamat fenntartásához és mindez emberi erővel.

Az egész taposószerkezet erős, tölgyfa bakokra támaszkodik (**8. ábra**), működése a **9. ábrán** követhető. A megvalósított és beszerelt malomszerkezetet a **10. ábra** mutatja be.

2.3. Az őrlőegység

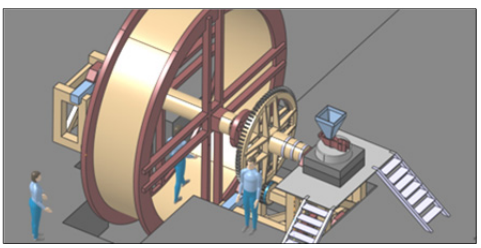
Részei: egy pár őrlőkő, garat, adagoló és a kövek közötti rést szabályzó mechanizmus. A kövek közötti rés szabályozására kifejlesztett több változat közül a csavarszabályzó kapott alkalmazást [5].

A kövek közötti rés mérete az őrlésre szánt gabona minőségétől, az őrlemény elvárt granulációjától függ. A szabályozás a függőleges tengely talpcsapágyának emelé-

sével vagy leeresztésével történik. A szabályzás tízedmilliméter pontosságú.

A malom őrlőköveinek átmérője 700 mm, az őrlőkő súlya 120 kg.

8. ábra. *Tartóbak*



9. ábra. *A taposómalom 3 D terve*

10. ábra. *A fékezőszerkezet*

3. Következtetések

A taposómalom megnevezése az [5] szerint: „Fárasztóan egyhangú munka”, [6] de az ókor és a kezdeti középkor idején, amikor a taposómalom megszületett és elterjedt, jelentős műszaki fejlődést hozott magával több iparágban is. És bár valóban fárasztóan egyhangú munka, órákon át helyben gyalogolni egy kerék belsejében vagy palástfelületén, rendkívüli könnyítést vitt be a bányaiparba és a malomiparba. Alkalmazásával nőtt a termelékenység, ami igen fontos tényező volt az egyre népesedő Európa viszonylatában [7].

Annak ellenére, hogy bár rég elveszítette eredeti rendeltetését, technikatörténeti szempontból jól meghatározott helye van az őrlőszerkezetek fejlődéstörténetében. Muzeális céllal készült, ugyanakkor egy újabb turisztikai látványossága is a nagy múltú városnak, Mohácsnak.

Jelen dolgozatban bemutatott taposómalom az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok szakosztálya által folytatott, többéves, technikatörténeti jellegű kutatómunka gyakorlati eredményeként is értékelhető.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Wölfel, W.: *Das Wasserrad*. VEB Verlag für Bauwessen, Berlin 1987, 11–13.

[2] Agricola, G.: *De Re Metallica*. Libri XII. Országos Magyar Bányászat és Kohászat Egyesület, Budapest 1996. 196.

[3] Balázs Gy.: *Élőerővel működő malmok a Kárpát-medencében a XVII–XIX. században. (II. Taposómalmok).* A Magyar Mezőgazdasági Múzeum Kiadványa. Évkönyv. Szerkeszti Für Lajos. Budapest 1988, 403–415.

[4] Márton L.: *Vízimalmok.* Pallas-Akadémia Könyvkiadó, Csíkszereda 2003, 23–35.

[5] *Larousse Enciklopédia 3.* Felelős szerkesztő Déva Mária, Akadémia Könyvkiadó, Budapest 1994. 818.

[6] Gimpel J.: *Revoluția industrială în evul mediu*. Editura Meridiane, București, 1983. 9–26.

[7] Selmeczi Kovács, A.: *Kézimalmok a Kárpát-medencében.* Agroinform Kiadó, Budapest 2000. 10–56.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 61–74. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.05
http://hdl.handle.net/10598/28549

MODELL ALAPÚ PREDIKTÍV IRÁNYÍTÁSI ALGORITMUS, ÁLLAPOTFÜGGŐ RICCATI-EGYENLET, ILLETVE VÉGES HORIZONTÚ DLQR ALGORITMUSOK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

COMPARISONS BETWEEN APPLIED MODEL PREDICTIVE CONTROL, STATE DEPENDENT RICCATI EQUATION, AND FINITE HORIZON DISCRETE OPTIMAL CONTROL ALGORITHMS

Dávid László[1], György Katalin[2], Kelemen András[3]

[1,2,3]*Sapientia-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Románia, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4., Telefon / Fax: +40-265-206210,*

ldavid@ms.sapientia.ro; kgyorgy@ms.sapientia.ro; kandras@ms.sapientia.ro

Abstract

The model predictive control (MPC) - also called receding horizon control (RHC or RHMPC) – is a widely used control method, where the control input is obtained by solving a discrete-time optimal control problem over a finite horizon. According to this control strategy only the first value from the computed control sequence is applied. At the next sampling instant, a new optimal control problem is formulated and solved based on the new measurements. While the theory of MPC for linear systems is well developed, regarding the analysis of stability, feasibility, optimality and robustness, nowadays research focuses on problems which tipically require significant computation effort- more specifically the attention in practice is driven by the fact that processes are nonlinear and need to be operated under restricted conditions. Often these demands can be satisfied when process nonlinearities and constraints are explicitly considered in the controller algorithm. In this article the nonlinear optimal control is reviewed, based on the state dependent Riccati equations, MPC and RHC. The most important disadvantages and some of the computational aspects are also proven. Furthermore, in order to facilitate the analysis of stability and dynamic behavior, we have proven that the receding finite horizon LQR and MPC are similar, but they are considerably different from the infinite horizon SDRE.

Keywords: *LQR, receding horizon control, model predictive control, state dependent Riccati equation*

Összefoglalás

A modell alapú prediktív szabályozások (MPC), amelyeket sok esetben csúszó horizontú irányításként (RHC vagy RHMPC) ismer a szakirodalom, egy széles körben használatos modern irányítási módszert jelentenek, ahol a vezérlőjel szekvenciát egy véges horizonton meghatározott diszkrét idő-optimum feladat megoldásaként fogalmazzuk meg. Ez a stratégia a kiszámított vezérlőjel szekvencia első tagját használja fel, míg a következő lépésekben az új mérésekre alapozva újraszámítjuk a vezérlőjelet. Bár a lineáris MPC (RHMPC) elmélete jól kidolgozott, és ez több területre is kiterjed, mint a stabilitás, megvalósíthatóság, optimalitás, illetve robusztusság, napjainkban gyakorlatilag a nemlineáris, szigorú megszorításokkal működő folyamatokra vonatkozó feladatok váltak érdekessé. Ezeket csak akkor lehet megfelelő módon figyelembe venni, ha a folyamat nemlinearitásait, illetve a megszorításokat explicit módon kezeljük az irányítási algoritmus levezetésénél. A cikkben áttekintjük az nemlineáris

folyamatok irányításának tervezését állapotfüggő Riccati-egyenletek segítségével, hibaforrásait és hátrányait, valamint az elméleti számítási kérdéseket. Továbbá, mivel erős korlátok esetében a végtelen horizontú megközelítés helyett a véges horizontú irányítást kell alkalmaznunk, ez újabb hibákat, esetleg instabilitást eredményez. Ezek vizsgálatának megkönnyítése érdekében a diszkrét lineáris véges horizontú kvadratikus szabályozásokat (LQR) összehasonlítottuk a nem korlátos modell alapú prediktív szabályozásokkal (MPC).

Kulcsszavak: *LQR, csúszó horizontú irányítás, modell prediktív irányítás, állapotfüggő Riccati-egyenlet*

1. Bevezetés

Az ipari szabályozástechnikában az elmúlt évtizedekben viharos gyorsasággal terjedt el egy olyan módszer, amelynek elméleti háttere nem túlságosan bonyolult, és elegáns, tudományosan megalapozott megoldást kínál a gyakorlati irányítási feladatok többségére. Kiindulópontjának a klasszikus optimális irányításelméletet tekinthetjük, amelynek gyakorlati alkalmazását jelentősen korlátozza a bemenetek, az állapotok, illetve kimenetek pontos korlátozásának lehetősége, valamint a pontatlan modell és a zajos környezetben elvárt robusztus viselkedés. Ezt a módszert modell alapú prediktív irányításnak (MPC) vagy más néven csúszó horizontú irányításnak (RHC vagy RHMPC) nevezzük, amelynek elmélete jelentős kutatások témakörét képezte az elmúlt két évtizedben. A szabványos MPC irányítás olyan optimális irányítási feladatokat old meg, amelyek esetében minden mintavételre meghatározzuk a célfüggvény minimumát biztosító ún. optimális vezérlőjel szekvenciát, majd az így származtatott szekvenciából, mint egy nyílthurkú optimális irányítási algoritmusból, úgy származtatjuk az aktuális irányítást, hogy csak a szekvencia első értékét használjuk az aktuális irányításhoz. Ezután minden új mintavételi időpontban az elcsúsztatott horizontra vonatkoztatva újraszámítjuk az optimális vezérlőjel szekvenciát. Ezért a véges horizontú MPC tervezése során nincs mód a zárt rendszer tulajdonságainak pontos tervezésére, de ugyanakkor, ha a célfüggvény paramétereit (súlyzók értéke, modell, illetve irányítási horizont értéke stb.) próbálgatással változtatjuk, szinte mindig lehetséges elfogadható működést beállítani. Mindezek alapján minden mintavételben szükségszerűen meg kell oldanunk egy a horizonttól függő, korlátos optimumkeresési feladatot.

A modell-prediktív irányítási algoritmusok egy speciális osztályát jelentik a csúszó horizontú irányításoknak, amelyek esetében a perdikciós horizont az idővel együtt mozog. Ezt a technikát talán a legegyszerűbb állapotteres modellre megfogalmazni, ezért sokszor nem is az MPC, hanem az RHC rövidítéssel utalnak rá, és az alkalmazott modell sem átviteli függvény alapú. Az állapotteres megfogalmazás további előnye, hogy mind lineáris változó paraméterű, mind pedig az alábbi cikkben tárgyalt nemlineáris rendszerekre is alkalmazható. A megközelítés további előnye pedig az, hogy képes korlátozásokat kezelni mind az állapottérben, mind pedig a kimenetet befolyásoló zaj tekintetében.

A legnagyobb gondot az jelenti, hogy a véges horizontra megfogalmazott MPC nem garantálja mindig a zárthurkú irányított rendszer stabilitását [1], amint az a végtelen horizontra megfogalmazott klasszikus LQ irányításnál következett, az algebrai Riccati-egyenlet megoldása segítségével kapott vezérlőjel szekvenciából.

Dolgozatunkban megvizsgáltuk a nemlineáris folyamatok szuboptimális irányítási algoritmusának hibaforrásait, valamint azt, hogy a véges csúszó horizontra megfogalmazott MPC, illetve DLQR módszerek mennyiben térnek el a végtelen horizontra

számított irányítástól. Mindkét módszert ugyanazon rendszerosztályra – lineáris, időinvariáns állapotteres modellre és négyzetes célfüggvényre – alkalmaztuk. Egy külön fejezetben a szakaszos szaggatott LQ követő szabályozásokat hasonlítjuk össze az MPC technikával. A két módszer összehasonlítása kapcsán azok azonosságát- $N = 1{,}2$ horizontra általánosan, hosszabb horizontra szimulációval – bizonyítottuk.

2. Nemlineáris rendszerek LQR-SDRE irányítása

Ismert tény, hogy a Hamilton–Jacobi-elmélet egyik fontos alkalmazása a lineáris rendszerek négyzetes célfüggvény segítségével való optimális szabályozása. Bár első látásra ez a megszorítás jelentősen csökkenti a tanulmányozott módszer általánosságát, két érvet szokás felsorakoztatni mellette. Egyfelől a lineáris rendszerek optimális irányítása kapcsolatot teremt a klasszikus szabályozáselmélet módszerei, valamint a MIMO rendszerek állapotteres irányítási technikái között, így ezek matematikai értelmezését biztosíthatják az amúgy empirikus módszereknek. Másfelől napjainkban mindinkább teret hódít a nemlineáris rendszerek ún. szuboptimális irányítása, amelyet számos esetben lineáris technikák általánosításával kapunk meg. Ilyen például a linearizálási technikák alkalmazhatóságát jelentősen kibővítő állapotfüggő Riccati-egyenleten alapuló módszer [2] (SDRE – State Dependent Riccati Equation).

Optimális állapotszabályozáson a dinamikus rendszert leíró (1) állapotegyenleteknek megfelelő, $\underline{u}^*(t)$ optimális vezérlőjel meghatározását értjük, amely biztosítja valamely $J(\underline{u})$ célfüggvény minimumát.

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\underline{x}(t) &= \boldsymbol{f}(\underline{x}(t),\underline{u}(t),t) \\ \underline{y}(t) &= \boldsymbol{g}(\underline{x}(t),\underline{u}(t),t) \end{aligned} \qquad (1)$$

Általános esetben megjegyezhetjük, hogy mivel a szabályozó struktúrája nem előre rögzített, ezért előállhatnak olyan helyzetek, amikor az $\underline{u}^*(t)$ optimális vezérlőjel gyakorlatilag nem valósítható meg, esetleg nem egyértelmű. Általában a lineáris feladatot az $\underline{x}(t)$ állapotvektor és $\underline{u}(t)$ vezérlőjel vektora, az $\underline{y}(t)$ kimeneti vektor által meghatározott lineáris rendszer állapotegyenletei:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\underline{x}(t) &= \boldsymbol{A}(t)\cdot\underline{x}(t)+\boldsymbol{B}(t)\cdot\underline{u}(t) \\ \underline{y}(t) &= \boldsymbol{C}(t)\cdot\underline{u}(t) \end{aligned} \qquad (2)$$

valamint a véges horizontú négyzetes célfüggvény határozzák meg, amelynek a minimumát keressük:

$$\begin{aligned} J(\underline{u}) &= \tfrac{1}{2}\left\langle x(tf),\boldsymbol{F}x(tf)\right\rangle + \ldots \\ &+ \tfrac{1}{2}\int_{t_0}^{tf}\left[\left\langle \underline{x}(\tau),\boldsymbol{Q}(\tau)\underline{x}(\tau)\right\rangle + \left\langle \underline{u}(\tau),\boldsymbol{R}(\tau)\underline{u}(\tau)\right\rangle\right]\cdot d\tau \end{aligned} \qquad (3)$$

ahol $\langle .,. \rangle$ a skaláris szorzatot jelképező szimbólum, $\boldsymbol{Q}(t)$, $\boldsymbol{F}$ pozitív szemidefinit súlyzómátrixok, az $\boldsymbol{R}(t)$ pozitív súlyzómátrix és végül t_0 t_f a kezdeti-, valamint a végállapothoz rendelt időpillanat. Felírva a Hamilton-függvényt és az ennek megfelelő Hamilton–Jacobi-egyenleteket, meghatározható az optimális szabályozási jel, mint:

$$\underline{u}^*(t) = -\boldsymbol{R}(\mathrm{t})^{-1}\cdot\boldsymbol{B}(\mathrm{t})^T\cdot\boldsymbol{P}(\mathrm{t})\cdot\underline{x}(t) \qquad (4)$$

ahol a ***P(t)*** egy Riccati típusú mátrix differenciálegyenlet (5) megoldása:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt}\boldsymbol{P}(t) &= -\boldsymbol{P}(t)\cdot\boldsymbol{A}(t)-\boldsymbol{A}(t)^T\cdot\boldsymbol{P}(t)+\ldots \\ &+\boldsymbol{P}(t)\cdot\boldsymbol{B}(t)\cdot\boldsymbol{R}(t)^{-1}.\boldsymbol{B}(t)^T\cdot\boldsymbol{P}(t)-\boldsymbol{Q}(t) \end{aligned} \qquad (5)$$

amelynek a peremfeltétele: $\boldsymbol{P}(t_f) = \boldsymbol{F}$.

A (6) optimális pályát a kiszámított optimális vezérlőjel segítségével kapjuk meg,

$$\underline{\dot{x}}^*(t) = \left[\boldsymbol{A}(t) - \boldsymbol{B}(t)\cdot \boldsymbol{R}^{-1}(t)\cdot \boldsymbol{B}^T(t)\cdot \boldsymbol{P}(t)\right]\cdot \underline{x}^*(t) \quad (6)$$

ahol ismert az állapotvektor kezdeti értéke:

$$\underline{x}(t_0) = \underline{x}_0 . \quad (7)$$

Végtelen horizont esetén az (5) differenciálegyenlet az ún. algebrai Riccati-egyenletté alakul.

Természetesen feltevődik az a kérdés, hogy miként válasszuk meg az $\boldsymbol{R}$ és $\boldsymbol{Q}$ súlyzómátrixokat, pontosabban milyen összefüggés feltételezhető a mátrixok elemei és az állapotvektor, valamint a vezérlőjel nagysága között. Bár ezeknek a korlátozásoknak a pontos elméleti tárgyalását az ún. modell alapú prediktív szabályozásoknál tudjuk elvégezni, jó eredménnyel alkalmazható empirikus összefüggéseket már az 1970-es évektől megfogalmaztak.

A nemlineáris rendszerek optimális szabályozása esetén az a kérdés, hogy kapunk vagy sem olyan gyors valós idejű algoritmust, amely az adott nemlineáris folyamatot képes irányítani, hisz ismert tény, hogy a nemlineáris algoritmusok sokszor iteratív számításokat igényelnek amelyeket, nem lehet valós időben implementálni. Erre jelent egy lehetséges megoldást az állapotfüggő Riccati-egyenlet, hisz alkalmazza a lineáris gyors számítási algoritmusokat.

Tekintsünk egy sajátos nemlineáris rendszert, mint:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x) + g(x)\cdot u = \\ &= A(x)\cdot x + B(x)\cdot u \end{aligned} \quad (8)$$

Közvetlenül is meg lehet próbálni a fent bemutatott, végtelen horizontra vonatkozó optimális szabályozási eljárást, de ez az egyszerűsített megközelítés várhatóan hibaforrást jelent.

Amennyiben a vizsgált rendszer ilyen (8) formára hozható és irányítható, akkor a szabályozójel az ismert,

$$\underline{u}^*(\underline{x}) = -\boldsymbol{R}^{-1}(\underline{x})\cdot \boldsymbol{B}^T(\underline{x})\cdot \boldsymbol{P}(\underline{x})\cdot \underline{x}(t) \quad (9)$$

egyenletből számítható. Az állapotfüggőnek tekintett Riccati-mátrixot az állapotfüggő algebrai Riccati egyenletből kapjuk meg, mint:

$$\begin{aligned} &\boldsymbol{P}(\underline{x})\cdot \boldsymbol{A}(\underline{x}) + \boldsymbol{A}^T(\underline{x})\cdot \boldsymbol{P}(\underline{x}) + \boldsymbol{Q}(\underline{x}) - \ldots \\ &- \boldsymbol{P}(\underline{x})\cdot \boldsymbol{B}(\underline{x})\cdot \boldsymbol{R}^{-1}(\underline{x})\cdot \boldsymbol{B}^T(\underline{x})\cdot \boldsymbol{P}(\underline{x}) = \boldsymbol{0} \end{aligned} \quad (10)$$

Ebben az esetben az állapotfüggő tulajdonság azt eredményezi, hogy minden állapot környékén újra kell számítani a megoldást, de jelenleg ez nem jelent gondot, mert a folytonos esetben (persze ennek igazából csak elméleti jelentősége van) gyors algoritmusok állnak rendelkezésünkre, mint a Schur-, Potter- vagy Newton-módszer, amelyek akár beágyazott rendszereken is futhatnak. Azt viszont meg kell jegyeznünk, hogy ez az algoritmus csak felületes szemlélő számára jelent optimális irányítást, hisz a szükséges feltételek számítása esetében elhanyagoltuk a rendszermátrixok állapotfüggő tagjainak deriváltjait.

Példaként tekintsük egy egyszerű általános másodfokú rendszert [3]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(\underline{x}) \\ \dot{x}_2 &= f_2(\underline{x}) + g(\underline{x})\cdot u \end{aligned} \quad (11)$$

Vagyis:

$$\frac{d}{dt}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{f_1(\underline{x})}{x_2} \\ 0 & \frac{f_2(\underline{x})}{x_2} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ g(\underline{x}) \end{pmatrix} u \quad (12)$$

Feltételezzük, hogy az $\underline{x} = 0$ esetében az $\frac{f_1(\underline{x})}{x_2}$, illetve $\frac{f_2(\underline{x})}{x_2}$ jól meghatározottak, pontosabban véges, nullától különböző értékű törtek. Ekkor könnyű belátni, hogy az $x_1 = 0, x_2 = 0$ pont egyensúlyi állapot, mert ekkor $\dot{x}_1 = 0, \dot{x}_2 = 0$. Válasszuk a következő súlyzókat:

$$\boldsymbol{Q}(\underline{x})=\begin{pmatrix} q_1(\underline{x}) & 0 \\ 0 & q_2(\underline{x}) \end{pmatrix},\ R(\underline{x})=r(\underline{x}), \qquad (13)$$

ahol, $q_1(\underline{x})>0, q_2(\underline{x})>0, r(\underline{x})>0$.

A szabályozójel meghatározásához írjuk fel a rendszerhez rendelt algebrai Riccati-egyenletet (10). A megfelelő számítások elvégzése után a következő egyenletrendszerhez jutunk:

$$\begin{cases} -\dfrac{p_{12}{}^2 g^2(\underline{x})}{r(\underline{x})}+q_1(\underline{x})=0 \\ p_{11}\frac{f_1(\underline{x})}{x_2}+p_{12}\frac{f_2(\underline{x})}{x_2}-\dfrac{p_{12}p_{22}g^2(\underline{x})}{r(\underline{x})}=0 \\ 2p_{12}\frac{f_1(\underline{x})}{x_2}+2p_{22}\frac{f_2(\underline{x})}{x_2}-\dfrac{p_{22}{}^2 g^2(\underline{x})}{r(\underline{x})}+q_2(\underline{x})=0. \end{cases} \qquad (14)$$

Innen meghatározhatók a p_{12}, p_{22} értékek, amelyek felhasználásával a vezérlőjel:

$$u^*(\underline{x})=-\frac{1}{r(\underline{x})}\begin{pmatrix} p_{12}g(\underline{x}) & p_{22}g(\underline{x}) \end{pmatrix}\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \qquad (15)$$

A visszacsatolt rendszer állapotmátrixa:

$$\boldsymbol{A}_r=\begin{pmatrix} a_{r11} & a_{r12} \\ a_{r21} & a_{r22} \end{pmatrix},\quad ahol$$
$$a_{r11}=0,\quad a_{r12}=\frac{f_1(\underline{x})}{x_2} \qquad (16)$$
$$a_{r21}=\pm g(\underline{x})\sqrt{\frac{q_1(\underline{x})}{r(\underline{x})}}$$
$$a_{r22}=\pm\sqrt{\left(\frac{f_2(\underline{x})}{x_2}\right)^2+\frac{g^2(\underline{x})q_2(\underline{x})}{r(x)}\pm 2\frac{f_1(\underline{x})g(\underline{x})}{x_2}\sqrt{\frac{q_1(\underline{x})}{r(\underline{x})}}}.$$

Ennek sajátértékei meghatározzák a zárt kör satbilitását és dinamikus viselkedését. Mivel a paraméterfüggő állapotmátrix több megválasztása is lehetséges, ezért ennek kiválasztására a rendszer vezérelhetősége jelent támpontot. Az előbbi példánk kapcsán ez a feltétel:

$$\det(\boldsymbol{W}_{Ctr})=-g^2(\underline{x})\cdot\frac{f_1(\underline{x})}{x_2}\neq 0, \qquad (17)$$

ahol:

$$\boldsymbol{W}_{Ctr}=\left[\boldsymbol{B}(\underline{x})\quad \boldsymbol{A}(\underline{x})\boldsymbol{B}(\underline{x})\right]=$$
$$=\begin{bmatrix} 0 & \frac{f_1(\underline{x})}{x_2}g(\underline{x}) \\ g(\underline{x}) & \frac{f_2(\underline{x})}{x_2}g(\underline{x}) \end{bmatrix} \qquad (18)$$

A vizsgált példában egyszerűen elhanyagoltuk az állapotfüggő tagok szerepét a módszer bizonyításában, amit a szakma gyakorlatában nagyon sok esetben tapasztalhatunk, ezért a kapott eredmény bizonyos esetben alkalmazhatatlan vagy akár instabil is lehet. Ezért nézzük meg a következőkben, hogy miként módosul az ismert optimum, amennyiben a (2) egyenlethez hasonló állapotfüggő dinamikus rendszer kvadratikus optimumát keressük.

Ennek megoldása érdekében meghatározzuk a következő Hamilton-függvényt:

$$H(\underline{x},\underline{u},\underline{p},t)=\tfrac{1}{2}\underline{x}^T\boldsymbol{Q}(\underline{x})\underline{x}+\tfrac{1}{2}\underline{u}^T\boldsymbol{R}(\underline{x})\underline{u}+ \qquad (19)$$
$$+\underline{p}^T\left(\boldsymbol{A}(\underline{x})\cdot\underline{x}+\boldsymbol{B}(\underline{x})\cdot\underline{u}\right).$$

ahol $\underline{p}(t)=\boldsymbol{P}(\underline{x},t)\cdot\underline{x}(t)$.

A minimum szükséges feltételei:

$$\frac{\partial H}{\partial \underline{u}}=\underline{0}\Rightarrow \qquad (20)$$
$$\underline{u}^*(t)=-\boldsymbol{R}^{-1}(x)\cdot\boldsymbol{B}^T(\underline{x})\cdot\boldsymbol{P}(\underline{x},t)\cdot\underline{x}(t)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \underline{p}}=\dot{\underline{x}}(t)\Rightarrow \qquad (21)$$
$$\dot{\underline{x}}(t)=\boldsymbol{A}(\underline{x})\cdot\underline{x}(t)+\boldsymbol{B}(\underline{x})\cdot\underline{u}^*(t)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \underline{x}}=-\dot{\underline{p}}\Rightarrow\dot{\underline{p}}(t)=-\boldsymbol{Q}(\underline{x})\cdot\underline{x}(t)-. \qquad (22)$$
$$-\frac{\partial[A(\underline{x})\underline{x}]}{\partial\underline{x}}\underline{p}(t)-\frac{\partial[B(\underline{x})\underline{u}]}{\partial\underline{x}}\underline{p}(t).$$

A $\dfrac{\partial[A(\underline{x})\underline{x}]}{\partial\underline{x}}$, illetve $\dfrac{\partial[B(\underline{x})\underline{u}]}{\partial\underline{x}}$ kifejezések egy-egy négyzetes mátrixot jelentenek, a $\dot{P}(x,t)$ pedig a $P(x,t)$ Riccati-mátrix teljes differenciálja. Behelyettesítve az $\dot{\underline{x}}$,

illetve a $\dot{\underline{p}}$ kifejezéseit megkapjuk az optimális pálya szükséges feltételét:

$$\dot{\mathbf{P}}(\underline{x}) = -\mathbf{P}(\underline{x})\mathbf{A}(\underline{x}) + \mathbf{P}(\underline{x})\mathbf{B}(\underline{x})\mathbf{R}^{-1}\mathbf{B}^T(\underline{x})\mathbf{P}(\underline{x}) - \\ -\mathbf{Q} - \left[\frac{\partial \mathbf{A}(\underline{x})}{\partial \underline{x}}\underline{x}\right]\mathbf{P}(\underline{x}) - \mathbf{A}^T(\underline{x})\mathbf{P}(\underline{x}) + \frac{\partial[\mathbf{B}(\underline{x})u]}{\partial \underline{x}}\mathbf{P}(\underline{x}) \tag{23}$$

Ahhoz, hogy ez az egyenlet a (10) formájú legyen, szükséges a (24) összefüggés teljesülése.

$$\dot{\mathbf{P}}(\underline{x}) = -\left[\frac{\partial \mathbf{A}(\underline{x})}{\partial \underline{x}}\underline{x}\right]\mathbf{P}(\underline{x}) + \frac{\partial[\mathbf{B}(\underline{x})u]}{\partial \underline{x}}\mathbf{P}(\underline{x}) \tag{24}$$

Mivel ez a feltétel az esetek többségében nem teljesül, ezért ekkor csak szuboptimális tervezésről beszélhetünk. Ennek érzékeltetésére tekintsük az előbbi általános példa egy sajátos esetét:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= f_1(\underline{x}) = \sin x_1 + x_2 \\ \dot{x}_2 &= f_2(\underline{x}) + g(\underline{x})\cdot u = x_1 x_2 + u \end{aligned} \tag{25}$$

Nézzük az állapotfüggő rendszeregyenletek két lehetséges felírását:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sin x_1}{x_1} & 1 \\ 0 & x_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \tag{26}$$

vagy

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\sin x_1}{x_1} & 1 \\ \frac{1}{2}x_2 & \frac{1}{2}x_1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \tag{27}$$

Ellenőrizzük mindkét esetben a irányíthatóságot. Mindkét rendszer irányítható, mert a (28) irányíthatósági mátrixok rangja 2.

$$\mathbf{W}_{Ctr1} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & x_1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{W}_{Ctr2} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & \frac{1}{2}x_1 \end{bmatrix} \tag{28}$$

A következőkben felírjuk a végtelen horizontra számított, állapotfüggő Riccati-egyenletet az első változatra. Ennek megoldását a következő egyenletek segítségével kapjuk meg:

$$\begin{aligned} &2p_{11}\tfrac{\sin x_1}{x_1} - \tfrac{1}{r}p_{12}^2 + q_1 = 0 \\ &p_{11} + p_{12}x_1 + p_{12}\tfrac{\sin x_1}{x_1} - \tfrac{1}{r}p_{12}p_{22} = 0 \\ &2p_{12} + 2p_{22}x_1 - \tfrac{1}{r}p_{22}^2 + q_2 = 0. \end{aligned} \tag{29}$$

A hibák érzékeltetésére megoldjuk a feladatot a Hamilton–Jacobi-módszerrel. A Hamilton-függvény ebben az esetben:

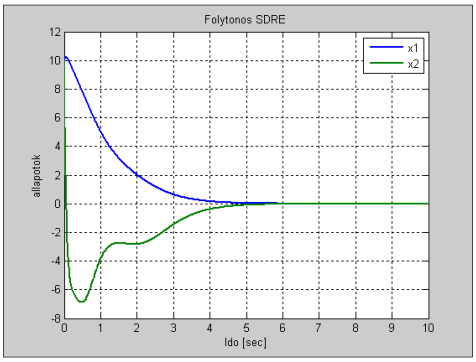
$$\begin{aligned} H(\underline{x},\underline{u},\underline{p},t) &= \tfrac{1}{2}q_1x_1^2 + \tfrac{1}{2}q_2x_2^2 + \tfrac{1}{2}ru^2 + \\ &+ p_1(\sin x_1 + x_2) + p_2x_1x_2 + p_2u, \end{aligned} \tag{30}$$

ahol a p_1 és p_2 a p segédvektor elemei.

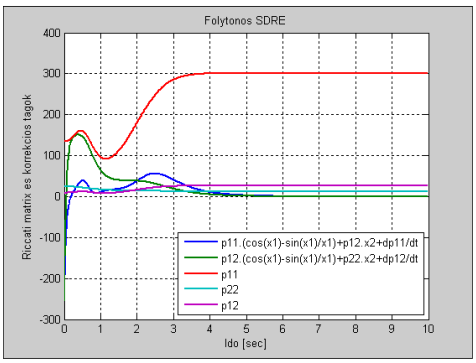
Az optimum szükséges (20), (21), (22) feltételei az SDRE által meghatározott összefüggés mellett az alábbi (31) összefüggések teljesülését is megkívánják:

$$\begin{aligned} &p_{11}\left(\cos x_1 - \frac{\sin x_1}{x_1}\right) + p_{12}x_2 + \dot{p}_{11} = 0 \\ &p_{12}\left(\cos x_1 - \frac{\sin x_1}{x_1}\right) + p_{22}x_2 + \dot{p}_{12} = 0. \end{aligned} \tag{31}$$

A Riccati-mátrixegyenletből származó négy egyenlet közül kettő megegyezik az SDRE egyenletekkel, kettő pedig korrekciós tagokat is tartalmaz, és amennyiben a szuboptimális megoldásként az SDRE módszert használjuk, akkor számolnunk kell a korrekciós tagok elhanyagolásának perturbáló szerepével. Azt könnyen láthatjuk, hogy az $x_1 = 0$, $x_2 = 0$ egyensúlyi állapotok közelében a perturbáció hatása elhanyagolható, de az ettől jelentősen eltérő állapotok esetében ez jelentős lehet. Ennek nagyságát mutatjuk be az alábbi ábrákon, ahol a rendszer kezdőállapota $x_1 = 10$ és $x_2 = 10$. Az **1. ábrán** az állapotok változása a **2. ábrán** pedig az SDRE megoldással kapott Riccati-mátrix elemei, valamint a korrekciós tagok változása látható.



1. ábra *Az állapotok időbeli változása*



2. ábra *Az SDRE megoldással kapott Riccati mátrix elemei, valamint a korrekciós tagok változása*

Látható, hogy a korrekciós tagok nagysága – amelyek időben nullához tartanak – a kezdetben összemérhetőek a Riccati-mátrix elemeivel, ami jelentős hibát, pontosabban dinamikaromlást eredményezhet. Mindezek alapján könnyen belátható, hogy az SDRE nem jelent optimális megoldást, sőt sok esetben annak a kérdése is felmerülhet, hogy a kapott megoldás stabil vagy sem. Ezért több olyan módszert is kidolgoztak, amelyek segítségével valamilyen módon kompenzálni lehessen a fenti perturbációs tagok hatásait. Ilyen módszer lehet az állapotfüggő súlyzómátrixok bevezetése (13), de sajnos ennek még nincs egységes elmélete. Az így tervezett SDRE irányítás stabilitásának szükséges és elégséges feltételeit Cloutier és társai határozták meg [4].

3. A csúszó horizontú DLQR, illetve a modell alapú prediktív irányítás

A fenti irányítási algoritmusok gyakorlati számítógépes megvalósítása mindig a folyamat szakaszos szaggatott modellje alapján történhet úgy, hogy a folytonos rendszermodellt az ismert munkapont környezetében megközelítjük ennek diszkrét modelljével. Ekkor az optimális irányítási technikák esetében feltételezünk egy véges mozgó horizontot mint az aktuális állapottól számított irányítási horizontot. A diszkrét dinamikus rendszeregyenlet:

$$\underline{x}_{k+1} = \mathbf{\Phi}(x_k)\cdot \underline{x}_k + \mathbf{\Gamma}(x_k)\cdot \underline{u}_k, \qquad (32)$$

ahol $\Phi \in \mathbf{R}^{n\,x\,n}$, $\Gamma \in \mathbf{R}^{n\,x\,p}$ ***és*** $C \in \mathbf{R}^{p\,x\,n}$. Illetve a célfüggvény:

$$J(\underline{x}_0, \underline{u}) = \tfrac{1}{2}\langle \underline{x}_N, \boldsymbol{F}\,\underline{x}_N \rangle + \\ + \tfrac{1}{2}\sum_{k=0}^{N-1} \langle \underline{x}_k, \boldsymbol{Q}_k\,\underline{x}_k \rangle + \langle \underline{u}_k, \boldsymbol{R}_k\,\underline{u}_k \rangle. \qquad (33)$$

Az egyszerűség kedvéért bevezetjük a következő jelöléseket az állapotfüggő mátrixokra $\mathbf{\Phi}(\underline{x}_k) = \mathbf{\Phi}_k$, illetve $\mathbf{\Gamma}(\underline{x}_k) = \mathbf{\Gamma}_k$. A Riccati-mátrix meghatározására a következő diszkrét rekurzió alkalmazható [5]:

$$\boldsymbol{P}_k = \mathbf{\Phi}_k^{\,T}\boldsymbol{P}_{k+1}\mathbf{\Phi}_k + \boldsymbol{Q}_k - \\ \mathbf{\Phi}_k^{\,T}\boldsymbol{P}_{k+1}\mathbf{\Gamma}_k\left(\boldsymbol{R}_k + \mathbf{\Gamma}_k^{\,T}\boldsymbol{P}_{k+1}\mathbf{\Gamma}_k\right)^{-1}\mathbf{\Gamma}_k^{\,T}\boldsymbol{P}_{k+1}\mathbf{\Phi}_k, \qquad (34)$$

ahol a végfeltétel: $\boldsymbol{P}_N = \boldsymbol{F}$.

Különösen fontos az LQ optimális irányítás inkrementális algoritmusa, ugyanis a számítógépes szabályozó kimenete egy nulladrendű tartót tartalmaz, ezért minden mintavételben az új vezérlőjelet úgy kapjuk mint:

$$\underline{u}_k = \Delta\underline{u}_k + \underline{u}_{k-1}, \qquad (35)$$

ahol az $\underline{u}_{k-1}$ a $[t_{k-1}, t_k]$ mintavételi periódusra érvényes vezérlőjel, illetve a $\Delta\underline{u}_k$, a $[t_k, t_{k+1}]$ mintavételre számított korrekció. Figyelembe kell venni, hogy a tanulmányozott irányítási algoritmusok esetében nem a vezérlőjel abszolút értékét, hanem ennek változását szokás korlátozni, mert ez határozza meg a rendszer rángásmentes, sima működését. Feltételezzük, hogy a $\underline{z}_k$ előírt pálya adott különböző t_k mintavételezési időpontokban. Így a véges csúszó horizontú irányítás esetében keressük azt az optimális szabályozó jelet, amely biztosítja a következő négyzetes célfüggvény minimumát:

$$J(\underline{x}_k, \underline{u}) = \underline{e}_{k+N}^T \cdot \boldsymbol{F} \cdot \underline{e}_{k+N} + \ldots + \sum_{i=0}^{N-1} \underline{e}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{Q}_{k+i} \cdot \underline{e}_{k+i} + \sum_{i=0}^{N_c-1} \Delta\underline{u}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{R}_{k+i} \cdot \Delta\underline{u}_{k+i} \tag{36}$$

ahol $\underline{e}_{k+i}$, a $\underline{z}_{k+i}$ előírt pályának megfelelő követési hiba, $\Delta\underline{u}_{k+i} = \underline{u}_{k+i} - \underline{u}_{k+i-1}$ pedig a vezérlőjel változása. N a predikciós horizontot, míg az N_c a szabályozási horizontot jelöli.

A szabályozójel meghatározásának egyszerűsítése érdekében feltételezzük, hogy a két horizont értéke egyenlő. Mivel a célfüggvényben nem a vezérlőjel értéke, hanem ennek változása jelenik meg, a folyamat szakaszos szaggatott modellje vagy az optimumot kifejező egyenlet is ezt kell tartalmazza. A következőkben két módszert is alkalmazhatunk ennek kifejezésére. Egyfelől bevezethetünk egy új állapotvektort $\underline{\xi}_k = [\underline{x}_k \quad \underline{u}_{k-1}]^T$, amivel a rendszer bemeneteinek és kimeneteinek a száma nem, de az állapotvektor dimenziója $n+m$-re változik. Ezután a folyamatnak megfelelő rendszert a következő új, megnövelt dimenziójú egyenletekkel jellemezhetjük:

$$\begin{pmatrix} \underline{x}_{k+1} \\ \underline{u}_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{\Phi}_k & \boldsymbol{\Gamma}_k \\ 0 & \mathbf{I} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \underline{x}_k \\ \underline{u}_{k-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \boldsymbol{\Gamma}_k \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} \cdot \Delta\underline{u}_k \Rightarrow$$

$$\underline{y}_k = (\mathbf{C}_k \quad 0) \cdot \begin{pmatrix} \underline{x}_k \\ \underline{u}_{k-1} \end{pmatrix}$$

$$\begin{cases} \underline{\xi}_{k+1} = \hat{\boldsymbol{\Phi}}_k \cdot \underline{\xi}_k + \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_k \cdot \Delta\underline{u}_k \\ \underline{y}_k = \hat{\mathbf{C}}_k \cdot \underline{\xi}_k \end{cases} \tag{37}$$

Amennyiben a $\boldsymbol{\Phi}_k, \boldsymbol{\Gamma}_k, \mathbf{Q}_k$ és $\mathbf{R}_k$ mátrixok időtől vagy az állapotoktól függnek, akkor a vezérlőjel számítása a folyamat működése alatt módosul. A szabályozási feladatnak megfelelő Bellman-egyenletet természetesen az előzőkben megnövelt új dimenzióra kell felírni, mint:

$$J^*(\underline{\xi}_{k+i}, \underline{u}) = \min_{u_{k+i}} \{ \hat{\underline{e}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{Q}}_i \cdot \hat{\underline{e}}_{k+i} + \ldots + \Delta\underline{u}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{R}_i \cdot \Delta\underline{u}_{k+i} + J^*(\underline{\xi}_{k+i+1}, \underline{u}) \}, \tag{38}$$

ahol a $J^*(\underline{\xi}_k, \underline{u})$ az $\underline{x}_k$ állapotot tartalmazó $\underline{\xi}_k$ állapottól a végpontig számított, illetve az $J^*(\underline{\xi}_{k+1}, \underline{u})$ az $\underline{x}_{k+1}$ állapotot tartalmazó $\underline{\xi}_{k+1}$ állapottól a végpontig számított optimális költségfüggvény. Az $\hat{\underline{e}}_k$ és $\hat{\mathbf{Q}}_k$ a megnövelt dimenziójú követési hibavektor illetve súlyzómátrix.

Az LQ irányítás paramétereit rekurzívan számolva $i = N, N-1, \ldots, 0$, az optimális vezérlőjel inkrementum meghatározható, mint:

$$\Delta\underline{u}_{k+i}^* = -\left[\boldsymbol{R}_i + \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}\right]^{-1} \cdot \ldots \left[\boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i} \cdot \underline{\xi}_{k+i} + \frac{1}{2} \cdot \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}^T \cdot \hat{\underline{g}}_{i+1}\right], \tag{39}$$

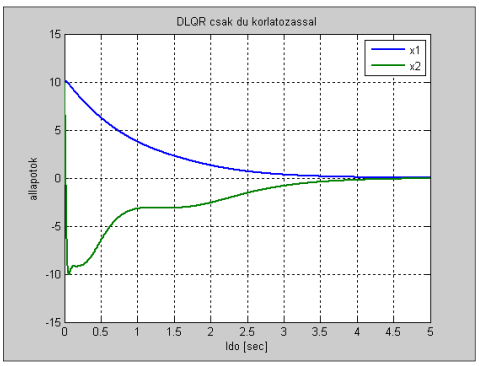
ahol a klasszikus módszert követve a Riccati-egyenletet, illetve a pályakövetést biztosító segédállapot rekurzív egyenletét is a megnövelt dimenzióra kell felírnunk, mint:

$$\hat{\boldsymbol{P}}_i = \hat{\boldsymbol{C}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{Q}}_i \cdot \hat{\boldsymbol{C}}_{k+i} - \ldots$$
$$- \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i} \cdot \left[\boldsymbol{R}_i + \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i} \right]^{-1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i} \quad (40)$$
$$\ldots + \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i}^T \cdot \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \cdot \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i}, \quad \hat{\boldsymbol{P}}_N = \hat{\boldsymbol{C}}_{k+N}^T \cdot \hat{\boldsymbol{F}} \cdot \hat{\boldsymbol{C}}_{k+N}.$$

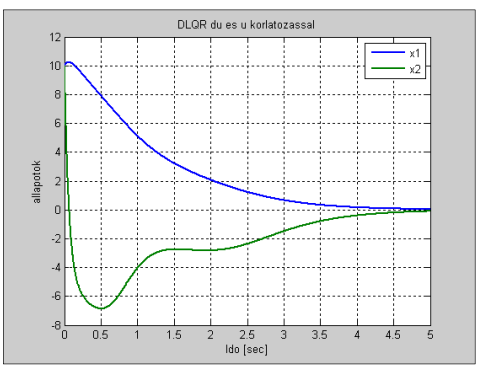
illetve

$$\underline{\hat{g}}_i = \left[\hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i}^T - \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+i}^T \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i} \left(\boldsymbol{R}_i + \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}^T \hat{\boldsymbol{P}}_{i+1} \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i} \right)^{-1} \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+i}^T \right] \cdot \underline{\hat{g}}_{i+1} - \quad (41)$$
$$- 2 \hat{\boldsymbol{C}}_{k+i}^T \hat{\boldsymbol{Q}}_i \underline{\hat{z}}_{k+i}$$
$$\underline{\hat{g}}_N = -2 \hat{\boldsymbol{C}}_{k+N}^T \hat{\boldsymbol{F}} \underline{\hat{z}}_{k+N}$$

Alkamazva az előzőkben tárgyalt példára, az alábbi ábrákból könnyen követhető az a dinamikaváltozás, amit a különböző célfüggvények használata eredményez.



3. ábra *A szakaszos szaggatott működésű irányítás esetén a rendszer állapotainak változása $\Delta \underline{u}$ korlátozással*



4. ábra *A szakaszos szaggatott működésű irányítás esetén a rendszer állapotainak változása $\Delta \underline{u}$ és $\underline{u}$ korlátozással*

A módszer előnye az, hogy a modell dimenziójának megnövelését követően könnyen alkalmazható a klasszikus DLQR számítási eredménye, hátránya viszont pont a növelt dimenzióból eredő számítási többlet.

Alternatív módszerként átírhatjuk az eredeti modellt, mint:

$$\underline{x}_{k+1/k} = \boldsymbol{\Phi}_k \cdot \underline{x}_{k/k} + \boldsymbol{\Gamma}_k \cdot \underline{u}_{k/k} =$$
$$= \boldsymbol{\Phi}_k \cdot \underline{x}_{k/k} + \boldsymbol{\Gamma}_k \cdot \Delta \underline{u}_{k/k} + \boldsymbol{\Gamma}_k \cdot \underline{u}_{k-1}, \quad (42)$$
$$\underline{y}_k = \mathbf{C}_k \cdot \underline{x}_{k/k}$$

és keressük a szakaszos szaggatott rendszer optimális vezérlőjel-szekvenciáját. Kiinduló pontnak a t_k pillanatot tekintjük. Ekkor a rendszerhez rendelt Bellman-egyenletet felírhatjuk, mint:

$$J^*\left(\underline{x}_{k+i/k}, \underline{u}\right) = \min_{\underline{u}_{k+i}} \{ \underline{e}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{Q}_i \cdot \underline{e}_{k+i} + \ldots$$
$$+ \Delta \underline{u}_{k+i/k}^T \cdot \boldsymbol{R}_i \cdot \Delta \underline{u}_{k+i/k} + J^*\left(\underline{x}_{k+i+1/k}, \underline{u}\right) \} \quad (43)$$

Feltételezzük, hogy a célfüggvény optimális értéke a következő alakban írható fel:

$$J^*\left(x_{k+i/k}, \underline{u}\right) = \underline{p}_i^{<0>} + \underline{g}_i^T \cdot \underline{x}_{k+i/k} + \underline{x}_{k+i/k}^T \cdot \boldsymbol{P}_i \cdot \underline{x}_{k+i/k} \quad (44)$$

Hasonló gondolatmenetet követve, mint az előbb, az inkrementális LQ irányítás algoritmusa a következő:

$$\Delta \underline{u}_{k+i}^* = -\left[\boldsymbol{R}_i + \boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \right]^{-1} \cdot \ldots$$
$$\cdot \left[\boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Phi}_{k+i} \cdot \underline{x}_{k+i} + \frac{1}{2} \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \underline{g}_{i+1} + \ldots \right.$$
$$\left. \ldots + \boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \cdot \underline{u}_{k+i-1} \right]$$

$$\boldsymbol{P}_i = \boldsymbol{C}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{Q}_i \cdot \boldsymbol{C}_{k+i} - \boldsymbol{\Phi}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \cdot \left[\boldsymbol{R}_i + \boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \right]^{-1} \cdot$$
$$\boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Phi}_{k+i} + \boldsymbol{\Phi}_{k+i}^T \cdot \boldsymbol{P}_{i+1} \cdot \boldsymbol{\Phi}_{k+i}$$
$$\underline{g}_i = \left[\boldsymbol{\Phi}_{k+i}^T - \boldsymbol{\Phi}_{k+i}^T \boldsymbol{P}_{i+1} \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \left(\boldsymbol{R}_i + \boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \boldsymbol{P}_{i+1} \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \right)^{-1} \boldsymbol{\Gamma}_{k+i}^T \right] \cdot$$
$$\left[2 \boldsymbol{P}_{i+1} \boldsymbol{\Gamma}_{k+i} \underline{u}_{k+i-1} + \underline{g}_{i+1} \right] - 2 \cdot \boldsymbol{C}_{k+i}^T \boldsymbol{Q}_i \underline{z}_{k+i}, \quad (45)$$

amelynek megoldása teljesíti a következő végfeltételeket:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{P}_N &= \boldsymbol{C}_{k+N}^T \cdot \boldsymbol{F} \cdot \boldsymbol{C}_{k+N} \\ \underline{g}_N &= -2 \cdot \boldsymbol{C}_{k+N}^T \boldsymbol{F} \underline{z}_{k+N} \end{aligned} \qquad (46)$$

Meg kell jegyeznünk, hogy ez a szakaszos szaggatott működésű optimális követőszabályozás könnyen és az esetek többségében valós időben implementálható algoritmust eredményez. Az algoritmus sajátossága az, hogy a kiszámított vezérlőjel-szekvencia első értékét használjuk, majd a rendszer válaszát követően ezt a szekvenciát újraszámítjuk úgy, hogy a horizontot elcsúsztatjuk. Használatát csak a kimenetre, a vezérlőjelre és az állapotokra vonatkoztatott erős korlátok befolyásolják. Ebben az esetben használjuk az ún. modell alapú prediktív irányítást (MPC–Model Predictive Control).

Ezt a módszert egyébként az optimális irányítás egyik általánosításának tekinthetjük, ha az állapotvektorra, a vezérlőjel vektorára, valamint a kimenetre valamilyen erős korlátot fogalmazunk meg. Az erős korlát olyan megszorítást jelent, amelyet semmi módon nem szabad átlépni, azaz mindig be kell tartani. Feltételezzük, hogy az állapotvektor minden elemét mérhetjük, tehát a kimenet $\underline{\tilde{x}}_{k/k} = \underline{x}_k = \underline{y}_k$ (azaz $\boldsymbol{C} = \boldsymbol{I}$). Továbbá feltételezzük, hogy sem a kimenetet, sem az így meghatározott állapotvektort nem terheli zaj. Ekkor természetesen nincs szükségünk az állapotvektor becslésére, mert minden az irányítási algoritmushoz szükséges információ mérhető. Felírjuk az N mintavételre előre számított állapotok értékeit, mint:

$$\begin{aligned} \underline{x}_{k+1/k} &= \boldsymbol{\Phi} \cdot \underline{x}_k + \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k/k} \\ \underline{x}_{k+2/k} &= \boldsymbol{\Phi} \cdot \underline{x}_{k+1/k} + \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k+1/k} = \\ &= \boldsymbol{\Phi}^2 \cdot \underline{x}_k + \boldsymbol{\Phi} \cdot \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k/k} + \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k+1/k} \\ &\vdots \\ \underline{x}_{k+N/k} &= \boldsymbol{\Phi} \cdot \underline{x}_{k+N-1/k} + \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k+N-1/k} = \\ &= \boldsymbol{\Phi}^N \cdot \underline{x}_k + \boldsymbol{\Phi}^{N-1} \cdot \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k/k} + \ldots + \boldsymbol{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k+N-1/k} \end{aligned} \qquad (47)$$

Az $\underline{u}_{k/k} = \underline{u}_{k-1} + \Delta \underline{u}_{k/k}$ vezérlőjelet a t_k mintavételt követően kell az irányított rendszer bemenetére juttatni. Az irányítás vezérlőjelét a $t_k, t_{k+1}, \ldots, t_{k+N_c-1}$ mintavételi pillanatokban a vezérlési horizontig frissítjük, ezután állandó értéken tartjuk, azaz $\underline{u}_{k+j/k} = \underline{u}_{k+N_c-1}$, ha $N_c < j < N-1$. Ez valójában az ún. vezérlési horizont. Az MPC megoldása lényegében a $\Delta \underline{u}_{k+j/j}$ értékek meghatározását jelenti a $\underline{u}_{k+j/k}$ helyett. Ekkor a $\Delta \underline{u}_{k+j/k} = \underline{u}_{k+j/k} - \underline{u}_{k+j-1/k}$, és amennyiben a t_k időpontban ismerjük az $\underline{u}_{k-1}$, értékét, akkor:

$$\begin{aligned} \underline{u}_{k/k} &= \underline{\Delta u}_{k/k} + \underline{u}_{k-1} \\ \underline{u}_{k+1/k} &= \underline{\Delta u}_{k+1/k} + \underline{\Delta u}_{k/k} + \underline{u}_{k-1} \\ &\vdots \\ \underline{u}_{k+N_c-1/k} &= \underline{\Delta u}_{k+N_c-1/k} + \ldots + \underline{\Delta u}_{k/k} + \underline{u}_{k-1} \end{aligned} \qquad (48)$$

Az $\underline{y}$ kimeneteket megkapjuk, mint:

$$\underline{y}_{k+j/k} = \underline{x}_{k+j/k} \qquad (49)$$

ahol $j = \overline{1, N}$. Az optimális vagy gyenge korlátos MPC irányítás célfüggvényét hasonló módon határozzuk meg mint az előzőkben.

$$J(\underline{u},\underline{x}_k)=\left\|\underline{Y}_k-\underline{Z}_k\right\|_{\boldsymbol{Q}}^2+\left\|\Delta\underline{U}_k\right\|_{\boldsymbol{R}}^2=$$
$$=\sum_{i=1}^{N}\left(\begin{array}{l}\left(\underline{y}_{k+i/k}-\underline{z}_{k+i/k}\right)^T\cdot\mathbf{Q}\cdot\left(\underline{y}_{k+i/k}-\underline{z}_{k+i/k}\right)+\\+\Delta\underline{u}_{k+i/k}{}^T\cdot\mathbf{R}\cdot\Delta\underline{u}_{k+i/k}\end{array}\right) \tag{50}$$

A következő jelöléseket használtuk:

$$\underline{Y}_k=\begin{bmatrix}\underline{y}_{k+1/k}\\ \vdots\\ \underline{y}_{k+N/k}\end{bmatrix},\ \underline{Z}_k=\begin{bmatrix}\underline{z}_{k+1/k}\\ \vdots\\ \underline{z}_{k+N/k}\end{bmatrix},$$

$$\Delta\underline{U}_k=\begin{bmatrix}\Delta\underline{u}_{k/k}\\ \vdots\\ \Delta\underline{u}_{k+N_c-1/k}\end{bmatrix} \tag{51}$$

Az N iterációra érvényes $\boldsymbol{Q}$ és R súlyzómátrixok a következő alakban írhatók fel:

$$\boldsymbol{Q}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{Q}_1 & 0 & \dots & 0\\ 0 & \boldsymbol{Q}_2 & \dots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \dots & \boldsymbol{Q}_N\end{bmatrix}$$
$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix}\boldsymbol{R}_0 & 0 & \dots & 0\\ 0 & \boldsymbol{R}_1 & \dots & 0\\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots\\ 0 & 0 & \dots & \boldsymbol{R}_{N_c-1}\end{bmatrix} \tag{52}$$

Amennyiben az $\underline{Y}_k$ azonos az N iterációra felírt állapotvektorral, úgy a rendszer működését leíró egyenlet [6]:

$$\underline{Y}_k=\left[\boldsymbol{\Phi}^i\right]\cdot x_k+\left[\boldsymbol{\Phi}^i\boldsymbol{\Gamma}\right]\cdot u_{k-1}+\boldsymbol{G}_y\cdot\Delta\underline{U}_k\ , \tag{53}$$

ahol $\left[\boldsymbol{\Phi}^i\right]=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Phi}\\ \boldsymbol{\Phi}^2\\ \vdots\\ \boldsymbol{\Phi}^{\mathbf{N}}\end{bmatrix}\cdot\underline{x}_k$, $\left[\boldsymbol{\Phi}^i\boldsymbol{\Gamma}\right]=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Gamma}\\ \boldsymbol{\Phi}\cdot\boldsymbol{\Gamma}+\boldsymbol{\Gamma}\\ \vdots\\ \sum_{\mathbf{i=0}}^{\mathbf{N}}\boldsymbol{\Phi}^{\mathbf{i}}\cdot\boldsymbol{\Gamma}\end{bmatrix}$

$$\boldsymbol{G}_y=\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Gamma} & \dots & 0\\ \vdots & \dots & 0\\ \sum_{i=0}^{N_c}\boldsymbol{\Phi}^i\boldsymbol{\Gamma} & \ddots & \boldsymbol{\Phi}\boldsymbol{\Gamma}+\boldsymbol{\Gamma}\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ \sum_{i=0}^{N-1}\boldsymbol{\Phi}^i\boldsymbol{\Gamma} & \dots & \sum_{i=0}^{N-N_c}\boldsymbol{\Phi}^i\boldsymbol{\Gamma}\end{bmatrix} \tag{54}$$

A számítások szempontjából előnyös a $J(\underline{u},\underline{x}_k)$ célfüggvény számítására egy $\underline{E}_k$ hibavektort (55) használni.

$$\underline{E}_k=\underline{Z}_k-\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Phi}\\ \boldsymbol{\Phi}^2\\ \vdots\\ \boldsymbol{\Phi}^{\mathbf{N}}\end{bmatrix}\cdot\underline{x}_k-\begin{bmatrix}\boldsymbol{\Gamma}\\ \boldsymbol{\Phi}\cdot\boldsymbol{\Gamma}+\boldsymbol{\Gamma}\\ \vdots\\ \sum_{\mathbf{i=0}}^{\mathbf{N}}\boldsymbol{\Phi}^{\mathbf{i}}\cdot\boldsymbol{\Gamma}\end{bmatrix}\cdot\underline{u}_{k-1} \tag{55}$$

Ennek a lényege az, hogy az $\underline{E}_k$ hibavektor nem függ az aktuális mintavételektől, hanem csak az aktuális horizont kezdőértékeinek számító $\underline{x}_k$, illetve $\underline{u}_{k-1}$ értékektől. Ezt az $\underline{E}_k$ hibavektort egyébként úgy is tekinthetjük mint a követési hibát, mert ez az előírt pálya, illetve a rendszer aktuális vezérlőjellel számított kimenete közti eltérést jelzi.

$$J(\underline{u},\underline{x}_k)=\Delta\underline{U}_k{}^T\cdot\left[\boldsymbol{G}_y{}^T\cdot\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{G}_y+\boldsymbol{R}\right]\cdot\Delta\underline{U}_k-$$
$$-2\cdot\underline{E}_k{}^T\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{G}_y\cdot\Delta\underline{U}_k+\underline{E}_k{}^T\cdot\boldsymbol{Q}\cdot\underline{E}_k. \tag{56}$$

Tehát a célfüggvény négyzetes alakja:

$$J(\underline{u},\underline{x}_k)=\frac{1}{2}\Delta\underline{U}_k{}^T\cdot\boldsymbol{H}\cdot\Delta\underline{U}_k+\boldsymbol{f}^T\cdot\Delta\underline{U}_k+p_0 \tag{57}$$

ahol:

$$\boldsymbol{H}=2\cdot\left[\boldsymbol{G}_y{}^T\cdot\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{G}_y+\boldsymbol{R}\right],$$
$$\underline{\boldsymbol{f}}=-2\cdot\boldsymbol{G}_y{}^T\cdot\boldsymbol{Q}\cdot\underline{E}_k \tag{58}$$

Ennek a négyzetes kritériumnak a minimális értékét kell meghatároznunk a

$\Delta \underline{U}_k$ függvényében. Ez egy szabványos optimumkeresési feladat, melyet kvadratikus programozásnak is nevezünk, amelyhez különböző egyenlőség- és egyenlőtlenségkorlátokat is rendelhetünk. Amennyiben a fenti célfüggvény korlát nélküli, vagy a szakirodalomban használt gyenge korlátos minimumát keressük, úgy ezt könnyen megkapjuk, mint:

$$\frac{\partial J(\underline{u},\underline{x}_k)}{\partial \Delta \underline{U}_k} = \tfrac{1}{2}\left(\boldsymbol{H}+\boldsymbol{H}^{\boldsymbol{T}}\right)\cdot \Delta \underline{U}_k{}^{*} + \underline{f} = \underline{0} \qquad (59)$$

$$\Delta \underline{U}_k{}^{*} = \left(\boldsymbol{G}_y{}^{T}\cdot \boldsymbol{Q}\cdot \boldsymbol{G}_y + \boldsymbol{R}\right)^{-1}\cdot \boldsymbol{G}_y{}^{T}\cdot \boldsymbol{Q}\cdot \underline{E}_k$$

A gyenge korlát fogalom itt azt jelenti, hogy sem az óhajtott követési hibára sem a vezérlőjel nagyságára, valamint változásának a nagyságára nem mondhatjuk, hogy bizonyosan nem halad meg egy adott korlátot, de amúgy ezek nagyságát a súlyzók megválasztásával befolyásolhatjuk. Mindezek alapján bizonyosan felmerül annak a kérdése, hogy amennyiben a célfüggvényt hasonló módon választjuk meg, a diszkrét optimális irányítási algoritmusnak, valamint a gyenge korlátos állapotteres MPC-nek azonos megoldása kellene legyen, hisz a két feladat teljesen azonos.

Ugyanakkor megemlítjük, hogy ezeknek a megoldásoknak csak azt a részét használjuk, mely az első lépésnek felel meg a regressziós horizont stratégiájának megfelelően.

4. A szakaszos szaggatott DLQR és az MPC algoritmusok eredményeinek összehasonlítása

Ebben a paragrafusban különböző horizontok esetén bebizonyítjuk, hogy a diszkrét követő LQ szabályozó megegyezik a megfelelő, erős korlát nélküli MPC algoritmussal [7]. Elvileg itt a (39) és az (59) összefüggések azonosságát kell bemutatnunk. A számítások bonyolultsága miatt a levezetést csak N=1 és N=2 horizontokra végezzük el, nagyobb N értékek esetén csak numerikus szimulációk eredményeit közöljük.

4.1. Az algoritmusok ellenőrzése N=1 és N=2 horizont értékekre

Az LQ diszkrét szabályozási algoritmusnál is csak a szabályozójel szekvencia első tagját küldjük a rendszer bemenetére. Ennek megfelelően N=1 horizontra következő szabályozási algoritmust kapjuk:

$$\Delta \underline{u}_{k+0}{}^{*} = -\left[\boldsymbol{R}_0 + \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+0}^{T}\cdot \hat{\boldsymbol{P}}_1\cdot \hat{\boldsymbol{\Gamma}}_{k+0}\right]^{-1}\cdot \boldsymbol{\Gamma}_{k+0}^{T}\cdot \ldots$$
$$\left[\hat{\boldsymbol{P}}_1\cdot \hat{\boldsymbol{\Phi}}_{k+0}\cdot \underline{\xi}_{k+0} + \frac{1}{2}\cdot \hat{\underline{g}}_1\right]. \qquad (60)$$

Felhasználva az 3. alfejezetben szereplő képleteket ((44),(45)), illetve a (37) képletben bevezetett jelöléseket, egylépéses horizont mellett a szabályozó jel változása a következő összefüggéssel adható meg:

$$\Delta \underline{u}_k = -(\mathbf{R}_0 + \boldsymbol{\Gamma}^T\cdot \mathbf{C}^T\cdot \mathbf{Q}_1\cdot \mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Gamma})^{-1}\cdot \boldsymbol{\Gamma}^{\mathrm{T}}\cdot \mathbf{C}^T\cdot \mathbf{Q}_1\cdot$$
$$\left(\mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Phi}\cdot \underline{x}_k + \mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Gamma}\cdot \underline{u}_{k-1} - \underline{z}_{k+1}\right) \qquad (61)$$

Az MPC algoritmusnál meghatározzuk az egylépéses horizontnak megfelelő mátrixokat:

$$\boldsymbol{\Phi}^{*} = [\mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Phi}] \quad \boldsymbol{\Gamma}^{*} = [\mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Gamma}] \quad \mathbf{G}_y = [\mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Gamma}] \qquad (62)$$
$$\underline{E}_1 = \underline{z}_{k+1} - \mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Phi}\cdot \underline{x}_k - \mathbf{C}\cdot \boldsymbol{\Gamma}\cdot \underline{u}_{k-1}$$

Behelyettesítve ezeket az (59) összefüggésbe, (60)-nal azonos összefüggést határozhatunk meg.

Ha a horizont N=2, akkor az LQ szabályozási algoritmus meghatározásához ugyancsak a (44) összefüggést használjuk, itt viszont a visszaszámlálás a második lépéstől kezdődik. Ennek megfelelően elvégezve a rekurzív számításokat a következő szabályozási algoritmust kapjuk:

$$\Delta \underline{u}_k = \mathbf{S}^{-1}\cdot \left(\mathbf{S}_1\cdot \underline{x}_k + \mathbf{S}_2\cdot \underline{u}_{k-1} + \mathbf{S}_3\cdot \underline{z}_{k+1} + \mathbf{S}_4\cdot \underline{z}_{k+2}\right) \qquad (63)$$

ahol

$$\mathbf{S} = \mathbf{R}_0 + \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_1 \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} + \mathbf{\Gamma}^T \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I})^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2 \cdot \ldots$$
$$\cdot \left(\mathbf{I} - \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2\right) \cdot \mathbf{C} \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I}) \cdot \mathbf{\Gamma}$$

$$\mathbf{S}_1 = \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_1 \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Phi} + \mathbf{\Gamma}^T \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I})^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2 \cdot \ldots$$
$$\left(\mathbf{I} - \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2\right) \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Phi}^2$$

$$\mathbf{S}_2 = \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_1 \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} + \mathbf{\Gamma}^T \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I})^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2 \cdot \ldots$$
$$\left(\mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2 - \mathbf{I}\right) \cdot \mathbf{C} \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I}) \cdot \mathbf{\Gamma}$$

$$\mathbf{S}_3 = \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_1$$

$$\mathbf{S}_4 = \mathbf{\Gamma}^T \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I})^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2 - \mathbf{\Gamma}^T \cdot \left(\mathbf{\Phi}^T + \mathbf{I}\right) \cdot \mathbf{C}^T \cdot \ldots$$
$$\cdot \mathbf{Q}_2 \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \mathbf{M}^{-1} \cdot \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{R}_1 + \mathbf{\Gamma}^T \cdot \mathbf{C}^T \cdot \mathbf{Q}_2 \cdot \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \qquad (64)$$

Az MPC algoritmusnál meghatározzuk a két lépéses horizontnak megfelelő mátrixokat:

$$\mathbf{\Phi}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Phi} \\ \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Phi}^2 \end{bmatrix} \quad \mathbf{\Gamma}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \\ \mathbf{C} \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I}) \cdot \mathbf{\Gamma} \end{bmatrix}$$
$$G_y = \begin{bmatrix} \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} & 0 \\ \mathbf{C} \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I}) \cdot \mathbf{\Gamma} & \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \end{bmatrix} \qquad (65)$$

$$\underline{E}_k = \begin{pmatrix} \underline{z}_1 - \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Phi} \cdot \underline{x}_k - \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k-1} \\ \underline{z}_2 - \mathbf{C} \cdot \mathbf{\Phi}^2 \cdot \underline{x}_k - \mathbf{C} \cdot (\mathbf{\Phi} + \mathbf{I}) \cdot \mathbf{\Gamma} \cdot \underline{u}_{k-1} \end{pmatrix} \qquad (66)$$

A szabályozó jel kiszámításához szükségünk van a $\mathbf{H} = (\mathbf{G}_y^T \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{G}_y + \mathbf{R})$, illetve az $\mathbf{L} = \mathbf{G}_y^T \cdot \mathbf{Q} \cdot \mathbf{E}_k$ mátrixok kiszámításához. Jelöljük ezeknek a mátrixoknak megfelelő almátrix elemeit Hi.j, illetve Li -vel. Ebben az esetben felírhatjuk:

$$\begin{pmatrix} \mathbf{H}_{11} & \mathbf{H}_{12} \\ \mathbf{H}_{21} & \mathbf{H}_{22} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \Delta \underline{u}_k \\ \Delta \underline{u}_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{L}_1 \\ \mathbf{L}_2 \end{pmatrix} \qquad (67)$$

Megoldva a kapott egyenletrendszert az első lépésnek megfelelő szabályozási jel növekménye:

$$\Delta \underline{u}_0 = (\mathbf{H}_{11} - \mathbf{H}_{12} \cdot \mathbf{H}_{22}^{-1} \cdot \mathbf{H}_{21})^{-1}$$
$$\cdot (\mathbf{L}_1 - \mathbf{H}_{12} \cdot \mathbf{H}_{22}^{-1} \cdot \mathbf{L}_2) \qquad (68)$$

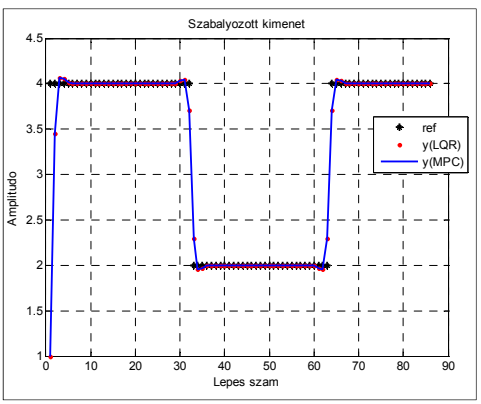
Meghatározva a H és L mátrixokat és behelyettesítve a (68) összefüggésbe a (63) és (64) képletekkel azonos összefüggésekhez jutunk.

4.2. Alkalmazási példák

Legyen a következő egyszerű diszkrét rendszer:

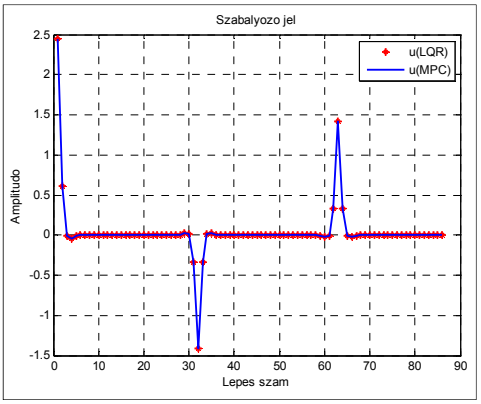
$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + u_k \\ y_k = x_k \end{cases} \qquad (69)$$

és adott egy lineáris kvadratikus kritérium-függvény, ahol N=15, a súlyozók R0=R1 =1 és Q1=Q2 =10.

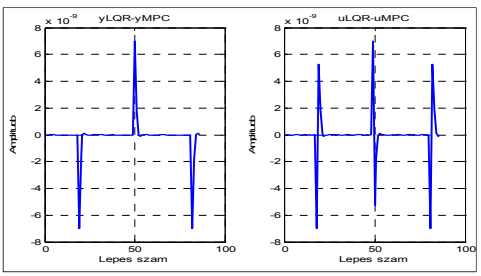


5. ábra *Az LQR és MPC szabályozási eredménye N=10 horizontra*

A feladat LQR és MPC szabályozási algoritmusát a fenti módszerekkel meghatározva az 5. és 6. ábrákon megjelenített szimulációs eredményeket kapjuk. Mivel a két módszer eredménye nagyon hasonló, ezért a **7. ábrán** kinagyítva ábrázoltuk a különböző módon számított szabályozó jelek közötti eltérést.



6. ábra *Az LQR és MPC módszerekkel számított szabályozó jelek*



7. ábra *Az LQR és MPC módszerekkel számított szabályozó jelek és szabályozott jelek közötti eltérés*

3. Következtetések

A dolgozat az állapotfüggő Riccati-egyenleteken alapuló irányítási módszerek felhasználásának kérdését tárgyalja nemlineáris rendszerek esetében, rámutatva az így kapott szuboptimális eljárás hibaforrásaira. A tanulmány része a csúszó horizontú DLQR inkrementális szabályozási algoritmusok különböző változatainak a tárgyalása, illetve a diszkrét lineáris, véges horizontú szabályozás összehasonlítása a nem korlátos modell alapú prediktív szabályozással. Az általános következtetéseket számítási és Matlab® szimulációs példák támasztják alá.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Bitmead, R.R., Gevers, M.: *Riccati Difference and Differential Equations: Stabilizability, Convergence, Monotonicity in The Riccati Equation in Control*, *Systems and Signals.* S. Bittanti, A.J. Laub and J.C. Willems (eds), Springer-Verlag, Berlin, 1991. 263-291 oldal.

[2] Cloutier, J. R., D'Souza, C. N., Mracek, C. P.: *Nonlinear regulation and nonlinear H-infinity control via the state-dependent Riccati equation technique: Part 1, Theory, Part 2, Examples.* In: *Proceedings of the International Conference on Nonlinear Problems in Aviation and Aerospace*, Daytona Beach, FL, May 1996.

[3] Erdem, E.B., Alleyne, A.G.: *Globally Stabilizing Second Order Nonlinear Systems by SDRE Control.* Proceedings of the American Control Conference, San-Diego, California, June, 1999. 2501–2505.

[4] Cloutier, J.R., Stansbery, D.T., Sznaier, M.: *On the recoverability of nonlinear state feedback laws by extended linearization techniques.* In: Proc. of the American Control Conference, San Diego, CA 1999. 1515–1519.

[5] Dávid L., *Tehnici de optimizare*. Petru-Maior Egyetemi Kiadó, Marosvásárhely, 2000.

[6] Camacho, E.F.: *Model Predictive Control.* Ed. Springer, 2004.

[7] György, K., Dávid, L.: *A nem korlátos MPC és véges horizontú diszkrét LQR algoritmusok összehasonlítása*. XIX Számokt Nemzetközi Számítástechnika Konferencia, 2009. Târgu Mureş, 220–226.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 75–80. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.06
http://hdl.handle.net/10598/28547

FORGÁCSLEVÁLASZTÁS VIZSGÁLATA KÍSÉRLETEKKEL ÉS SZIMULÁCIÓVAL

A STUDY ON CHIP FORMATION BY EXPERIMENTS AND SIMULATION

Dezső Gergely[1], Szigeti Ferenc[1]

[1]*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*

Abstract

In this paper experimental results on chip formation are compared with model calculations. It is shown out that our model gives good results for force demand of planning.

Keywords: *cutting, simulation, environmentally consciou*

Összefoglalás

Ebben a tanulmányban a forgácsleválasztással kapcsolatos kísérletek eredményeit vetjük össze modellszámításokkal. Kimutatjuk, hogy az általunk felépített modell jól írja le a gyalulás során fellépő erőszükségletet.

Kulcsszavak: *forgácsolás, szimuláció, környezettudatos*

1. Bevezetés

A forgácsképződés során fizikai, kémiai, tribológiai, hidrodinamikai folyamatok egymással egy időben és egymást befolyásolva zajlanak le.

A forgácsképződés folyamatának mélyebb tanulmányozása ezért elengedhetetlen a környezetbarát megmunkálási technológiák fejlesztése szempontjából.

Célunk a fémgyalulás erőszükségletének kísérleti vizsgálata különböző forgácsolási paraméterek esetén.

Célunk továbbá olyan fizikai modell kifejlesztése, amely jó közelítéssel adja meg a gyalulás során a forgácsoló erőt.

2. A kísérletek körülményei

A gyalulási kísérleteket forrasztott keményfémlapkás gyalukéssel végeztük, melynek szabványos jelölése: Hajlított forgácsolókés R 2525 MSZ1902:DA20

A próbatest anyaga: S355 JRN MSZ EN 10025 általános rendeltetésű ötvözetlen szerkezeti acél.

A gyalulási kísérleteket szárazon, hűtőkenő folyadék alkalmazása nélkül végeztük.

A kísérletek végrehajtása PW 550 tip., lengőhimbás hajtóművel rendelkező harántgyalugépen az alábbi paraméterekkel történt:

- lökethossz: L = 200 mm
- munkadarab hossz: L_1 = 122 mm

- kettőslöketek száma: n_k = 22-74 kl/perc
- fogásmélység: a_p = 0,5–1,5 mm
- oldalirányú előtolás: f = 0,182 mm/kl
- átlagos forgácsoló seb.:$v_{clöket}$ = 8,8–29,6 m/p
- tényl. átl. forg. seb.: v_{cL} = 10,67–34,86 m/p
- egy ciklus ideje: t = 0,81–2,73 sec
- forgácsolás ideje: t_c = 0,21–0,68 sec

Az axiális forgácsolóerő (Ff) mérése egy kétkomponensű kompakt dinamometerrel történt, amely nagy dinamikai szilárdsággal rendelkezik, így magas a sajátfrekvenciája, amely lehetővé teszi a kisebb dinamikus erőhatások mérését magas alapterheléseknél is.

Technikai adatok:

Megnevezés: KISTLER, 2 komponensű dinamométer

Típus: 9271 A

Mérési tartomány:

- Ff [kN]: -5 ÷ 20;
- Mc [Nm]: -100 ÷ +100.

Érzékenység:

- Ff [pC/N]: -2,02;
- Mc [pC/N]: -1,6.

Linearitás: %FSO: L 0,3

Üzemi hőmérséklet-tartomány, ºC: 1-70

A dinamometer által szolgáltatott jel erősítéséhez Kistler 5038 A2 típusú ipari töltéserősítőt használtunk, a mérési adatok feldolgozását Labview 9.0 szoftver segítségével végeztük.

2.1 A kísérletek leírása

A forgácsolási paraméterek forgácsolóerőre (F_c) gyakorolt hatásának vizsgálatához 3 különböző fogásvétel (a_p=0,5; 1; 1,5 mm) és 3 különböző kettős löketszám (n_k=22; 38; 74 kl/perc), azaz átlagos forgácsoló sebesség (v_{cL}=10,67; 20,91; 34,86 m/perc) beállítása mellett mértük F_c értékét. A kísérletek során egyszerre mindig egy paraméter értékét változtattuk, a többit állandó értéken tartottuk, így 9 kísérleti beállítást vizsgáltunk.

A munkalöket alatt 0,0175 másodpercenként mértük F_c értékét, tehát a forgácsoló sebességtől függően n_k=22 kl/perc-nél 39 db, n_k=38 kl/perc-nél 20 db n_k=74 kl/perc-nél 11 db mérést végeztünk a szerszám forgácsoló mozgása során, majd ezekből az adatokból a forgácsolóerő átlagértékeit (F_c) számoltuk, amelyeket az **1. táblázat**ban tüntettük fel. Méréseink szerint a forgácsolóerő a munkalöket (mdb hossza) mentén mintegy 5–12%-ot változott.

A beállítási paraméterek figyelembevételével meghatároztuk a teljes lökethosszra vonatkoztatott átlagos forgácsoló sebességet ($v_{clöket}$), valamint a tényleges mdb hosszra vonatkoztatott átlagos forgácsoló sebességet (v_{cL}) (**1. táblázat**).

A fogásvétel (a_p) forgácsolóerőre (F_c) gyakorolt hatását az **1. ábra**, az átlagos forgácsoló sebesség (v_{cL}) hatását a **2. ábra** mutatja be.

2.2 Az eredmények értékelése

Az átlagos forgácsoló sebesség (v_{cL}) és a fogásvétel (a_p) átlagos forgácsolóerőre gyakorolt hatására a következő megállapításokat tehetjük:

Az átlagos forgácsolóerő (F_c) a fogásvétellel közel arányosan nő v_{cL}=10,67 m/p átlagos forgácsoló sebességnél, azonban az átlagos forgácsoló sebesség növelésével a forgácsolóerő fogásvétellel való emelkedése egyre kisebb mértékű.

Míg 10,67 m/p-nél a fogátvétel 0,5 mm-ről 1,5 mm-re való növelésénél az átlagos forgácsolóerő 2,95-szörösége nő, addig 34,86 m/p-nél ugyanezen a tartományon F_c már csak 2,3-szeresére emelkedik.

Méréseink igazolják a forgácsolás-elméletből jól ismert összefüggést, mely szerint a forgácsolóerő a forgácskeresztmetszettel, ill. az azt meghatározó fogásvétellel arányosan változik. Azonban minél nagyobb sebességgel forgácsolunk, a forgácsolási ellenállás (k_c) annál nagyobb mér-

tékben csökken [11,12] – ez magyarázza az átlagos forgácsoló erő, F_c erőteljes csökkenését.

Amennyiben állandó fogásvétel (a_p) mellett vizsgáljuk a forgácsoló sebesség (v_{cL}) forgácsolóerőre gyakorolt hatását, akkor az alábbiakat figyelhetjük meg:

- a_p= 0,5 mm-nél v_{cL} növelésével F_c kismértékben nő;
- a_p= 1 mm-nél v_{cL} növelésével F_c kismértékben csökken;
- a_p= 1,5 mm-nél v_{cL} növelésével F_c csökkenése egyre erőteljesebb.

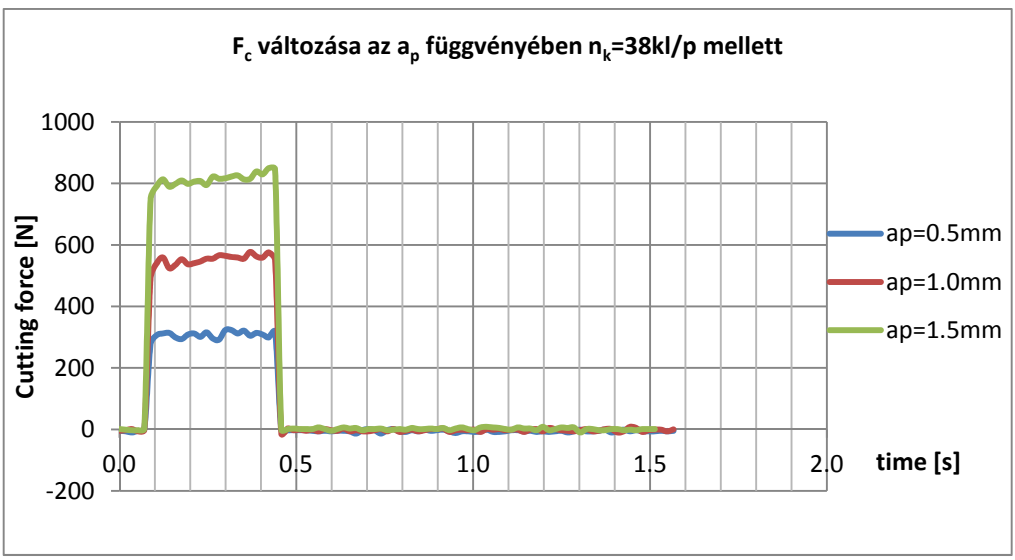
Az $\mathbf{a_p} \geq 1$ mm fogásvételnél vcL növelése egyre erőteljesebb forgácsolóerő csökkenéshez vezet (elsősorban a forgácsolási ellenállás mérséklődése miatt), ezért Fc szempontjából a vizsgált sebességtartományban vcL növelése kedvező.

A forgácsoló erő a lökethossz mentén számottevően változik. A löket mentén az erőingadozás mellett a forgácsoló erő lassú növekedése figyelhető meg, különösen nagyobb sebességeknél jelentősebb a forgácsolóerő növekedése.

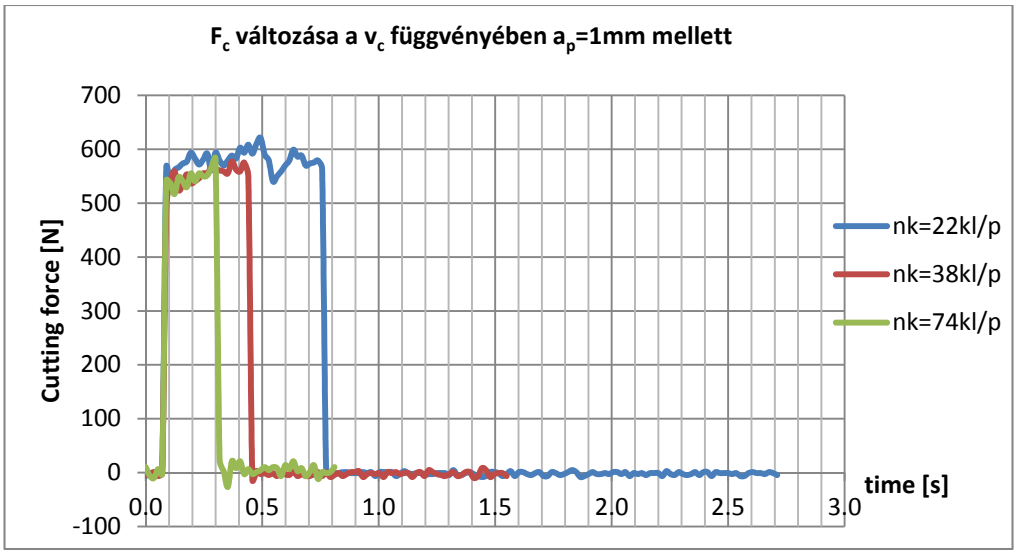
Erre magyarázatként a nem kellő merevségű befogadás szolgálhat.

Fogásvétel a_p [mm]	**Átlagos forgácsolóerő, F_c [N]**		
	n_k=22 kl/perc $v_{clöket}$=8,8 m/perc v_{cL}=10,67 m/perc	n_k=38 kl/perc $v_{clöket}$=15,2 m/perc v_{cL}=20,91 m/perc	n_k=74 kl/perc $v_{clöket}$=29,6 m/perc v_{cL}=34,86 m/perc
0,5	296	307	320
1,0	580	551	547
1,5	874	812	738

1. táblázat *A gyalulási kísérletek során mért erő értékei*



1.ábra. *A fogásvétel (a_p) forgácsolóerőre (F_c) gyakorolt hatása*



2.ábra. *Az átlagos forgácsoló sebesség (v_{cL}) forgácsolóerőre (F_c) gyakorolt hatása*

2.3 A forgácsolási folyamat fizikai modellezése

A forgácsoló szerszám és a munkadarab diszkrét modelljét lineáris tetraéder elemekből építettük fel (**3. ábra**). A számítás során a munkadarab esetén adaptív újrafelosztást alkalmaztunk, ami a nagy alakváltozások modellezésénél szükségszerű. Az újrafelosztás esetén az elemméret csökkentését is megengedtük azokon a helyeken, ahol az alakváltozás nagy.

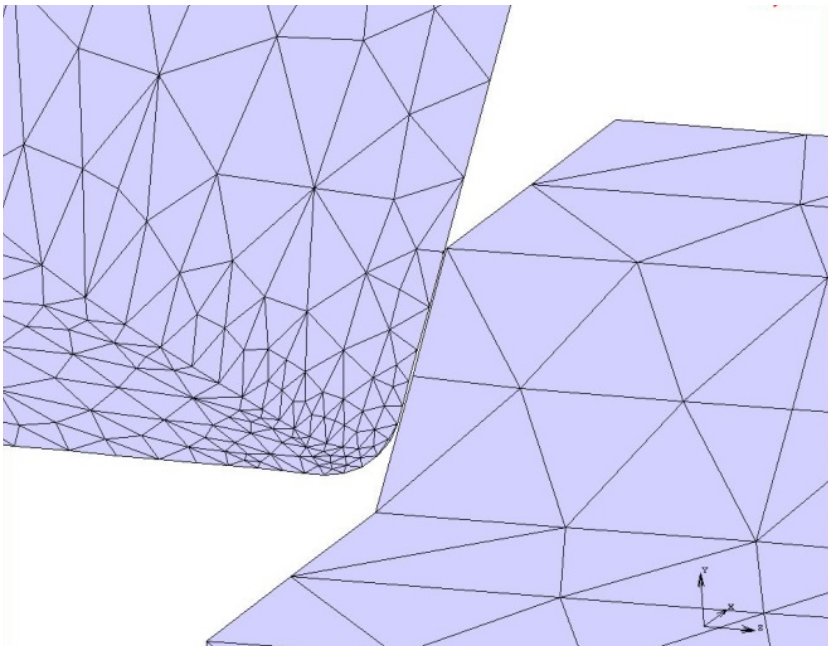
Az érintkezési feladat során a súrlódást állandó súrlódási együtthatóval, a Coulomb-féle súrlódási modell arkusz tangens közelítésével vettük figyelembe. Az érintkezési tolerancia értékét automatikusan változtattuk, így az 0,01mm nagyságrendjében változott.

A hőmérséklet változását, ami a súrlódási munka, az alakváltozási munka, valamint a hőelvezetési és sugárzási folyamatok eredménye, figyelembe vettük.

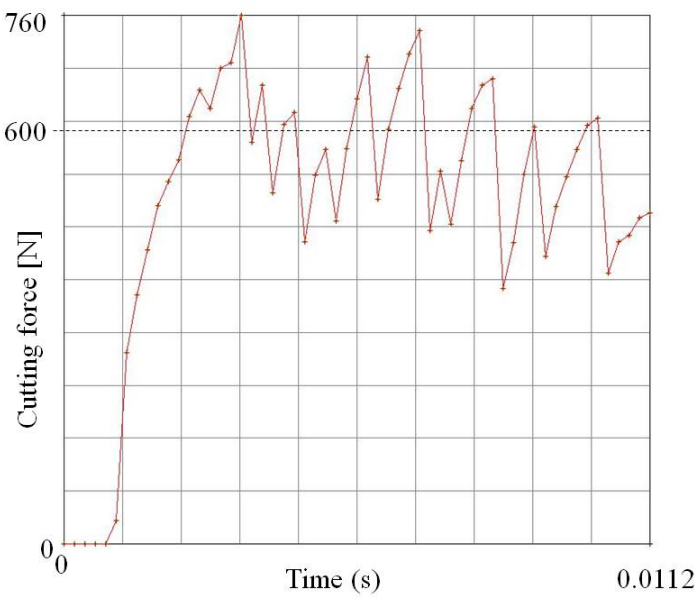
A szimuláció során kis időlépéseket alkalmaztunk az igen gyorsan változó célfüggvények miatt.

A szimulációt egy általános célú kereskedelmi szoftver segítségével végeztük el [8].

A **4. ábra** a forgácsolóerő változását mutatja az idő függvényében a_p = 1mm fogásmélység és v_{cL}=10,67 m/perc forgácsolási sebesség esetén. Az **1. táblázat** első oszlopának középső adatával, amely ugyanezen forgácsolási paraméterek mellett mérhető, jó egyezés figyelhető meg. Ugynezt mutatja a **4. ábra** grafikonja.



3.ábra. *A szerszám és amunkadarab diszkrét modellje*



4.ábra. *A szimulációval kapott forgácsolóerő nagysága a_p = 1mm és v_{cL}=10,67 m/perc esetén*

3. Következtetések

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

A méréssel kapott forgácsolóerő értékét a szimuláció jó közelítéssel adta meg.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Strenkowski, J. S., Carroll, J.T.: *A finite element model of orthogonal metal cutting.* Journal of Engineering for Industry 107 (1985) 347–354.

[2] Hashemi, J., Tseng, A. A., Chou, P. C.: *Finite element modelling of continuous and segmental chip formation in high speed orthogonal machining.* Journal of Materials Engineering and Performance 3 (6) (1994) 712–721.

[3] Shih, A. J.: *Finite element analysis of orthogonal metal cutting mechanics.* International Journal of Machine Tools Manufacturing 36 (1996) 255–273.

[4] Ceretti, E., Fallbohmer, P., WU, W. T., Altan, T.: *Application of 2D FEM to chip formation in orthogonal cutting.* Journal of Materials Processing Technology 59 (1996) 169–180.

[5] A.R., Machado, M.F., Motta, M.B., Da Silva: *Performance of Synthetic and Mineral Soluble Oil When Tuming AISI 8640 Steel.* Trans. ASME, Vol. 119, 580-586. 1997

[6] Wu, J.-S., Dillon, O. W., Lu, W. Y.: *Thermo-Viscoplastic Modelling of Machining Process Using a Mixed FEM.* Trans. ASME 1996, Vol. 118, pp.:470-481.

[7] Shaw, M. C.: *Metal Cutting Principles.* Oxford University Press, Oxford, 1984.

[8] Marc Volume A, *Theory and User Information.* MSC Software Inc., 2010.

[9] Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L.; ZHU, J. Z.: *The finite element method, its basis and fundamentals.* Elsevier Butterwort-Heineman Linacre House, Oxford, 2005, ISBN 0-7506-6320

[10] Dudás I., Lierath F., Varga Gy.: *Környezetbarát technológiák a gépgyártásban. Forgácsolás szárazon, minimális hűtéssel-kenéssel.* Műszaki Kiadó, Budapest, 2010. 308, ISBN 987-963-16-6500-0

[11] Dudás I.: *Gépgyártástechnológia I.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2011.

[12] Gyáni K.: *Gépgyártástechnológia alapjai I.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 81–86. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.07
http://hdl.handle.net/10598/28550

RENDSZERFEJLESZTÉS BEÁGYAZOTT BIOLÓGIAI-MÉRÉSTECHNIKAI AUTONÓM KOMMUNIKÁCIÓS HÁLÓZATOKRA

EMBEDDED SYSTEM AND AUTONOMOUS COMMUNICATION NETWORK DEVELOPMENT FOR MEASUREMENT OF BIOLOGICAL SIGNALS

Farkas Loránd[1], Losonczi Lajos[1,2]

[1]*Lambda Communications SRL, R&D Department, Romania, Târgu-Mureș, lorand.farkas@lambda.ro, lajos@lambda.ro*
[2]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Villamosmérnöki tanszék, Cím: Romania, Târgu-Mureș, Sighișoarei út, 1.C, Telefon: +40-722-352178, levelezési cím: lajos.losonczi@ms.sapientia.ro*

Abstract

The aim of this paper is to present electronic circuit intended for bio-signal measuring from the human body, and the associated wireless communication network protocol for the data transmission. This measuring system, developed by our team is based of several sensing nods, which are equipped with amplifier, power supply and an RF transceiver. Due to rapid technological developments, there are now more wireless communication protocols at our disposal for medium- and high-speed data transfer, and to service voice, image, video, and computer networks. However, the supply range in recent years lacked wireless communication protocols that satisfy the special needs of embedded biological measurement-technology structures, i.e. sensors, measuring electrodes, regulatory and control units. These systems do not require high bandwidth, nevertheless the easiness to wear, the short waiting time, the very low energy usage, and a secure communication, are basic requirements. Based on different wireless communication protocols we aimed at developing our own wireless network protocol. In this paper we present the developed smart sensor-network for measuring biological signals, the communication protocol developed and used for the system, and a method developed by us, to monitor and analyze the protocol. The obtained results can be successfully used in the measuring technology of non-invasive biological signals.

Keywords: *biological measurement system, wireless communication, WSN, smart sensor*

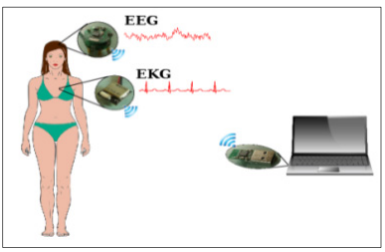
Összefoglalás

A rohamos technikai fejlődésnek köszönhetően ma már több vezeték nélküli kommunikációs szabvány áll a rendelkezésünkre közepes és nagysebességű adatátvitelhez, hang, kép, videó, és számítógépes hálózatok kiszolgálásához. A kínálatból azonban az utóbbi évekig hiányoztak a beágyazott biológiai méréstechnikai struktúrák – szenzorok, mérő-elektródok, szabályozó és vezérlő egységek – speciális igényeit kielégítő vezeték nélküli kommunikációs szabványok. Ezek a rendszerek nem igényelnek nagy sávszélességet, de alapkövetelmény a viselhetőség, a rövid várakozási idő, a nagyon alacsony energiafelhasználás és a biztonságos kommunikáció. Célul tűztük ki egy saját vezeték nélküli hálózati protokoll kifejlesztését, amely kielégíti az említett rendszerek sajátos igényeit. A dolgozatban bemutatjuk az általunk létrehozott biológiai jelek mérésére alkalmazott intelligens szenzorhálózatot, a rendszerhez kifejlesztett és alkalmazott kommunikációs protokollt, valamint egy saját fejlesztésű protokollmonitorizáló és -analizáló eljárást. Az elért eredmények sikerrel alkalmazhatóak a nem invazív biológiai jelek méréstechnikájában.

Kulcsszavak: *biológiai mérőrendszer, vezeték-nélküli kommunikáció,WSN, intelligens szenzor*

1. Beágyazott biológiai mérőrendszerek

Egy vezeték nélküli beágyazott érzékelő hálózat (**1. ábra**) több beágyazott mérőelektródot tartalmaz, amelyek egymással, illetve egy felsőbb rendszerszinttel kommunikálnak egy meghatározott protokoll alapján. Ezek a mérőmodulok egy adott technikai intelligenciával rendelkeznek, mely képessé teszi őket a megnövelt komplexitású feladatok megoldására [1]. Egyes moduloknak kitüntetett szerepe is lehet, mint hálózati híd, gateway vagy koordináló modul.

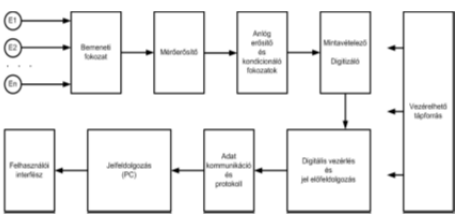


1. ábra. *Biológiai jelek mérése*

Mindenik csomópont saját tápforrással van ellátva, és saját feldolgozó egységgel rendelkezik a mért jelek lokális előfeldolgozása céljából. Az adatok továbbítása saját, vezeték nélküli adó-vevő modullal történik [2].

1.1. A megvalósított biológiai mérőrendszer elektromos blokkvázlata

A biológiai jelek modern mérésére szolgáló eszköz a **2. ábrán** látható funkcionális alegységeket tartalmazza:



2. ábra. *A mérőrendszer tömbvázlata*

A bemeneti fokozat elsődleges szerepe az impedancia illesztés és a zavarjelek csillapítása. Előnyt jelent a bipoláris bemeneti elrendezés, mivel szimmetrikus differenciális bemeneti fokozatot lehet alkalmazni, nagy közös jel elnyomással [3].

A berendezés külön üzemmódja a kontakt-ellenállások mérése a mozgási zavarjelek kompenzálása céljából.

Az egyenáramú komponens leválasztása nem történhet közvetlenül a bemeneten, mivel a csatoló kondenzátorok impedanciái közötti különbség még kis tűrésű elemek használata esetén is nagyon lerontaná a közös jel elnyomását [4].

Az eltérő hozzávezetési impedanciák miatt szintén romlik a közös jel elnyomása. Az analóg jelkondicionáló vonal oldja meg a jelek erősítését, a szelektív sávszélesség beállítását, az 50Hz-es hálózati zavarjel szűrését és a fáziskompenzálást [5].

Ajánlott az analóg jelek minél előbbi digitalizálása, mivel a digitális információ könnyebben kezelhető az alkalmazott beágyazott mikrovzérlőnek köszönhetően. Ezáltal új mérési feladatokhoz elég csak a szoftvert megváltoztatni, nem kell új áramkört tervezni [6].

2. A megvalósított biológiai mérőrendszer kommunikációs protokollja

A vezeték nélküli eszközök elektromágneses hullámokat használva egy kommunikációs protokoll alapján cserélik az információkat egymás közöt.

Gyakorlati szempontból a protokoll azt mondja meg, hogy milyen sorrendben milyen típusú üzeneteket küldhetnek egymásnak a csomópontok, ezenkívül megadja az üzenetek pontos felépítését és az abban szereplő adatok jelentését is.

A protokolloknak igen sok és teljesen eltérő filozófiájú formája létezik.

Napjainkban a vezeték nélküli hálózatok több szabvánnyal is gazdagodtak. A

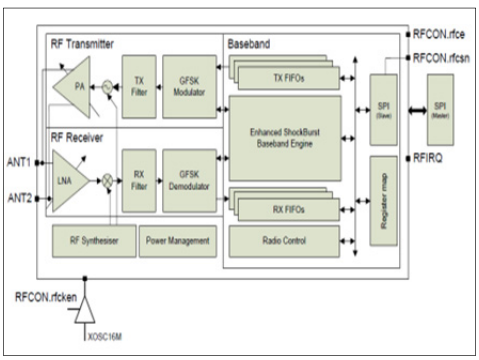
vezeték nélküli érzékelő hálózatokat az IEEE idevágó szabványa rendezi: 802.15.4.

A cél egy egyszerűen telepíthető, kis hatótávolságú és kis energiafelhasználású hálózattípus megalkotása volt.

Napjainkban nagyon sok vezeték nélküli rendszer adóvevője támogatja a ShockBurst™ technológiát, ami kezeli az automatikus „elosztást”, címzést és a hibajavítást (CRC).

A Nordic nRF24L01+ áramkör egybe integrálja a 2,4 GHz-es RF átjátszót, az RF frekvencia szintetizátort, valamint az alapsávi logikai áramköröket, ide értve az Enhanced ShockBurst™ hardware protokoll gyorsító áramköreit is. Az áramkör gyors soros interfészen keresztül (SPI) kommunikál az alkalmazás vezérlővel [7].

Mivel a ShockBurst™ technológia lehetővé teszi, hogy kis költségű, kis komplexitású mikrovezérlőt használjunk, akár külső órajel-generátor nélkül, a külső alkatrészek száma a minimumra csökkenthető. A megvalósított mérőrendszerben ezt az áramkört használtuk mint rádiófrekvenciás átjátszót. Az adó-vevő áramkör belső felépítése a **3. ábrán** látható.



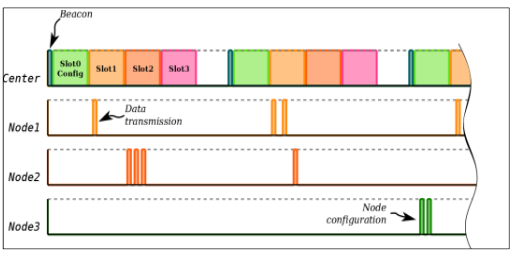
3. ábra. *Az RF modul tömbvázlata*

Az adó-vevő modul a hardveresen megépített fizikai réteg és az adatkapcsolati réteg mellett tartalmaz egy egyszerű hálózati réteget is, ami legfeljebb 6 csomópont kezelésére ad lehetőséget [7].

A processzor és az RF modul közötti adatátvitel egy soros (SPI) adatsín segítségével történik. Az adó-vevő modulban találhatók az írható és olvasható regiszterek. Ezek a regiszterek segítségével konfigurálhatjuk a modul különböző paramétereit, mint például azt, hogy az eszköz küldő vagy fogadó üzemmódban legyen. Ugyancsak az eszköz regisztereiben tárolódnak a fogadott adatcsomagok, és hasonlóan, ha adatokat akarunk kiküldeni, akkor ezeket előbb be kell írni a kijelölt regiszterekbe.

2.1. A tervezett kommunikációs protokoll idődiagramja

A **4. ábrán** látható a tervezett kommunikációs protokoll idődiagramja.



4. ábra. *A protokoll idődiagramja*

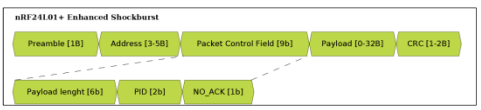
A központi egység egy számítógéphez van csatlakoztatva, ennek következtében szinte korlátlan az energiaellátása, hiszen a tápforrása lényegesen nagyobb, mint a szenzor csomóponté, amelyet csak egy kis kapacitású gombelem lát el.

A központi csomópont irányítja a csillag topológiájú hálózatot. Többnyire vevő (Rx) üzemmódban van és várja a szenzoroktól érkező csomagokat, amelyek tartalmazzák a mérési eredményeket. Meghatározott időközönként kiküld egy úgynevezett „beacon” csomagot. Ez tartalmazza a következő „beacon” csomag küldési idejét is. A szenzor csomópontok fogadják ezt, és ehhez szinkronizálják a belső időzítőjüket. Az egymást követő két „beacon” csomag közti időintervallumot felosztjuk n egyenlő részre. A sorban az elsző időablakot 0-ás ablak-

nak vagy konfigurációs ablaknak nevezzük. A többi időrést 1-től (n–1)-ig sorszámozzuk, és ezeket kiosztjuk, vagyis hozzákapcsoljuk egy-egy szenzor kommunikációjához. Ezt a technikát időosztásos multiplexelésnek (Time-division multiplexing – TDM) nevezzük. A 0-s ablak arra van fenntartva, hogy ha egy új csomópont szeretne csatlakozni a hálózathoz, akkor bejelentkezik a központnál a konfigurációs időablakban, és válaszul megkapja, melyik időablakot használhatja. Ez a folyamat játszódik le a **4. ábrán** a 3. csomópont esetében. A már konfigurált csomópontok, amelyek részei a hálózatnak, csak és kizárólag a nekik kiosztott időablakban kommunikálhatnak. A központi egység minden egyes megkapott csomagot nyugtáz (ACK). A nyugta-csomagok tartalmazhatnak hasznos adatot is (Payload). Így valósítjuk meg a kétirányú kommunikációt.

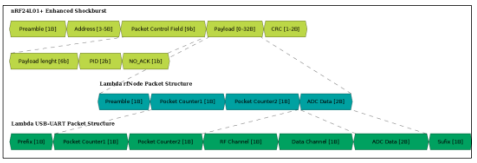
2.2. A protokoll által használt csomagok szintaktikája és szemantikája

Az **5. ábra** a ShockBurst-technika adatszerkezetét ábrázolja.



5. ábra. *A ShockBurst adatszerkezete*

Az nRF24LE1+ tartalmaz egy hardver szinten megvalósított adatkapcsolati réteget. A hardver megvalósítja az automatikus csomagkezelést, először is szinkronizál a cím mezőre, és ha egyezés történt, akkor folytatja az adatcsomagok további feldolgozását. A csomagban tárolható hasznos adat hossza változhat 0 és 32 bájt között. Annak érdekében, hogy a fogadó helyesen értelmezze a csomagot, a beágyazott adatmennyiség hosszát 6 biten tárolja. Minden egyes csomag végén található egy ellenőrző kód, és ennek alapján dönti el, hogy az adott csomag sérülésmentesen érkezet-e meg vagy sem. Ha nem történt hiba, akkor a fogadó oldal automatikusan kiküld egy nyugtacsomagot.



6. ábra. *A tervezett protokoll csomagszerkezete*

Az általunk tervezet protokoll az adatkapcsolati réteg „Payload” mezőjében tárolja a protokoll számára elengedhetetlen metaadatokat, illetve a valódi hasznos adatokat, a mérési eredményeket. Minden egyes csomag tartalmaz egy kétbájtos számlálót, amelyet minden csomag elküldése után növelünk eggyel. Ezt az információt a feldolgozó program arra használja fel, hogy észrevegye, ha egy csomag elveszet, és valamilyen hibatűrő kezelési módszert használjon. Egy lehetséges hibatűrő megoldás az lehet, hogy a hiányzó csomag környezetéből interpolálunk egy értéket, így próbáljuk pótolni az elvesztett adat hiányát.

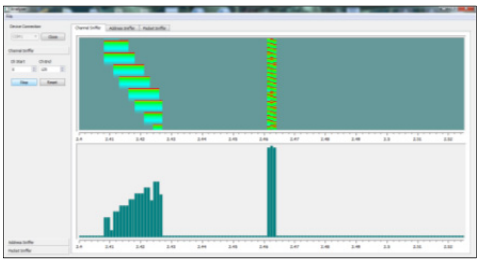
3. Kommunikációs protokollmonitor és -analizátor

A kommunikációs protokoll tesztelésekor különböző problémák merülhetnek fel. Ezek elsősorban úgy nyilvánulnak meg, hogy vagy egyáltalán nem jutnak el az elküldött adatcsomagok a célállomásra, vagy nagyon megnő az elvesztett adatcsomagok, illetve az elküldési próbálkozások száma. A kommunikációs protokoll tesztelésére kifejlesztettünk egy hálózati megfigyelő egységet és protokollanalizátort. A grafikus felhasználói felületet a **7. ábra** szemlélteti.

Az egység egy mikrovezérlős hardver modult, az ide feltöltött firmvert, valamint a számítógépen futtatott alkalmazói szoftvert tartalmazza.

A rendszernek 3 üzemmódja van:

- meghatározni, hogy milyen frekvenciacsatornát használ az adott kommunikációs protokoll;
- meghatározni, hogy milyen címre küldi a csomagokat az adatszolgáltató;
- az előbbi két pontban megszerzett információt felhasználva effektív belehallgatni a két eszköz közötti rádiófrekvenciás kommunikációba.

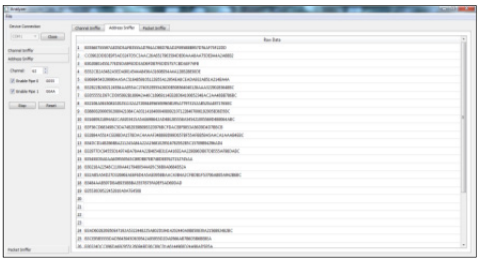


7. ábra. *A Spektrum analizátor grafikus felhasználói felülete*

A **7. ábrán** látható a rádiófrekvenciás csatornák figyelését lehetővé tevő üzemmód, az úgynevezett „Spektrum analizátor”. Az nRF24LE1+ modulnak van egy olyan funkcionalitása, ha az Rx üzemmódban van, hogy érzékeli a hordózófrekvencia jelenlétét vagy hiányát. Az angolszász szakirodalomban ezt úgy nevezik, hogy „carrier detection”. A modul gyártója által meghatározott küszöbérték a -64dBm, ami kis mértékben változhat a hőmérséklet függvényében. A program felhasználói felületén kiválasztjuk a kezdeti és a megállási frekvenciacsatornákat. A „Start” gombra kattintva elindítjuk a keresést. A program folyamatosan végigpásztázza a kiválasztott határok közötti csatornákat, és ha a rádiófrekvenciás modul érzékelt aktivitást az adott időpillanatban az adott a csatornán, akkor ezt grafikusan kijelzi.

A **8. ábrán** az látható, ahogy a rendszer kommunikál a 62. csatornán, illetve az is látszik, hogy 2.41-2.43GHz tartományban erős rádiófrekvenciás aktivitás van. Ennek forrása egy WiFi IEEE 802.11n üzemmódú router, amely az 1. WiFi csatornán kommunikál.

A program, a szenzor által használt MAC címet hivatott kiszimatolni, ahogy a **8. ábrán** látható.

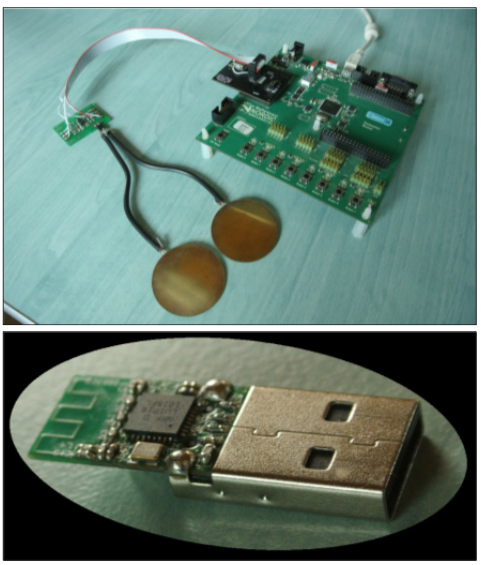


8. ábra. *A program cím- és adatszimatoló ablaka*

A program lehetővé teszi a mérőelektródok és a számítógéphez csatlakoztatott RF vevő közti kommunikáció figyelését és az elkapott csomagok kinyomtatását.

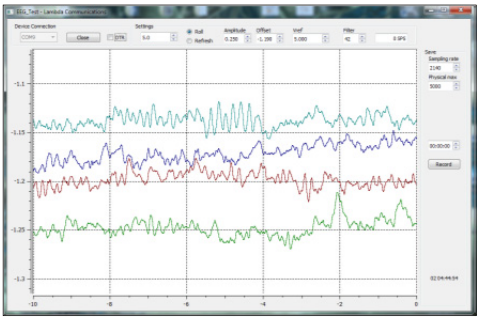
4. Eredmények

A **9. ábrán** a megvalósított kísérleti rendszer látható.



9. ábra. *A megvalósított kísérleti rendszer*

A mérési eredményeket a saját fejlesztésű felhasználói felületen jelenítjük meg (**10. ábra**).



10. ábra. *Mért EEG jelek*

A tervezett intelligens mérőrendszerhálózatot, valamint a kifejlesztett vezeték nélküli kommunikációs protokollt, monitort és analizátort sikerrel alkalmaztuk a Lambda Communications cég, valamint a Sapientia EMTE, Villamosmérnöki tanszék által vezetett kutatási projektekben, biológiai jelek mérésére és a mért adatok továbbítására a szerveralkalmazások felé, további feldolgozás érdekében és az adatok megjelenítése céljából [8], [9], [10].

A tervezett protokoll eleget tesz a hozzá fűzött elvárásoknak, vagyis: alacsony átlagfogyasztást biztosít, közel valós idejű adattovábbítás lehetséges igen magas (1,5GHz) adatátviteli sebességnél, biztonságosan kódolt kommunikáció, nagyfokú zavarimmunitás, valamint több mérő-elektród (max. 64) adatainak párhuzamos továbbítása a szerveralkalmazás felé.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Karl H., Willig A., Wolisz A.: *Wireless Sensor Networks*. Springer Verlag Berlin, 2004.

[2] Ferenc, K.: *Intelligens érzékelők az orvosbiológiában.* SZAK Kiadó, 2013.

[3] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., Bakó, L., and Farkas, L.: *A novel bio-signal acquisition system for brain computer interfaces*. The 4-th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE 2013), Galați, Romania, 10-13 Oct. 2013.

[3] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T, and Farkas, L.: *Embedded EEG Signal Acquisition System*. The 7-th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference INTER-ENG 2013, Târgu-Mureș, Romania, 10-11 Oct. 2013.

[4] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *Circuit Techniques for Reducing The Effect of Analog Signal Conditioning Imperfections in EEG Measuring*. The 7-th edition of the Interdisciplinarity in Engineering International Conference INTER-ENG 2013, Târgu-Mureș, Romania, 10-11 Oct. 2013.

[5] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *A novel EEG Signal Acquisition System*. 4th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics, (MACRo2013), Târgu-Mureș, Romania, 4-5 Oct. 2013.

[6] Losonczi, L., Márton, L.F., Brassai, S.T., and Farkas, L.: *Portable EEG Signal Measuring*. 4th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics, (MACRo2013), Târgu-Mureș, Romania, 4-5 Oct. 2013.

[7] Nordic Semiconductor*, nRF24LE1P Product Specifications,* 2011.

[8] Márton, L.F., Bakó, L., Brassai, S.T., Szigeti, P., Katona, N., Farkas, L., Pável, P., Kelemen, H., Losonczi, L.: *Signal for a spherical robot control based on EEG recordings*. 4th International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (MACRo2013), Târgu-Mureș, Romania, 4-5 Oct. 2013.

[9] Losonczi, L.: *Echipament pentru achiziția biosemnalelor cu rețea de electrozi.* Cerere Brevet de Invenție, OSIM A201300621, 2013.

[10] Losonczi, L.: Echipament pentru achiziția biosemnalelor cu rețea de noduri inteligente de măsurare, Cerere Brevet de Invenție, OSIM A201300622, 2013.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 87–90. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.08
http://hdl.handle.net/10598/28551

PARCIÁLIS NYOMÁSOK MÉRÉSÉRE ALKALMAS BEÁGYAZOTT RENDSZER FEJLESZTÉSE REAKTÍV PORLASZTÓBERENDEZÉS SZÁMÁRA

DEVELOPMENT OF AN EMBEDDED PARTIAL PRESSURE MEASURING SYSTEM FOR USE IN REACTIVE SPUTTERING SYSTEM

Fekete Albert-Zsombor[1], Jakab-Farkas László[2]

[1]*S.C. Tetronic S.R.L., 547530, Románia, Marosszentgyörgy, Wesselényi Erzsébet utca 6 szám; Tel. +40-766-649950, levelezési cím: zsombor.fekete@tetronic.ro*

[2]*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar, 540485, Románia, Marosvásárhely, Segesvári út 1C; Tel. +40-745-873844, levelezési cím: jflaci@ms.sapientia.ro*

Abstract

The reactive magnetron sputtering process is used to obtain thin film coatings utilized in industrial applications, medicine, aerospace, exploiting their versatile structural and chemical properties. The application field of the layers is determined by their composition and structure, which determine their properties. At the International Physics Research Institute from the Faculty of Technical and Human Sciences of Sapientia Hungarian University of Transilvania wear-resistant thin film coatings are studied and produced with reactive magnetron sputtering method. In order to have a reproducible process, it is necessary to have a controlled environment, which is achieved by developing different monitoring and control systems. The main purpose of this article is to present the design process of an embedded system that enables the control of the quadrupole mass analyzer and its connection to the internal ethernet network of the laboratory, as well as the development of the different algorithms for the distributed system. With the help of this equipment it is possible to measure the partial pressures of the different inert and reactive gases used in the sputtering process.

Keywords: *thin film coating, partial pressure, quadrupole mass spectrometer, embedded system*

Összefoglalás

A reaktív egyenáramú magnetronos porlasztási eljárás segítségével számos vékonyréteg-bevonat hozható létre, amelyek felhasználhatóak különféle ipari alkalmazásokban, az orvostudományban, a repülőiparban, kamatoztatva sokoldalú szerkezeti és kémiai tulajdonságaikat. Az alkalmazási területet egyértelműen a rétegek összetétele és szerkezete határozza meg. Annak érdekében, hogy a porlasztási folyamat stabil és megismételhető legyen, szükségessé válik a folyamat valamennyi paraméterének szabályozása, amely testre szabott mérő, adatgyűjtő és irányítási rendszerek fejlesztésével érhető el. A következő cikk fő célja ismertetni a tervezési és megvalósítási lépéseit annak a beágyazott rendszernek, amely vezérel egy kvadrupól tömegspektrométert, valamint lehetővé teszi az analizátor által mért adatok elérését a laboratórium ethernet alapú belső hálózatán keresztül. A megvalósított rendszer segítségével lehetőség nyílik a reaktív porlasztási folyamatban részt vevő semleges és reaktív gázok parciális nyomásainak mérésére.

Kulcsszavak: *vékonyréteg, parciális nyomás, kvadrupól analizátor, beágyazott rendszer*

1. Bevezető

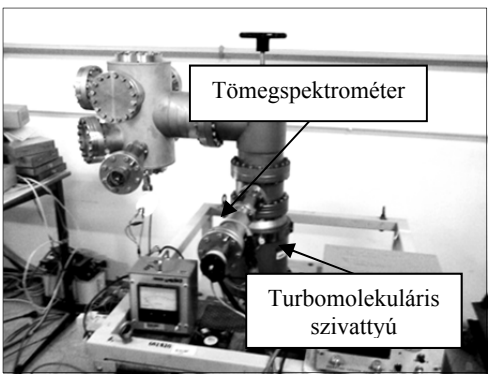
A Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem Műszaki és Humántudományok Karán belül működő Nemzetközi Fizika Kutatóintézetben kopásálló vékonyréteg-bevonatok előállításával és tanulmányozásával foglalkoznak. A reaktív egyenáramú magnetronos porlasztási eljárással előállított titán-nitrid (Ti_xN_y) és titán-oxinitrid (TiO_xN_y) vékonyrétegek elsősorban az intenzív súrlódásnak kitett ipari berendezések alkatrészeinek élettartamát hivatottak növelni.

A sikeres és megismételhető, komplex porlasztási folyamat alapfeltétele a rendszer valamennyi paraméterének (porlasztási teljesítmény, rétegnövekedési sebesség, gázhozamok, dinamikus és parciális nyomások) szabályozása. Ezen folyamat rendszerint saját tervezésű, testre szabott mérő és irányítási rendszerek, algoritmusok, elektronikai áramkörök kidolgozását és megvalósítását feltételezi.

2. Célkitűzés

A folyamat során használt semleges argongáz, valamint a reaktív nitrogén- és oxigéngázok a porlasztóberendezésben parciális nyomásokat hoznak létre. A reaktív gázok egy adott része részt vesz a reakcióban és beépül a rétegbe [3]. Bár vezérelt hozamszabályozók használata révén a beengedett gázmennyiség ismert és állandó, a folyamat többi paraméterének változása következtében a reaktív gázok parciális nyomásai a folyamat során változnak. Ez természetesen egy nem kívánt jelenség, mivel a parciális nyomás változása hatással van a réteg szerkezetére.

A cél egy olyan irányítási rendszer kifejlesztése, melynek segítségével a reaktív gázok parciális nyomásai szabályozhatóak, s ezáltal lehetőség nyílik az állandó rétegszerkezet elérése is. Megvalósításának első lépése egy mérőrendszer építését feltételezi, melynek segítségével elvégezhető a parciális nyomások folyamat közbeni mérése. A használt analizátor egy kvadrupól típusú tömegspektrométer, melynek aktív pásztázási tartománya 0-99 atomtömegegység (Da). Az analizátor ionizálja a gázt, majd elektromos tér segítségével szétválasztja az ionokat a tömegtöltésük (m/z) függvényében [1-2]. Továbbá megadható a mérési érzékenység és felbontás is, melyek függvényében változik a pásztázási idő is pár másodperc és 1-2 perc között. Minél nagyobb a felbontás, annál tovább tart egy teljes mérés. A megengedett, biztonságosan használható nyomástartomány felső határa 10^{-9} Torr. Egy teljes pásztázás eredménye atomtömegegység és Torrban kifejezett parciális nyomás típusú adatpárokból épül fel.

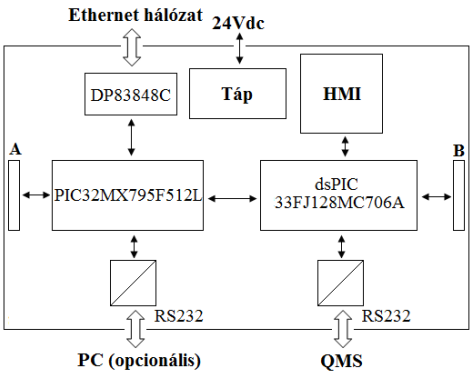


1. ábra. *Kísérleti berendezés: kvadrupól tömegspektrométer (QMS) saját vákuumkamrával, turbomolekuláris szivattyúval és vészleállító áramkörrel*

3. Beágyazott rendszer fejlesztése

A beágyazott rendszer alapvető feladata egy stabilan működő, megbízható platform biztosítása a különböző irányítási, adatfeldolgozó és adattovábbítási algoritmusok számára, melyeknek köszönhetően egy könnyedén paraméterezhető és kezelhető mérőrendszert kapunk.

A beágyazott rendszer, melynek leegyszerűsített elvi tömbrajza a **2. ábrán** látható, két mikrovezérlőre épül, amelyek jól meghatározott és elkülönített feladatokat látnak el.

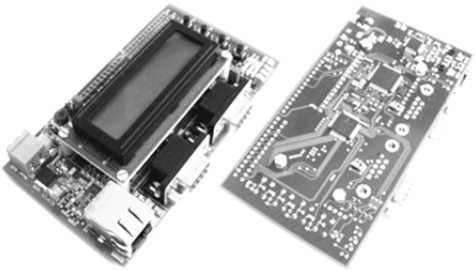


2. ábra. *Beágyazott rendszer leegyszerűsített elvi tömbrajza*

Egy DSP típusú, 16 bittes architektúrájú mikrovezérlő gondoskodik a tömegspektrométer összes időkritikus irányítási és számításigényes adatfeldolgozási algoritmusainak a végrehajtásáról. Másodlagos feladata egy helyi ember-gép interfész (HMI) működtetése.

A HMI révén helyileg ellenőrizhetőek a tömegspektrométer paraméterei, a rendszer aktuális állapota, valamint az ethernet típusú hálózati csatlakozás beállításai (MAC cím, IP cím).

A második, 32 bittes architektúrájú mikrovezérlő alapvető feladata biztosítani az adatforgalmat a különböző kommunikációs interfészek között, feldolgozni a beérkező utasításokat és kiszolgálni a kéréseket. Az ethernet alapú hálózaton TCP csomagok formájában történik az adatok kétirányú küldése, továbbá egy beágyazott web-szervernek köszönhetően böngészőn keresztül is elérhetjük a tömegspektrométert bármilyen mobil platformról. A különböző algoritmusok helyes működését az együttműködő többfeladatos feldolgozás („*cooperative multitasking*”) biztosítja [4].



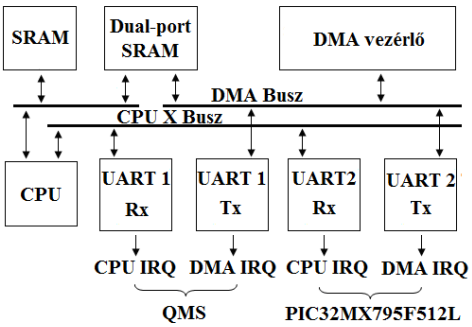
3. ábra. *A megvalósított mikrovezérlős beágyazott rendszer*

A nyomtatott áramkör tervezésének egyik alapkövetelménye a zajimmunitás biztosítása, valamint a 100 Mbit/s adatátviteli sebességre alkalmas ethernet interfész alkatrészeinek kompakt elrendezése. A zajimmunitás lokális EMI/EMC szűrők, ferrit- és alacsony impedanciás tantál- vagy kerámiakondenzátorból felépülő LC szűrők segítségével érhető el. A rendszerben megjelenő, kHz tartományban levő zajok elsődleges forrásai a porlasztási folyamatban használt, nagy teljesítményű kapcsolóüzemű tápegységek.

A négyrétegű nyomtatott áramkör esetében a mikrovezérlők felöli közbelső, árnyékoló szerepet betöltő réteg GND potenciálra van kötve, ezáltal a fémház használata nem kötelező.

3.1. DMA vezérlő alkalmazása soros adatcsere hatékonyságának növelésére

A hardverközeli algoritmusok és a mikrovezérlőben lévő DMA („*Direct Memory Access*”) vezérlő segítségével az aszinkron soros kommunikációt kívántuk hatékonyabbá tenni azáltal, hogy függetlenítjük a processzortól a belső RAM memória és a soros periféria között zajló adatcserét [5]. A soros interfész mindössze 4B-os puffere, valamint a nagy adatforgalom indokolja a DMA vezérlő használatát.



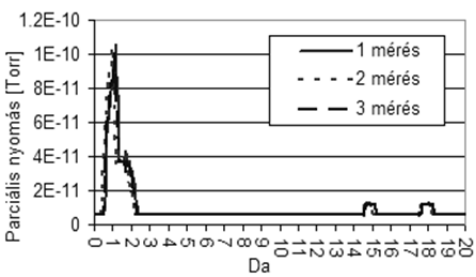
4. ábra. *DSP mikrovezérlő DMA és buszrendszerének elvi tömbrajza [5]*

A **4. ábrán** megfigyelhető, hogy a DMA vezérlő egy saját buszon keresztül eléri a soros perifériát, valamint a dual-port RAM típusú memóriát [5]. Mivel az adatcsomagok mérete széles skálán változhat (3B-4kB), csak a küldésnél használjuk a DMA vezérlőt, hiszen csak ebben az esetben ismert előre a csomag hossza. Az adatok fogadása tehát a hagyományos, bájtonkénti csomagösszerakás módszerén alapszik.

A beágyazott rendszerben levő 40MIPS-es dsPIC33FJ128MC706A mikrovezérlő esetében a DMA vezérlő és az alkalmazott algoritmusok használatával 500ns/B végrehajtási idő takarítható meg.

3.2. Mérési eredmények

A mérőrendszer működésének ellenőrzésére számos próbamérést végeztünk.



5. ábra. *Próbamérés: 3 különböző pásztázás eredménye (azonos érzékenység és mérési feltételek)*

A mérések több napos eltéréssel, de azonos feltételek mellett zajlottak. Minden esetben azonos volt a beállított érzékenység, valamint a mérőrendszer saját vákuumkamrájában lévő gázelegy összetétele. A mérések eredményeit az **5. ábra** tartalmazza.

4. Következtetések

A nyomtatott áramkör tervezése során használt eljárásoknak köszönhetően a laboratóriumban megjelenő vezetett és sugárzott zajok nem befolyásolják az elektronikai áramkör működését. Az azonos feltételek mellett történő, de időben többnapos eltéréssel elvégzett próbamérések eredményei minimális eltéréssel (<±1%) megegyeztek, ezáltal elmondhatjuk, hogy a mérőrendszer alkalmas a porlasztási folyamat során használt semleges és reaktív gázok parciális nyomásainak mérésére.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Dunnivant, F.M., Ginsbach, J.W.: *Gas Chromatography-, Liquid Chromatography-, Capillary Electrophoresis-Mass Spectrometry – A basic introduction*. Whitman College, Chemistry Department, 2011. 5.5.2 alfejezet.

[2] Dunnivant, F.M., Ginsbach, J.W.: *Flame Atomic Absorbance and Emission Spectrometry and Inductively Coupled Plasma – Mass Spectrometry*. Whitman College, Chemistry Department, 2011. 4. fejezet.

[3] Berg, S., Nyberg, T.: *Fundamental understanding and modeling of reactive sputtering processes*. Science Direct, Thin Solid Films 476, 2005. 215–235.

[4] *** TCP/IP programcsalád leírása: *Microchip TCP/IP Stack Help* (verzió: 5.42.08 – 2013.).

[5] *** DMA vezérlő ismertetése dsPIC33-as mikrovezérlőre: *Section 22. Direct Memory Access (DMA)*, Internetes elérési lehetőség: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70182C.pdf (2014).

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 91–96. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.09
http://hdl.handle.net/10598/.28552.

GANTRY TÍPUSÚ, PÁRHUZAMOS HAJTÁSÚ ROBOT MODELLEZÉSE ÉS VIZSGÁLATA

MODELLING AND ANALYSIS OF GANTRY TYPE, PARALLEL DRIVEN ROBOT

Forgó Zoltán[1], Tolvaly-Roșca Ferenc[2]

[1]*Sapientia-EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Cím: 540485, Románia, Marosvásárhely, Segesvári út, 1C; Telefon/Fax: +40-265-208170/+40-265-206211, zforgo@ms.sapientia.ro*

[2]*Sapientia-EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Cím: 540485, Románia, Marosvásárhely, Segesvári út, 1C; Telefon/Fax: +40-265-208170/+40-265-206211, tferi@ms.sapientia.ro*

Abstract

Fast and accurate activity is the demand of actual industry. The use of industrial robots reflects those needs, and worldwide parallel structures are searched and developed, to assure a bigger and homogenous workspace for the manipulators. In this paper a gantry type parallel actuated manipulator structure is introduced. The geometric, kinematic and dynamic model of the recommended mechanism is presented, and the advantages are presented.

Keywords: *robot, parallel drive, workspace, mathematical model*

Összefoglalás

Az iparban folyamatosan növekszik az igény a pontosabb és gyorsabb tevékenységek iránt. Így a robotok használata sem kivétel, és világviszonylatban folyik a kutatás olyan párhuzamos struktúrájú robotok fejlesztésére, melyek a megnövekedett és homogén munkateret célozzák meg. Jelen dolgozat egy olyan portáldaru típusú robotot mutat be, mely felépítéséből adódóan többszörösen is megfelel az előbbi feltételeknek. Ezen előnyök a robot geometriai, kinematikai és dinamikai modellalkotására alapozva lettek megállapítva.

Kulcsszavak: *robot, párhuzamos hajtás, munkatér, matematikai modell*

1. Bevezetés

A felgyorsult ipari folyamatok szükségessé tették az elmúlt század második felében az ipari robotok használatát. Ezek között a párhuzamos struktúrájú robotok egyre nagyobb alkalmazási területet nyernek előnyös tulajdonságaiknak köszönhetően. Ennek ellenérre a kis munkatér (a robot saját méreteihez képest) és ezen belül a sajátos konfigurációk száma határt szab a párhuzamos topológiájú mechanizmusok széles körű alkalmazásának ([2], [3], [4], [5]). Ezeket a hátrányokat szünteti meg a párhuzamos működtetésű négy szabadságfokú robot, melynek felépítését az **1. ábra** és a **2. ábra** szemlélteti. Az **1. ábra** (a) és (b) vázlata két lehetőséget mutat be, melyek segítségével egy karakterisztikus pontnak (P) két

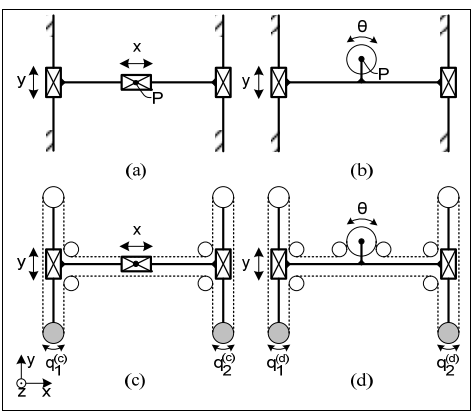
szabadságfok kölcsönözhető. Mindkét esetben a P pont egy híd segítségével egy lineáris mozgást végezhet az y tengely mentén. Az első esetben egy transzlációs elmozdulást az x tengely mentén, illetve a (b) mechanizmussal egy rotációt a z tengely körül végezhet a P pont. A további (c) és (d) változatban az előbbi eseteknek a hajtására van ajánlat téve. Az P ponthoz tartozó mechanizmuselemek egy fogas szíj segítségével vannak mozgatva, két motor segítségével (satírozott körök). Az [1] alapján a következő geometriai összefüggések írhatók fel a P pont által végzett mozgások és a motorparaméterek között:

$$\begin{cases} q_1^{(c)} = y / r - x / r \quad [rad] \\ q_2^{(c)} = -y / r - x / r \quad [rad] \end{cases} \tag{1}$$

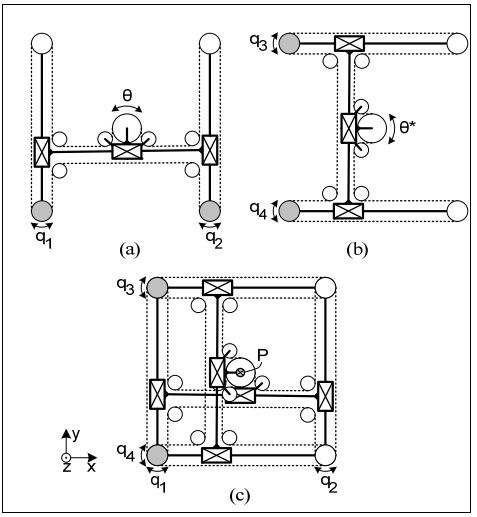
$$\begin{cases} q_1^{(d)} = y / r + R \cdot \theta / r \quad [rad] \\ q_2^{(d)} = -y / r + R \cdot \theta / r \quad [rad] \end{cases} \tag{2}$$

Az (1) és a (2) egyenletek alapján állapíthatók meg a **2. ábra** (a) mechanizmusának mozgásegyenletei:

$$\begin{cases} q_1 = -x / r + y / r + R \cdot \theta / r \quad [rad] \\ q_2 = -x / r - y / r + R \cdot \theta / r \quad [rad] \end{cases} \tag{3}$$



1. ábra *Gantry típusú mechanizmusok: az (a) és (b) esetben a P pontnak két szabadságfokú mozgása lehetséges, a (c) és (d) ábrák ezeknek a meghajtására adnak megoldást*



2. ábra *Az (a) és (b) mechanizmusokból kialakult négy szabadságfokú robot (c) struktúrája*

A végső berendezés két darab egyforma, két szabadságfokú mechanizmus egymásra csúsztatása után jön létre, amint az ábrán látható. A középső fogaskerekek egy-egy fogas szíj segítségével vannak meghajtva a q_i és a q_{i+1} (i=1,3) kerekek segítségével.

Ugyanezen tengelyek biztosítják az x és az y irányban a szekerek elmozdulásait a következő egyenletrendszer alapján:

$$\begin{cases} q_1 = -x / r + y / r + R \cdot \theta / r \quad [rad] \\ q_2 = -x / r - y / r + R \cdot \theta / r \quad [rad] \\ q_3 = x / r + y / r + R \cdot \theta^* / r \quad [rad] \\ q_4 = -x / r + y / r + R \cdot \theta^* / r \; [rad] \end{cases}, \tag{4}$$

ahol az r és R változók a kis- , ill. a nagy fogas szíjkerekek sugarát jelölik. A θ forgást végző szíjkerék, egy golyósanyán keresztül, egy tengelynek transzlációt kölcsönöz. Mivel a tengely merőleges a **2. ábrá**ban bemutatott mechanizmus síkjára, így ennek segítségével a z elmozdulás valósítható meg. Ugyanakkor a θ^* forgást végző szíjkerék egy bordás anya

segítségével az említett tengelynek elfordulást biztosít a z tengely körül. A fenti egyenletek alapján meg lehet határozni az így kialakult négy szabadságfokú rendszer geometriai és kinematikai vezéregyenleteit [1]:

$$\mathbf{X} = \left(x \;\; y \;\; z \;\; \theta\right)^T = \\ = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{r}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{r}{2} & -\frac{r}{2} & 0 & 0 \\ \frac{-p\cdot r}{4\pi\cdot R} & \frac{p\cdot r}{4\pi\cdot R} & \frac{p\cdot r}{4\pi\cdot R} & \frac{p\cdot r}{4\pi\cdot R} \\ \frac{r}{2R} & \frac{r}{2R} & \frac{r}{2R} & -\frac{r}{2R} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{pmatrix} = \mathbf{J}\cdot\mathbf{q} \tag{5}$$

$$\dot{\mathbf{X}} = \left(\dot{x} \;\; \dot{y} \;\; \dot{z} \;\; \dot{\theta}\right)^T = \\ = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \frac{r}{2} & -\frac{r}{2} \\ \frac{r}{2} & -\frac{r}{2} & 0 & 0 \\ \frac{-p\cdot r}{4\pi\cdot R} & \frac{p\cdot r}{4\pi\cdot R} & \frac{p\cdot r}{4\pi\cdot R} & \frac{p\cdot r}{4\pi\cdot R} \\ \frac{r}{2R} & \frac{r}{2R} & \frac{r}{2R} & -\frac{r}{2R} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{pmatrix} = \mathbf{J}\cdot\dot{\mathbf{q}} \tag{6}$$

2. Az ajánlott struktúra dinamikai modellje

A dinamikai modellezés a Lagrange-egyenlet segítségével van felvázolva. Így lehetőség nyílik az *i.* hajtótengelyen szükséges nyomaték kiszámítására, vagy a tengelyek szöggyorsulását, vagy a mozgatott, hasznos teher gyorsulását alapul véve. A Lagrange-egyenlet a következőképpen írható fel általános alakban:

$$M_i = \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i}, \tag{7}$$

melyben a Lagrange-függvény az (8)–(10) egyenleteken keresztül számítható ki:

$$L = E^c - E^h = E_x^c + E_y^c + E_c^c + E_a^c - E_a^h, \tag{8}$$

$$E^c = \frac{m_x\cdot v_x^2}{2} + \frac{m_y\cdot v_y^2}{2} + \frac{m_c\cdot\left(v_x^2+v_y^2\right)}{2} + \\ + \frac{m_a\cdot\left(v_x^2+v_y^2+v_z^2\right)}{2} + \frac{J_a\cdot\omega_z^2}{2} \\ E^h = m_a\cdot g\cdot z \tag{9}$$

$$L = \frac{m_x+m_c+m_a}{2}\cdot v_x^2 + \frac{m_y+m_c+m_a}{2}\cdot v_y^2 + \\ + \frac{m_a}{2}\cdot v_z^2 + \frac{J_a}{2}\cdot\omega_z^2 - m_a g\cdot z \tag{10}$$

Ez utóbbit mátrixegyenletté lehet alakítani:

$$L = \frac{1}{2}\left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_c \\ m_a \\ J_a \end{pmatrix}\right]^T \cdot \begin{pmatrix} \dot{x}^2 \\ \dot{y}^2 \\ \dot{z}^2 \\ \dot{\theta}^2 \end{pmatrix} + \\ + \left[\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_c \\ m_a \\ J_a \end{pmatrix}\right]^T \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ \theta \end{pmatrix}, \tag{11}$$

mely a következő formában is felírható:

$$L = \mathbf{A}\cdot diag\left(\dot{\mathbf{X}}\right)\cdot\dot{\mathbf{X}} + \mathbf{B}\cdot\mathbf{X}, \tag{12}$$

ahol:

$$\mathbf{A} = \left[\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_c \\ m_a \\ J_a \end{pmatrix}\right]^T.$$

$$\mathbf{B} = \left[\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_c \\ m_a \\ J_a \end{pmatrix}\right]^T$$

Alapul véve a meghajtott tengelyek elmozdulásait és azok időbeni változásait a (12) felírható:

$$L=\frac{1}{2}\mathbf{A}\cdot diag\left(\mathbf{J}\cdot\dot{\mathbf{q}}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\dot{\mathbf{q}}+B\cdot J\cdot\mathbf{q} \qquad (13)$$

A parciális és az idő szerinti deriválást elvégezve a (15)–(17) egyenletekhez jutunk:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}=\frac{1}{2}\mathbf{A}\cdot diag\left(\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\dot{\mathbf{q}}+ +\frac{1}{2}\mathbf{A}\cdot diag\left(\mathbf{J}\cdot\dot{\mathbf{q}}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i} \qquad (14)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}=\mathbf{A}\cdot\mathbf{J}\cdot diag\left(\dot{\mathbf{q}}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i} \qquad (15)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right)=\frac{d}{dt}\left(\mathbf{A}\cdot\mathbf{J}\cdot diag\left(\dot{\mathbf{q}}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i}\right)= =\mathbf{A}\cdot\mathbf{J}\cdot diag\left(\frac{d\dot{\mathbf{q}}}{dt}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i}= =\mathbf{A}\cdot\mathbf{J}\cdot diag\left(\ddot{\mathbf{q}}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i} \qquad (16)$$

$$\frac{\partial L}{\partial q_i}=\frac{\partial}{\partial q_i}\left(\mathbf{B}\cdot\mathbf{J}\cdot\mathbf{q}\right)=\mathbf{B}\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\mathbf{q}}{\partial q_i} \qquad (17)$$

A fenti eredményeket figyelembe véve a (7) egyenlet a következő formát ölti:

$$M_i=\mathbf{A}\cdot\mathbf{J}\cdot diag\left(\ddot{\mathbf{q}}\right)\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\dot{\mathbf{q}}}{\partial\dot{q}_i}-\mathbf{B}\cdot\mathbf{J}\cdot\frac{\partial\mathbf{q}}{\partial q_i} \qquad (18)$$

A kinematikai modell összefüggéseiből viszont meghatározhatók a robotparamétergyorsulások a karakterisztikus pont gyorsulásai függvényében:

$$\ddot{\mathbf{q}}=\begin{pmatrix}\ddot{q}_1\\ \ddot{q}_2\\ \ddot{q}_3\\ \ddot{q}_4\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}-\frac{1}{r} & \frac{1}{r} & 0 & \frac{R}{r}\\ -\frac{1}{r} & -\frac{1}{r} & 0 & \frac{R}{r}\\ \frac{1}{r} & \frac{1}{r} & \frac{2\pi\cdot R}{p\cdot r} & \frac{R}{r}\\ -\frac{1}{r} & \frac{1}{r} & \frac{2\pi\cdot R}{p\cdot r} & \frac{R}{r}\end{pmatrix}\cdot\begin{pmatrix}\ddot{x}\\ \ddot{y}\\ \ddot{z}\\ \ddot{\theta}\end{pmatrix}=\mathbf{J}^{-1}\cdot\ddot{\mathbf{X}},$$

mely a (18) egyenletet a következő formára egyszerűsíti:

$$M_i=A\cdot diag\left(\ddot{\overline{X}}\right)\cdot J\cdot\frac{\partial\dot{\overline{q}}}{\partial\dot{q}_i}-B\cdot J\cdot\frac{\partial\overline{q}}{\partial q_i} \qquad (19)$$

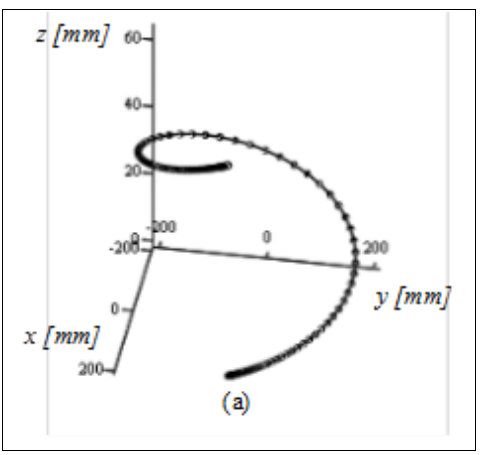
3. Numerikus alkalmazás

A **2. ábrán** látható spirális útvonalat trapézformájú sebességváltozás mellett teszi meg a P karakterisztikus pont. A (12) egyenlet A és B mátrixainak meghatározására a

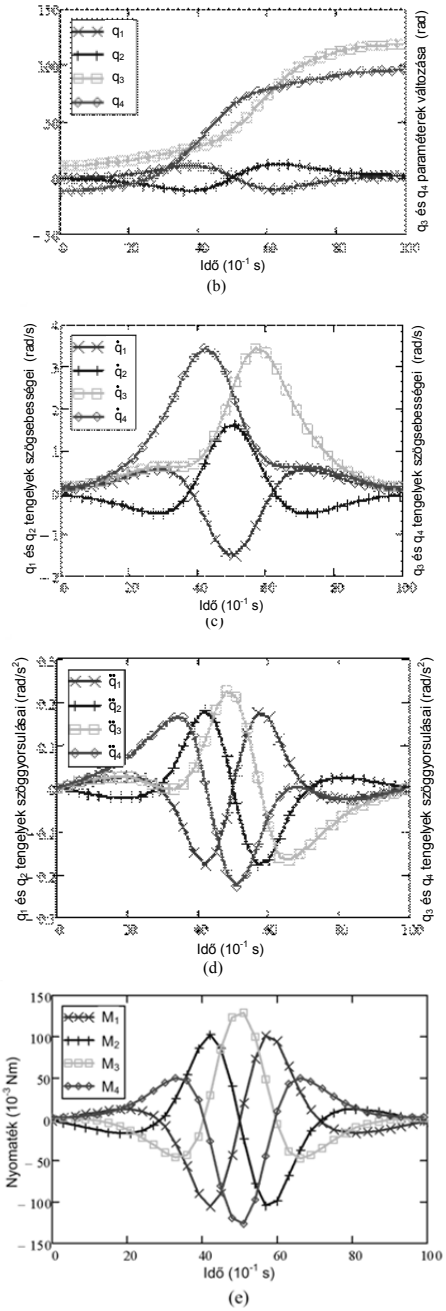
$$\left(m_x \quad m_y \quad m_c \quad m_a \quad J_a\right)= =\left[0.8kg \quad 0.8kg \quad 0.4kg \quad 0.2kg \quad 1.2kgm^2\right]^T$$

egyenlőség lett figyelembe véve, míg az r és az R értékei 18 mm és 45 mm.

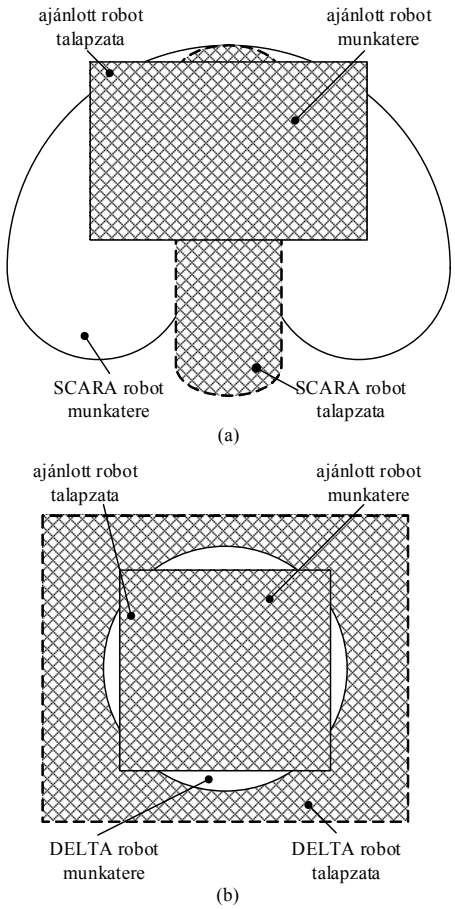
A **3.(e) ábrán** látható szükséges nyomatékok tükrözik az említett értékeket. Megfigyelhető a (19) egyenletből és az ebből adódó grafikonból, hogy a nyomaték nem függ a robot aktuális helyzetétől, csak a szükséges gyorsulások befolyásolják. Ennek köszönhetően a vezérlés egyszerű, valós idejű, nyomatékvezérlést tesz lehetővé a robot felépítése.



3. ábra. *A spirálmozgás (a)*



3. ábra (folyt.) *A spirálmozgás (a) és az azt megvalósító tengelybeli elmozdulások (b) és sebességek (c) gyorsulások (d) és nyomatékok (e)*



4. ábra. *Az ajánlott mechanizmus (elméleti) talpazatának és munkaterének összehasonlítása a SCARA típusú és DELTA típusú robotok talpzatával és munkaterével*

3. Következtetések

Jelen dolgozatban egy négy szabadságfokú mechanizmus bemutatása történt, mely előnyös módon használható anyagmozgatást végző robotként.

Felépítéséből adódóan a mechanizmus munkatere egy téglatest, melynek minden belső pontjában bármely θ elfordulás megvalósítható a *z* tengely körül. Az a tény,

hogy az (5) egyenletben bevezetett Jacobi-mátrix (**J**) független a robot pozíciójától, és csak konstruktív geometriai paramétereket tartalmaz, biztosítja, hogy **J** soha nem nullázódhat le mozgás közben, tehát a munkatér szélén vagy ennek belsejében nincs sajátos konfiguráció, ami több térrészre osztaná a munkateret. Ennek a homogenitása garancia a maximális térhasználatra optimális, folytonos dinamikai működés mellett. A fent említett okok miatt alkalmasabbnak mondható az ajánlott struktúra használata az Adept Quattro s650H típusú robot alkalmazásánál [6]. Szintén a munkatér szintjén hasonlítható össze az ajánlott mechanizmus a SCARA típusú robottal [7]. Ebben az esetben a munkatér alakja jelenthet előnyt, ami mellé természetesen társul az említett homogenitás is.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Forgó, Z.: *Mathematical Modelling of 4 DOF Gantry Type Parallel Manipulator*. ISR/Robotik2010, München, 2010

[2] Gogu, G.: *Structural Synthesis of Parallel Robots*. Springer kiadó, Dordrecht, 2008

[3] Merlet, J.P.: *Parallel Robots*, Springer kiadó, Dordrecht, 2006

[4] Rolland, L.: *The Manta and the Kanuk: Novel 4-DOF Parallel Mechanisms for Industrial Handling*. Proc. ASME Dynamic Systems and Control Division, IMECE'99 Konferencia, Vol. 67, Nashville, USA, Nov. 14-19, 1999, 831–844.

[5] Tsai, L.-W.: *Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators*. Wiley, John & Sons Inc. Kiadó, New York, 1999.

[6] http://www.adept.com/products/robots/parallel/quattro-s650h/general (Adept Quattro s650H robot leírása)

[7] http://robots.epson.com/product-detail/4 (Epson G10 SCARA Robots leírása)

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 97–106. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.10
http://hdl.handle.net/10598/28553

A KOLOZSVÁRI ÉPÍTŐMÉRNÖKI KÉPZÉS MAI KÉRDÉSEI

CURRENT ISSUES OF CIVIL ENGINEERING EDUCATION IN CLUJ-NAPOCA

Gobesz Ferdinánd-Zsongor[1], Kopenetz Lajos[2]

[1]*Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu (bástya) u. 15, 3/305; Telefon: +40-264-401351, levelezési cím: go@mecon.utcluj.ro*

[2]*Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu (bástya) u. 15, 3/305; Telefon: +40-264-401318, levelezési cím: ludovic.kopenetz@mecon.utcluj.ro*

Abstract

The civil engineering education has a significant past and tradition in Cluj-Napoca, for over 60 years. During the Bologna process transition the focus was mainly on the compatibility between higher education, leaving the quality somehow in the background. In the past, the education and formation of civil engineers was more practice oriented and linked to the industry, while nowadays theory seems more emphasized and the focus is shifted towards (maybe over rated) research activities. Leaning on the notion of engineer, the authors are discussing some features, issues and possible directions of the civil engineering education in their university.

Keywords: *education, civil engineering, quality, Cluj-Napoca.*

Összefoglalás

Az építőmérnöki képzés jelentős múlttal és hagyománnyal rendelkezik Kolozsváron, immár több mint 60 éve. A bolognai folyamat során a hangsúly főként a felsőoktatás egyeztetésére volt fektetve, a minőség pedig valahol a háttérben maradt. A múltban az építőmérnöki képzés kimondottan gyakorlati hangsúllyal bírt, iparhoz kötődő volt, míg manapság az elméleti részek fontosabbak lettek, és a kutatás felé tolódott (talán túlságosan) az oktatás. A mérnök fogalmára támaszkodva a szerzők az egyetemükön folyó építőmérnöki képzés néhány sajátosságát, lehetséges célkitűzéseit és irányzatait ismertetik.

Kulcsszavak: *oktatás, képzés, építőmérnök, minőség, Kolozsvár.*

1. Bevezetés

A romániai építőmérnöki képzés gyökereit a XIX. századbeli „út és híd iskolák” képviselték (Anghel Saligny mérnök és Spiru Haret tanár, majd miniszter kezdeményezései által). Elsőként Jászvásárban, illetve Bukarestben lettek egyetemek alapítva, majd a XX. század közepén az addigi műszaki „iskolák” egy része is egyetemi szintű, műszaki intézetekké változott. E felsőoktatási intézmények megjelenéséig csupán külföldön, illetve gyakorlati tudással és tapasztalattal szerzett mérnöki oklevelekről beszélhetünk.

Kolozsváron 1920 őszétől létezett felsőfokú műszaki képzés építési szakirányban, de az egyetemi szintű építőmérnöki képzés hivatalosan csak 1953-ban indult, ugyanis ekkor lett engedélyezve a már 1947-től kér-

vényezett Politechnikai Intézet megalapítása (villamos-, gépész- és építőmérnöki karokkal). Az építőmérnöki képzés jellege eleinte jelentős gyakorlati, tapasztalati hangsúllyal bírt, később viszont, az egyetemi oktatás fejlődésével, a kivitelezés és a tervezés elméleti háttere felé billent a hangsúly, ma pedig a kutatás is jelentős szerepet játszik.

1. ábra. *A kolozsvári „Közmunkák iskolája" 1932-ben diplomázott hallgatói, oktatóikkal (Franz Pop építőmérnök személyes gyűjteményéből)*

2. Előzmények

Az építőipar nagyon fontos szerepet játszott az 1989-es rendszerváltás előtti román társadalomban, mivel a szocialista gazdaság egyik fő hajtóereje volt, és a nagy befektetések tömegeket foglalkoztattak. Ennek megfelelően az építéstudományi szakemberképzés szerteágazó, változatos és nagyléptékű volt. A munkahelyi képzés és szakosodás mellett szaklíceumok meg mesteriskolák igyekeztek a szakembergárdát biztosítani, az egyetemeken pedig évről évre növekvő létszámú mérnökképzés folyt.

Az építészet terén 6 éves ciklusban folyt az építészmérnöki képzés, illetve 4 éves ciklusban az építészvezető (románul „conductor arhitect") képzés. Az építőmérnökök képzése 5 éves ciklus keretében folyt, az almérnököké pedig 3 évesben. Az „esti" tagozatokon a képzési ciklus időtartama hosszabb volt egy évvel, mivel csökkentett heti óraszámmal folyt a „nappali" tagozatokhoz képest. Az „esti" tagozatokra azok kerülhettek be, akik már munkaviszonyban voltak.

A „nappali" tagozatokon végző minden román állampolgárságú hallgató számára állás volt biztosítva valahol az országban (ezt az ősszévi tanulmányi eredményeik alapján rangsorolva választhatták egy országos elosztási folyamat során). Elvileg egy 3 éves gyakornoki időszak után volt elismerve teljesen a mérnöki minőségük és kompetenciájuk.

Az építőmérnöki hallgatók szakosodása a harmadik évtől kezdődött, és egyre több szakirányból választhattak. Általános magasépítés mellet mélyépítés, folyamszabályozás, majd vasút-, út- és hídépítés, illetve épületgépészet került a kínálatba. Az **1. táblázat** szemlélteti a kolozsvári építőmérnöki kar által kínált szakirányokat a rendszerváltás előtt és ezek létidejét.

1. táblázat. *A kolozsvári Építőmérnöki Karon 1989-ig létrejött szakirányok [1]*

szakirány	tagozat	létezés
Mérnöki képzés		
CCIA	nappali	1953–máig
	látogatás nélküli	1956–1967
	esti	1962–1973 1985–1997
CFDP	nappali	1971–máig
	esti	1982–1996
IC	nappali	1977–2007
	esti	1980–1997
Almérnöki képzés		
CCIA	nappali	1969–1983
	esti	1969–1993
AU	nappali	1970–1983
IC	nappali	1971–1984
	esti	1975–1986
TMC	nappali	1971–1974

A fenti táblázatban használt jelölések a szakok román nyelvű rövidítései, jelentésük pedig a következő (szó szerinti fordításban): CCIA – civil, ipari és mezőgazdasági építmények; CFDP – vasút-, út- és hídépítés; IC – épületgépészet; TMC – építőanyag-technológia; AU – építészet és városrendezés.

3. Rendszerváltozás

Az 1989-es politikai rendszerváltás után az építőipar hirtelen és jelentősen hanyatlani kezdett. Az ötéves terveken alapuló irányított gazdaságról a piacgazdaságra való áttérés során nagyon sok újdonság lepte meg a román társadalmat. A felsőoktatás pénzügyi háttere megváltozott, az iparral való kapcsolat megcsappant, ezért az egyetemek új stratégiákat kellett kidolgozzanak.

Elsőként az „esti" tagozatok lettek felszámolva, mivel (az addig „nappali" tagozatokon) megjelentek a „fizetéses" helyek. Majd a régebben beszüntetett almérnöki képzések helyett új, hiánypótló főiskolák és kollégiumok lettek kialakítva, miközben a piac hatására helyenként új felsőoktatási intézmények, részlegek vagy szakirányok jelentek meg.

1992-ben a kolozsvári Politechnikai Intézet nevet váltott, és Kolozsvári Műszaki Egyetem lett. Közben új karok és szakok születtek a keretében, így az építőmérnöki kar kínálata is fokozatosan bővült. 1990-ben újraindult az építészképzés, de már mérnöki szinten, 6 éves ciklussal. 1991-től építéstudományi szakkollégiumok alakultak az építőmérnöki kart kiegészítve (1991-ben TC – építéstechnológia; 1994-ben OEC – építési gazdaság és szervezés; 1996-ban I – épületgépészet). Szintén 1991-ben indult az IEPA (környezetvédelmi épületgépész) mérnöki képzés, 1995-ben indult az angol nyelvű CE (Civil Engineering) képzés, majd 1997-ben az IE (gazdasági mérnök) szak, szintén román nyelven.

Az Európai Unió létrejötte nagymértékű befolyást gyakorolt a román társadalomra és gazdaságra, így a felsőoktatásra is. Az európai felsőfokú oktatási rendszerek egyeztetésére létrejött a bolgnai folyamat, melynek lényege az angolszász ihletésű „baccaleureus–master" lépcsős rendszer általános bevezetése volt az uniós elképzeléshez csatlakozó egyetemeken. Mivel 1999-től hivatalosan az európai felsőoktatási térségbe léptünk, nálunk is alkalmazkodni kellett e folyamathoz, s ez gyökeres változásokat okozott nemcsak az építőmérnöki képzésben, de a mérnöki karok működésében is.

A hagyományos, egy ciklusból álló mérnöki képzést fokozatosan felváltotta a kétlépcsős rendszer (BSc + MSc), ahol a második lépcső legalább 1,5 szemeszter kellett legyen. Így az addig 5 éves, egylépcsős építőmérnöki képzést felváltotta egy 4 évre „csökkent" úgynevezett alapképzés, melyet egy 2 éves mesteri fokozatú képzés kellett kövessen. Elméletileg ezáltal a régi 5 éves ciklus helyett 6 (4+2) évre terjedő lenne az építőmérnöki oktatás, két szintre bontva. Sajnos az egyetemi oktatás átalakítása nem ezt a logikát követte, mert a legtöbb esetben az addig 5 évre kiterjedő tantervek lettek „átfaragva" úgy, hogy „beférjenek" az alapképzés 4 évébe. Mivel a felső, mesteri ciklus előzőleg nem létezett, ki kellett „találni", és így új szakosodások születtek, tanterveikben javarészt új tantárgyakkal (persze nem minden esetben új tartalommal). E ciklus bevezetésének egyik természetszerű következménye lett a kutatás felé való közeledés az építőmérnöki képzésben is, hiszen a mesteri fokozaton kötelezővé vált a kutatás (bár magát a kutatást mint önálló tantárgyat sehol sem oktatják).

Az almérnöki képzést pótolni próbáló főiskolák és szakkollégiumok számára végzetesnek bizonyult ez a folyamat, megszűnésük némi kavarodást keltett a román építőiparban. Az új oktatási rendszer által kibocsátott minősítések nem fedték kompetencia szempontjából a régieket, illetve az

almérnökök és mérnökök közti különbségek (főleg a felelősség és kompetenciák terén) megoldatlan problémaként nehezedett az építőiparra. Ezt felismerve sok almérnöki oklevéllel rendelkező személy újrairatkozott a mérnöki karokra, hogy „megszakítottnak” tekinthető tanulmányait újfent folytassa, és ezáltal új keletű „mérnöki” oklevélhez jusson.

1998-ban a kolozsvári építészmérnöki képzés levált az építőmérnöki karról, és különálló karként kezdett fejlődni, majd 2007-től az épületgépészet is önálló kar lett.

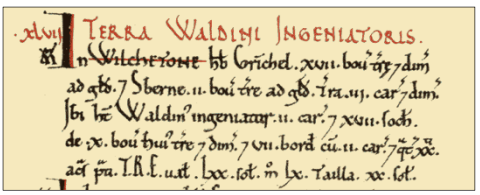
2006-ban lett beindítva az Építőmérnöki Karon a geodétamérnök-képzés (MTC – földmérés és kataszter), majd 2008-ban két újabb szakirány: a vízszabályozás (ACH – hidrotechnikai építmények és létesítmények) és a városfejlesztés (IUDR – mérnöki városrendezés és területi fejlesztés) [1].

Érdemes megjegyeznünk, hogy az építészmérnöki oktatást elkerülte a kétszintű lépcsős rendszer, megmaradt a 6 éves időtartamú, egy ciklusból álló képzés (a csökkentett időtartamú építészvezető képzés eltűnt). A romániai építészek egységes szakmai és jogi érdekképviseletét az OAR (Romániai Építészek Rendje) biztosítja, és tevékenységként az építészet szabadelvű foglalkozásként van besorolva. Feltehető a kérdés, hogy mérnökök-e tulajdonképp az építészmérnökök, hiszen a mérnökök szakmai és jogi képviseletére a Mérnöki Kamarák lennének hivatottak (bár Romániában még nem sikerült ezt a szervezetet létrehozni).

4. Mérnök

Általános elvként elfogadható, hogy e fogalom találékonysággal, gyakorlati feladatmegoldó képességgel és valamilyen termék megalkotásával kapcsolatos képességre vonatkozik, amit manapság felsőfokú képesítéssel szerzett oklevél támaszt alá.

A mérnök fogalom első írásos változatai talán a XI. századbeli „Domesday Book” (Utolsó ítélet könyve – a szerzők fordítása) című terjedelmes kézirat bejegyzéseiben lelhetők. Ott jelent meg foglalkozásként (vagy inkább szakértelemként) lejegyezve, mint „ingeniator”, „ingeniatoris” (**2. ábra**), melyből később az ófrancia „engigneor” [9], majd a közép-angol „engineor” változat alakult ki. Úgy a francia, mint az angol nyelvű változatai nyilvánvalóan hadiszerkezetekhez, gépezetekhez („engin”, „engine”) kapcsolódó tevékenységre utalt, míg a latin „ingeniator” változata inkább tűzszerészi, tüzérségi tapasztalatra vonatkozott [8].



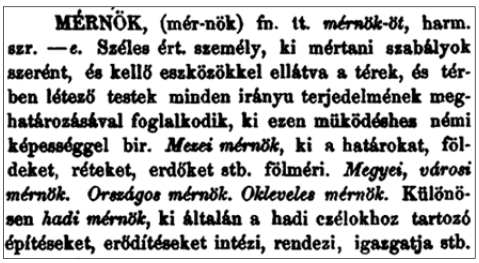
2. ábra. *„Ingeniatoris” bejegyzés a „Domesday Book” „Lincolnshire” fejezetének LX. oldalán [8].*

Az újlatin nyelvekben a szó eredetét javarészt a latin „ingenium”-ra vezetik vissza (így a román nyelvben létező „inginer” szót is, mely a francia „ingénieur”-ből alakult ki). E fogalom főként a reneszánsz korában kezdett elterjedni (mint foglalatossági jelző), de a mai értelmezése az ipari forradalom idejéhez köthető.

A magyar „mérnök” szó jóval újabb keletű, mint újlatin változatai. Bár alakra a földmérő tevékenységből ered, jelentésként jóval közelebb áll az építéstudományhoz, mint más nyelvben használt szavak, ugyanis a XX. század elejéig az út-, vasút-, hídépítés és folyamszabályozás területén jártas szakemberek megjelöléseként volt inkább használva [10].

Kissé később alakult ki a szakterülethez csatolt, magasabb minősítési szintre utaló megkülönböztető jelzőként való használata a mérnök szónak (így jelent meg az építészmérnök, aztán a gépészmérnök, vegyészmérnök, építőmérnök, stb.).

Az értelmező szótárakban is nyomon követhető a mérnök fogalom alakulása párhuzamosan a képzés és az oktatás fejlődésével. Eleinte „széles értelmű”, mérésekkel és számításokkal, illetve hadi építményekkel foglalkozó személyt jelölt, külön említve az okleveles mérnököt (**3. ábra**), ma már műszaki vagy mezőgazdasági tudományokat alkalmazó, felsőfokú végzettségű szakembert jelent [11]. Csupán érdekességként említjük, hogy a mérnök szónak furább alakjai is előfordultak a magyar nyelvben, mint például az újlatin eredetet érzékeltető „inzsenér” vagy „indzsenér”, avagy a népiesebb „inzsellér” [7], „ingyzsellér” (sőt „ingyenél”), stb.


MÉRNÖK, (mér-nök) fn. tt. *mérnök-öt,* harm. szr. —*e.* Széles ért. személy, ki mértani szabályok szerént, és kellő eszközökkel ellátva a térek, és térben létező testek minden irányu terjedelmének meghatározásával foglalkodik, ki ezen működéshez némi képességgel bir. *Mezei mérnök,* ki a határokat, földeket, réteket, erdőket stb. fölméri. *Megyei, városi mérnök. Országos mérnök. Okleveles mérnök.* Különösen *hadi mérnök,* ki általán a hadi czélokhoz tartozó építéseket, erődítéseket intézi, rendezi, igazgatja stb.

3. ábra. *A „mérnök” szó értelme a „Czuczor-Fogarasi”-szótár 1867-es kiadásában [4].*

Hagyományosan a mérnöki tevékenység főleg az ipari ágazatokban volt jelen és így lényeges hatása volt a gazdaságra. Gyakorlatilag, egy mérnök feladata ma is az, hogy a rendelkezésére álló erőforrásokkal minél hatékonyabban megoldjon bizonyos feladatokat.

5. Kutatás

A felsőoktatás ma már elképzelhetetlen kutatás nélkül. Nemcsak a kutatási szerződések értéke és mennyisége fontos az egyetemek számára, hanem a tudományos cikkek, közlemények, a találmányok és szabadalmak is befolyásolják az intézmény minőségi rangsorolását meg az oktatók és kutatók előrehaladását. Mindannyian tudjuk, hogy a kutatási versenykiírások sokszor bűvös kört teremtenek, ugyanis a támogatások elnyeréséhez megfelelő minőség és tapasztalat igényeltetik, amit kutatások és eredmények nélkül nem lehet felmutatni.

Egy más kérdés, hogy mi számít kutatásnak és eredménynek. A pénzügyi támogatások odaítélésekor az egyik lényeges szempont az, hogy mennyire reális, menynyíre valósítható meg a javasolt kutatási terv. Ez teljesen kizárja az olyan témákat, ahol a kutatás eredménye ismeretlen vagy kérdéses, így a kutatási szerződések közelebb állnak a szolgáltatási vagy gyártási szerződésekhez.

A mérnöki kutatásokhoz jól felszerelt laboratóriumok is szükségesek. Mivel nagyobb anyagi beruházásokra nagyon ritkán akad lehetőség, sőt a meglévő felszerelések karbantartása és üzemeltetése is komoly anyagi terhet jelent, egyre fontosabb a támogatók és a külső pénzforrások keresése. Ebből a megfontolásból lett karunkon kialakítva egy „egységes laboratórium”, egy kalap alá vonva a tanszékek és kutatócsoportok különféle kisebb laboratóriumait és ezáltal versenyképesebbé, vonzóbbá téve az építőipari cégek számára a használatát. E laboratóriumot természetesen továbbra is használják kutatóink, de a doktoranduszok és a hallgatók számára is egyre látogatottabbá vált. A hallgatók bevonása a laboratóriumi tevékenységekbe nemcsak szaktantárgyak esetében lehetséges. Nagyon jó ürügyet szolgáltatnak a diák-kutatókörök és vetélkedők, az esetleges sikerek pedig a támogatókat is vonzzák. Másrészt, mivel egyre több kísértés vonja el a fiatalok figyelmét a tudásgyarapítástól, megfelelő „csalik” bevetésével vonzóvá lehet varázsolni az oktatást (még akkor is, ha a tantervek ezt látszólag nem támogatják). Ugyanakkor a hallgatók minél korábbi bevonása különféle kísérletek, számítások lebonyolításába elősegíti a későbbi csoportos meg önálló (mesteri, doktori stb.) kutatótevékenységüket.

4. ábra. *Kutatásra és oktatásra használt kisméretű szélcsatorna a tanszékünk szerkezeti laborjában*

A doktori kutatásokhoz különösen jól jön minden segítség és tapasztalat, mert manapság nagyon rövid idő alatt kell elfogadható eredményeket felmutatni. A bolognai folyamatig a doktori kutatások időtartama és a tézisek véglegesítése nem volt túl szigorúan szabályozva. Építéstudományi területen 4-5 évnél rövidebb időtartam elképzelhetetlen volt, esetenként 10 évet is eltartott, amíg a kandidátus eljutott a megvédésig. Az egyik előfeltétel a kutatásban szerzett tapasztalat volt, ezt építéstudományi kutatóintézetekben vagy egyetemeken szerződött projektek keretében lehetett elérni. A bolognai folyamat alkalmazásából eredő, mérnöki és műszaki területeken is 3 évesre korlátozot időtartamot még nem sikerült megértenünk teljesen, és azt sem, hogy miért lett szükséges oly sok esetben a doktori cím. Az igaz, hogy valamikor a doktori cím lényege az volt, hogy a kandidátus bebizonyítsa, miként tudott önállóan elvégezni egy kutatást, ezt és a tanulságait megfelelően közölni tudja, majd elismert szaktekintélyek előtt képes legyen az eredményeit és a következtetéseit megvédeni. Véleményünk szerint ez az elv nem változott, de a doktori tézisek száma és haszna igen.

A piacgazdaság egyik velejárója a verseny és a versenyképesség – ez a kutatás területén is egyre fontosabb. A fiatal kutatók ösztönzésére és támogatására számos keret létezik (különféle kutatási ösztöndíjak, tehetségápoló programok és intézetek – mint például a Collegium Talentum). Az alapképzésben részesülő egyetemi hallgatók esetében viszont főként a tanulmányi eredményeket ösztönzik a létező támogatási rendszerek, a kutatótevékenységeket nem igazán. Pedig a versenyképességet, az egészséges versengő szellemet korábban táplálva, később könnyebb és hatékonyabb munkavégzést lehet tapasztalni a fiatal kutatók részéről.

Igaz, hogy elég szép hagyománya van a tudományos diákköri konferenciáknak az építőmérnöki karon, de kérdés, hogy hány bemutatott dolgozat mögött van tényleges kutatói tevékenység a hallgatók részéről.

Az alapképzésben részesülő hallgatók kutatótevékenységét illetően a 2010–2011-es tanév mérföldkőnek számít a kolozsvári építőmérnöki karon, ugyanis akkor kezdődtek azok a kutatások (felkészülés az óbudai RECCS-en meg az amerikai EERI-SDC vetélkedőn való részvételre), amelyek később a leglátványosabb nemzetközi eredményekhez juttatták a hallgatóinkat.

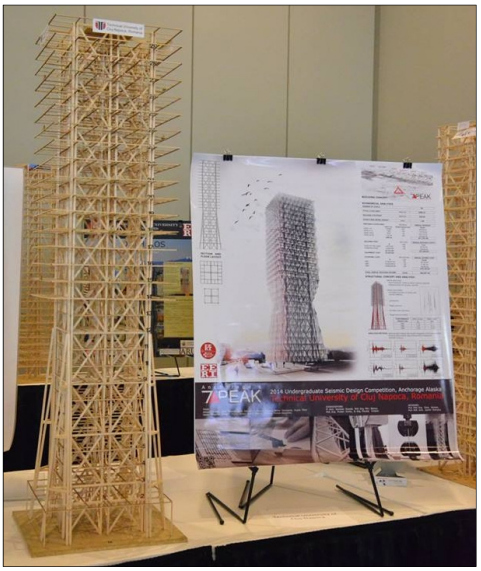
5. ábra. *Az első bajnokcsapatunk a 2012-es óbudai RECCS-en*

Ezektől ihletve sokkal színesebbé és gazdagabbá vált a hallgatók kutatási érdekeltsége (szélcsatorna-kísérletek, szalmabálákból építhető házak, hidak és tartókeretek rezgésmérése, víztisztítás, betonkenuépítés és verseny stb. – hogy csak néhányat említsünk).

6. ábra. *Egy tésztahíd töréspróbája a 2014-es óbudai RECCS-re való selejtezőnkön*

A RECCS nem más, mint világbajnokséggá felnőtt száraztészta hídépítő vetélkedő, amin 1 m-es fesztávú, 1 kg-ot meg nem haladó tömegű, kereskedelmi forgalomban kapható száraztésztafélékből ragasztóval megépített szerkezetet vetnek alá fokozatos központi terhelésnek, és a legnagyobb végterhelést bíró szerkezet nyer [5]. Több helyen létezik a világon hasonló vetélkedő, de a legjobb eredményeket az Óbudai Egyetem hallgatói érték eddig el e téren, a budapesti világbajnokságokon. A karunkat képviselő csapatok 2012-ben és 2014-ben is elnyerték az első helyet a „híd" kategóriában, utoljára 436,4 kg teljesítménnyel. Az eddigi legjobb eredményünk viszont a debreceni TörDElő-n született, ahol az idén ősszel másodízben vettünk részt, és 492 kg után roppant össze a nyertes hidunk.

Az SDC (Seismic Design Competition) földrengésvédelmi vetélkedő az amerikai EERI (Earthquake Engineering Research Institute) által évenként megrendezett konferencia egyik érdekessége, ahol hallgatók által balsafából épített felhőkarcoló-maketteket vizsgálnak elméletileg (gazdaságilag, építészetileg, esztétikailag) és gyakorlatilag (rázóasztalon, háromféle földrengésre) [6]. 2011-ben és 2012-ben különdíjjal jutalmazták csapatainkat, 2013-ban a 3. helyen, az idén pedig az első helyen zártuk a versenyt. Sajnos anyagi támogatás szűkében a 11 csapattagból csupán 6 hallgató lehetett jelen az idei versenyen.



7. ábra. *A 2014-es EERI-SDC versenyen győztes szerkezetünk.*

Bár kívülállók számára gyerekesnek vagy csupán szórakoztatónak tűnhetnek e tevékenységek, komoly kutatás és hihetetlen felkészülés áll mögöttük. Az anyagjellemzők meghatározása után be is kell szerezni és ki kell válogatni a megfelelő mennyiséget, meg kell tervezni a szerkezetet, a megépítéshez, majd a szállításhoz szükséges eszközöket. A gondos tervezés, a jó anyag- és eszközkészlet mellett a hajszálpontos kivitelezés az egyik fő feltétele a helytállásnak, de a szervezés, a finanszírozás és a logisztika is a csapattagok problémája. A töréspróbák után pedig jöhetnek a tanulságok, hogy mi miért vagy hogyan történt, majd kezdődhet minden szinte elölről.

E versenyek során szerzett élmények meg az elért sikerek látványosan, szinte robbanásszerűen csigázták fel a hallgatók (és a fiatal oktatók) kíváncsiságát és részvételi szándékát, jelentős vonzerőt gyakorolva a karunkra felvételizők esetében is.

6. Oktatás

A 4 évesre kialakított alapképzés tantervei kezdetben a régi, 5 éves rendszer hagyományait vették át szakosodás szempontjából, és bár utólag több javításon, módosításon estek át, még mindig nem teljesen helytállóak, további változtatásokat szükségeltetnének. A mesterifokú képzés (második lépcső) bevezetésével, mint már említettük, új szakosodások születtek, és ezek keretében új tantárgyak kaptak helyet. Ezeknek a tantárgyaknak egy része tényleg új dolgokat tartalmaz, viszont elég sok „új tantárgy" a már alapképzésen elsajátított ismeretek „elmélyítésére" (ismétlésére) alapozódik.

A jelenleg oktatott tantárgyak tartalmában több összhangra, néhol gyakoribb frissítésekre lenne igény, főleg az alapképzésben. Például a végeselem-módszerek alkalmazása ma már általánosan elterjedt, szinte elképzelhetetlen enélkül a tartószerkezetek vizsgálata és számítása. Néha kissé kellemetlen látni, hogy mit, mennyit és hogyan használ egy végzős hallgató a licenszdolgozat elkészítésénél azokból a szaktantárgyakból, amiket tanult. A legtöbb szerkezetszámító, modellező program beépített tudása egyre kiterjedőbb, de a tapasztalatlansággal párosuló kényelem könnyen megtréfálhatja a felhasználót.

Ma már méretezéshez, részletezéshez is léteznek elektronikus tárak és segédletek, az építőmérnöki tervezés és kivitelezés pedig szinte elképzelhetetlen épületinformációmodellezés, röviden és közismerten BIM (Building Information Modeling) vagy a szabadabban fejleszthető és alkalmazható openBIM [3] nélkül.

Ha építéstudományi XML (Extensible Markup Language, magyarul „kiterjeszthető jelölő nyelv") alkalmazásokról akad némi lehetőségük tájékozódni és tanulni karunk hallgatóinak (pl. gbXML, a „gb" a „Green Building" rövidítése, ami magyarul „fenntartható építés"-ként értelmezendő), a BIM fogalma és alkalmazási előnyei még váratnak magukra. Nagy-Brittaniában, Hollandiában, Dániában, Finnországban és Norvégiában az állami finanszírozású építőipari befektetések esetén megkövetelt az alkalmazása, és 2016-ra az Európai Unió is kötelezővé teheti a közbefektetések szerződéseihez és a tervezési versenyekhez (jelenleg javasolja az alkalmazását) [2], mivel egységes információs hátteret és eszközöket biztosít a befektetők, üzletkötők, tervezők, kivitelezők, szállítók és üzemeltetők számára. Az előnyei közül megemlíthetők: az információk jobb megjelenítése, a könnyű információszerzésből eredő nagyobb termelékenység, az építési dokumentációk jobb egyeztetése, lényeges információk beágyazása és kapcsolata (pl. egy anyag vagy szolgáltatás felkínálója, a becsléshez és pályázathoz szükséges részletek és mennyiségek stb.) és nem utolsósorban, kisebb összköltségek minden résztvevő számára.

A fenntartható fejlődés építéstudományi kérdéseivel is még mindig inkább kutatásokban találkozunk, pedig, véleményünk szerint megérett már az idő arra, hogy tananyagként is be legyenek vezetve. Fontos lenne az idevágó fogalmak értelmezését, a lehetséges stratégiákat, feltételeket tisztázni a hallgatók számára. A megújuló energiák és az új építőanyagok elég sok kihívást jelentenek végzős hallgatóink számára. Egyelőre még nincs alkalmuk olyan tudást vagy tapasztalatot szerezni, mely például a felületfűtések (padló, fal vagy mennyezet) alkalmazásával kapcsolatos jelenségekre, különböző szerkezeti részekben jelentkező hatásukra, vagy a hőszivattyús rendszerek szerkezetekre vetülő hatására vonatkozna. A megújuló energiaforrásokból (szél, napsugárzás, víz, geotermális energia, biomassza stb.) származó villamosenergia-termelés és -kezelés szerkezeti jellemzőivel sem kerülnek közelségbe, vagy az atomenergiához kapcsolódó, illetve a veszélyes anyagok tárolására és kezelésére alkalmas szerkezetek kérdéseivel sem találkoznak. A mérnöki

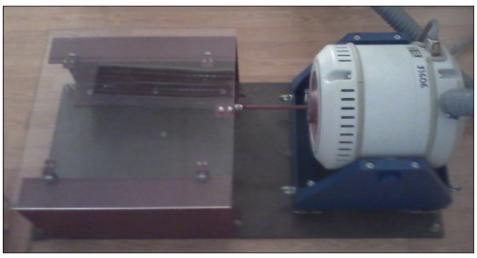
etika is fontos lenne tantárgyként, vagy tantárgyfejezetként.

A katasztrófavédelmi kérdések kezelésére is be lehetne vezetni a térinformatikai eszközök alkalmazását, például az érintett terület felmérésére, a mentési folyamatok tervezésére és szimulálására, illetve a kárbecslés oktatására.

Az elöregedett vagy károsult tartószerkezetek és épületrészek rehabilitációja is széles körű feladatot jelent országszerte.

8. ábra. *Földrengések szimulálásával tesztelt balsafa toronyépület-makettek és vasbeton tartókeretek, melyeket a hallgatóink készítettek*

Műszaki téren különösen fontosnak ítéljük a tudásháromszög (oktatás, kutatás, vállalatok tevékenysége) valós kialakítását, tényleges működését és népszerűsítését. Erre is fel kéne hívni időben a hallgatók figyelmét, hiszen új tevékenységek, foglalkoztatási lehetőségek alakulhatnak ki.



9. ábra. *Hanghullámokká alakított földrengési adatokkal működtetett apró rezgőasztal tanszékünk szerkezeti laborjában*

A „high-tech” bevezetése a kivitelezésbe ma már sok helyen nem újdonság, de mifelénk nem is oktatják. A mérnöki kisvállalkozásokat (tervezőket és kivitelezőket) is támogatni és segíteni lehetne, legalább annyiban, hogy bekapcsolódhassanak az információs térbe. Már csak azért is, mert végzőseink egy része csak így vagy egyéni vállalkozóként maradhat a szakmában. Nagy gondokat és komoly hátrányokat okoz nekik az, hogy sokszor láthatatlanok a piacon. Fontos lenne, hogy a megbízások és a piaci információk jussanak el hozzájuk, hogy képesek legyenek bedolgozni a nagyobb építész- és mérnökirodákba (legyen lehetőségük nagyobb munkákban közreműködni), hogy ne maradjanak le a szabványok, az anyagok és az alkalmazási technikák kérdésében, és ha lehet, minél láthatóbbá váljanak a piacon.

7. Következtetések

Növelni kell az építőmérnöki karok társadalmi szerepét és tekintélyét, ezt elsősorban tervezési, szakvéleményezési meg kutatási lehetőségek megpályázásával és elnyerésével lehetne elkezdeni. Ez egy időben kiegészítő jövedelemforrást is jelentene, másfelől a hallgatók szakmai gyakorlatát is ki lehetne egészíteni ilyen tevékenységekbe való bevonással, mert az építőipari tevékenységek megfogyatkozásával és a helyi vállalkozók háttérbe szorulásával a gyakorlati tapasztalatszerzés lehetőségei is jelentő-

sen korlátozódtak a mérnöki hallgatók számára. A gyakornoki időszak rendszere is az alkalmazó cégek magánügyévé vált. A mérnöki kompetenciához elengedhetetlen a gyakorlat, a hatékony munkastílus és mondhatnánk a kutatási hajlam – maga az elméleti tudás csupán a hátteret nyújtja mindezekhez.

Az alapképzésből kiindulva át kéne igazítani a tanterveket, és a tantárgyak jelentős hányadát összhangba kellene hozni a műszaki, szakmai fejlődéssel, a piaci igényekhez igazodva. Már az alapképzés ideje alatt fel lehet és fel kell kelteni a hallgatók kutatási érdeklődését és támogatni az érdekeltségüket. Megfelelő lehetőségeket kell biztosítani úgy, hogy ne a tanulás rovására, hanem a képzést kiegészítve juthassanak elméleti és gyakorlati tapasztalathoz. Ilyen tevékenységek keretében könnyebb más intézmények és vállalatok érdeklődését is felkelteni, külső kapcsolatokat kiépíteni és támogató, vagy közreműködő partnereket szerezni.

A bolognai folyamatból eredő oktatási átalakulás elég sok gonddal (és némi kellemetlenséggel is) járt, elsősorban azért, mert a felsőoktatás kompatibilizálására esett a fő hangsúly, miközben a minőséget tévesen, magától értetődőnek vették. A fogyasztói társadalom jelenlegi működése nem igényel feltétlenül minőséget, ezt látszik igazolni az (építőmérnöki oktatásban is) egyre szaporodó felsőoktatási intézmények diplomásainak a tudás- és tapasztalatszinti átlaga. A tudásháromszög tényleges működéséhez elengedhetetlen némi engedményeket tenni a minőség rovására, de ezt csak józan mértékkel érdemes.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] *Aniversarea Facultății de Construcții, 55 de ani.* (CD kiadás, szerkesztő: Gobesz, F.Zs.), Építőmérnöki Kar, Kolozsvár, 2008.

[2] Autodeskforum.hu: *Az Európai Unió és a BIM*. Cikkek az Autodesk szoftverekről, 2014. (letöltés dátuma 2014. április 22.) http://www.autodeskforum.hu/?p=4220

[3] buildingSMART, International home of openBIM, 2014. (letöltés dátuma 2014. április 22.) http://www.buildingsmart.org/

[4] Czuczor G., Fogarasi J.: *A magyar nyelv szótára*. Negyedik kötet, Atheneum, Pest, 1867. 499.

[5] http://reccs.uni-obuda.hu/

[6] http://slc.eeri.org/

[7] Jókai M.: *A kiskirályok.* Mercator Stúdió Elektronikus Könyvkiadó, Szentendre, 2006. 103. (letöltés dátuma 2014. április 25.), http://www.akonyv.hu/klasszikus/jokai/jokai_mor_a_kiskiralyok.pdf

[8] Palmer, J. J. N., Slater, G.,: *Lincolnshire, page 60*. Open Domesday (The first free online copy of Domesday Book). Editor Powel-Smith A. (letöltés dátuma 2014. április 24.) http://www.domesdaymap.co.uk/book/lincolnshire/60/

[9] a Wikipédia szerkesztői: *Ingénieur*. Wikipédia, a szabad enciklopédia, 2014. október 5. (letöltés dátuma 2014. október 6.), http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Ing%C3%A9nieur&oldid=107971193

[10] a Wikipédia szerkesztői: *Mérnök*, Wikipédia, a szabad enciklopédia, 2014. szeptember 08. (letöltés dátuma 2014. október 6.), http://hu.wikipedia.org/w/index.php?title=M%C3%A9rn%C3%B6k&oldid=15086741

[11] wiki – *mérnök* – wikiszótár.hu magyar értelmező szótár, 2013. január 6. (letöltés dátuma 2014. október 22.), http://wikiszotar.hu/wiki/magyar_ertelmezo_szotar/M%C3%A9rn%C3%B6k

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 107–112. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.11
http://hdl.handle.net/10598/28554

KÜLÖNLEGES CSIGAHAJTÁSOK EGY KORSZERŰ TECHNOLÓGIÁJA

MODERN TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING THE SPECIAL WORM GEARS TRANSMISSIONS

Gyenge Csaba

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Románia, Kolozsvár. Str. Memorandumului nr.28
Tel/Fax.+240-4015001, Csaba.Gyenge@tcm.utcluj.ro

Abstract

This paper firstly will go through the geometrical and functional particularities of concave transmissions, and secondly it will present the theoretical and experimental findings regarding the production of superior quality special worm gears. The developed methodology is oriented for use with point cloud surfacing construction and CNC machining of the gear. The relatively new procedure that does not require the same profile tool, specific target machine-tools, and with appropriate algorithms allow universal profile screw machining.This method has been tested and proven, having great results in real production scenarios.

***Keywords**: Gear transmissions, Worm Gear, CNC Manufacturing.*

Összefoglalás

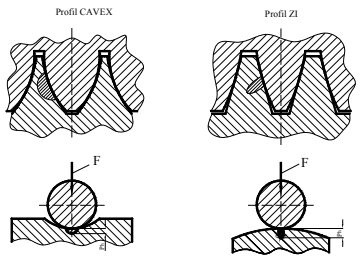
A dolgozat első részében röviden ismertetem a homorú profilú csigahajtások geometriai, kinematikai és működési sajátosságait. Utána röviden ismertetem az eddigi kifejlesztett technológiai eljárásokat a fent említett csigahajtások megmunkálása céljából. Tekintettel a CNC-vezérlés által lehetséges komplex eljárásokra, valamint a rendelkezésünkre álló berendezésekre, doktoranduszaimmal kifejlesztettünk egy aránylag új eljárást, amelyik nem igényel profilazonos szerszámot, különleges célgépet, és megfelelő algoritmusokkal bármilyen alapú csiga univerzális megmunkálását lehetővé teszi. A dolgozat keretében ismertetem a csigafelületek „pontfelhő” alapú konstrukciós analitikai és numerikus származtatási eljárást, valamint a CNC megmunkáló egységek programozásához szükséges algoritmusokat. A kifejlesztett technológiát gyakorlatilag is kikísérleteztük két erdélyi ipari vállalatban.

***Kulcsszavak:** fogaskerékhajtások, csigahajtások, CNC-megmunkálások*

1. A homorú profilú csigahajtások konstrukciós, funkcionális és technológiai sajátosságai

Kiváló tulajdonságaiknak köszönhetően, a múlt század közepétől kezdve, a homorú profilú csigahajtásokat egyre intenzívebben kezdték elméletileg és gyakorlatilag kutatni. A homorú profilú csiga foga és a domború profilú csigakerék közötti érintkezés igen kedvező mind az olajozás, mind a teherbírás szempontjából [3] (**1. ábra**). 1899-ben Alfred Flender beindított egy gépipari vállalatot, amelyik rövid időn belül a csigahajtásokra specializálódot és 1960-ban már sorozatban gyártották a CAVEX elnevezésű homorú profilú csigákat.

Többek között a CAVEX csigahajtások egyik jellegzetes tulajdonsága abban rejlik, hogy a csiga fogvastagsága jóval nagyobb, mint a hagyományos egyenes alkotójú csigáké [1].



1. ábra. *A CAVEX-féle és a ZI-féle csigahajtások axiális profiljai*

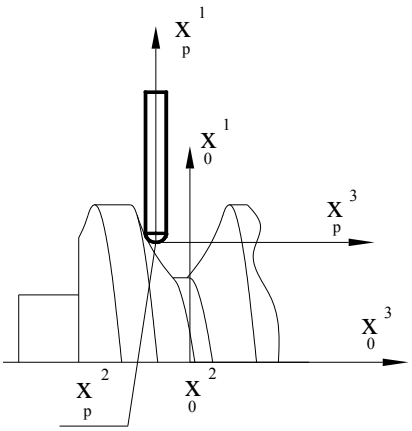
Ami a megmunkálásukat illeti, főleg a fogak simítása céljából Litvin F. V., Nieman, Maros D., Dudás I., Dudás L. különböző megoldásokat dolgoztak ki [5], [3]. Valamennyi változó dőlésű és profilú tárcsa alakú köszörűkorongot alkalmaz, jó pontosságot és felületi érdességet biztosítanak, viszont csak különleges csigaköszörűgépen valósíthatók meg különböző szerszámprofilozó berendezésekkel [3]. Általában az eddig kifejlesztett eljárások, kis és nagy sorozatgyártásra alkalmasak, és megfelelő gyártóeszközöket igényelnek.

Kutatásaink keretében kidolgoztunk és kikísérleteztünk egy új megoldást, amelyik megfelelően alkalmazza a CNC vezérlési lehetőségeket, valamint a „pontfelhő" alapú felületszármaztatást [2], és megvalósítható univerzális CNC vezérlésű szerszámgépen

2. Új származtatási és technológiai megoldás a homorú profilú csigák gyártására

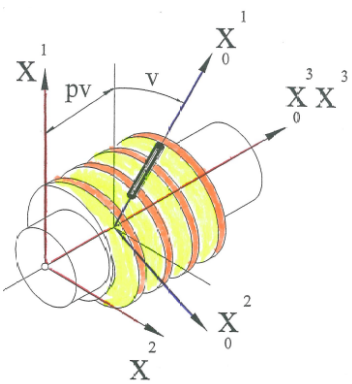
2.1. A csiga csavarfelületének, valamint a származtató szerszám felületeinek meghatározása

Az új megoldás szerint úgy tekintjük, hogy a csiga felületét a szerszám egy bizonyos pontja írja le (**2. ábra**) [7]. A szerszám aktív része egy forgásfelület, amelyet az axiális körív ír le. Ezt a felületet gyakorlatilag különböző típusú szerszámokkal lehet megvalósítani (tárcsamaró, ujjmaró, tárcsa alakú köszörűkorong, tányérkerekű korong). Bár a módszer általános, a csigák sorozatgyártásánál nemigen alkalmas, hiszen a kívánt profilú csigák CNC-esztergálással és CNC-szabályzóval szabályozott köszörűkorongokkal a kívánt pontossággal megmunkálhatók,



2. ábra. *A csavarfelület pontszerinti leírása*

Minden lépésben a szerszám aktív pontját végigfuttatjuk a csavarfelületen, és ezt megismételjük, ahányszor szükséges (az igényelt felületi érdesség függvényében). (**3. ábra**)[4].

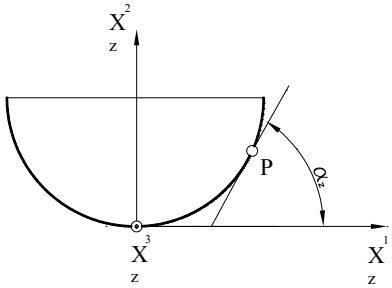


3. ábra. *A szerszám pillanatnyi relatív helyzete ujjmaró esetében*

Feltételezve, hogy a munkadarab csavarfelületét a szerszám axiális metszetének P pontja írja le (**4. ábra**), az, amelynek

helyzetét az $\underset{z}{X}$ koordináta-rendszerben a következő egyenlettel fejezhetjük ki [6]:

$$\underset{z}{\bar{\mathbf{x}}}(t) = \left[\underset{z}{x}^1(t), \quad \underset{z}{x}^2(t), \quad 0\right]^T, \qquad (1)$$



4. ábra. *A szerszám axiális profiljának meghatározása*

A szerszám által leírt felület általános egyenlete a hozzá kötött koordináta-rendszerben:

$$\bar{\mathbf{x}} = [3, \ -v]\left\{\left[3, \ \frac{\pi}{2}\right]\left[2, \ \frac{\pi}{2}\right][2, \ \varphi]\underset{z}{\bar{\mathbf{x}}} + [r_0, \ 0, \ f]^T\right\} + [0, \ 0, \ \pm pv]^T \qquad (2)$$

ahol r_b - a csiga osztóhengerének az átmérője, φ - a szerszám aktív metszetének a szögparamétere

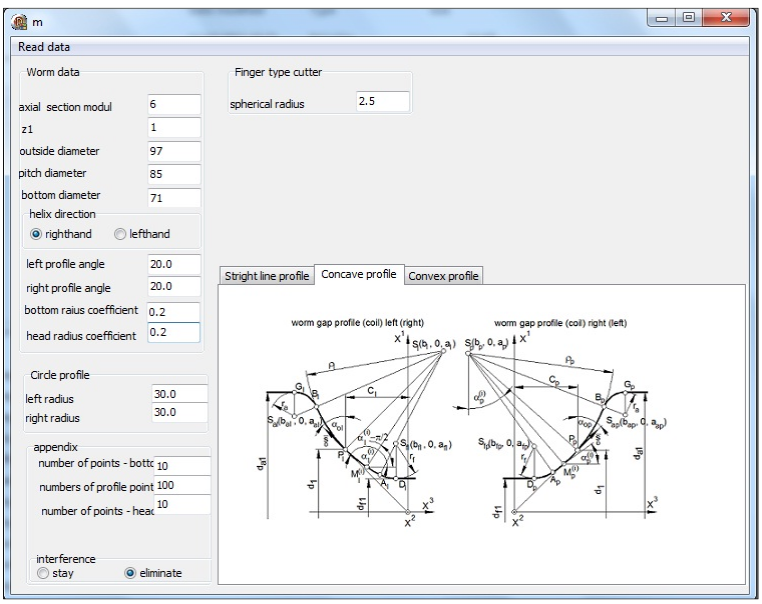
A fenti egyenlet egy fogásnak felel meg. A csiga egész felülete több fogás révén jön létre, egymás utáni értékeket adva a *p* és *f* paramétereknek.

2.2. Numerikus eredmények

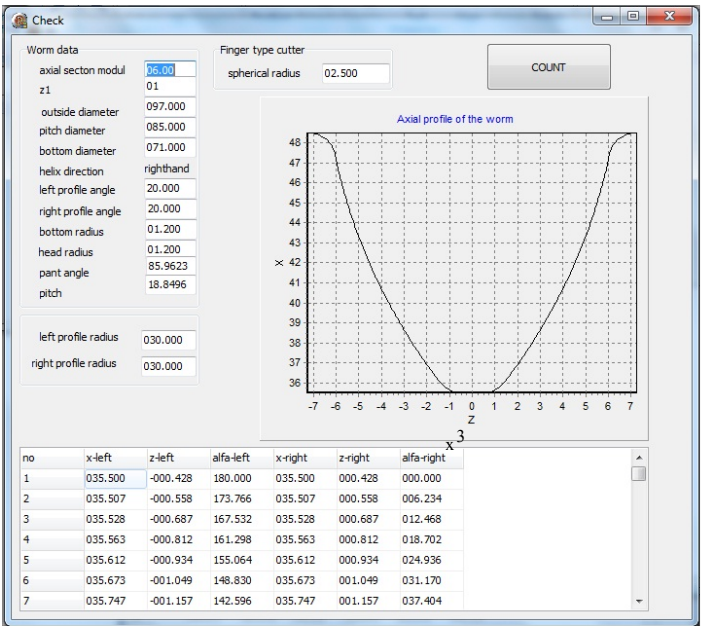
Kutatásaink keretében egy körív profilú csiga (**5. ábra**) numerikus meghatározásával és gyakorlati kivitelezésével foglalkoztunk [2].

A profilokat pontszerűen határoztuk meg és ezeket egy fájlban vezettük be a programba (**6. ábra**).

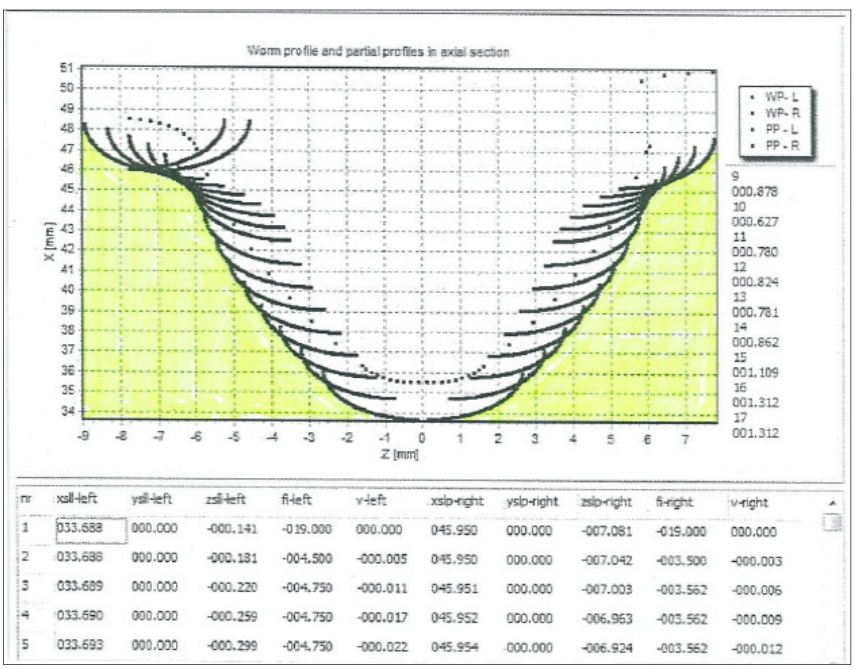
Az ujjmaróval 30 pontban leírt fogoldal és az elméletihez viszonyított eltérések a **7. ábrán** láthatók.



5. ábra. *A körív alakú csiga tengelymetszetei és bevezető adatai*



6. ábra. *A csiga tengelyirányú metszetének a fájlja*



7. ábra. *A z=2,5 mm-es ujjmaróval leírt fogárok tengelymetszete és profileltérései*

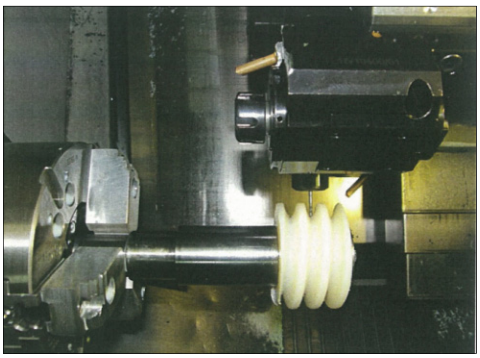
3. Gyakorlati megvalósítások

A tesztcsigákat egy S.C. DREKER típusú CNC vezérlésű megmunkáló központon gyártottuk le (**8. ábra**). A tesztcsiga adatai a következők voltak:

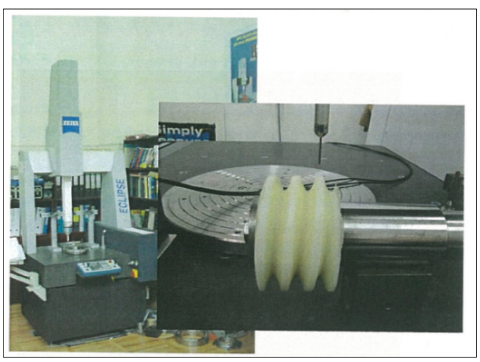
$m = 6$, $d_1 = 85$ mm,

$d_{a1} = 97$ mm, $d_{f1} = 71$ mm.

A megvalósított csigákat egy CERMI 550 mérőközpontón (**9. ábra**) ellenőriztük egyetemünk Gépgyártástechnológia tanszékén.



8. ábra. *A megmunkáló központ munkatere és a műanyag teszt csiga*



9. ábra. *A tesztcsiga mérése*

A mérési eredmények szerint a kifejlesztett technológiával készített csiga pontossága az ISO 7490/4-82 szabvány szerinti IT -IT9 osztályba illeszkedik be. Sajnos megfelelő kutatási anyagi támogatások hiányában, egyelőre nem tudtuk továbbfejleszteni gyakorlati kísérleteinket, de meg vagyunk győződve, hogy nagyobb pontosságú megmunkáló központon és jobb minőségű munkadarabokkal jóval nagyobb pontosságú csigákat lehet előállítani.

4. Következtetések

A bemutatott elméleti és gyakorlati kutatásainkkal egy olyan technológiát fejlesztettünk ki, amelyikkel bármilyen alakú és konstrukciójú csigák megvalósíthatok egy univerzális CNC megmunkáló központon, tehát nem igényel speciális szerszámgépeket. Eddigi gyakorlati kísérleteink keretében egy aránylag kis átmérőjű ujjmarót használtunk, és így a termelékenység elég alacsony volt. Nagyobb átmérőjű szerszámmal és változatosabb technológiai paraméterekkel jobb termelékenységet és nagyobb pontosságot lehet elérni (például ultraprecíziós technológiával).

Természetesen a kifejlesztett algoritmusok és programok jóval terjedelmesebbek, de a dolgozat korlátozott mérete nem engedélyezte részletesebb ismertetését.

Ami a felületi minőséget illeti, bebizonyosodott, hogy egyenirányú marással jobb érdességet lehet elérni, mint az ellenirányúval, de egyelőre még alulmarad a köszörült csigafelületekhez viszonyítva.

A kifejlesztett technológia univerzális, de egyelőre csak egyedi és kissorozatgyártásra alkalmas, termelékenysége jóval alulmarad a körlapkás esztergakéssel történő menetesztergálással való gyártáshoz képest. Viszont egyik nagy előnye abban rejlik, hogy nem igényel profilazonos szerszámot, így kisebb befektetéssel és kisebb gyártáselőkészítéssel lehet előállítani különleges csigákat is. Amennyiben megfelelő anyagi támogatást tudunk kapni, tovább szándékozunk fejleszteni technológiánkat.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Boca,V.: *Cercetări legate de dezvoltarea unei tehnologii flexibile de fabricație a angrenajelor melcate*. Ph.D Thesis, 2011.

U.T. Cluj-Napoca, Coordinator Csaba Gyenge and Tadeusz Nieszporek.

[2] Boca, V., Gyenge, Cs., Gurzău, O. M., Oláh, L.: *Research regarding analitical and numerical deternination of worm gear with parabolical profil*. MTeM 2009 Conference, ISBN 973-7937-87-04, Cluj-Napoca, Romania 2009. 13–16.

[3] Dudás, I.: *The theory and practice of worm gear drives*. Penton Press, London, 2000.

[4] Gyenge, Cs., Boca, V., Bob, M., Mihăiță M.: *Some characteristics aspects regarding the modeling and optimization of virtual technological system in gear manufacturing*. 12th International Research/Expert Conference. Trends in the development of machinery and associated technology. TMT 2008. 6–12. ISBN 978-9958-617-41-6. Isztambul, Törökország 2008.

[5] Litvin, F.: *Gear geometri and applied theory*. Second edition. Cambridge University Press. 2004.

[6] Nieszporek, T., Boral, P.: *Technologia ślimaków stożkowych*. Posiedzenie Sekcji Podstaw Technologii PAN, Częstochowa 2000. 117–122.

[7] Nieszporek, T., Boca, V.: *New method of manufacturing the worm gear with concave profil*. MTeM 2011 Conference, ISBN 978-606-8372-02-0, Octombrie 2011. Cluj-Napoca, Romania. 218–221.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 113–120. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.12
http://hdl.handle.net/10598/28530

INDUKCIÓS GÉPEK ROTORFLUXUSÁNAK AZONOSÍTÁSA CSÚSZÓMÓD ÁLLAPOTMEGFIGYELŐVEL

INDUCTION MACHINE ROTOR FLUX IDENTIFICATION USING SLIDING MODE OBSERVER

Kacsó Zoltán[1], Kelemen András[2], Imecs Mária[3]

[1,2]Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Románia, Koronka, 1/C, Telefon: +40-748-506619,
[1]kacsozoli82@yahoo.com, [2]kandras@ms.sapientia.ro

[3]Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Románia, Kolozsvár, Telefon: +40-741-044-208,
maria.imecs@emd.utcluj.ro

Abstract

The paper presents theoretical details and Matlab-Simulink® based simulation of the direct field-oriented control of the squirrel-cage induction machine using sliding-mode flux estimation. The flux estimation is based on a state-space model in which the state vector is formed by the components of the stator current and of the rotor flux. The measured angular speed is a parameter of the system matrix. The theoretical background of the paper is based on the work of Picardi and Scibilia. The sliding control is made using the sign of the stator-current estimation error. Different flux estimation methods have been demonstrated by simulation.

Keywords: *induction motor, field orientation, flux identification, sliding-mode observer.*

Összefoglalás

A dolgozat rövidrezárt forgórészű indukciós gépek rotorfluxusának azonosítását tárgyalja a direkt mezőorientációs szabályozási struktúra megvalósításának céljából. A rotor feszültségegyenletén alapuló, klasszikusnak tekinthető fluxusazonosító vonatkoztatási alapként szolgál a dolgozatban szereplő csúszómód-fluxusazonosító ismertetéséhez, amelynek elméleti hátterét a szakirodalomból merítettük. A csúszómód-állapotmegfigyelő a gép olyan matematikai modelljére támaszkodik, amelynek állapotváltozói a sztátoráram és a rotorfluxus összetevői, míg a rotor mért szögsebessége a modell egyik paramétere. A csúszómód a sztátoráram-összetevők méréssel meghatározott értékei körül jön létre, míg a visszacsatolt mennyiségek a sztátoráram-összetevők becslési hibáinak előjelei. A direkt mezőorientációs szabályozási struktúrával ellátott hajtás és az alegységként beépített csúszómód-fluxusazonosító működésének szimulációját Matlab-Simulink® környezetben végeztük.

Kulcsszavak: *indukciós motor, mezőorientáció, fluxusazonosítás, csúszómód-állapotmegfigyelő.*

1. Bevezető

Az indukciós gép mezőorientációs szabályozása lehetővé teszi irányítási szempontból az egyenáramú hajtásokéhoz hasonló minőségi mutatók elérését. A rotormezőorientáció esetében az elektromágneses nyomaték és a fluxus szabályozása a rotorfluxushoz rögzített, vele együtt forgó

koordináta-rendszerben történik. Ehhez – direkt, vagy indirekt módon – szükséges a rotorfluxusvektor pozíciójának és nagyságának ismerete. A fluxus mérése nem járható út, így meghatározására matematikai modell alapján, állapotmegfigyelő segítségével kerül sor. Ennek típusai folyamatos kutatás tárgyát képezik, mivel az indukciós gép viszonylag bonyolult viselkedése irányítástechnikai szempontból is kihívást jelent.

A dolgozatban egy célszerűen felépített matematikai modellt felhasználó csúszómód-állapotmegfigyelőt mutatunk be. Ennek elméleti hátterét a Picardi és Scibilia által közölt munkára alapoztuk [1].

2. Az indukciós gép állapotteres modellje

Az alábbiakban az indukciós gép állapotteres modelljét a csúszómód-állapotbecslő alkalmazásához előnyös formában fogalmazzuk meg, úgy, hogy a sztátoráram és a rotorfluxus összetevői képezzék az állapotvektort.

Az indukciós gép úgynevezett általános egyenleteiből a rotor térfazoros feszültségegyenlete a sztátorhoz rögzített koordináta-rendszerben [2], [3]:

$$R_r \underline{i}_r + \frac{d\underline{\Psi}_r}{dt} - j\omega_e \underline{\Psi}_r = 0, \qquad (1)$$

ahol ω_e a forgórész szögsebessége elektromos szögben mérve, melyet a rotor ω_r mechanikai szögsebessége függvényé-ben az $\omega_e = z_p \omega_r$ összefüggés adja, ahol z_p a gép póluspárainak a száma.

A rotor fluxusegyenlete

$$\underline{\Psi}_r = (L_m + L_{\sigma r})\underline{i}_r + L_m \underline{i}_s \qquad (2)$$

alapján kifejezzük a rotoráramot:

$$\underline{i}_r = \frac{1}{L_r}\underline{\Psi}_r - \frac{L_m}{(L_m + L_{\sigma r})}\underline{i}_s \qquad (3)$$

melyet az (1) feszültségegyenletbe helyettesítve a rotorfluxus deriváltja kifejezhető:

$$\frac{d\underline{\Psi}_r}{dt} = -\frac{R_r}{L_r}\underline{\Psi}_r + R_r \frac{L_m}{L_r}\underline{i}_s + j\omega_e \underline{\Psi}_r,$$

(4)

illetve összetevőkre bontva skaláris formában:

$$\begin{cases} \dfrac{d\Psi_{rd}}{dt} + \dfrac{R_r}{L_r}\Psi_{rd} + \omega_e \Psi_{rq} - L_m \dfrac{R_r}{L_r} i_{sd} = 0 \\ \dfrac{d\Psi_{rq}}{dt} + \dfrac{R_r}{L_r}\Psi_{rq} - \omega_e \Psi_{rd} - L_m \dfrac{R_r}{L_r} i_{sq} = 0 \end{cases}$$

(5)

A sztátorfluxust is a sztátoráram és a rotorfluxus függvényében fejezzük ki:

$$\underline{\Psi}_s = (L_m + L_{\sigma s})\underline{i}_s + L_m \underline{i}_r = L\underline{i}_s + \frac{L_m}{L_r}\underline{\Psi}_r$$

(6)

ahol

$$L = \frac{(L_{\sigma s} + L_{\sigma r})L_m + L_{\sigma s}L_{\sigma r}}{L_{\sigma r} + L_m}, \quad L_r = L_{\sigma r} + L_m$$

A sztátor feszültségegyenlete a sztátorhoz rögzített koordináta-rendszerben

$$\underline{u}_s = R_s \underline{i}_s + \frac{d\underline{\Psi}_s}{dt}$$

a sztátoráram és a rotorfluxus állapotváltozók függvényében a következőképpen alakul:

$$\underline{u}_s = R_s \underline{i}_s + L\frac{d\underline{i}_s}{dt} + \frac{L_m}{L_r}\left(-\frac{R_r}{L_r}\underline{\Psi}_r + R_r \frac{L_m}{L_r}\underline{i}_s + j\omega_e \underline{\Psi}_r\right)$$

(7)

A (4) és (7) egyenletekből közvetlenül származtatható az indukciós gép modellje állapotteres formában, vektoriális

$$\begin{cases} \dfrac{d\underline{i_s}}{dt} = -\dfrac{1}{L}\left(R_s + R_r\left(\dfrac{L_m}{L_r}\right)^2\right)\underline{i_s} + \\ + \dfrac{L_m}{LL_r}\left(\dfrac{R_r}{L_r} - \underline{j}\omega_e\right)\underline{\Psi_r} + \dfrac{1}{L}\underline{u_s} \\ \dfrac{d\underline{\Psi_r}}{dt} = L_m\dfrac{R_r}{L_r}\underline{i_s} - \left(\dfrac{R_r}{L_r} - \underline{j}\omega_e\right)\underline{\Psi_r} \end{cases} \qquad (8)$$

illetve skaláris (9) egyenletekkel felírva.

$$\begin{cases} \dfrac{di_{sd}}{dt} = -\dfrac{1}{L}\left(R_s + R_r\left(\dfrac{L_m}{L_r}\right)^2\right)i_{sd} + \\ + \dfrac{L_m R_r}{LL_r^2}\Psi_{rd} + \dfrac{L_m}{LL_r}\omega_e\Psi_{rq} + \dfrac{1}{L}u_{sd} \\ \dfrac{di_{sq}}{dt} = -\dfrac{1}{L}\left(R_s + R_r\left(\dfrac{L_m}{L_r}\right)^2\right)i_{sq} - \\ - \dfrac{L_m}{LL_r}\omega_e\Psi_{rd} + \dfrac{L_m R_r}{LL_r^2}\Psi_{rq} + \dfrac{1}{L}u_{sq} \\ \dfrac{d\Psi_{rd}}{dt} = L_m\dfrac{R_r}{L_r}i_{sd} - \dfrac{R_r}{L_r}\Psi_{rd} - \omega_e\Psi_{rq} \\ \dfrac{d\Psi_{rq}}{dt} = L_m\dfrac{R_r}{L_r}i_{sq} + \omega_e\Psi_{rd} - \dfrac{R_r}{L_r}\Psi_{rq} \end{cases} \qquad (9)$$

A (9) egyenletrendszerben az ω_e szögsebesség paraméter, melynek a fluxusazonosítás során felhasznált pillanatértékét mérés útján határozzuk meg.

Az állapotváltozók vektora

$$\mathbf{x} = \left[i_{sd}\ i_{sq}\ \Psi_{rd}\ \Psi_{rq}\right]^T,$$

a mérhető mennyiségek vektora

$$\mathbf{y} = \left[i_{sd}\ i_{sq}\right]^T,$$

a bemenetek vektora

$$\mathbf{u} = \left[u_{sd}\ u_{sq}\right]^T,$$

segítségével tehát a (9) rendszer az alábbi jól ismert kanonikus formára hozható:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u},\ \mathbf{y} = \mathbf{C}\mathbf{x}, \qquad (10)$$

ahol

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\dfrac{1}{L}\left(R_s + R_r\left(\dfrac{L_m}{L_r}\right)^2\right) & 0 & \dfrac{L_m R_r}{LL_r^2} & \dfrac{L_m}{LL_r}\omega_e \\ 0 & -\dfrac{1}{L}\left(R_s + R_r\left(\dfrac{L_m}{L_r}\right)^2\right) & -\dfrac{L_m}{LL_r}\omega_e & \dfrac{L_m R_r}{LL_r^2} \\ L_m\dfrac{R_r}{L_r} & 0 & -\dfrac{R_r}{L_r} & -\omega_e \\ 0 & L_m\dfrac{R_r}{L_r} & \omega_e & -\dfrac{R_r}{L_r} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \dfrac{1}{L} & 0 \\ 0 & \dfrac{1}{L} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ és } \mathbf{C}^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}. \qquad (11)$$

Megfigyelhető, hogy az $\mathbf{A}$ mátrix a gép paraméterein kívül a szögsebességtől is függ. Míg az eredetileg [1] által javasolt csúszómód-állapotmegfigyelő a rotorsebesség azonosítására is alkalmas, dolgozatunk a rotorfluxus csúszómód-identifikációjának elméleti hátterét és Matlab-Simulink® szimulációját mutatja be.

3. A rotorfluxus azonosítása csúszómód-állapotmegfigyelővel

A (10) rendszer állapotainak megfigyelése nyílt hurokban is elképzelhető az

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\mathbf{u} \qquad (12)$$

összefüggés szerint, ahol $\hat{\mathbf{x}}$ a becsült állapotok vektora.

Az $\tilde{\mathbf{x}} = \hat{\mathbf{x}} - \mathbf{x}$ állapotbecslési hiba az $\mathbf{A}$ rendszermátrix által meghatározott dinamikával nullához tart, ha $\mathbf{A}$ aszimptotikusan stabil [4].

A becslés dinamikája megtervezhető, ha a kimenetek $\mathbf{e} = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}$ becslési hibáját visszacsatoljuk.

Ezen az elven, a Luenberger típusú állapotmegfigyelő az alábbi összefüggés szerint működik:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{L}\mathbf{e} \qquad (13)$$

A becslési hiba visszacsatolása a csúszómód szabályozókra jellemző módon is kezelhető. Csúszómód szabályozók egyik lehetséges megvalósítása a vezérlőjel szintjén alkalmaz változó struktúrát, vagyis a vezérlőjelet az

$$s(\mathbf{x}) = -\mathbf{K}_s\mathbf{x} + \mathbf{K}_w\mathbf{w} \qquad (14)$$

összefüggés előjele határozza meg, ahol $s(\mathbf{x})$ az úgynevezett csúszófelület és $\mathbf{w}$ az előírt állapotvektor.

Legyen az állapotvektor becslési hibája:

$$\mathbf{e} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_i \\ \mathbf{e}_\Psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} e_{id} & e_{iq} \end{bmatrix}^T \\ \begin{bmatrix} e_{\Psi d} & e_{\Psi q} \end{bmatrix}^T \end{bmatrix} \qquad (15)$$

Ha a (10) rendszer $\mathbf{x}$ állapotvektora képviseli a (14) összefüggésben az állapot-referenciát, míg ennek az $\hat{\mathbf{x}}$ becsült értéke képviseli a (14) rendszer állapot-vektorát, illetve $\mathbf{K}_s = \mathbf{K}_w = -\mathbf{C}$, az $s(\hat{\mathbf{x}})$ előjelét $\mathbf{e}_i = \mathbf{C}\hat{\mathbf{x}} - \mathbf{C}\mathbf{x}$ előjele, vagyis a sztátoráram becslési hibájának előjele adja.

A (13) összefüggés utolsó tagját a $\mathbf{K}\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i)$ kifejezéssel helyettesítve, eredményül az alábbi csúszómód-állapot-megfigyelőt kapjuk:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{K}\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i) \qquad (16)$$

Mivel a (10) rendszer esetében a mérhető kimenetek között csak a sztátoráram összetevői szerepelnek, belátható, hogy a csúszófelületeket tulajdonképpen az áramkomponensek becslési hibái határozzák meg.

A (10) és (16) összefüggésekből az állapotvektor becslési hibájának dinamikájára az alábbi egyenlet adódik:

$$\dot{\mathbf{e}} = \mathbf{A}\mathbf{e} + \mathbf{K}\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i) \qquad (17)$$

Ez a rendszer célszerűen módosítható úgy, hogy a csúszómód-állapotmegfigyelő (16) egyenletének jobb oldalán a becsült $\hat{\mathbf{x}}$ állapotvektort olyan

$$\hat{\mathbf{x}}_1 = \begin{bmatrix} i_{sd} & i_{sq} & \hat{\Psi}_{rd} & \hat{\Psi}_{rq} \end{bmatrix}$$

állapotvektorral helyettesítjük, amelyben a mérhető állapotoknak (a sztátoráram összetevőinek) már a mért értéke szerepel [1], vagyis:

$$\dot{\hat{\mathbf{x}}} = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_1 + \mathbf{B}\mathbf{u} + \mathbf{K}\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i) \qquad (18)$$

Ha az

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} & \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{21} & \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix}$$

mátrixot 2x2-es méretű almátrixokra osztjuk, akkor az alábbi eredményre jutunk:

$$\mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{11} \\ \mathbf{A}_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\Psi}_{sd} \\ \hat{\Psi}_{sq} \end{bmatrix} \qquad (19)$$

A (17) az alábbi formát ölti:

$$\dot{\mathbf{e}} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{12} \\ \mathbf{A}_{22} \end{bmatrix} \mathbf{e}_\Psi + \mathbf{K}\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i) \qquad (20)$$

A feladat a $\mathbf{K}$ erősítési mátrix meghatározása úgy, hogy az állapotvektor becslési hibáját nullába vigye. Erre az egyik lehetőség a Lyapunov-módszer alapján történő, [1]-ben is alkalmazott szabályozó-tervezés.

Bár a Lyapunov-módszer szerinti tervezés általában lassú csúszómód-szabályozót eredményez [5], a dolgozatban ezt használjuk a csúszómód-állapotmegfigyelés elvének bemutatására.

A módszer lényege az, hogy keressünk olyan erősítési mátrixot, amelyre egy szimmetrikus, pozitív definit $\mathbf{P}$ mátrix segítségével meghatározott $V = \frac{1}{2}\left(\mathbf{e}^T\mathbf{P}\mathbf{e}\right)$ pozitív függvény a nullához tart (idő szerinti deriváltja negatív). Ekkor ez a hibavektor nullához tart.

Az [1] szerint célszerű a (20) rendszert két alrendszerre bontani:

$$\dot{\mathbf{e}}_i = \mathbf{A}_{12}\mathbf{e}_\Psi + \mathbf{K}_1\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i) \qquad 21)$$

$$\dot{\mathbf{e}}_\Psi = \mathbf{A}_{22}\mathbf{e}_\Psi + \mathbf{K}_2\,\mathrm{sgn}(\mathbf{e}_i) \qquad (22)$$

amelyek közül csak a (21)-re alkalmazzuk a Lyapunov-módszert a $\mathbf{K}_1$ erősítési

mátrix meghatározására, és Lyapunov-függvény jelöltként az egyszerű

$$V = \frac{1}{2}\left(\mathbf{e}_i^T \mathbf{e}_i\right) \qquad (23)$$

pozitív függvényt használjuk.

A csúszómódban így nullára szabályozott $\mathbf{e}_i$ áramhiba esetén található olyan $\mathbf{K}_2$ erősítési mátrix, amely a fluxushibát is nullára szabályozza.

A $\mathbf{K}_1 = \begin{bmatrix} k & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix}$ mátrixot átlós formában keressük úgy, hogy a (23) Lyapunov-függvény jelölt idő szerinti deriváltja negatív legyen:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}\mathbf{e}_i^T \mathbf{e}_i\right) = \frac{1}{2}\left(\dot{\mathbf{e}}_i^T \mathbf{e}_i + \mathbf{e}_i^T \dot{\mathbf{e}}_i\right) =$$

$$= \mathbf{e}_i^T \dot{\mathbf{e}}_i = \mathbf{e}_i^T \left(\mathbf{A}_{12}\mathbf{e}_\Psi + \mathbf{K}_1 \operatorname{sgn}(\mathbf{e}_i)\right)$$

(24)

Tehát $\frac{dV}{dt} < 0$, ha $k < 0$ és

$$|k| > \left| \frac{L_m}{LL_r}\left(\frac{R_r}{L_r} e_{\Psi rd} + \omega_e e_{\Psi rq}\right)\right|,$$

illetve

$$|k| > \left| \frac{L_m}{LL_r}\left(\frac{R_r}{L_r} e_{\Psi rq} - \omega_e e_{\Psi rd}\right)\right|,$$

ami teljesíthető, ha figyelembe vesszük a gép valós működési feltételeit.

Csúszómódban az u_{eq} ekvivalens vezérlőjel az $\dot{\mathbf{e}}_i = 0$ feltételt valósítja meg, tehát [1]:

$$0 = \mathbf{A}_{12}\mathbf{e}_\Psi + \mathbf{K}_1 u_{eq},$$

amiből következik:

$$u_{eq} = -\mathbf{K}_1^{-1}\mathbf{A}_{12}\mathbf{e}_\Psi. \qquad (25)$$

A (22) alrendszert ezzel a $\operatorname{sgn}(\mathbf{e}_i) = u_{eq}$ ekvivalens vezérlőjellel vezérelve a becsült rotorfluxus dinamikáját az alábbi egyenlet írja le:

$$\dot{\mathbf{e}}_\Psi = \mathbf{A}_{22}\mathbf{e}_\Psi - \mathbf{K}_2\mathbf{K}_1^{-1}\mathbf{A}_{12}\mathbf{e}_\Psi, \qquad (26)$$

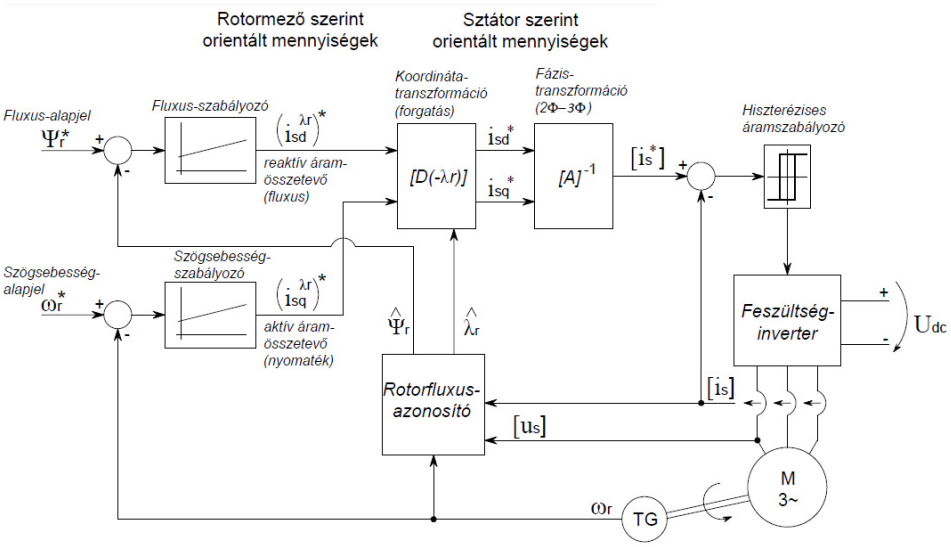
ahonnan $\mathbf{K}_2$ meghatározható úgy, hogy teljesüljön az $\mathbf{A}_{22} - \mathbf{K}_2\mathbf{K}_1^{-1}\mathbf{A}_{12} < 0$ feltétel, ami biztosítja azt, hogy a fluxushiba tartson nullához.

4. Szimulációs eredmények

A dolgozatban bemutatott fluxus-azonosítási algoritmusokat Matlab-Simulink® környezetben végzett modellezéssel és szimulációval tanulmányoztuk.

Az **1. ábrá**n látható tömbvázlat az indukciós motor a klasszikusnak nevezhető direkt (közvetlen) rotormező-orientációs szabályozási struktúráját mutatja be, ahol a feszültséginverter vezérelése áramvissza-csatolásos hiszterézises szabályozókkal kivitelezett impulzusszélesség-modulációs (ISzM) módszerrel történik, ami nagymértékben leegyszerűsíti a szabályozáshoz szükséges alapjelek számolását.

Az $[A]^{-1}$ és $[D(-\lambda_r)]$ mátrixoperátorokkal jelölt tömbök az inverz fázis-, illetve koordináta-transzformációt végzik el. A két transzformáció összevonva az inverz Park-transzformációnak felelnek meg, mely a három állórész-áram alapjelét generálja [2], [3].



1. ábra. *A rotorfluxus-azonosító tömb helye az indukciós gép direkt mezőorientációs szabályozási struktúrájában*

A λ_r a rotorfluxus térfázorának a poziciószöge, és a rotorfluxus szerinti mezőorientált mennyiségeket jelöli.

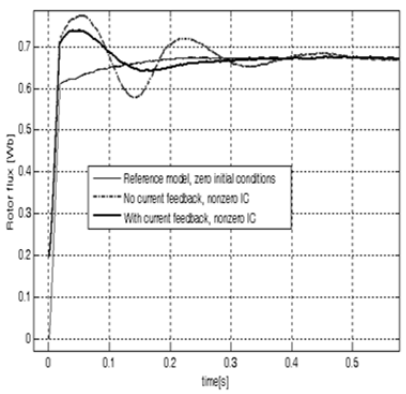
A felépített modellben az indukciós gép paraméterei: $z_p = 1$,

$$R_s = R_r = 0.816\left[\Omega\right], L_m = 69\left[mH\right],$$
$$L_{\sigma s} = L_{\sigma r} = 2\left[mH\right], J = 0.05\left[kgm^2\right].$$

Az indítási szekvencia előmágnesezési eljárást tartalmaz, amelynek célja az alapjelnek megfelelő $\Psi_r = 0.6\left[Wb\right]$ nagyságú rotorfluxus létrehozása a nyomaték-szabályozás elkezdése előtt.

A **2. ábra** a fluxusidentifikáció különböző megvalósításainak eredményét szemlélteti.

A klasszikusnak tekinthető, a rotor feszültségegyenletéből (az úgynevezett „árammodell”) természetes kezdeti feltételekkel kiinduló fluxusazonosítás eredményét (itt a fluxus modulusát vizsgáljuk) tekintettük vonatkoztatási alapnak.

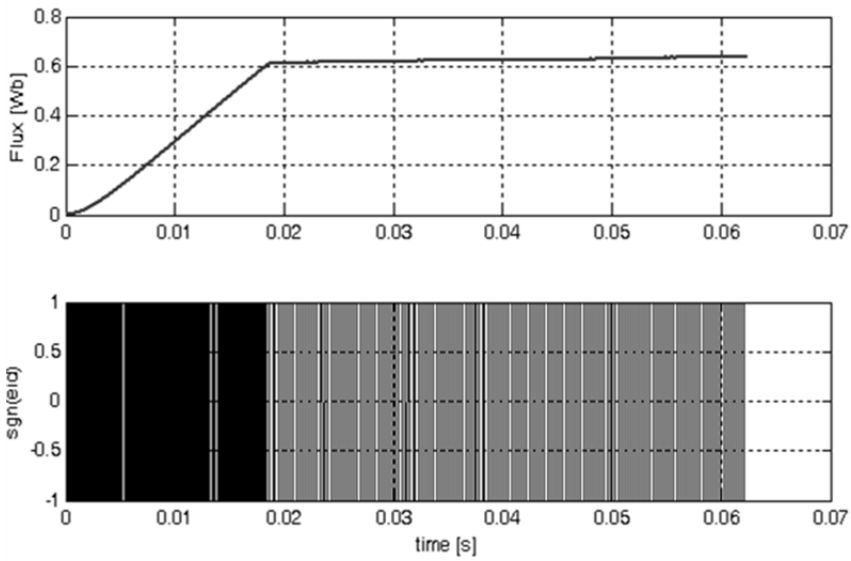


2. ábra. *A rotorfluxus-modulus azonosításának eredménye a motor indítása során különböző modellek, kezdeti feltételek és visszacsatolt mennyiségek felhasználása esetén*

Ezzel összehasonlítva az ábrán megfigyelhető a (9) modell szerint nyílt hurokban történő (itt az áramvisszacsatolás szempontjából van szó nyílt hurokról; a rotor szögsebességét visszacsatoltuk, mivel a rendszermátrixban paraméterként szerepel), illetve a

mért sztátoráram vissza-csatolásával történő fluxusidentifikáció eredménye. Mindkettő esetében a fluxus erőltetett kezdeti értékből indul (a valós kezdeti fluxus nulla, míg az identifikáció során használt kezdeti feltétel $\Psi_{rd}(0) = 0.2\,[Wb]$, $\Psi_{rq}(0) = 0\,[Wb]$).

A **3. ábra** a rotorfluxus csúszómód-identifikációjának az eredményét mutatja az indítás és állandósult állapot során.



3. ábra. *A rotorfluxus csúszómód-azonosításának szimulációs eredménye: a felső diagram a sebesség időbeli változása, az alsó a „d" áramhiba összetevő előjelének időbeli változását mutatja*

A felső idődiagram a sebesség felfutását mutatja, míg az alsó a „d" fluxusképző áramösszetevő-hiba előjelének a változását szemlélteti a csúszómód-becslés folyamán.

5. Következtetések és további célkitűzések

A dolgozatban bemutatott tanulmány egy lépés a szerzők azon törekvésében, amely a szakirodalomból ismert állapot- és paraméterbecslési eljárások alkalmazását célozza az indukciós gépek mezőorientált szabályozásában.

A továbbiakban a csúszómód-állapotmegfigyelőt póluselhelyezéssel kívánjuk megtervezni. Célkitűzéseink között szerepel egy adaptív csúszómód-állapotmegfigyelő kidolgozása a rotorellenállás becslésével, illetve a csúszómód-állapotbecslő gyakorlati alkalmazása a dSpace® valós idejű fejlesztési környezetben.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Picardi, C.; Scibilia, F.: *Sliding-Mode Observer with Resistances or Speed Adaptation for Field-Oriented Induction Motor Drives*. IECON 2006- 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, pp. 1481–1486.

[2]Kelemen, Árpád; Imecs, Mária: *Vector Control of AC Drives*, Vol. 1: *Vector Control of Induction Machine Drives*, OMIKK-Publisher, Budapest, 1991. ISBN 963 593 140 9.

[3]Kelemen, Árpád; Imecs, Mária: *Sisteme de reglare cu orientare după cîmp a maşinilor de curent alternativ*. Editura Academiei Române, Bucureşti, 1989.

[4] Bemporad, A.: *Automatic Control– State Estimation and Linear Observers*. Lecture, University of Trento, Academic year 2010-2011.

[5] Bühler, H.: *Réglage par mode de glissement-Complément au traité d'électricité*. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, 1986.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 121–126. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.13
http://hdl.handle.net/10598/28531

ALGO–RITMIKA MINDENKINEK

ALGO–RYTHMICS FOR ALL

Kátai Zoltán

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományok Kar, Matematika-informatika Tanszék, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út, 1C., email: katai_zoltan@ms.sapientia.ro

Abstract

In the past ten years we have developed effective multi-sensory methods to improve the teaching-learning process of algorithms. The technologically and artistically enhanced learning environment we present has the potential to promote the algorithmic thinking for all people.

Keywords: *algorithmic thinking, multisensory education, intercultural education*

Összefoglalás

Az elmúlt tíz évben hatékony multiszenzoriális módszereket fejlesztettünk ki számítógépes algoritmusok oktatásához. Ebben a dolgozatban egy olyan tanulási környezetet mutatunk be, amelyben megvan a potenciál, hogy „mindenki” algoritmikus gondolkodását fejlessze.

Kulcsszavak: *algoritmikus gondolkodás, multiszenzoriális oktatás, interkulturális oktatás*

1. Bevezetés

Még sohasem történt meg a történelem folyamán, hogy egy technológia annyira jelen legyen az élet összes területén, mint ma az információs technológia (IT). E jelenlét annyira fokozott, hogy ahhoz, hogy bárki is jól képzetnek számíthasson a mai társadalomban, többre van szüksége bizonyos felhasználói ismereteknél, el kell sajátítania az informatika alapjait [1]. Ez utóbbi magába foglalja a számítógépek programozását, az úgynevezett kódolást is.

A digitális kor példátlan kihívások elé állítja a XXI. század oktatási rendszerét: (1) felkészíteni a következő generációkat a mindennapok „IT-feladataira” és (2) kielégíteni egy rohamosan növekvő szektor munkaerőigényét, az IT-jét [2, 3]. Mivel az IT-eszközöket vezérlő programok mögött algoritmusok lapulnak, ezért az algoritmikus gondolkodás (AG) fejlesztése fontos lépés lehet afelé, hogy mindenki jobban otthon érezze magát digitális világunkban. Ebben a szellemben kapott nagy támogatottságot az úgynevezett „Hour of code” mozgalom is, amely egy órában igyekszik ízelítőt nyújtani bárkinek [4]. A kezdeményezés fontosságát hangsúlyozza az is, hogy még az USA elnöke is részt vett benne [5]. A jelen dolgozat arról szól, hogy miért fontos „mindenkinek” az AG, és hogyan lehet egységes stratégiával, „mindenkiben” fejleszteni e fontos készséget.

2. Algoritmusok, algoritmikus gondolkodás

Egy algoritmus nem valamilyen ördöngös dolog. Algoritmus alatt alapvetően egy műveletsort értünk, amelynek végrehajtása egy feladat megoldását eredményezi. Algoritmusok nem csak a számítógépek világá-

ban léteznek. Például egy recept is algoritmusnak tekinthető, amelyet egy szakács talált ki, és egy háziasszony hajt végre. A számítógépes algoritmusok esetében az a sajátos, hogy megalkotójuk ugyan ember, végrehajtásuk egy gépre tartozik.

AG alatt azt a készséget értjük, amikor valaki képes megérteni, végrehajtani, sőt kreálni is algoritmusokat [6]. Egy számítógépes algoritmus azért jelenthet plusz kihívást, mert az „alkotónak" le kell ereszkednie a gép primitív szintjére, és a gép által végrehajtható műveletekben gondolkodva kell kitalálnia azt a műveletsort, amelyet, ha végrehajt a gép, akkor megoldódik a kitűzött feladat. Továbbá egy interaktív képzés az AG terén magába foglalhatja, hogy a tanulót felkérik, hogy szimulációs körülmények között, vezényeljen le (hajtson végre) számítógépes algoritmusokat. Ez megint csak azt kívánja meg, hogy egy ember egy primitív géppel azonosuljon.

3. Miért fontos az AG „mindenkinek"?

Amikor azt mondjuk, hogy „mindenkinek", akkor gondolunk fiatalokra (gyerekekre) és felnőttekre (idősekre), férfiakra és nőkre, úgy reál, mint humán beállítottságú személyekre és a fogyatékkal élőkre is. A „mindenki" azt is jelenti, hogy minden rasszhoz, etnikumhoz, nemzetiséghez vagy társadalmi réteghez tartozó személy. Egységesen megtanítani valamit egy ennyire színes közönségnek valódi kihívást jelent. Osztozunk azonban abban a meggyőződésben [2], hogy amiképpen egy alapvető matematikai és természettudományi ismeret elengedhetetlen ahhoz, hogy valaki megérthesse az őt körülvevő világot, ugyanígy fontos az AG is a digitális világ minden állampolgárának.

A kutatások arra mutatnak, hogy sok fiatal úgy választ „szakirányt" a középiskolába való belépéskor, hogy ezzel szinte teljesen kizárja annak lehetőségét, hogy majd a reáltudományok területén tanulhasson tovább [7]. Ha lehetne tudatosítani már a gyermekekben (és szüleikben), hogy mekkora potenciál rejlik sok fiatalban az AG terén, és ha sikerülne az érintet tudományterületet úgy bemutatni, mint ami nemcsak fontos, hanem érdekes és izgalmas is, akkor mindez pozitívan befolyásolhatná sokak pályaválasztását. Ennek fontosságát hangsúlyozza az is, hogy az előrejelzések szerint 2015-ben az EU egy 500 000 fős IT-szakember hiánnyal fog küszködni [8]. Mindezekkel összhangban, az Egyesült Királyságban 2014 őszétől már első osztálytól programozást (kódolást, nem csak számítógépes felhasználást) tanítanak a gyerekeknek [9].

AG-orientált tananyagok korai bevezetése azt is előmozdíthatja, hogy több lány válassza ezt a szakirányt. Ezzel elejét lehetne venni olyan sztereotípiák kialakulásának, hogy a programozás nem lányoknak való [1]. A fokozott erőfeszítések ellenére [10] egy friss Google felmérés szerint jelenleg is kevesebb mint egy százaléka a középiskolás lányoknak hajlandó informatika szakon továbbtanulni. Ez azt jelenti, hogy digitális jövőnkből „egy teljes hang hiányzik" [11].

A „mindenki" fogalma mellett szól az is, hogy a kódolási alapok szinte bármely szakterületen előnyt jelenthetnek. (Például [12]-ből kiderül, hogy miként jelent előnyt az újságírók számára.) Ez megmagyarázza, hogy miért lehet fontos az AG fejlesztése az élethosszig tanulás részeként a felnőtteknél, igen, a humánorientáltaknál is. A fogyatékkal élőkhöz pedig az esélyegyenlőség elve is elvezet. Újabban a Google ösztöndíjjal támogatja azokat a fogyatékkal élőket, akik informatikát tanulnak valamely felsőoktatási intézményben.
google.com/studentswithdisabilities-europe/

4. Egységes stratégia az AG fejlesztésére

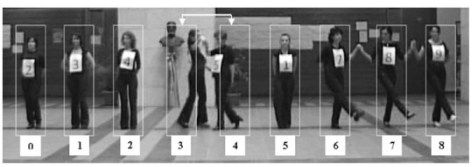
A javasolt módszer *egységes stratégia* arra, hogy minden kategóriájú embert bevezessünk a számítógépes algoritmusok világába. Ahelyett, hogy unalmas alapokkal kezdenénk, a felhasználókat egy színes, meglepetésekkel teli, interaktív látogatóba hívjuk meg a rendezési algoritmusok felségterületére. Azért választottuk a rendezési algoritmusokat, mert viszonylag könnyen elképzelhetőek (mindenki rendeződött már tornasorba), és mindennapos tevékenységnek számíthat sokaknál, hogy rendeznek (pontosabban a számítógéppel rendeztetnek) egy EXCEL táblát.

A stratégia azon multiszenzoriális módszerekre épül, amelyeket a szerző vezette kutatócsoport az elmúlt tíz évben fejlesztett ki. Régi bölcsességnek számít, hogy a tanulás annál hatékonyabb, minél több érzékszervet vonunk be. A legújabb kutatások alátámasztották ezt a felismerést [13, 14]. A multiszenzoriális módszerekre azért is hatékonyak a jelen kezdeményezés kontextusában, mert a „mindenki" fogalma számos, különböző tanulási stílusú egyént ölel fel [15, 16].

Megszokott dolog, hogy vizualizációt alkalmaznak az algoritmika tanításánál. Mi viszont kidolgoztunk egy olyan módszert, amely lehetővé teszi, hogy a felhasználó meghallgassa elemi algoritmusok hangjegyekbe kódolt ciklusszerkezetét. Arra is lehetőség nyílik, hogy a tanulók ne csak begépelhessék a ciklusszerkezetek kódját, hanem be is dobolhassák ezeket a billentyűzetről. [17]

A következő lépés abban állt, hogy szerepalakítást alkalmaztunk a kinesztetikus érzékelés aktiválása céljából. Az **1. ábrán** az látható, ahogy sapientiás hallgatók rekurzív forgatókönyveket játszanak el. [18]. Innen már csak egy lépés volt a táncig. Tánckoreográfiákat dolgoztunk ki, amelyek rendezési algoritmusokat illusztrálnak. Először amatőr táncosokat vontunk be, Michael Flatley zenéjére. [19] A kísérletek igazolták a módszer hatékonyságát.

1. ábra. *Sapientiás hallgatók rekurzív forgatókönyveket játszanak el.*

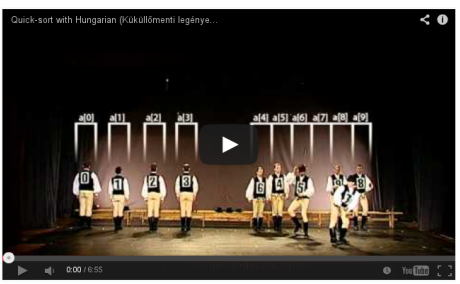


2. ábra. *Buborékos rendezés Michael Flatley zenéjére.*

Ekkor fogalmazódott meg bennünk, hogy miért ír zene, és miért amatőr tánc… Mindez elvezetett hat néptánc-koreográfia kidolgozásához, amelyeket a Maros Művészegyüttes profi táncosai „implementáltak" (**3. ábra**). A koreográfiák egyfelől rendezési algoritmusokat, másfelől pedig Erdély kulturális sokszínűségét (román, magyar, székely, csángó, szász és cigány) szemléltetik (youtube.com/algorythmics, algo-rythmics.ms.sapientia.ro). Az is motivált ennél a kezdeményezésnél, hogy a „mindenki" kulturálisan sokszínű. Továbbá, azzal, hogy kulturális keretbe helyezünk informatikai tartalmakat, merészen kombinálunk tudományt művészettel, modernt hagyományossal, ami köztudottan hatékony motivációs elem az érdeklődés felkeltéséhez [20]. Két kapcsolódó kutatás azt vizs-

gálta, hogy: (1) miként lehet hatékony e módszer humánorientált hallgatóknál is [21, 22]; (2) milyen mellékhatásai lehetnek annak, hogy a tudományos tartalmat multikulturális keretben mutatjuk be [23].

Tervezzük továbbá a módszer kiterjesztését nem látókra is. Az irány, amelyet követünk, azért is ígéretes, mert már eddig is kiaknáztuk a hallás és tapintás érzékeit.



3. ábra. *Rendezési koreográfiák.*

5. Következtetések, célok

A modern pedagógia válasza a sokszínűségre a differenciálás [24]. Azonban, minden tanulói kategóriának más-más módszert és eszközt kidolgozni rendkívül költséges. Eddigi eredményeink azt mutatják, hogy lehetséges egységesen megközelíteni különböző kategóriákat. Célunk egy egységes rendszerbe integrálni az összes eddigi módszert (multiszenzoriális, interaktív, interkulturális), amely ugyan lehetővé teszi a rendszeren belüli adaptációt, egységes stra-

tégiával fejleszti mindenki algoritmikus gondolkodását.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] C. Wilson, *Running the Empty: Failure to Teach K-12 Computer Science in the Digital Age*. Association for Computing Machinery, 2010.

[2] S. Grover and R. Pea: *Computational thinking in K–12. A review of the state of the field*. Educational Researcher, vol. 42, no. 1, pp. 38–43, 2013.

[3] *US Bureau of Labor Statistics*. http://www.bls.gov/ooh/. Last accessed on 02/12/2014.

[4] *Hour of code*. http://hourofcode.com/. Last accessed on 13/12/2014.

[5] CBS News, "With help from Obama and Ashton Kutcher, Hour of Code turns kidsinto coders." http://www.cbsnews.com/news/with-help-from-obama-andashton-kutcher-hour-of-code-turns-kids-into-coders/. Last accessed on13/12/2014.

[6] G. Futschek: *Algorithmic thinking: the key for understanding computer science*. In: Informatics education–the bridge between using and understanding computers. 159–168, Springer, 2006.

[7] K. Myers, J. Jahn, B. Gailliard, and K. Stoltzfus: *Vocational anticipatory socialization (VAS) and science and math: A model of academic and career interests*. In Organizational Communication Division of the International Communication Association, 2009.

[8] R. Racu: *Suntem campionii Europei la numarul de specialisti IT pe cap de locuitor*. Ziarul Financiar, http://www.zf.ro/zf-24/suntem-campionii-europei-lanumarul-de-specialisti-it-pe-cap-de-locuitor-12614965. Last accessed on 11/12/2014.

[9] K. Pretz: *Computer science classes for kids becoming mandatory*. http://theinstitute.ieee.org/career-and-education/preuniversityeducation/computer-science-classes-for-kids-becoming-mandatory. Last accessed on 05/12/2014.

[10] L. Werner, J. Denner, S. Campe, and D. C. Kawamoto: *The fairy performance assessment: Measuring computational thinking in middle school*. In: Proceedings of the 43rd ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE '12, 215–220, ACM, 2012.

[11] Google: *Inspiring the next generation of tech innovators*. http://www.google.com/diversity/for-the-future.html. Last accessed on 07/12/2014.

[12] J. Gray, L. Chambers, and L. Bounegru: *The Data Journalism Handbook*. O'Reilly Media, 2012.

[13] J. Driver, and T. Noesselt: *Multisensory interplay reveals crossmodal influences on 'sensry-specific' brain regions, neural responses, and judgments.* Neuron, 57(1). 2008.

[13] D. Voto, L. M. Viñas, and L. D'Auria: *Multisensory interactive installation*. In Sound and music computing '05, XV CIM. November 24–26, Salerno, Italy, 2005.

[15] H. Gardner: Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences. Basic Books.

[16] H. Gardner: *Intelligence reframed: Multiple intelligences for the 21st century*. Basic Books, 1999.

[17] Z. Kátai, K. Juhasz, A. K. Adorjani: *On the role of senses in education* Computers &Education, vol. 51, no. 4, 1707–1717, 2008.

[18] Z. Kátai: *Multi-sensory method for teaching-learning recursion*. Computer Applications in Engineering Education, vol. 19, no. 2, 234–243, 2011.

[19] Z. Kátai, L. Toth: *Technologically and artistically enhanced multi-sensory computer programming education.* Teaching and Teacher Education, vol. 26, no. 2, 244–251, 2010.

[20] J. M. Keller: *Motivational design of instruction.* Instructional design theories and models: An overview of their current status, vol. 1, 383–434, 1983.

[21] Z. Kátai: *The challenge of promoting algorithmic thinking of both sciences- and humanities oriented learners.* Journal of Computer Assisted Learning, 2014.

[22] Z. Kátai: *Algorithmic thinking for ALL: A motivational perspective.* In Proceedings of the 2014 Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, ITiCSE'14, 353–353, ACM, 2014.

[23] Z. Kátai, *Intercultural computer science education.* In Proceedings of the 2014

Conferenceon Innovation & Technology in Computer Science Education, ITiCSE '14, pp. 183–188,ACM, 2014.

[24] C. A. Tomlinson: *Differentiated classroom: Responding to the needs of all learners*. Ascd, 2014.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 127–138. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.14
http://hdl.handle.net/10598/28532

NEM KONVENCIONÁLIS MEGOLDÁSOK NEUROBIOLÓGIAI JELEK NEM INVAZIV MÉRÉSTECHNIKÁJÁBAN

NEW WAYS IN NON-INVASIVE NEUROBIOLOGICAL SIGNAL RECORDING

Losonczi Lajos[1,2]

[1]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Cím: Romania, Târgu-Mureş, Sighişoarei út, 1.C, Telefon: +40-722-352178, levelezési cím: lajos.losonczi@ms.sapientia.ro*

[2]*Lambda Communications SRL, lajos@lambda.ro*

Abstract

Due to the variable contact impedance, the existence of – movement, polarization and noise – artifacts at the contact level between the measuring electrode and the skin, the signal acquisition systems used in the brain computer interface (BCI) systems should meet very strict requirements during the measurement process of bioelectric signals. Because of the constantly changing measuring conditions of a system in motion and the noise disruptions, disturbances, interference that are greater than the measured signal, to achieve good results with an increased accuracy and a faster transmission and processing of the measured signals, specific and particular solutions are needed. In this paper I present those non-conventional solutions that result from the research I carried out in the last several years, and which can be successfully used in the non-invasive measurement of the neuro-biological signals.

Keywords: *Instrumental amplifier, smart electrode, wireless embedded systems, BCI.*

Összefoglalás

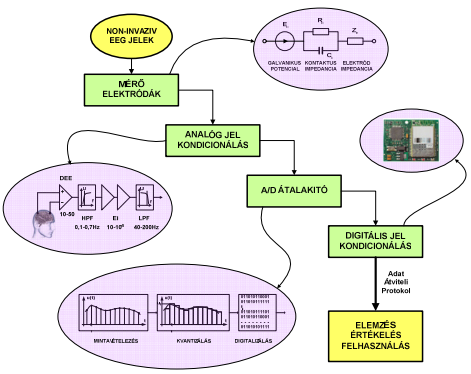
Az agy-számítógép interfész (BCI) rendszerekben alkalmazható jelbegyűjtő rendszerek a bioelektromos jelek mérése során nagyon szigorú követelményeknek kell eleget tegyenek egy mozgásban levő rendszer állandóan változó mérési feltételei miatt. A változó parméterek követése az érintkezési pontokban, a mérendő jelnél nagyságrendekkel nagyobb fellépő zajok, zavarok, interferenciák, a megnövelt mérési pontosság, a mért jelek gyors továbbítása és feldolgozása, mind olyan követelmények, melyek sajátos megoldások alkalmazását igényelik a jó eredmények elérése érdekében. A dolgozatban ismertetem azokat a nem konvencionális megoldásokat, amelyek az utóbbi évek személyes kutatási eredményeit foglalják össze és amelyek a nem invazív neurobiológiai jelek méréstechnikájában sikerrel alkalmazhatóak.

Kulcsszavak: *mérő erősítők, okos elektródok, vezeték nélküli beágyazott rendszerek, mérőrendszerek, BCI.*

1. Neurobiológiai jelek nem invaziv méréstechnikája

Neurobiológiai eredetű elektromos jelek méréstechnikájában mindennapos dolog a μV nagyságrendű jelek mérése és feldolgozása. Az elektronikus alkatrészek folyamatos technológiai fejlődése lehetőséget nyújtott új generációs neurobiológiai mérő- és jelfeldolgozó rendszerek kifejlesztésére, ami új elrendezéseket eredményezett és jelentősen

javított a berendezések paraméterein. Egy mai EEG mérőműszer fontosabb jellemzői: bemeneti jeltartomány 10μV-10mV, sávszélesség 0,1Hz-1KHz, fázistorzítás 10-20%, mintavételezési felbontás 14-16 bit, zajelnyomás 80-100 dB. Az **1. ábra** egy modern konvencionális neurobiológiai mérőrendszer tömbvázlatát szemlélteti [1].



1. ábra. *Neurobiologiai mérőrendszer tömbvázlata*

Az **1. ábra** szerint az agy működését kísérő elektromos potenciálváltozások mérése jól elhatárolható lépésekben történik. A modern klinikai diagnosztizáló mérőrendszerekben nagy gondot fordítanak az elektródok illesztésére, az analóg és digitális jelkondicionálás minőségére, de főleg az analóg-digitális átalakítás pontosságára. A digitalizált jelek sokkal rugalmasabban kezelhetőek, mint az analóg technikában, ha az átalakítás nem marad el pontosságban az analóg erősítésben alkalmazott módszerektől. Egy adatsoron több feldolgozás is végezhető, miközben a mért adatok minősége már nem változik.

Ugyanakkor az analóg tartományból a digitálisra való áttérés néhány új szempontot és problémalehetőséget vezet be, amelyekre mindig tekintettel kell lenni [2]. Az adatátvitel tipusát, az alkalmazott kommunikációs protokol szerkezetét, a zajcsökkentő és zavarkompenzáló megoldások jó részét szintén a digitális technika határozza meg.

1.1. BCI rendszerekben alkalmazható mérőrendszerek követelményei

Az agy-számítógép interfész (BCI) rendszerekben alkalmazható jelbegyűjtő rendszerek esetében, ahol a fellépő zajok, zavarok, interferenciák amplitúdója a mérendő jelnél nagyságrendekkel nagyobb lehet, és állandóan változhat a mérések során, a bioelektromos jelek mérésének sokkal nehezebb követelményeknek kell eleget tennie [3]. Ezeknek a mérőrendszereknek legalább még három funkcionális és technikai követelményt kell megoldaniuk:

- Viselhetőség: a felhasználó magán kell hordja a napi tevékenysége közben.
- Jellemző paraméterek további javítása: a kivonható információ növelése miatt.
- Valós idejű jeltovábbítás és feldolgozás: a gyors válaszreakció érdekében.

Ezek a követelmények több funkcionális probléma megoldását is szükségeltetik:

- nagyon kis fizikai méretek;
- száraz elektródok használata;
- mozgási artefaktumok kompenzálása;
- kiterjesztett autonómia;
- tökéletesített rögzítési mechanizmus;
- drót nélküli kétirányú kommunikáció.

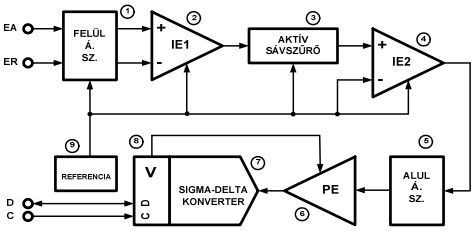
Ehez járul még a technikai problémák megoldása, ami azt eredményezi, hogy a fontosabb technikai paraméterek nem lehetnek gyengébbek, mint: a bemeneti jeltartomány 1μV-100mV, sávszélesség 0,001Hz-40KHz, fázistorzítás max. 1%, mintavételezési felbontás 22-24 bit, zajelnyomás 100-120 dB [4].

1.2. BCI-kompatibilis mérőstrukturák kialakítása és csoportosítása

Kutatásaink során új mérőstrukturák bevezetését kezdeményeztem. Az első lépés – ma már általánosan alkalmazott módszer –

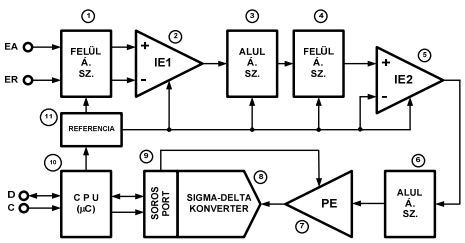
az aktív elektródok használata [5]. A technológiai fejlődés lehetővé tette, hogy közvetlenül a mérőelektród fizikai kontaktusai mellé elhelyezhetők legyenek az analóg jelkondicionálás áramkörei: jelillesztők, mérőerősítők, szűrők. Ez a megoldás nagyságrendekkel növelheti a jel/zaj viszony értékét [6].

A következő lépést a digitális jelkondicionálás egy részének – az analóg-digitális átalakítónak - a mérőelektródon való elhelyezése jelentette. Ez a megoldás lehetővé tette az adatok digitális továbbítását a mérőpontból, csökkentve ezáltal a rendszer zavarérzékenységét. A **2. ábra** egy aktív elektród tömbvázlatát szemlélteti, amit BCI céljára fejlesztettünk ki.



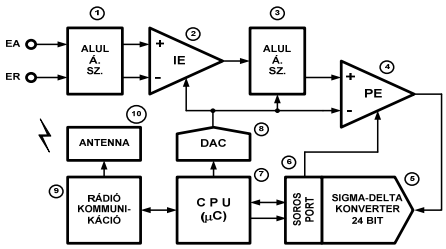
2. ábra. *Aktív mérőelektród*

A jelfeldolgozás legalább egy részének a mérőelektródon való elhelyezése már egy újfajta elem, az intelligens mérőelektród (SAE – Smart Active Sensor, ez az általam adott elnevezés) megjelenését jelentette. A **3. ábra** egy SAI tömbvázlatát szemlélteti.



3. ábra. *Intelligens mérőelektród*

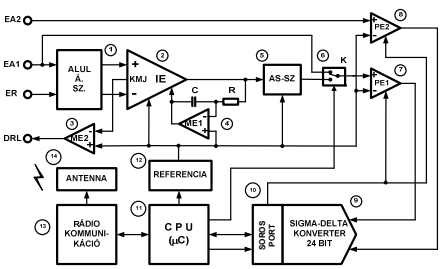
Az okos mérőelektródok továbbfejlesztett változata már tartalmazza az analóg és digitális jelkondicionáló áramkörökön, illetve a helyi vezérlést és jelfeldolgozást megvalósító mikrovezérlőn kívűl a huzal nélküli kommunikációt megvalósító áramköröket és protokollokat is. Ez a struktúra a független mérőcsomópont (IRN – Independent Recording Node) elnevezést kapta. A **4. ábra** egy független mérőcsomópont tömbvázlatát szemlélteti, amit BCI-alkalmazásokra fejlesztettünk ki.



4. ábra. *Független mérőcsomópont*

Végül, a független mérőcsomópontokat elláttuk olyan áramkörökkel, amelyek az említett funkciók mellett még biztosítják az automatikus kalibrálást, az öntesztelést, a kontakt impedancia változásának valós idejű monitorozását, a zavarjelek kompenzálását, valamint a működési mód programozott változtatását, illetve a technikai paraméterek (erősítés, sávszélesség, mintavételezési frekvencia, szűrőkarakterisztika) vezérelt módosítását is. Ezeket a struktúrákat intelligens mérőmoduloknak (IRM – Intelligent Recording Module) neveztem el.

Az **5. ábra** egy intelligens mérőmodul tömbvázlatát szemlélteti, amit BCI-alkalmazásra fejlesztettünk ki.

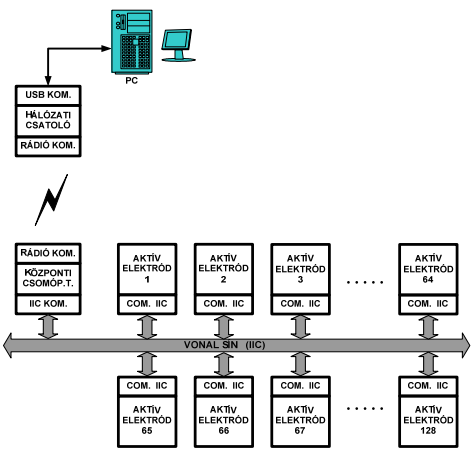


5. ábra. *Intelligens mérőmodul*

1.3. Hálózatok BCI mérőstruktúrákkal

A legtöbb esetben, a neurobiológiai jelek nem invazív mérése egyszerre több pontban történik. A legtöbb rendszer 21 elektródot használ, de gyakori a 40-60 pontos mérési technika alkalmazása, sőt komplex BCI alkalmazásoknál a mérési pontok száma elérheti a 120 pontot. Ebben az esetben a mérések szinkronizálása, az adatok kezelése és az információ továbbítása igen komoly feladatot jelent az adott biológiai környezetben. Ezt a feladatot nehezen lehet megoldani a klasszikus kommunikációs megoldásokkal, ahol a testen elhelyezett mérőelektródok dedikált, rendszerint huzalozott kapcsolatokon keresztül kommunikálnak a felsőbb szintekkel. Az általunk választott megoldást az intelligens beágyazott mérőáramkörök hálózatba kötése jelentette. Kétféle hálózatot fejlesztettünk ki, aszerint, hogy milyen mérőáramkört használtunk.

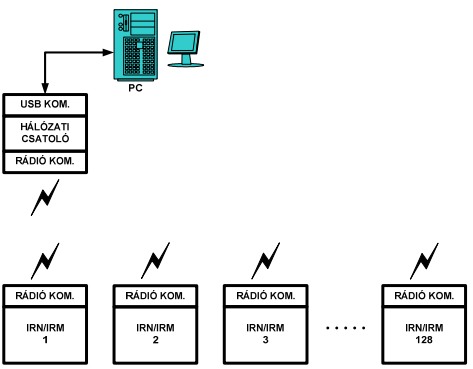
A **6. ábrá**n SAI-áramkörökkel képezett neurobiológiai mérőhálózat tömbvázlata látható.



6. ábra. *SAI-modulok hálózata*

Az aktív elektródok egy klasztert képeznek a vonalsín körül, ezen keresztül kommunikálnak a központi csomóponttal, ami az átjáró (gateway) szerepét tölti be. A csomópont huzalozott kapcsolatban van a maximum 128 mérőelektróddal, és huzal nélküli kapcsolásban kommunikál a felsőbb szintekkel.

Jelenlegi kutatásaink tárgyát képezi a huzalozott vonalsín helyettesítése egy új, rövid hatótávolságú kapcsolódási technológiával (IBC – Intra-Body Communication), amely az emberi testet használja fel, hogy biztonságos kétirányú kommunikációt nyújtson két elektronikus készülék között. Összehasonlítva a meglévő vezeték nélküli módszerekkel az IBC jóval alacsonyabb energiafogyasztást kínál, miközben a kétirányú kódolt hitelesítés révén megnövelt biztonságot nyújt. Mivel a rendszer nem igényel RF antennát, így leegyszerűsíti az áramkör szintű tervezéseket, csökkenti az alkatrészek számát és a szükséges terület nagyságát.

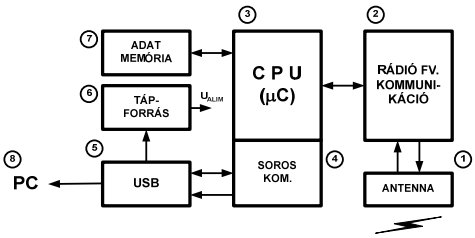


7. ábra. *IRN- és IRM-modulok hálózata*

A **7. ábrá**n IRN-, illetve IRM-áramkörökkel létrehozott neurobiológiai mérőhálózat tömbvázlata látható.

Megfigyelhető, hogy az intelligens mérőáramkörök hálózata ugyanazon a kommunikációs csatornán keresztül jön létre, amelyen ezek a felsőbb szintekkel is kommunikálnak. Az átjárót (gateway) kiküszöbölhettük a rendszerből, és a felsőbb szintnek lehetősége van arra, hogy közvetlenül megfigyelés alatt tartsa (monitoring) a mérőpontok közötti információcserét.

Mindkét hálózati struktúra esetén a felsőbb kommunikációs szintet egy beágyazott hálózati csatoló jelenti, mely huzal nélküli csatornán kapcsolódik a hálózathoz és USB soros porton keresztül kapcsolódik a számítógéphez. Az általunk kifejlesztett hálózati csatoló tömbvázlata a **8. ábrán** látható.



8. ábra. *Hálózati csatlakozó modul*

Az alkalmazott hálózati kommunikációs protokollt teljes egészében a kutatócsoportunk fejlesztette ki.

2. Zajcsökkentő megoldások a BCI mérőstruktúrákban

Az előző fejezetben ismertetett funkcionális és technikai követelményeket egyszerre kell teljesítenie egy BCI-kompatibilis mérőrendszernek. Ennek kellemetlen következménye, hogy az új áramköri megoldások bevezetésével együtt a zajok és zavarjelek hatása a rendszerre nagyságrendekkel megnő. Követelmény az új eljárások alkalmazása mind az analóg jelkondicionáló áramköri részen, mind a digitális jelkondicionálás vonalán, az említett hatások enyhítése érdekében.

2.1. Zajcsökkentés az analóg jekondicionáló áramkörökben

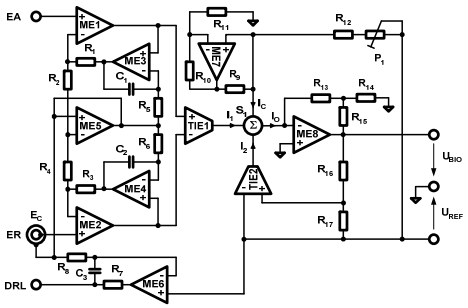
A zavarjelek hatásának csökkentését az analóg mérővonalon elsődlegesen a nagyon jó minőségű aranybevonatú elektródok használatával és csúcstechnológiájú integrált mérő (instrumentális) előerősítő áramkörök alkalmazásával értük el. Ezenkívűl egy sor áramköri megoldásra volt szükség a BCI-kompatibilitás érdekében.

Már az egy nagy kihívás, hogy a viselhetőség érdekében szükséges a száraz elektródok használata. Ez azt jelenti, hogy a kontakt impedancia értéke 10 KΩ nagyságrendről 1 MΩ nagyságrendre nő, a közös módú zavarjelek hatása 20-40 dB-értékkel nő, és legalább egy-két nagyságrenddel nő az elektródok polarizációs feszültsége, valamint az offset (nullponthiba) és a drift (nullpontvándorlás) feszültség a differenciális mérőerősítő bemenetén. Ahoz, hogy a fenti nehézségeket áthidaljuk, több nem konvencionális alkalmazást kellett bevezetnünk, melyek egyrészt nagymértékben csillapítják a zavarok káros hatását, másrészt a hasznos jelet nem vagy csak nagyon kis mértékben torzítják.

2.1.1 A közös módú zaj elnyomása

A száraz elektródok zavaró hatását a jelkondicionáló lánc elején kell kiküszöbölni. Az általunk speciálisan – zajos, kis amplitúdójú jelek illesztésére és erősítésére – kifejlesztett mérő-erősítő elvi rajzát a **9. ábra** szemlélteti. Megfigyelhető, hogy a rendszer két részből áll, egy bemeneti differenciális erősítő áramkörből (ME1-ME5 műveleti erősítők), valamint egy másodlagos transzkonduktív mérőerősítőből (TIE1, TIE2 transzkonduktancia műveleti erősítők és ME7, ME8 műveleti erősítők).

A tulajdonképpeni bemeneti diferenciális erősítőt az ME1 és ME2 erősítők alkotják, az ME3 és ME4 erősítők integrátorként vannak bekötve a negatív visszacsatolási hurokba, leválasztva ezáltal a mért jel egyenármú komponensét. Az ME5 erősítő a közös módú zavarfeszültséget vezeti vissza a negatív hurokba, jelentősen megnövelve a közös módú jelelnyomás, a CMRR értékét [7].



9. ábra. *BCI kompatibilis mérőerősítő*

Az áramkörre, a szuperpozíció elvét alkalmazva, felírhatjuk:

$$U_{o1}\cdot\left(1+\frac{1}{s\cdot R_6\cdot C_2}\right)=(U'_{o1}+U''_{o1})\cdot\left(1+\frac{1}{s\cdot R_6\cdot C_2}\right)=U_{ir}\left(1+\frac{R_3}{R_2+R_4}\right)-U_{ia}\cdot\frac{R_3}{R_2+R_4}$$

Hasonlóan:

$$U_{o2}\cdot\left(1+\frac{1}{s\cdot R_5\cdot C_1}\right)=(U'_{o2}+U''_{o2})\cdot\left(1+\frac{1}{s\cdot R_5\cdot C_1}\right)=U_{ia}\left(1+\frac{R_1}{R_2+R_4}\right)-U_{ir}\cdot\frac{R_1}{R_2+R_4}$$

A két egyenlet különbségét alkotva és alkalmazva a szimmetriakritériumokat: $R_1=R_3, R_2=R_4, C_1=C_2$ és $R_5=R_6$, kapjuk:

$$(U_{o2}-U_{o1})\cdot\left(1+\frac{1}{s\cdot R_5\cdot C_2}\right)=(U_{ia}-U_{ir})\cdot\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)$$

vagyis:

$$U_{o2}-U_{o1}=(U_{ia}-U_{ir})\cdot\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)\cdot\frac{s\cdot R_5\cdot C_1}{1+s\cdot R_5\cdot C_1} \qquad (1)$$

Másrészt, ha G1 a TIE1 transzkonduktancia erősítő erősítése, akkor:

$$I_1=G_1\cdot(U_{o2}-U_{o1})$$

A TIE2 transzkonduktancia erősítő bemeneti feszültsége:

$$U_{it2}=(U_{BIO}-U_{REF})\cdot\frac{R_{17}}{R_{16}+R_{17}} \qquad (2)$$

Hasonló módon felírhatjuk:

$$I_2=-G_2\cdot(U_{BIO}-U_{REF})\cdot\frac{R_{16}}{R_{16}+R_{17}} \qquad (3)$$

Az ME8 műveleti erősítővel létrehozott transzimpedancia erősítő bemeneti árama zéró kell legyen, az ME8 és TIE2 erősítők hatalmas hurokerősítése miatt, ezért, ha nem vesszük figyelembe az ME7 kalibráló erősítő áramát, kapjuk, hogy: $I_1=-I_2$

Következik a (2) és (3) egyenletek alapján:

$$U_{BIO}=\frac{G_1}{G_2}\cdot\left(1+\frac{R_{16}}{R_{17}}\right)\cdot(U_{o2}-U_{o1})+U_{REF} \qquad (4)$$

Behelyettesítve az (1) egyenlet értékét a (4) egyenletbe, megkapjuk a mérőerősítő frekvenciafüggő feszültségerősítését:

$$U_{BIO}=\frac{G_1}{G_2}\cdot\left(1+\frac{R_{16}}{R_{17}}\right)\cdot\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)\cdot\left(\frac{s\cdot R_5\cdot C_1}{1+s\cdot R_5\cdot C_1}\right)\cdot(U_{ia}-U_{ir})+U_{REF}$$

Következik, hogy az erősítő vágófrekvenciája (felüláteresztő szűrőkarakterisztika):

$$f_t=\frac{1}{2\cdot\pi\cdot R_5\cdot C_1}$$

Az egyenáramú komponens esetén $(s=0)$:

$$U_{BIO}=U_{REF}$$

A vágófrekvenciánál nagyobb frekvenciájú komponensek esetén:

$$U_{BIO}=\frac{G_1}{G_2}\cdot\left(1+\frac{R_{16}}{R_{17}}\right)\cdot\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)\cdot(U_{ia}-U_{ir})+U_{REF}$$

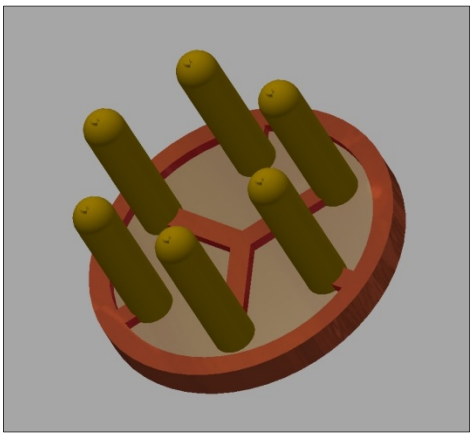
Az áramkör ofszet feszültségét a P1 potenciométerrel nullázhatjuk, úgy vezérelve az ME7 transzimpedancia érősítő kimeneti áramát, hogy a differenciális erősítő rövidre zárt bemenetei esetén $U_{BIO}=U_{REF}$ egyenlőséget kapjuk.

2.1.2. A kontaktimpedancia-változás kompenzálása

Viselhető száraz elektródok esetében a mozgásban levő felhasználón végzett méréseket jelentősen megnehezíti a kontaktimpedancia véletlenszerű változása. A mérés során szerzett információ minősége szorosan összefügg a mérőelektród és az érintett bőrfelület közötti kapacitív jellegű impedanciával, ezért szükséges az impedancia

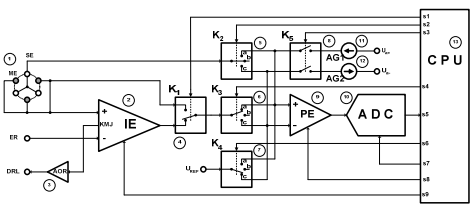
valós időben történő mérése, a hasznos jel korrekciója céljából. Fontos, hogy egyetlen elektród kontaktimpedanciáját mérjük meg, és a mérés ne két mérő-elektród között történjen, mivel ebben az esetben csak a két elektród impedanciaösszegét tudjuk megállapítani, és az impedanciaváltozás is nehezen lokalizálható pontosan.

A problémát úgy oldottuk meg, hogy egy sajátos elektródelrendezést használtunk, amint az a **10. ábrá**n látható.



10. ábra. *Mérőelektród fej a hasznos jel és a kontaktimpedancia mérésére*

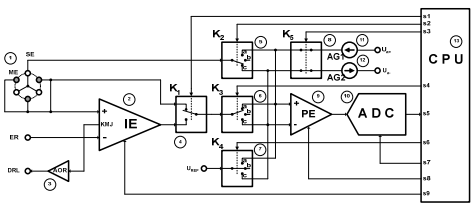
A 6 darab kör mentén elhelyezkedő tüskeérintkező hármasával összekötve két különálló elektródot képez: a neurobiológiai jelet mérőelektródot (ME) és a kontaktimpedancia méréséhez szükséges segédelektródot (SE).



11. ábra. *Mérőelektród a hasznos jel és a kontaktimpedancia mérésére – hasznos jel mérése*

A kontaktimpedancia mérése öt elektronikus kapcsoló segítségével történik, melyeket az intelligens mérőelektród beágyazott mikrovezérlője kapcsolgat egy kidolgozott protokoll szerint (**11. ábra**).

A rajzon látható, hogy a ME jele egy mérőerősítőn (IE) keresztül, míg a SE jele közvetlenül kerül a K1 kapcsoló bemeneteire. A **11. ábra** jelölése szerinti kapcsolóállásnál a hasznos jel mérése történik. Ebben az esetben az analóg-digitális átalakítót megelőző programozható nyereségű erősítő (PE) differenciális bemeneteire a mérendő jel, illetve a referenciafeszültség kerül. A **12. ábra** jelölése szerinti kapcsolóállásnál, a kontaktimpedancia mérése történik. Ekkor a PE erősítő bemeneteire közvetlenül a mérő- (ME) és segéd- (SE) elektródok kötődnek. Ugyanakkor a két elektród közötti kontakt bőrfelületen átfolyik az ellensorba kötött AG1 és AG2 áramgenerátorok konstans árama: $I_C = 10\mu A$. A PE erősítő által mért feszültség $U_{PE_1} = I_C \cdot R_{KI}$ arányos a mérőelektród kontaktimpedanciájával.

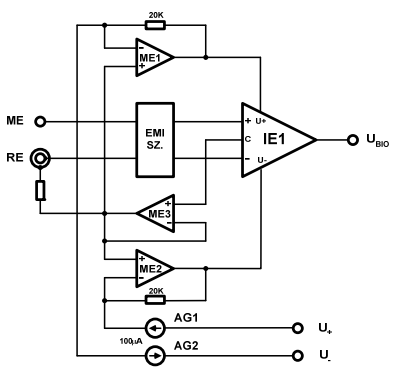


12. ábra. *Mérőelektród a hasznos jel és a kontaktimpedancia mérésére – kontakt impedancia mérése*

Megfigyelhető, hogy a K2 és K3 kapcsolók ellentétes pozícióba való átkapcsolásával az ME és SE elektródokon áthaladó I_C áram iránya megfordítható. Impedanciamérés közben ajánlott a mérőáram irányának váltakoztatása, hogy elejét vegyük az elektródok polarizálásának elektrolízis útján.

2.1.3. A hálózati (50Hz) zavarjel kompenzálása

A neurobiológiai mérőrendszerek legerőteljesebb zavarforrása a szinte mindenhol jelenlevő táphálózati szinuszos (50Hz) feszültség, mely mint közös módú zavarjel tevődik rá a differenciális mérő-előerősítő bemeneteire. Bármilyen kis eltérés a bemenetek szimmetriájától a közös módú jelelnyomás (CMRR) nagymértékű csökkenéséhez vezet, az áram és feszültségdriftek hatására. Ezt a hatást csökkenteni lehet, ha korlátozzuk a bemenetek relatív potenciálváltozását – a közös módú jel hatására – az erősítő tápfeszültségéhez képest. Ez úgy érhető el, ha a közös módú jel rátevődik az előerősítő U+ és U– tápfeszültségeire. A **13. ábrán** látható az alkalmazott megoldás elvi rajza. A mérőerősítő bemeneteire kapcsolódik – egy elektromágneses interferenciaszűrőn keresztül – a mérőelektród (ME), illetve a referenciaelektród (RE). A mérőerősítő közös módú jelkimenete egy illesztő, feszültségkövető műveleti erősítőn keresztül kapcsolódik a két összegező műveleti erősítő ME1 és ME2 pozitív bemeneteire. E két utóbbi erősítő visszacsatolt negatív bemeneteire kapcsolódnak az áramkör szűrt és stabilizált tápfeszültségei, két konstans 100μA áramú áramgenerátoron keresztül.



13. ábra. *Közös módú jelelnyomás tápfeszültség-kompenzálással*

A mérőerősítő tápfeszültségeire a következő összefüggéseket kapjuk:

$$U_{A+} = U_{CM} + I_G \cdot R$$

illetve:

$$U_{A-} = U_{CM} - I_G \cdot R$$

Az bemutatott eljárás alkalmazásával az általunk fejlesztett intelligens mérőmodulon a CMRR 10-20 dB nagyságrendű növekedését értük el.

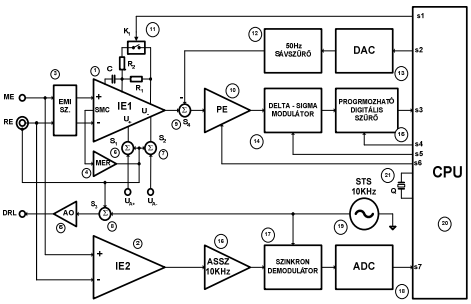
2.2. Zajkompenzálás a digitális jelkondicionáló oldalon

A digitális jelkondicionáló oldalon is hatásos eljárásokat dolgoztunk ki a zavarjelek elnyomására. Az első intézkedést e célból az analóg jelkondicionáló áramkörök drasztikus lecsökkentése jelentette, újszerű, rendkívül nagy felbontású analóg-digitális átalakító alkalmazásával. Az alkalmazott 4. rendű Delta-Szigma modulátor és az azt követő 6. rendű huzalozott digitális szűrő, majd az ezt követő 2. rendű szoftver FIR szűrő, 24 bites – 21 bit effektív – felbontást biztosít, ami elegendő dinamikát jelent a bemenő jel fogadására ahhoz, hogy az analóg rész gyakorlatilag az illesztő előerősítőre redukálódjon [8]. Így jelentősen lecsökken a mérőcsatorna érzékenysége a hőmérséklet-változásokra, az elektromágneses interferenciákra, az elektronikus alkatrészek aszimmetriáira és nem utolsósorban a technikai paraméterek szórásaira.

2.2.1. A kontaktimpedancia és a fázistorzítás kompenzálása

A **14. ábra** szemlélteti az alkalmazott megoldást. A mérő-előerősítő által leválasztott közös módú jel az ME műveleti illesztő erősítőn átvezetve negatív előjellel visszavezetődik a test felületére a DRL (drive right leg) elektródon keresztül. A DRL visszacsatoló hurkot kihasználva az ME erősítő bemenetéhez hozzáadjuk egy szinuszos, 10Khz frekvenciájú, 1mV amplitúdójú generátor jelét. Ez a – DRL elektródon kiküldött – jel rátevődik a ME mérőelektród

hasznos jelére, és mérhető lesz az IE2 második mérőerősítővel. A mért jelet egy 10KHz központi frekvenciájú lyukszűrőn áteresztve összehasonlítjuk az eredeti kibocsájtott jellel, egy szinkron demodulátor segítségével.



14. ábra. *Intelligens mérőmodul – zajkompenzálás a digitális oldalon*

A mért fáziskülönbség arányos lesz a fázistorzítás nagyságával, az amplitúdóváltozást is figyelembe véve pedig a kontaktimpedancia változásáról kapunk információt. Az analóg szabályozó jeleket a digitális számításokban vesszük figyelembe, miután egy 16 bites átalakítóval digitális értékké alakítottuk őket.

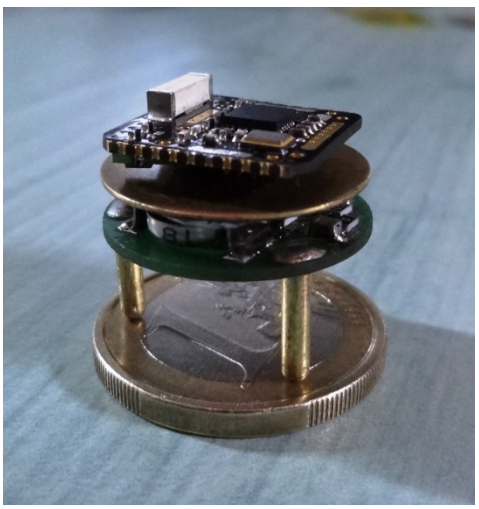
2.2.2. A hálózati zavarok kompenzálása

A 14. ábrán megfigyelhető, hogy az IE1 mérőerősítő kimenete és a Delta-Szigma modulátor bemenete közé egy összegező programozható nyereségű erősítőt iktattunk be. Ez lehetővé tette, hogy a mért hasznos jelhez – mely tartalmazza a hálózati 50 Hz-es zavarjeleket – hozzáadjunk egy numerikusan generált kompenzáló feszültséget. A kompenzáló jel egy 50 Hz-es direkt digitálisan szintetizált szinuszos jel, amelynek a fázisa és periódusa a detektált hálózati feszültég paramétereivel szinkronban van. A generált jel ellentétes előjelű a zavarjelhez képest, amplitúdója pedig numerikusan szabályozható a zavarjel nagysága függvényében. A módszer alkalmazásával további 10-15 dB hálózati zavarjel elnyomást értünk el.

3. Elért eredmények

Az ismertetett megoldások használata lehetőséget nyújtott egy új struktúrájú intelligens mérőpontok beágyazott hálózatának a kifejlesztésére, amelyek huzal nélkül kommunikálnak egymással és egy koordináló központi vezérlőegységgel. Mindenik mérőpont rendelkezik saját tápforrással és elegendő intelligenciával ahhoz, hogy önálló működésre legyen képes. A kifejlesztett mérőstrukturák paraméterei teljes mértékben megfelelnek a BCI-rendszerek követelményeinek.

A **15. ábrá**n egy megvalósított független mérőcsomópont képe látható.



15. ábra. *Független mérőcsomópont képe*

Ez a struktúra három funkcionális modulból van kialakítva, együttesen egy minimális, 21 mm átmérőjű, 14 mm magas henger alakú helyet foglalva el:

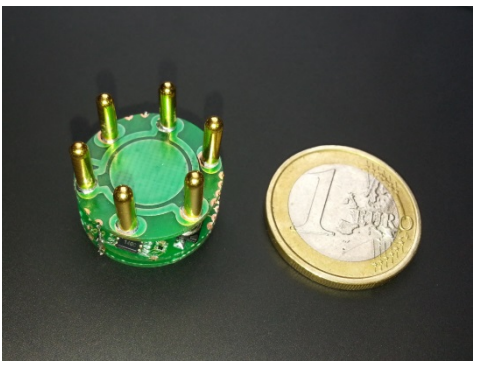
- analóg és digitális jelkondicionáló;
- vezérlő és rádió-kommunikáció;
- vezérelhető tápforrás.

A jelkondicionáló modul sajátos elrendezésű mérőerősítőt és optimizált Delta-Szigma analóg-digitális, 24 bit felbontású konvertert tartalmaz és egyéb újszerű segédáramköröket, amelyek biztosítják az önkalibrálást, impedancia-mérést, zajkompenzálást. A választott alkatrészeknek, valamint az alkalmazott eljárásoknak köszönhetően nagyon nagy közös módú bemeneti impedanciát (>100MΩ) és zajelnyomást (CMRR > 110dB) sikerült elérni és ugyanakkor szimmetrikus, kis torzitású (< 0,1%), nagy impedanciájú (>100MΩ) diferenciális bemeneti áramkört biztosítani.

A vezérlő és kommunikációs modul feladatait egy 2.4 GHz adó-vevővel egybeépített 8051 alapú mikrokontroller látja el. A beágyazott rendszer szoftverét nagyrészt gépi kódban írtam, a gyorsaság, a tökéletes szinkronizálás és az optimális memóriahasználat érdekében. A 2Mb/s feletti sebességű rádiófrekvenciás kommunikáció alkalmazása lehetővé teszi egyrészt a mérőpontok egymás közötti kommunikációját hálózati szinten, másrészt az adat- és parancskommunikációt szerver-felhasználó szinten. A jó helykihasználás érdekében kisméretű chip antennát használtunk.

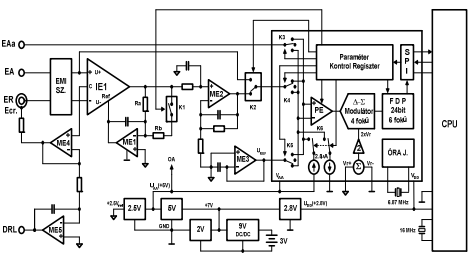
Kifejlesztettünk egy kis energiaigényű, optimizált protokolt, ami az adatforgalom MAC rétegének az alapját képezi. Ráadásul a transzmisszió burszt (időszakos) módban történik, a fogyasztás csökkentése érdekében. A mérőelektród felsőbb kommunikációs szintje a hálózati csatlakozó modul, amely szintén saját fejlesztés.

A tápáramkörmodul is nehéz követelményeknek kell eleget tegyen. Mivel a minimalizálási feltételek miatt egyetlen standard 1,5 V-os gombelemet használunk feszültségforrásként, egy szinkron boost (növelő) konvertert integráltunk a rendszerbe, mely képes stabilan 2,7 V feszültséget szolgáltatni a kimenetén, az elem minimum 0,7 V-os kapocsfeszültségéig.



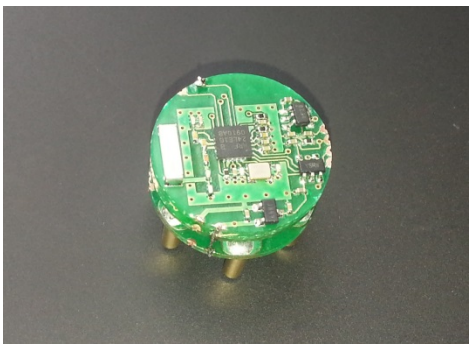
16. ábra. *Kontaktimpedanciát monitorozó mérőelektród képe*

A **16. ábrán** látható az elektródtüskék körkörös és megosztott elrendezése egy kontaktimpedanciát monitorozó mérőelektród esetén. Az áramkör átmérőjének mérete megegyezik egy 1 eurós pénzérme átmérőjével. A mérőelektród elvi rajzát a **17. ábra** szemlélteti.



17. ábra. *Új típusú mérőelektród elvi rajza*

A **18. ábrán** egy megvalósított, új típusú mérőmodul képe látható. Méretei alig valamivel nagyobbak az előbb ismertetett mérőelektród méreteinél (22 mm átmérő, 15 mm magasság), de a megnövelt áramkörsűrűségnek köszönhetően tartalmazza a 2. fejezetben ismertetett összes zajcsökkentő és torzításcsökkentő alkalmazást.

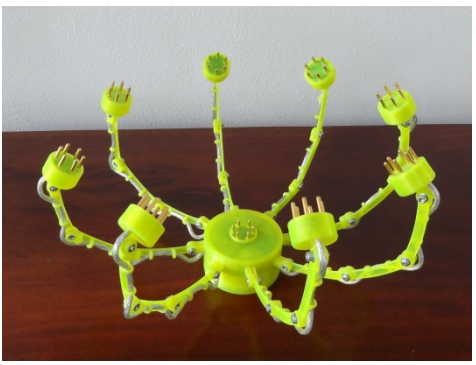


18. ábra. *Új típusú mérőmodul képe*

A mérőmodul elvi rajza a **20. ábrán** van szemléltetve. Az áramkör paramétereit az **1. táblázat** tartalmazza.

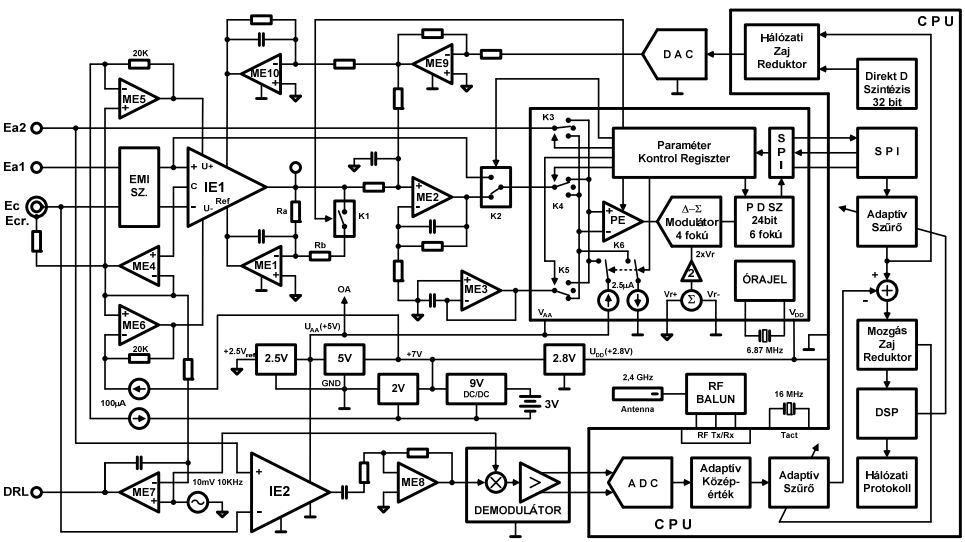
A BCI-rendszerekben alkalmazott mérőmodulok másik fontos követelménye a tökéletes rögzítési mechanizmus alkalmazása, a mozgási artefaktumok csökkentése miatt. A kifejlesztett mérőmodulok kis mérete és súlya lehetővé teszi a modulok könnyű rögzítését a fejtetőn.

A **19. ábra** egy kísérleti rögzítési megoldásunkat szemlélteti. A nyolc mérőmodul háromtagú mozgatható karon helyezkedik el, ezáltal mindenik elektród nagy felületen mozoghat. A 9. elektród a központi törzsön kapott helyet, és ez játszhatja a referenciaelektród szerepét. A modulok huzal nélkül kommunikálnak egymással és a felsőbb szintekkel, egyedül a törzsben elhelyezett tápforrás és a referenciapotenciál van huzalozva.



19. ábra. *SAI modulok hálózata és rögzítő mechanizmusa*

A rögzítő alkatrészeket 3D nyomtatóval nyomtattuk ki, PLA típusú műanyagból.



20. ábra. *A megvalósított intelligens mérőmodul elvi rajza*

4. Következtetések

Kutatásunk célját a BCI kompatibilis mérő áramkörök kifejlesztése jelentette, egyrészt orvosbiológiai alkalmazásokra, hogy megnöveljük a páciensek életminőségét, egyben kényelmét és biztonságát, másrészt, hogy kiterjesszük a készülék alkalmazhatóságát más területekre is, mint: sport, multimédia, szórakoztatóipar, katonai alkalmazások, orvosi diagnosztizálás és biológiai kutatások.

Az **1. táblázat** tartalmazza az általunk eddig elért legjobb paraméterek közül a legfontosabbakat.

1. táblázat. *A kifejlesztett neurobiológiai mérőmodulok fontosabb paraméterei*

1.	Bemeneti offset, max.	2 mV
2.	Drift feszültség, max.	$150\mu V/C^o$
3.	Saját zaj, U_{ZErel}	15%/0,4μV
4.	Dif. impedancia	10^{10} Ω/6 pF
5.	Közös m. impedancia	10^{11} Ω/8 pF
6.	Torzító (bias) áram	0,1 nA
7.	Nem-linearitási hiba	0,01%
8.	Relatív stabilitás, min.	98%
9.	CMRR	125 dB
10.	Analóg erősítés	80 dB
11.	NEB (24b)	21,3
12.	Mérési doménium	+/- 2,2V
13.	Kontakt impedancia	80 KΩ
14.	Kontakt impedancia mérési pontossága	$\Delta R < 3\%$ $\Delta\varphi < 1^o$
15.	Konverzióidő (24b)	80μS
16.	Rezolució	0,2μV
17.	Mintavételezés, max.	40 kHz
18.	Sávszélesség Hz, max.	0,001-40k
19.	Fogyasztás, max.	38mA
20.	Átviteli sebesség	2,1Mb/s
21.	Adatátvitel, max.	1,4 Mb/s
22.	Adatkésleltetés, max.	400μS
23.	Átviteli távolság	15m
24.	Tápfeszültség	1,5V/3,3V
25.	Készenléti fogyasztás	70 μA
26.	Tápautonómia	72h

Az elért eredményekből megállapítható, hogy jó úton haladunk, a tervezett és létrehozott rendszer világszínvonalú paraméterekkel rendelkezik. A kutatást, fejlesztést tovább folytatjuk [9, 10, 11, 12].

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Teplan, M.: *Fundamentals of EEG measurement.* Measurement Science Review, Slovak Academy of Sciences, Institute of Measurement Science, vol.2, sec.2, 2002.

[2] Baker, B.: *Real Analog Solutions for Digital Designers*. Elsevier, Oxford, UK, 2005.

[3] Yazicioglu, R. F., van Hoof, C., Puers, R.: *Biopotential Readout Circuits for Portable Acquisition Systems*. Springler, New York, 2009.

[4] Prutchi, D., Norris, M.: *Design and Development of Medical Electronic Instrumentation.* John Wiley, New Jersey, 2005.

[5] Neuman M.R.: *Analysis and Application of Analog Electronic Circuits to Biomedical Instrumentation.* CRC Press, London, 2004.

[6] Yoo, H. J., van Hoof, C.: *Bio-Medical CMOS ICs.* Springer, New York, 2011.

[7] Spinelli, E.M., és mások: *A Novel Fully Differential Biopotential Amplifier with DC Suppression*. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol.51, No.8, 2004.

[8] Schreier, R., Temes, G.C.: *Understanding Delta-Sigma Data Converters.* John Wiley, New Jersey, 2005.

[9] Losonczi, L.: *Echipament pentru achiziția biosemnalelor cu rețea de noduri inteligente de măsurare*. Cerere Brevet de Invenție, OSIM A201300623, 2013.

[10] Losonczi, L.: *Metodă și echipament pentru măsurarea biosemnalelor*. Cerere Brevet de Invenție, OSIM A201300610, 2013.

[11] Losonczi, L.: *Procedeu și circuit pentru măsurarea impedanței de contact piele-electrod*. Cerere Brevet de Invenție, OSIM A201300611, 2013.

[12] Losonczi, L.: *Modulator Delta-Sigma cu funcția de transfer a zgomotului de cuantizare redus*. Cerere Brevet de Invenție, OSIM A201300624, 2013.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 139–152. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.15
http://hdl.handle.net/10598/28533

BIOLÓGIAI JELFELDOLGOZÁS ÚJABB MÓDSZEREI

NEW METHODS IN BIOLOGICAL SIGNAL PROCESSING

Márton László Ferenc[1], Kocsis Lóránd[1,2], Katona Norbert[1], Szigeti Péter[1]

[1]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar Marosvásárhely, Villamosmérnöki tanszék, Neural Systems Research Group (NSRG) kutatócsoport a Lambda Communications SRL Marosvásárhely közreműködésével, martonlf@ms.sapientia.ro*

[2] *Marosvásárhelyi Orvosi és Gyógyszerészeti Egyetem, Marosvásárhely*

Abstract

We know that information is going in and that control signals come out. With this knowledge we try to work out basic functionalities. The brain generates electrical and magnetic fields that can be interpreted by our technology. Event related potentials can be recorded, the system learns them and can recall the linked control signal after a successful match. There are invasive and non-invasive methods. The project features non-invasive signal acquisition. The signal then is passed to the computer where the signal interpretation takes place. The implemented system uses the Savitzky–Golay filtering method the feature extraction is the main task, where a simple amplitude based method is used. And finally comes the classification of the selected patterns. We will show some example about Wavelet Transform (WT), Hilbert-Huang Transform (HHT), Dynamic Time Warping (DTW) and Detrained Fluctuation Analysis (DFA) as new methods in nonlinear non-stationary signal processing.

***Keywords**: local field potential, Hilbert-Huang transformation, dynamic time warping, detrended fluctuation analysis, fractal and chaotic dynamics*

Összefoglalás

Az emberi test által generált biológiainak nevezett jelek nagyon nagy része nem sorolható a lineáris és stacionárius jelek osztályába. Ezért nagy körültekintéssel kell megválogassuk azon eljárásokat amelyek alkalmasok ezen jelek elemzésére Egy biológiai rendszer esetében általában nem ismert az információhordozó, sem az információ, sem a moduláció milyensége. Elemezni kell ezeket a megfelelő eljárásokkal. Az NSRG csoport által mért jeleket használtuk elsősorban az elemzések során. Nem a biológiai értelmezésen van itt a hangsúly, hanem az újabb lehetőségek ismertetésén amelyek sokat javíthatnak a biológiai rendszerek működésének megértésében.

***Kulcsszavak:** Field potential, Hilbert-Huang transformation, Dynamic Time warping, Detrended Fluctuation Analysis*

1. Bevezető

Egy egységnek tekinthető és kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések által összekapcsolt objektumok halmaza egy rendszer. A rendszer meghatározása sok esetben önkényes valamely célszerű, működésére vonatkozó meggondolást követ. Nagyon sokfajta, igencsak különbözően működő, valamilyen funkciót betöltő részt tekinthetünk rendszernek [1],[2]. Beszélhetünk például vérkeringésirendszerről, nyirokrendszerből idegrendszerről, gazdasági rendszerről stb., amelyek nagyon komplex összetett rendszerek. Ehhez képest az érdemben általunk vizsgálni kívánt rendsze-

rek esetében a rendszer határai eléggé jól láthatóak, működésük nem mindég magától érthető. A rendszereknek sokfajta osztályozási módszere létezik, ehhez a szakmát képviselő szakemberek hada szükséges. Ilyen értelemben vannak:

- koncentrált elemekből felépített és osztott paraméterű rendszereket;
- determinisztikus valamint sztochasztikus működési elveken alapuló rendszerek;
- folytonos és diszkrét rendszerek;
- stacionárius és nemstacionárius;
- lineáris és nemlineáris rendszerek és jelek stb.

A megkülönböztethető és egymástól egyértelműen elválasztható bemeneti és kimeneti jelekkel rendelkező rendszereket irányított rendszereknek nevezzük. Természetesen mindkét jelfajtából több is lehetséges. A jelek fogalmához pedig elválaszthatatlanul hozzátartozik azok mérhetősége és információt hordozó képessége. A bemeneti jelből, rendszerből, kimeneti jelből álló séma az általánosan használt alapstruktúra. Általában egy rendszer jellemző három alkotóeleme (a bemenet; a rendszer és a kimenet) közötti általános érvényű összefüggések keresésére, értelmezésére irányulnak.

A hálózat fogalom használata csak arra utal, hogy többnyire rendszerkomponensekből felépített rendszerek tulajdonságait keressük. Komplex rendszerek tulajdonsága, hogy a rendszer elvi működési mikéntje nem ismert, és csak a mért és értelmezett bemenő és kimenő jelek alapos megismeréséből próbáljuk a rendszer működését megismerni (általában egy biológiai rendszer olyan információtovábbító rendszer, ahol nem ismert, hogy milyen információt milyen hordozójellel miként transzformál kimeneti jellé). Teljesen lineáris, akár stacionárius rendszerek szinte nem is léteznek.

A vizsgált biológiai rendszerek működését általában csak elvi megközelítésben alig ismerjük. Az alkalmazott közelítések, modellek felvetik a numerikusan nyert megoldások érvényességének és alkalmazhatóságának kérdését. Ezeknek a kérdéseknek a vizsgálatát célozzák a dinamikai rendszerek elméletében bevezetett stabilitásfogalmak, mint a Ljapunov-stabilitás vagy a strukturális stabilitás. Valós lineáris rendszer nincs, de a rendszerparaméterek bizonyos tartományában tekinthetünk egy adott rendszert lineárisnak. Egy adott rendszert egy lineáris modellel megközelíteni azt jelenti, hogy egyszerűsíteni próbáljuk a rendszer működésének dinamikájának megértését.

1. Jelek osztályozása:

1a. Determinisztikus

1a1. Periodikus

- Harmonikus
- Általános jelek

1a2. Nem periodikus

- Kváziperiodikus
- Tranziens jeltartomány (állandósult állapot elérése)

1b. Sztochasztikus

1b1. Stacionárius jelek

- Ergodikus jelek
- Nem ergodikus

1b2. Nem stacionárius

Stacionáriusnak és ergodikusnak azokat a folyamatokat nevezzük, amelyek statisztikus jellemzői az időben állandóak, és amelyek sok hasonló folyamat egyidejű vizsgálatával vagy egyetlen folyamat időbeni elemzésével egyaránt megkaphatók, vagyis az ún. időátlag és halmazátlag (sokaságátlag) azonos. Léteznek energiajelek (véges energiával rendelkeznek) és teljesítményjelek (véges teljesítménnyel rendelkeznek).

A leggyakrabban elektromos jeleket tudunk mérni, de fontos a kémiai jelek mérése is.

Ez a nem teljes körű osztályozás is mutatja, hogy sok nem konvencionális eljárás

szükséges, hogy speciális hálózatokhoz kapcsolható jelek információtartalmát reálisan értelmezni tudjuk. Speciális jelértelmezés megfelelő mérési, elemzési eljárásokat igényel. Az ideális érzékelők (szenzorok) statikus karakterisztikája lineáris, a karakterisztika meredeksége a szenzor érzékenysége. Az élő szervezet működése közben keletkező elektromos jelek megfelelő szenzorokkal, szűrőkkel, erősítőrendszerekkel és adatrögzítő berendezésekkel viszonylag könnyen mérhetőek és rögzíthetőek, majd elemezhetőek. A biológiai eredetű elektromos jelek közül alapvető jelentőségű a központi idegrendszer diagnosztikai és kutatási célú vizsgálatában az elektroenkefalográfiás (EEG) görbe elemzése, valamint a szívműködést jellemző elektrokardiogramok (EKG) vizsgálata. Spontán, illetve külső behatásra létrejövő változásaikból (ERP–Event Related Potential) igen sok következtetés vonható le a normális és patologikus működésekre nézve. Így olyan jellemzők is vizsgálhatók, amelyek pusztán vizuális tapasztalatra építve nem észlelhetők, a szabad szemmel látható sajátosságok nem valósan mérhetőek. Az érzékelő legfontosabb jellemzője, hogy milyen kapcsolatot teremt a mérendő tulajdonság és a szolgáltatott adat között. Mivel általában a mérendő jel értékének időbeli alakulását kívánjuk meghatározni, a jel értékét a tulajdonság értéke mellett az idő függvényében is vizsgálni kell. A szenzorok elvárt tulajdonságai között említjük az érzékenységet, méréstartományt, feloldást, sávszélességet (dinamikus tulajdonság). A szenzoroknál előforduló fontosabb hibafajták között megemlítendő a hiszterézis jelenség (az érzékenységük a mért jellemző növekedése és csökkenése esetén nem azonos), tranziens hiba (az érzékelő nem képes követni a mért mennyiség értékének hirtelen megváltozását), zaj (a szenzor működése során a jelben megjelenő véletlenszerű változást melyet nem a jel-tulajdonság változása, hanem a szenzor működése vált ki), valamint az érzékelő véges feloldásából eredő eltérés. Az EEG, EKG görbe időben folyamatosan változó elektromos jel. Számítógépes feldolgozásának alapfeltétele, hogy az eredeti analóg jelet számsorozattá, vagyis diszkrét jellé, majd digitális jellé alakítsuk. Ezt alkalmas berendezéssel, az analóg-digitális (A/D) konverterrel végezzük, amely egymástól azonos távolságra levő mintavételi időpontokban megméri az EEG jel amplitúdóját, és ezt digitális formában, vagyis számként továbbítja a számítógép felé. A mintavételező rendszer legfontosabb paramétere a mintavételezési periódus (T_s vagy h), valamint az ennek megfelelő mintavételezési frekvencia ($f=1/T_s=1/h$). Ennek értéke jelfüggő, és a Shannon–Nyquist-kritérium alapján határozzuk meg. Biológiai eredetű elektromos jelek közül alapvető jelentőségű az agy (központi idegrendszer) elektromos tevékenységének időben történő követése Az elektromos aktivitást az agyban az agykéreg felszíne közelében elhelyezkedő neuroncsoportok szinkron működése generálja (ionok irányított áramlásából származó elektromospotenciál-változás), az agykéregben mélyebben fekvő neuronoktól már gyenge a mérhető jel és az inkább háttérzajnak tekinthető. A biológiai jel egy összetett nem periodikus és általában nem stacionárius és nemlineáris jel. A jelfeldolgozás általában kétféle megszokott módszerrel történik napjainkban. Beszélhetünk idő- valamint frekvenciatartományban történő jelfeldolgozásról, de legújabb kutatások, elvi megközelítések alapján mind fontosabb eljárás a rendszerek idő-frekvencia tartományban történő elemzése.

A következőkben nemlineáris és nemstacionárius jelek vázlatos elemzésének újfajta bemutatására helyezem a hangsúlyt. A szakirodalomban közölt cikkek alapján a legfontosabb következtetés, hogy az, hogy sem a Fourier-transzformáció (FFT), sem a Short-Time-Fourier-transzformáció (STFT), nem képes valós mértékben visszaadni egy nemstacionárius jel tulajdonságait frek-

venciatartományban, illetve időtartományban. Nyilvánvaló előnyeik mellett az ismert transzformációk (**1. ábra**) a következő hátrányokkal rendelkeznek.

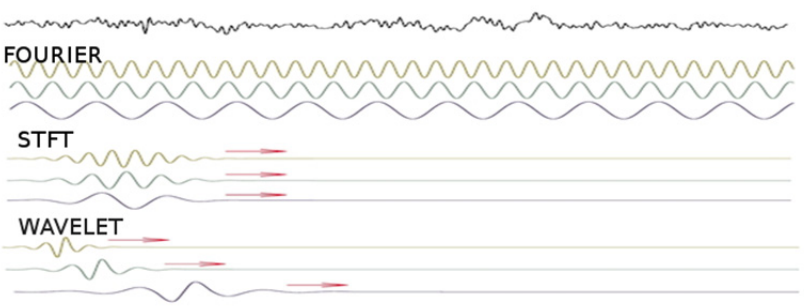
FFT csupán periodikus jelekre ideális, feltételezi, hogy a frekvenciakomponensek végig jelen vannak a vizsgált jelben. Ezért nem lokalizálja (**1. ábra**) az összes előforduló frekvenciakomponenst időben. Az STFT egy időablakkal elemzi végig a jelet, annak reményében, hogy lokalizálni tudja az egyes, időben korlátozott előfordulású frekvenciákat. Az ablak mérete befolyásolja úgy a frekvencia, mind az időtartománybeli felbontást, így ha az ablak mérete nagy, a frekvenciatartomány felbontása nagy lesz, az időtartomány felbontásának rovására, míg a kis ablakméret gyenge frekvenciatartomány-beli felbontást és jó időlokalizációt jelent (határozatlansági reláció idő- és frekvenciatartományokra).

2. Új módszerek nemlineáris nemstacionárius jelek elemzésére

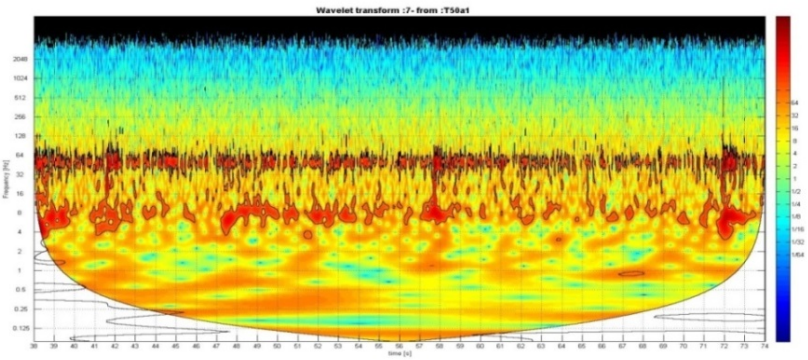
2.1. Idő-frekvencia tartománybeli elemzés

Egy transzformáció sikere azon áll vagy bukik, hogy sikerül-e helyesen megválasztani a bázisfüggvényeket (anyafüggvényt, például hatodrendű Morlet-függvény Wavelet-transzformáció esetében), amelyet aztán kihúzva (dilatáció) és összenyomva (kontrakció), illetve tologatva (transzláció) az elemzett jelből megkapjuk a jel adott bázisban való transzformációját (ez egy 3D kép idő–frekvencia–energia). Sok esetben hasznos a jel alaptulajdonságainak előzetes ismerete a bázisfüggvények helyes megválasztásához. Az **1. ábra** mutatja a különböző transzformációk referenciajeleit.

A következő ábra egy egér MS (Medial septum) agyi részen mért jel Wavelet feldolgozása látható. A **2. ábrán** az abszcissza az időkomponens míg az ordináta meg a frekvenciatartalmat reprezentálja. A színek meg az adott idő–frekvencia koordinátának az ábra jobb oldalán található skála szerinti energiaszintjét mutatják. A fekete körvonal a szignifikáns energiaszinteket jellemzi. Ennek a szignifikáns zónának a meghatározása arra vonatkozik, hogy az adott jel valóban tartalmazza azokat a komponenseket, vagy csak biológiai mért jelekre jellemző vörös háttérzaj (red noise) generálta információtartalom. Vagyis a háttérzaj képes generálni biológiai szerű jelkomponenseket. A bal és jobb alsó sarkok más színezése a jelek véges voltából származó pontatlanságok előfordulását szemlélteti, és ezeket a zónákat nem szabad figyelembe venni a jelek értelmezése során.



1. ábra. *Biológiai jel Fourier-, SWFT(Gabor)- és Wavelet-transzformáció elvi alapjelei*



2. ábra. *Egy jel wavelet-transzformációja. 64Hz (Gamma), valamint 8Hz (Theta)* átlagú komponensek dominálják a jelet.

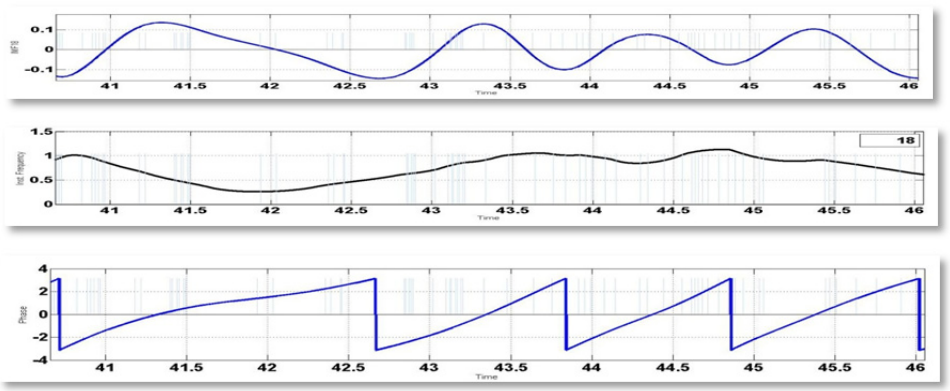
2.1.1. Hilbert–Huang-transzformáció

Az FFT módszer problémájára megoldást jelenthetnek a nemlineáris jelfeldolgozó transzformációk[10] (például a Wigner–Ville-eloszlás) vagy jeladaptív transzfor-mációk, mint a Hilbert–Huang-transzformáció. Ez utóbbi transzformáció két lépésből áll:

- empirikus moduszfelbontás (empirical mode decomposition – EMD) a jelet a nulla átmenetek és lokális szélsőértékpontok alapján „általánosított" harmonikusokra bontja, ún. benső moduszfüggvényekre (IMF – intrinsic mode function);
- a kapott benső moduszfüggvények Hilbert-transzformációja segítségével kiszámolja azok pillanatnyi frekvenciáját és pillanatnyi amplitúdóját, amelyek nagyon fontosak a jelértelmezés szempontjából.

A felbontásból származó moduszfüggvények (IMF) olyan jelek, amelyekben egy adott időpillanatban egy adott frekvenciacsomag komponens van jelen. Egy IMF-et egy amplitúdó- és frekvenciamodulált jel szorzatának tekinti, és megpróbálja szétválasztani a két jelet úgy, hogy az IMF-re egy köbös spline-t illeszt, majd elosztja vele az IMF-et, és a műveletet addig ismétli, amíg az eredmény egy frekvenciamodulált (FM) jel lesz, amelynek a csúcsai a [-1 1] intervallumban vannak. Az eddigi tapasztalataim alapján egy átlag EEG-jel maximum 23 IMF komponensre bomlik. Ha az eredeti IMF-et elosztjuk a kapott FM-jellel, megkapjuk az amplitúdómodulált részt (AM). Az FM-rész és a kvadratúrája segítségével kiszámítható az IMF pillanatnyi frekvenciája. A Huang-transzformáció algoritmus formájában leírja a jelen végrehajtandó eljárásokat, ami elvezet minden IMF-jel való bontásához, majd a Hilbert-transzformáció elvezet a pillanatnyi frekvencia és pillanatnyi fázis fogalmához.

Az egyik első kérdés az, hogy mi jellemzi a fizikailag értelmezhető pillanatnyi frekvenciát.



3. ábra. *A HHT-transzformáció során egy IMF (felső ábra) számított pillanatnyi frekvencia (középső ábra) és pillanatnyi fázis (alsó ábra). Minden időpillanatra leolvasható a fázis és frekvencia értéke.*

A természetes válasz az, hogy a pillanatnyi frekvencia legyen pozitív valós szám. Ezt követően felmerül, hogy olyan jel esetében, aminek nincs egyenáramú komponense, milyen jelbéli szerkezet az, ami negatív pillanatnyi frekvenciát ad. Ennek ismeretében ugyanis törekedni lehet az ilyen jelszerkezet elkerülésére a pozitív pillanatnyi frekvencia biztosítása érdekében. Abban az esetben, ha két egymást követő pozitív helyi maximum között található pozitív helyi minimum, avagy két negatív helyi minimum között található negatív helyi maximum, a pillanatnyi frekvencia negatív lesz. A természetes móduszfelbontás (EMD, Empirical Mode Decomposition) nevû algoritmust adták meg ezen összetevők előállítására, amelyeket benső moduszfüggvényeknek (IMF, Intrinsic Mode Functions) neveztek el. A felbontást követően már a jelmodellezésből ismert módszerekkel, nevezetesen az egyes benső moduszfüggvények kanonikus reprezentációjának segítségével lehet meghatározni a pillanatnyi amplitúdót és a pillanatnyi frekvenciát. A szélsőértékek és a nulla átmenetek száma vagy azonos, vagy eltérésük egy egységnyi. A helyi maximumok és minimumok által kijelölt burkolók középértéke zérus. Az algoritmusban főszerepet játszik a leválasztási eljárás (sifting process), mert – szemléletesen szólva – ezzel fejtünk le a jelről rendre egy-egy benső moduszfüggvényt (IMF). Mindeközben az eredeti jel (adatsor) helyi jellemzőivel kell számolni, így a benső moduszfüggvények a jelhez igazítottak lesznek, vagyis az eljárás ebben az értelemben adaptív. A leválasztási eljárás ezenfelül olyan, hogy az eredeti jel – egy maradékjeltől eltekintve – a benső moduszfüggvények összegzésével állítható elő. A benső moduszfüggvények számára nem tartalmaz előírást, így azt többnyire tapasztalati úton kell meghatározni. Hilbert-transzformáltjából előállítjuk a

$Z(t)$=x(t)+j.
Hilbert {x(t)} = A(t) · $e^{j\Phi(t)}$

komplex analitikus jelet, akkor az ebből származtatható

x(t)=A(t).cos(Φ(t))

kanonikus reprezentáció már egyértelmű, továbbá a pillanatnyi paraméterek is definiálhatók:

$$A(t)=\sqrt{x^2(t)+Hilbert\{x(t)\}^2}$$

$$\omega(t)=\frac{d\emptyset(t)}{dt}=\frac{d}{dt\left(\operatorname{atan}\left(\frac{Hilbert\{x(t)\}}{x(t)}\right)\right)}$$

a pillanatnyi frekvencia.

2.1.2. Wavelet-Transzformáció

A Wavelet transzformáció [7] egy olyan eszköz, amely a jelet "wavelet"-eknek (hullámocskáknak) nevezett komplex bázis függvények összegére bontja fel. A waveletek olyan normalizált $\|\Psi\|=1$ függvények, melyeket egy "mother wavelet "-nek nevezett Ψ(t) bázis függvényből eltolással és dilatációval és kontrakcióval állítunk elő. Egy idősor Folytonos Wavelet Transzformáció (Continuous Wavelet Transform -CWT) a jel wavelet függvénynyel vett belsőszorzatként definiálható, azaz

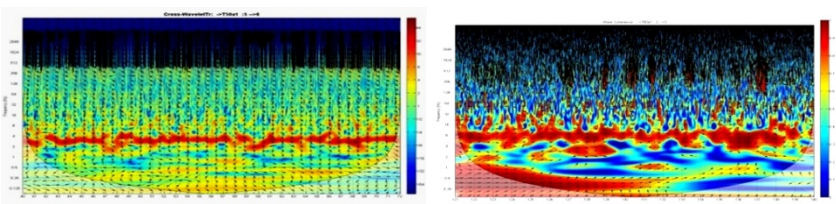
$$CWT\{f(a,b)\}=\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\ \Psi\cdot\left(\frac{t-b}{a}\right)dt,$$

$$a>0$$

ahol „a" a nyújtásért (dilatáció) és zsugorításért (kontrakció) felelős skálaparaméter „b" az eltolási (transzlációs) paraméter, míg „*" a komplex konjugált operátor.

Már említett „klasszikus" eszköz idősorok analízisére a STFT, gyakran nevezik ablakozott Fourier-transzformációnak is. Válasszuk wavelet-függvénynek a Morlet-kernelt (m=6 egy módosított Gauss-görbét). ahol *a* és *b* skálázó faktorok. A Gauss-ablak fél szélessége a próbaperiódussal arányos, nem pedig állandó érték, mint a Fourier-analízisnél, így a frekvencia spektrumban a csúcsok fél szélessége nem egyforma, hanem a frekvenciával arányosan növekszik. Az ablakot *b* értékkel toljuk el az adatsor elejétől a végéig, és minden eltolásra kiszámoljuk a frekvenciaspektrumot. A HHT-módszer, amely EMD-eljárásra épül, különbözik a jel Wavelet-módszerrel Morlet-függvénnyel történő konvolutiv szorzattól. A megválaszolandó kérdéstől függ a módszer megválasztása. Ha a jel spektrumának energiaváltozása érdekel időben, akkor a Wavelet-transzformációt választjuk mint elemzési módszert. A HHT nem igényel semmilyen bázisfüggvényt a konvolutiv elemzés elvégzésére. A jel komponenseinek meghatározása teljes mértékben adatfüggő (az IMF-re bontást nem befolyásolja egy bázisfüggvénnyel történő interferencia). Ha a jel teljesen sztochasztikus, akkor a HHT ajánlott eljárás, ha meg előzetes információnk van a jel időbeni viselkedéséről, akkor a Wavelet-transzformáció ajánlott.

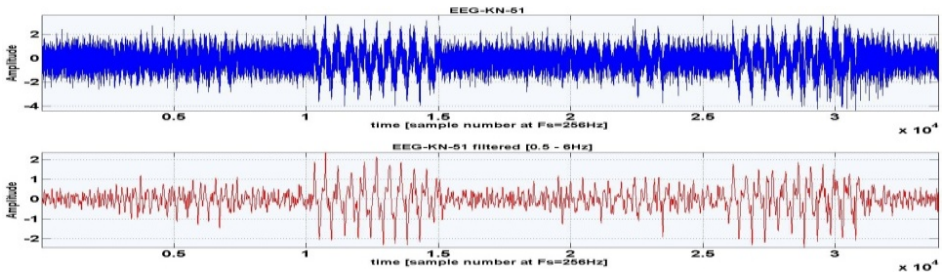
Nagy különbség nincs a módszerek között, mert a jelgenerálás dinamikája ismeretlen. Az elemzési eljárások formai eljárások, a jelek formáját, dimenzióját és nem az alapvető, ezen jeleket generáló okokat elemzik. Ha a koherencia és korreláció tanulmányozása jelek viszonylatában fontos, hasznos módszerek a fáziskapcsolt jelek tanulmányozására (**4. ábra**).



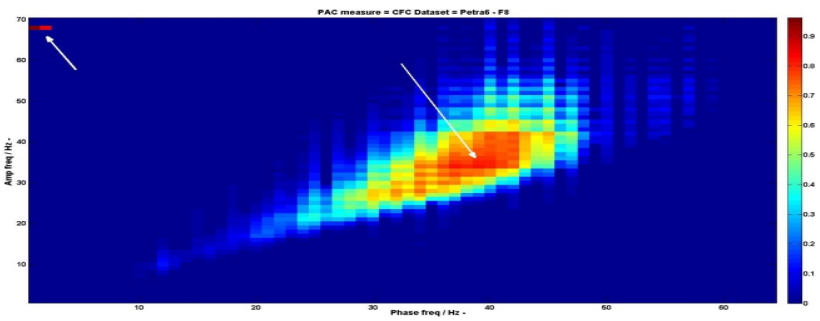
4. ábra. *EEG-jelek Wavelet-koherenciája és korrelációja grafikus megjelenítése. Itt szerepel a szignifikáns zónák körberajzolása. A fázisviszony ábrázolását az ábrán megjelenített apró nyilak iránya adja meg.*

2.1.3. Cross Frequency Coupling

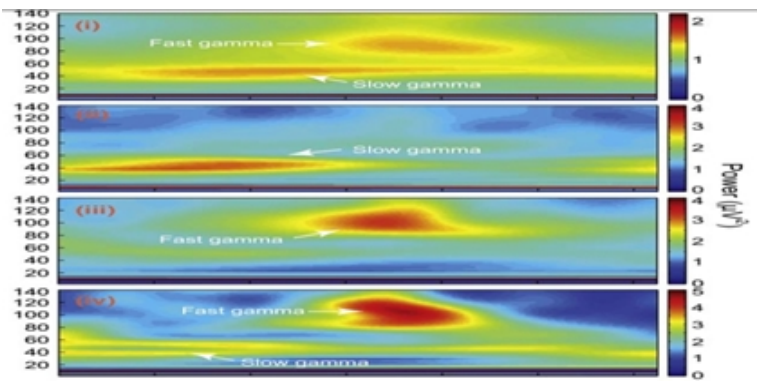
A különböző biológiai jelek közötti kapcsolatok vizsgálatának egyfajta módszere [11] a jelek fázis-fázis, amplitúdó-fázis kapcsolatának vizsgálata. Az alábbi ábrán látható jelek közötti kapcsolatot tanulmányoztuk.



5. ábra. *Általunk mért EEG-jelek*



6. ábra. *CFC két EEG-jel között (az egyik amplitudó–fázis kapcsolat a (30-40) Hz, a másik a (68-3) Hz-es frekvenciakomponensek között létezik.*

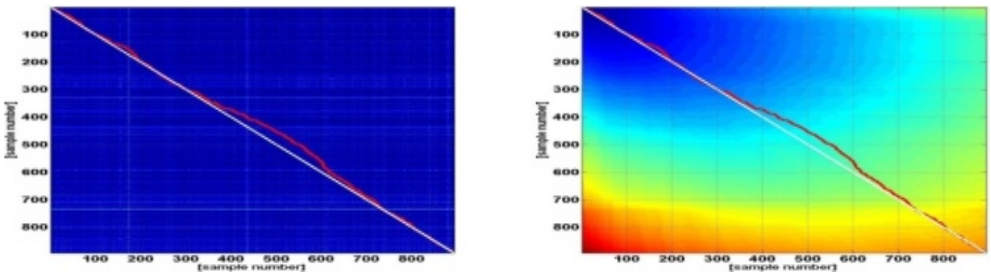


7. ábra. *Különböző biológiai frekvenciatartományok amplitudó-frekvencia kapcsolata biológiailag értelmezett gamma oszcillációk (lassú és gyors gamma komponensek) esetében*

2.1.4. Dynamic Time Warping (DTW)

A Dynamic Time Warping [6] algoritmus egy közismert algoritmus számos felhasználási körben. A 60-as években volt bevezetve, és a 70 es évekig alaposabban kielemezték, felhasználva a beszédfelismerő programokban. Mára kiterjedt a használata kézírás és aláírás felismerésére, mozdulatok felismerésére, adatbányászatra, és idősorok csoportosítására, biztonsági megfigyelő rendszerekre, zeneelemzésre.

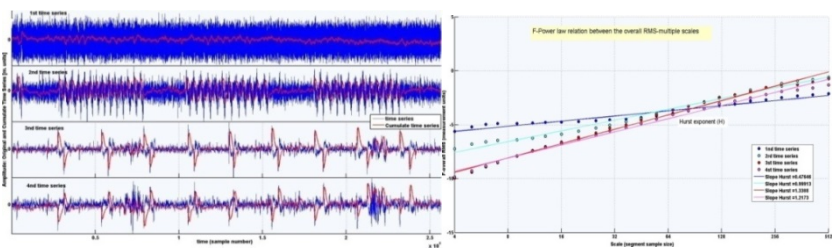
A DTW egy sok helyen alkalmazható algoritmus, mert jeleket hasonlít össze. Minden olyan művelet, amely valamilyen megadott jelet generál, felhasználhatja a DTW eredményeit.



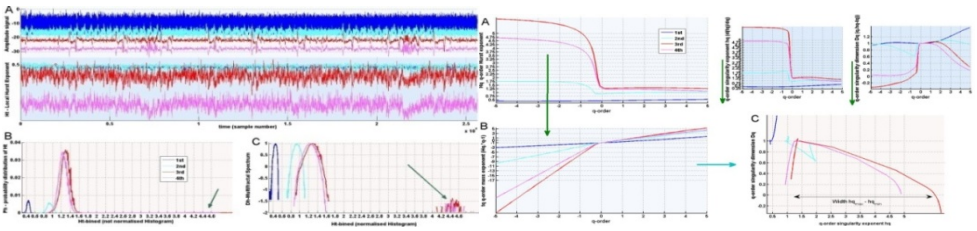
8. ábra. *Két jel összehasonlítása DTW algoritmus alapján. A főátló egyenese teljes egyezést jelent. Az abszcissza az $x_1(t)$ és az ordináta $x_2(t)$ jeleket jeleníti meg. A főátlótól való eltérés a két jel különbözőségét mutatja.*

2.1.5. Detrended Fluctuation Analysis

Biológiai jelek strukturális jellemvonásait [8][9] nagyon nehéz megfigyelni és értelmezni, annak kvantitatív értékeléséről nem is szólva. Egy x(t) biológiai jelet skálafüggetlen jelnek értékét. Kijelenthetjük, hogy a biológiai jelek nagy része fraktál természetű, tehát egy nemlineáris dinamikus rendszer működésének terméke. Fraktált természetűnek nevezzük, ha igaz a $x(ct)=c^H x(t)$ összefüggés. A fraktálanalízis egyik célja, hogy megbecsülje a H exponens legmegfelelőbb értékét.



9. ábra. *Biológiai jelek (kék jel), kumulatív összegezése (piros jel) és A Hurst-exponens (H) számítása az előbbi 4 jel esetében*



10. ábra. *Multifraktál spektrum számítása a négy EEG-jel esetében. A jobb oldali ábra a Hurst exponens sűrűségfüggvényei a 4 jelre, amelyek alapján jellemezni lehet a jelek fraktáltermészetét vagyis a nemlineáris nem-stacionárius rendszert, amelyek a jeleket generálhatják.*

2.1.6. Granger, fraktal, kaosz

A káoszelmélet [5] olyan egyszerű nemlineáris dinamikai rendszerekkel foglalkozik, amelyek viselkedése az őket meghatározó determinisztikus törvényszerűségek ellenére sem jelezhető hosszú időre előre. Az ilyen rendszerek érzékenyek a kezdőfeltételekre. A sok összetevőből álló, bonyolult rendszerekről (például légkör, turbulens folyadékáramlás, lemeztektonika, gazdasági folyamatok stb.) régóta ismert, hogy bonyolult lehet a viselkedésük. A káoszelmélet nagy eredménye azonban annak kimutatása, hogy egyszerű, néhány állapotjelzővel leírható determinisztikus rendszerek is mutathatnak összetett, megjósolhatatlan viselkedést. Determinisztikus voltuk ellenére a kaotikus rendszerek állapotjelzői elsősorban statisztikus módszerekkel írhatóak le. A kaotikus viselkedést mutató rendszerek determinisztikusak, ellentétben a káosz szó hétköznapi jelentésével, ami totális rendetlenséget sugall. Valójában a káosz a viselkedés lokális instabilitásának és a globális keveredésnek az együttese. A viselkedés *lokálisan instabil,* ha egymáshoz közeli kezdőhelyzetből indítva a rendszert a különbségek gyorsan nőnek. *Globális keveredésen* azt értjük, hogy tipikus kezdőfeltételekkel indítva hosszú idő alatt az összes lehetséges állapothoz közel kerül a rendszer. Úgy szoktuk gondolni, hogy egy jó kísérletet jellemez az átlag és a variancia, és egy jó elméletet az jellemez, hogy képes megbecsülni egy kísérlet kimenetelét. Ez nem mindenképpen igaz. Nemlineáris rendszerek tulajdonságai a fraktál és káosz és ilyen rendszerek esetében nem könnyű a kimenet becslése. Fraktál természetű rendszerek kimenetele több skálára kiterjedhet, míg egy kaotikus rendszer nem ismétli meg a kimenő idősorát, még akkor sem, ha a kezdeti feltételek szinte azonosak. A fraktál és a káosz két megközelítési módja a komplex rendszerek elemzésének és megértésének. A fraktál egy olyan objektumrendszer, amelynek mind több mind kisebb része van. Egy ilyen rendszer önazonos, ha a kisebb része kicsinyített mása a nagyobb részének. A legtöbb természetben található fraktálrendszer esetében a kisebb rész kicsinyített mása a nagyobb résznek. A kicsinyítési arány lehet pontos vagy megközelítő. Egy fa struktúrája ez az utóbbi. Egy fraktál lehet egy időfüggő eseménysor. Ebben az esetben létezhetnek mind nagyobb számban mind kisebb amplitúdójú fluktuációk. Fraktál lehet egy kísérlet adatsora. Ebben létezhetnek nagyon nagy és nagyon kicsi értékek. Ez azt jelenti, hogy egy megfelelő matematikai modell nem képes becsülni egy kimenő idősor értékeit. Nemlineáris rendszerek esetében két fontos tanulság van:

1. hogyan használjuk a statisztikát a kísérleti adatok elemzésére;

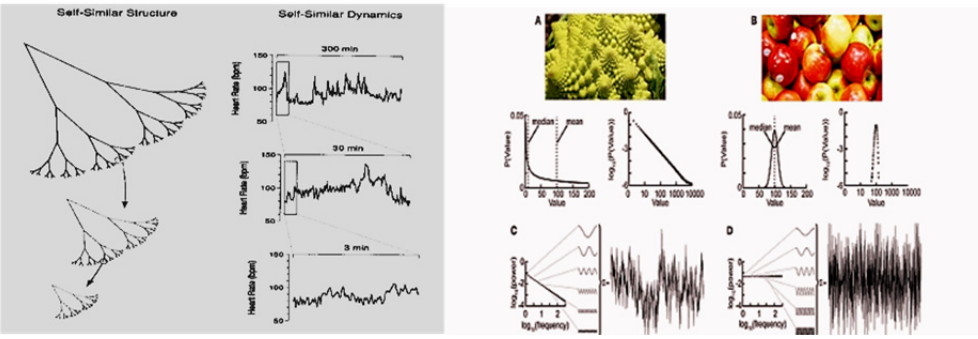
2. hogyan döntjük el egy matematikai modell helyes voltát.

Klasszikusan a káoszelmélet a determinisztikus rendszereket tanulmányozza, de

létezik a fizikának egy *kvantumkáosz-elméletnek* nevezett területe, amely a kvantummechanika törvényeit követő nem determinisztikus rendszerekkel foglalkozik. A Granger eljárás képes ok-okozati kapcsolatot elemezni biológiai idősorok elemzésében.

Egy másik leírása egy nemlineáris rendszernek a káosz. Úgy gondolták kezdetben, hogy egy nagyon bonyolult kimenetet csak egy nagyon bonyolult rendszer képes generálni. Az ilyen rendszereknek az a meglepő tulajdonsága, hogy használhatjuk (teljes mértékben megbecsülhetjük a rendszer működését) egy rövid időintervallumra, de nem használhatjuk a becslést hosszú időintervallumokra.

A kaotikus rendszerek legfontosabb jellemzői a következők: szabálytalan dinamika, kis kezdeti eltérések a kezdeti állapotokban, nagyon különböző választ generálhat, és bonyolult, de jól meghatározott fázistérbeli geometriai modell (határciklus).



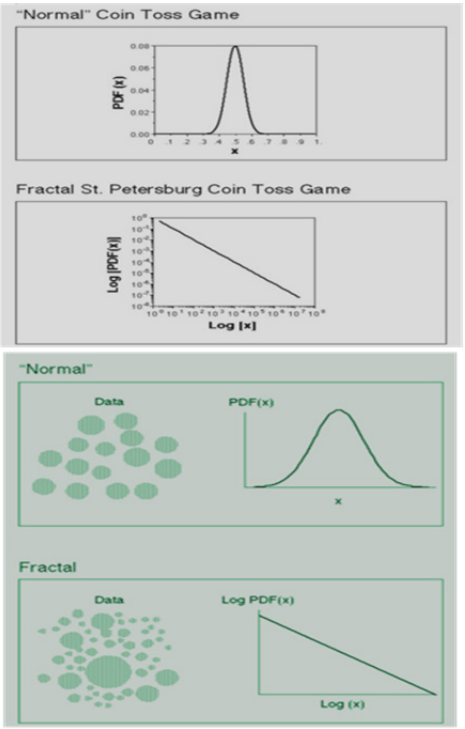
11. ábra. *Jobb oldali rész: fraktál természet önazonos és arányosan azonos jelek esetében statikus és dinamikus rendszerek esetében. Bal oldali rész: (A) skálamentes természetes struktúra (zöldség). Ebben az alkotórészek hatványtörvény eloszlást mutatnak, amely log-log skálán egy egyenest ad, (B) almák halmaza, amely normál eloszlású halmaz. (C) fraktál természetű jel (a frekvenciakomponensek amplitúdója fordítottan arányos a frekvenciájával. (D) fehér zaj, egyenletes eloszlású frekvenciakomponensek) [12 alapján].*

Jelenleg a leggyakoribb statisztikai eljárás az, hogy többször megismételve egy kísérletet kiszámítjuk a kapott értékek átlagát. Annyira megszokott, hogy szinte automatikusan végrehajtjuk. Általában úgy gondolunk adatainkra, hogy nagyon sok érték van az átlag körül, de jóval kevesebb érték van, amely kisebb vagy nagyobb az átlagnál. A valószínűségi sűrűség függvény, a PDF(x) megadja annak valószínűségét, hogy egy mért érték x és x+dx között van. Ezeket a jellemzőket számszerűsíteni is lehet, a bonyolult viselkedést a *topologikus entrópia,* a kezdeti eltérések gyors növekedését a *Ljapunov-exponens,* a szokatlan geometriát a *fraktáldimenzió* jellemzi. A topologikus entrópia (h) a rendszerben levő periodikus pályák számáról ad információt. Kaotikus rendszerekben minél hosszabb periodikus pályákat keresünk, annál többet fogunk találni. A periodikus pályák száma exponenciálisan nő a periódus hosszának növekedésével: Kaotikus rendszerekben két tetszőlegesen választott, egymáshoz közeli kezdőhelyzetből indított pálya tipikusan exponenciálisan távolodik egymástól a fázistérben. A távolodás mértékét a lokális Ljapunov-exponens jellemzi: kaotikus disszipatív rendszerekben a mozgás hosszú idő után egy bonyolult geometriájú alakzaton, különös attraktoron zajlik. Kaotikus konzervatív rendszerekben a fázistérben

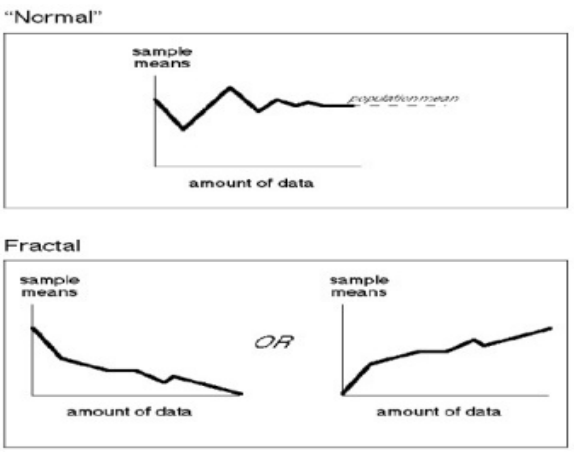
kaotikus tengert találunk, és abban egymás körül hierarchikus rendszerbe foglalt reguláris szigetek vannak. A kaotikus viselkedés tehát bonyolult geometriai struktúrák felbukkanásával jár. Ezt a bonyolult struktúrát a fraktáldimenzióval lehet jellemezni. Az, hogy a minták átlaga növekszik vagy csökken, a kisebb elemek a nagyokhoz mért relatív számától függ. Ha mind több kicsi elemet veszünk figyelembe, amint a minták száma növekszik, akkor az átlag csökkeni fog és növekedni fog, ha mind több nagy elemet veszünk figyelembe. Ilyen eset jellemzésére a fraktáldimenzió paramétert használjuk. A d fraktáldimenzió az új elemek száma (N), amelyeket akkor vesz-nk figyelembe, amikor a rendszert egy finomabb felbontásban (rezolúció) r vizsgáljuk.

$$d = \log(N) / \log(1/r).$$

A *d* a mértéke a kicsi elem aránya a nagyokhoz képest. Ez összefüggésben van a teljesítmény-eloszlás PDF függvényének meredekségével. Valójában nagyon sok természetbéli rendszer nem normál eloszlású. Általában ezek esetében a rendszer mind több nagyobb, valamint kisebb elemből épül fel. Nincsen csak egy érték, mint az átlag, amely megfelelően jellemzi (leírja) azt a rendszert (fa, hegyek, szigetek, partszakaszok fraktál természetűek).



12. ábra. *Hatványtörvény eloszlás és normál eloszlás szemléltetése*



13. ábra. *Normál (az átlagérték felé konvergál) és hatványtörvény természete (nem tart egy átlagérték felé) nagyon nagy számú (végtelen felé tartó) megfigyelés esetén*

Kaotikus rendszer és a megfelelő határciklus dinamika viselkedés nagyon közeli kezdeti állapotok esetében. Tehát a határciklus a meghatározó invariáns jellemző és nem a válaszjel időbeni lefutása.

3. Következtetések

A számítógépek megjelenésével létrejött információs technológia lehetővé teszi az idegrendszer mint bonyolult hálózat megértését. Neurobiológusok és a fizikai, műszaki tudományok művelő közös céllal kutatják az idegi információ lényegi kódját, az idegsejtek tüzelési mintázatát [3][4]. A neurális kód legfontosabb összetevője maga az ingerületátvitel, vagyis az idegsejt membránján keresztül lezajló ionkoncentrációváltozás. A sejtek tüzelése egy igen összetett mechanizmuson, a neuronális integráción alapszik, melyben sok száz, sőt adott esetben több ezer bemenetből konvertálódik a végső kimenet, amely ha eléri a kívánt küszöbpotenciált, eredményezhet kisülést (akciós potenciál genezist) a sejtben. Megkíséreljük leírni agyunk működését, megmagyarázzuk a tudat, a gondolkodás és a memória alapvető eseményét rendszerelméleti szinten. A membránpotenciálok és az esetenkénti akciós potenciálok (AP) vagy más néven spike-ok megfigyelhetőek fiziológiai módszerekkel, intra- vagy extracelluláris elvezetéssel. Az agykérgi neurális hálózati működés megértésének legfontosabb része a mai legmodernebb technikákkal megvalósuló számítógépes modellezés, vagyis számos idegsejt egyidejű szinkron aktivitásának szimulációja. Ehhez elengedhetetlenül szükséges a neurális rendszerek minden szinten való, minél pontosabb elemzése. Ezt próbálja érzékeltetni az itt bemutatott rövid vázlata az újabb jelelemzési eljárásoknak.

A bemutatott eljárások minőségileg sokat segítenek a biológiai jelenségek pontosabb megértésében, helyes értelmezésében. Mindenik bemutatott eljárásnak elkészült a MATLAB környezetben használható feldolgozási eljárása és az ezekhez tartozó jelkonverziós módszerek.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Márton, L. F: *Jelek és Rendszerek.* [Semnale şi Sisteme] Editura Scientia, 2006. ISBN 973-7953-65-7, 380 old.

[2] Dávid, L., Márton, L.: *Reţele neuronale şi logica Fuzzy în automatizări*. Editura Universităţii „Petru Maior" Târgu-Mureş ISBN 973-8084-02-4 208 old.

[3] Klausberger, T., Magill, P.J., Márton, L.F., Roberts, J.D.B., Cobden, P.M., Buzsaki, G. & Somogyi, P.: *Brain-state and cell type specific firing of hippocampal interneurons in vivo*. NATURE, 421 (02/2003). 844–848.

[4] Klausberger, T., Márton, L.F., Baude, A., Roberts, J.D.B., Magill, P.J., and Somogyi, P.: *Spike timing of dendrit-targeting bistratified cells during hippocampalnetwork oscillations in vivo*. NATURE Neuroscience. 7 (2004). 41–47.

[5] Tél, T., Gruiz, M.: *Kaotikus dinamika*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002.

[6] Keogh, E., Chotirat A. Ratanamahatana.: *Exact Indexing of Dynamic Time Warping*. University of California Reviside Computer Science & Engineering Department CA 92521 USA.

[7] Torrence, C., Compo, G.P.: *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. Program in Atmospheric and Oceanic Sciences, University of Colorado Boulder, Colorado, 1997.

[8] Hardstone, R., Poil, S-S., Schiavone, G., Jansen, R., Nikulin, V.V., Mansvelder, H.D., Linkenkaer-Hansen, K.: *Detrended fluctuation analysis: a scale-free view on neuronal oscillations*. Frontiers in Physiology Fractal Physiology November 2012. Volume3, Article 450, 6–13.

[9] Berthouzea, L., Farmer, S.F.: *Adaptive time-varying detrended fluctuation analysis*. Journal of Neuroscience Methods 209 (2012) 178–188.

[10] Chen, Q., Huang, N. E., Riemenschneider, S., and Y.: *Introduction to the Hilbert-Huang Transform and its related Mathematical Problems*. Adv. Comput. Math. 2005.

[11] Canolty, R.T., Knight, R.T.: *The functional role of cross-frequency coupling*. Trends in Cognitive Sciences Vol.14 No.11

[12] Liebovitch, L.S., Scheurle, D.: *Two Lessons from Fractals and Chaos*. Complexity Vol. 5, No. 4, 2000, 34–43.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 153–160. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.16
http://hdl.handle.net/10598/28534

AZ ARKHIMÉDÉSZI SPIRÁL FOGIRÁNYVONALÚ HENGERES FOGASKEREKEK BURKOLÁSÁNAK A BURKOLT FELÜLETSEREG ELOSZTÁSÁT JELLEMZŐ ASPEKTUSÁRÓL

ASPECTS OF THE REPARTITION OF THE MESHED SURFACE MANIFOLD BY THE MESHING PROCESS OF CYLINDRICAL GEARS WITH ARCHIMEDEAN SPIRAL SHAPED TOOTHLINE

Máté Márton[1], Hollanda Dénes[2]

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4., Telefon/Fax:+40-265-206210,[1]mmate@ms.sapientia.ro, [2]hollanda@ms.sapientia.ro

Abstract

Manufacturing cylindrical gears with curved teeth is motivated by the purpose of increasing the load capacity. It is demonstrated that pairing of concave and convex tooth flanks leads to significant increasing of the bearing capacity of gear pair. The peculiar aspects of the kinematics regarding the generating of the curved teeth of the cylindrical gear cannot be described using the bi-parametrical meshing model. This drawback was eliminated through the model of the pulsating generating rack. Just solving the equation of gearing isn't sufficient, because the phenomenon of ante- and post-trimming cannot be identified through that. This aspects can be handled analyzing the relative kinematics at the level of the cutting edge. The study of the real generating surfaces is difficult due to the rugged distribution of the generating surfaces.

This paper presents the mathematical model of an alternative solution. The peculiarity of the proposed method consists in focusing on the repartition of the curves- resulted as traces of the cutting edge when this traverses a family of parallel planes disposed perpendicular to the gear's axis. Through this the spatial meshing will be reduced to *n* parallel plain curve meshing processes.

Keywords: *Cylindrical gear, spiral, meshing, family of curves.*

Összefoglalás

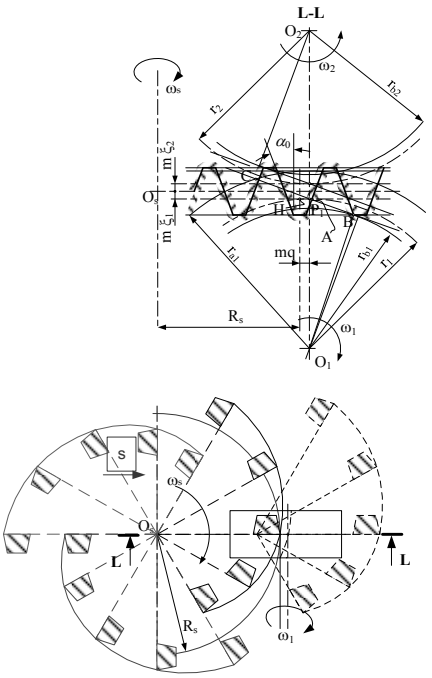
A görbe vonalú hengeres fogaskerekek előállításának célja a terhelhetőség növelése. Bizonyított tény, hogy a konvex-konkáv kapcsolódó fogfelület-párosítás a terhelhetőség jelentős növelését eredményezi. A közleményben szereplő fogaskerék lefejtés-kinematikájának sajátos aspektusai a kétparaméteres burkolás modelljével nem írhatók le, ezért bevezettük a pulzáló fogasléc modelljét. A kapcsolódási egyenlet megoldása nem elegendő, ugyanis ki kell zárni az elő-, illetve az utólenyesés jelenségét. Ez a relatív mozgás vágóélszintre lehozott kinematikájának részletes elemzésével valósul meg. A valós generáló felületek eloszlása annyira egyenetlen, hogy a burkolás tanulmányozása nehézkessé válik.

Jelen közleményben az előbb jelzett hátrány kiküszöbölésére kidolgozott alternatív módszer matematikai modelljét mutatjuk be. A módszer sajátossága abban áll, hogy a burkolt kerék tengelyére merőleges síkokban keletkező görbeseregek relatív elhelyezkedését vizsgáljuk.

Kulcsszavak: *hengeres fogaskerék, spirális, burkolás, görbesereg*

1. A fogazat lefejtésének elve

Az Arkhimédész-féle spirális fogirány vonalú hengeres fogaskerekek alternatívát jelentenek az ismert Wildhaber–Novikov típusú egyenes vagy ferde fogú hengeres fogaskerekekre. A célunk létrehozni olyan, helyesen kapcsolódó külső, hengeres hajtópárt, amely az erőátadást konvex-konkáv fogoldalak között valósítja meg. A Wildhaber–Novikov-fogazat a fogprofil magasságában konvex-konkáv, és igen érzékeny a tengelytáv-módosításra [3,4]. A javasolt hajtópár esetében a fogoldalak konvex-konkáv jellege az Arkhimédész-féle spirális vezérgörbe miatt alakul ki. A lefejtés elméletileg egyetlen származtatófelülettel történik, Olivier első fogazási módszere szerint [1]. A tangenciális előtolásos lefejtés elvét az **1. ábrá**n szemléltettük. A lefejtő szerszám egy $Z_0 = 3$ késcsoportból álló, egyenként 3-5 kést tartalmazó, az „Öerlikon”-féle marófejekhez igen hasonló felépítésű, a kések mikron pontosságú radiális állítását megengedő marófej. A késprofilok középpontjai (az osztóvonal és a fogprofil szimmetriavonalának metszéspontja) Arkhimédész-féle spirális vezérgörbére illeszkednek. Az **1. ábra** alsó vázlata a felülnézet, ahol jól látható a 3 Arkhimédész-féle spirális ív. A szerszám forgása miatt ennek tengelysíkjában egy pulzáló fogasléc jön létre [9,10], melynek elmozdulását két szuperponált mozgás adja: az első, gyors mozgás a spirális hatása miatt jön létre, és addig tart, ameddig a vizsgált késcsoport része a fogaskereket határoló, ennek tengelyére merőleges síkok között található – vagyis attól a pillanattól, hogy a késcsoport első kése begördül, az utolsó pedig kigördül az említett síkok közül. Az **1. ábrá**n a virtuális fogaslécszelvényt a fogaskereket szélességében felező síkban szemléltetjük. Mivel ez a mozgás terjedelmében igen rövid, a léc nem képes „befutni” akkora távot, hogy a teljes fogaskerék-fogprofillal kapcsoljon.



1. ábra. *A tangenciális előtolásos fogazatlefejtés elve*

Ezen tangenciális előtolással segítünk, vagyis a szerszám tengelye sugárirányban elmozdul. A fogaskerék eközben saját tengelye körül állandó szögsebességű forgómozgást végez, aminek következtében a görbült fogú, de szabályos profilú fogasléc kigenerálja a fogárkot.

A fogárokban egyszerre egy késcsoport dolgozik, vagyis a kerék egy szögosztásnyi elfordulására a marófej $2\pi / Z_0$ értékű központi szöggel fordul el. Miután a fogaskerék vizsgált fogárka ismét lefejtési helyzetbe kerül, a marófej valamelyik késcsoportja a tangenciális előtolás hatására már előretolt helyzetben található, így a pulzálás (a gyors mozgás) a fogaskerék tengelyéhez

már közelebb történik. Az előbb ismertetett geometriai sajátosságok alapján kijelenthetjük, hogy a lefejtés diszkrét, egymás után következő fogasléc-fogaskerék kapcsolódási helyzetekből mint kiinduló helyzetből kezdődő, részleges legördülések halmazaként fogható fel.

A módszer egy korábbi változata radiális behatolással megvalósított [2]. Ennél a változatnál a szerszám inkább a „Mammano"-féle maróhoz hasonlít. A tangenciális előtolásos módszer több hordképlokalizációs lehetőséget rejt, és nagyobb várható termelékenységet ígér.

Mind a radiális behatolással történő lefejtés, mind a tangenciális előtolásos módszer esetében nemcsak a szerszám felépítéséből származó előnyös foggörbületkialakítást (a kések radiális elmozdítása), hanem a fogasléc egyenes profilja adta általános fogazási lehetőségeket is hatékonyan ki lehet használni a hordkép kialakítására [6].

A burkoláshoz szükséges kapcsolódási egyenletet kétparaméteres vagy egyparaméteres burkolásként is fel lehet írni [1, 5]. A numerikus kiértékelés során a [7,8]-ban is említett módszerekhez hasonló módszert alkalmaztunk.

A kapcsolódási egyenlet kimutatja a kapcsolódási pontokat adott pillanatban, adott helyen, és emellett a szinguláris pontokat is. Azt azonban nem mutatja ki, hogy a kapcsolódási egyenletet kielégítő felületpont meg is marad. Lehetséges, hogy az adott pontot a szerszám már azelőtt lesodorja, hogy valósan kapcsolódna (előlenyesés), vagy pedig a már kigenerált pontot egy újabb pulzáláskor forgácsba söpri (utólenyesés).

A generálás elméleti alapját a folytonos, azaz végtelenül sok vágóélet tartalmazó szerszámfogcsoport adja. A valóságban azonban a fogcsoportnak véges számú (3-5) tagja van, így a valós származtató felületsereget az egyes kések élei írják le a fogaskerékhez viszonyított relatív mozgás során. A valós felületsereg végtelenítéséhez feltételezni kell, hogy a tangenciális előtolás értéke a nulla felé tart, így mindenik késél egyszerű végtelenségnyi felületet ír le. A burkolófelület z_s végtelenségnyi felületnek burkolójaként keletkezik. A kérdés az, hogy az *i*-edik végtelenségnyi felületsereg burkolója metszi-e, avagy kiegészíti a *j*-edik felületsereg burkolóját. A felületek vizualizálása rámutatott arra, hogy elhelyezkedésük és alakjuk erősen függ a virtuális léc és a fogaskerék relatív helyzetétől. A könnyebb átláthatóság végett a burkolást a fogaskerék tengelyére merőleges, véges számú síkszeletben tanulmányozzuk, majd pedig az egyes szeletekben keletkező burkológörbékre írjuk fel a fogazatot kielégítő módon közelítő spline-fogfelületet.

2. A késcsoport felépítése

A jelen elemzésben $Z_0 = 3$ késcsoportos és csoportonként $z_s = 5$ betétkéses marófejet tekintünk, amelyik egyetlen fogárokban dolgozik. Az ellenkereket megmunkáló szerszám értelemszerűen [1, 5] a fogaskerék fogát öleli körül. Tehát a konkáv és konvex oldalak kései két, egymás után következő fogárokban fognak dolgozni.

A kések profilja *elméletileg* a generáló fogasléc profiljával és méreteivel megegyező. A valóságban a csoport első kése a nagyolókés, tehát mindkét éle aktív, míg a csoport többi kése felváltva vág a konkáv, illetve a konvex fogárokoldalon. Feltételezzük, hogy a késcsoport számára kijelölt központi szögtartomány valamivel kisebb, mint az elméleti felosztás:

$$\psi_0 = \frac{2\pi}{Z_0} - \delta_0 \cong (0{,}8 - 0{,}85)\frac{2\pi}{Z_0} \qquad (1)$$

A tartományon belül a kések egyenletesen vannak felosztva, tehát az osztás értéke

$$\tau = \left(\frac{2\pi}{Z_0} - \delta_0\right)\frac{1}{z_s} \qquad (2)$$

Aések indexei sorban

$$i \in \{-2;-1;0;1;2\} \qquad (3)$$

A nulla indexű kés a referenciakés, mivel a referenciahelyzetet – a késcsoport közepét foglalja el. Aések tájolópontja a generáló fogaslécprofil osztóvonali szakaszának középpontja. A referenciakés tájolópontja és a marófej tengelye közötti távolság a maró R_s névleges sugara, ami a görbe fogazat névleges görbületi sugara is egyben.

A késcsoportok kései egyenlő szögtávolságra elhelyezett Arkhimédész-féle spirális vezérgörbén illeszkednek. A spirális emelkedése Z_0-szor nagyobb, mint a fogasléc osztása, így a vezérspirális polár-egyenlete a következő lesz:

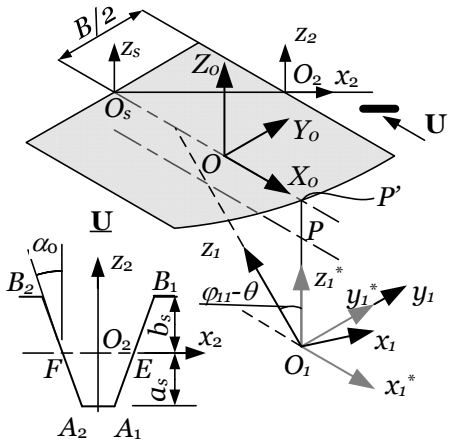
$$\rho(\theta) = R_s + \underbrace{\frac{Z_0 m \pi}{2\pi}}_{=p_{sp}}\theta \qquad (4)$$

A késcsoport késeinek beállítási sugarai az *i* index alapján, a (2), (3) és (4) képletek figyelembevételével:

$$\rho_i = R_s + i\,\tau\,p_{sp} \qquad (5)$$

3. Az alkalmazott koordináta-rendszerek.

A matematikai modellt a következő koordináta-rendszerek definiálásával alapozzuk (**2. ábra**): $S_0(x_0 y_0 z_0)$ az állványhoz kötött, álló rendszer, $S_s(x_s y_s z_s)$ a szerszámhoz kötött, $S_1(x_1 y_1 z_1)$ pedig a fogazandó kerékhez kötött koordináta-rendszer. Ezeken kívül mindegyik kés elméleti profiljához csatoljuk az $S_2(x_2 y_2 z_2)$ koordináta-rendszert.



2. ábra. *Az alkalmazott koordináta-rendszerek*

A fogaskerék $x_1 z_1$ osztósíkja és a rögzített rendszer $X_0 Z_0$ síkja egybeesik. Az $O_s OP'$ egyenes a virtuális léc osztóvonala. Az ezzel párhuzamos vonal a gördülővonal, a közöttük levő távolság pedig értelemszerűen az $m\xi$ profileltolás. *P* a virtuális léckerékhajtás pólusa. A fogaskerék φ_1 legördülési szögének nulla értékére a z_1 tengely áthalad a *P* póluson (z_1^*-gal jelöltük). A virtuális lécfogaskerék teljes legördülésének megfelelő szélső szögértékeket egyszerű evolvens geometriai összefüggésekből számítjuk, $\varphi_1 \in [\varphi_{11}, \varphi_{12}]$.

Az elkövetkező számítások kezelését megkönnyíti, ha a legördülési szög határértékeit abszolút értékként kezeljük. Adott legördülési helyzetet a θ paraméter segítségével definiálunk, $\theta \in [0, \varphi_{11} + \varphi_{12}]$. A lefejtés adott késcsoport esetében akkor kezdődik el, amikor a késcsoport legelső ($i = -2$ indexű) késének O_2 profilközpontja benne van a fogaskerék felső, $y_1 = B/2$ határsíkjában. Az O_S és *O* origók távolsága a fogárokba való újabb belépés pillanatában

$$O_s O(\theta) = r_{d1}(\varphi_{11} - \theta) \qquad (6)$$

A tangenciális előtolás paraméterét s^*-gal jelöljük, ami az egységnyi szerszámszögelfordulásra eső eltolás értékét jelenti.

Az egyes síkokban jelentkező nyomgörbék meghatározásához ismernünk kell az i_{1s} szerszám-munkadarab áttételi arányt. Ezt a virtuális hajtás kapcsolódási feltételéből írjuk fel, a szögsebességek felhasználásával:

$(p_{sp} + s^*)\omega_s = r_{d1}\omega_1$, ahonnan

$$i_{1s} = \frac{\omega_1}{\omega_s} = \frac{Z_0}{z_1} + \frac{2s^*}{m z_1} \qquad (7)$$

3. A nyomgörbék általános egyenletei

3.1 A nyomgörbeképzés geometriája

Feltételezzük, hogy a kések élei a marófej forgástengelyén áthaladó síkokban illeszkednek. Könnyen belátható, hogy ez esetben csak az $Y_0 = 0$ központi síkba érkezik egyidejűleg a vizsgált él összes pontja. Az α_0 lécprofilszögnek köszönhetően az él különböző pontjai az előbbitől eltérő síkokba egymáshoz viszonyítva késéssel érkeznek, miközben a szerszám halad. A modell akkor hatékony, ha az egyes szeletekben képződő görbék közötti távolságokat is ki tudja fejezni, hogy a későbbiekben a burkolt felület síkszeleteit helyesen lehessen tájolni. Emiatt a (6) egyenlettel megadott tengelytávolság adott θ-ra akkor érvényes, amikor a késcsoport legelső ρ_{-2} sugarú késének O_2 profilközpontja az $y = B/2$ síkba jutott. Az i indexű kés profilközpontjának sugara ehhez képest $(2+i)\tau$ szögnyi késéssel jut el az első kés induló helyzetébe. A levezetésekben szögkompenzációkat kell alkalmaznunk, egyrészt a kések referenciasugarainak különbsége, másrészt a kiválasztott sík helyzete függvényében. Négy esetet tanulmányozunk:

- a konkáv oldali él és a pozitív féltérben levő sík helyzete (**3. ábra**);
- a konkáv oldali él és a negatív féltérben levő sík helyzete (**4. ábra**);
- a konvex oldali él és a pozitív féltérben levő sík helyzete (**5. ábra**);
- a konvex oldali él és a negatív féltérben levő sík helyezte (**6. ábra**).

3.1.1 Az i-edik konkáv oldali él pozitív féltérbeli síkba generált görbéjének szögparamétere

A geometriai viszonyokat a **3. ábrán** szemléltettük. A szerszám koordináta-rendszer origóját O_s^*-gal jelöljük, mivel az elfordulási szögek vizsgálatakor a tangenciális előtolást leállítjuk. A valóságban a szerszámközpont elmozdul a tangenciális előtolás és az elfordulási szög szorzatának értékével. A kiválasztott élpont távolsága a szerszámtengelytől az u paraméter függvénye:

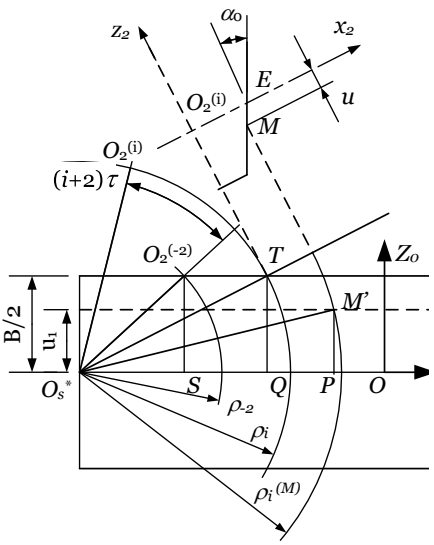
$$\rho_i^{(M)} = \rho_i + \frac{m\pi}{4} + u \operatorname{tg} \alpha_0 \qquad (8)$$

Az $O_s^* O_2^{(-2)} S$, $O_s^* TQ$ és $O_s^* \dot{M}'P$ háromszögek segítségével felírjuk a konkáv szerszámél kiválasztott M pontjának a pozitív u_1 paraméterrel tájolt síkba kerüléséhez szükséges elfordulást:

$$\varepsilon(i;u_1;u) = \arcsin\frac{B}{2\rho_{-2}} - \arcsin\frac{u_1}{2\rho_i^{(M)}} + (i+2)\tau \qquad (9)$$

A (8) és (9) egyenletek együttes vizsgálatából következik, hogy az él behatolása a síkba az élcsúccsal kezdődik, és fokozatosan halad az éltő felé, tehát a (9) szög növekszik az u paraméterrel,

$$u \in [-(h_{0a} + c_0)m, h_{0a}m]$$



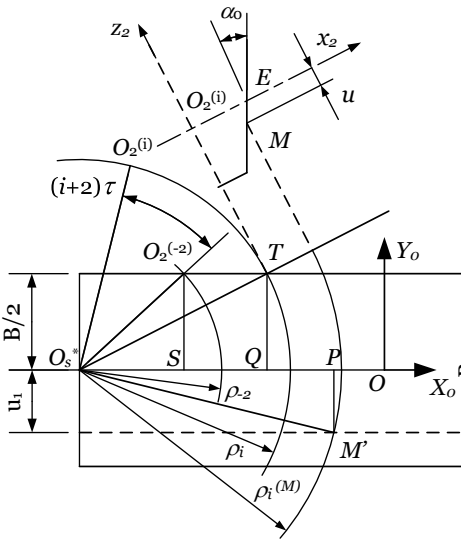
3. ábra. Konkáv oldali nyomgörbe generálása, ha $u_1 > 0$

3.1.2 Az i-edik konkáv oldali él negatív féltérbeli síkba generált görbéjének szögparamétere

A levezetés az előbbi pontban bemutatotthoz hasonló. A geometriai viszonyokat a **4. ábrá**n szemléltettük. Az $O_s^* O_2^{(-2)} S$, $O_s^* TQ$ és $O_s^* P\dot{M}'$ háromszögek segítségével felírjuk a ρ_i sugárnak az $O_s^* O_2^{(-2)}$ irányra való kerülése és a vizsgált M pont $y = u_1, u_1 < 0$ síkba érése között letelt elfordulás szögét:

$$v(i;u_1;u) = \arcsin\frac{B}{2\rho_{-2}} - \arcsin\frac{B}{2\rho_{-i}} + \\ + \arcsin\frac{B}{2\rho_{-i}} + \arcsin\frac{-u_1}{\rho_i^{(M)}} \qquad (10)$$

Ha a (10) kifejezéshez hozzáadjuk az *i*-edik él és az első él közötti szöget, akkor a (9) egyenlettel formálisan azonos egyenletet kapunk. Megfigyelhető, hogy ez esetben az első élpont, amelyik a vizsgált síkba ér, az él tőpontja, tehát az áthaladás az élcsúcs felé történik, vagyis az élpont sugarának csökkenésével. Ez esetben a kérdéses pont a gyártott fogaskerék tengelyétől távolodik.



4. ábra. *Konkáv oldali nyomgörbe generálása, ha* $u_1 < 0$

3.1.3 Az i-edik konvex oldali él által generált görbe szögparamétere

A konvex él által generált görbe szögparamétereit az **5.** és **6. ábrá**kon szemléltettük. A számításokat az előbbiekben bemutatott módon végezzük el.

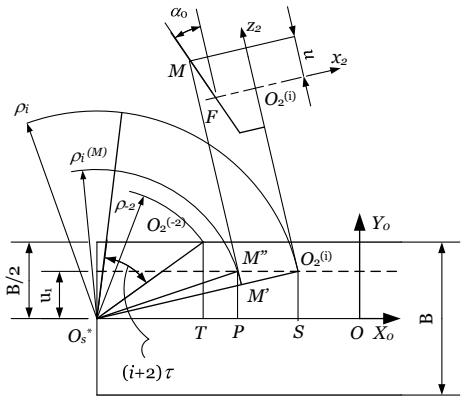
A vizsgált *M* pont sugarát a

$$\rho_i^{(M)} = \rho_i - \left(\frac{m\pi}{4} + u\,\mathrm{tg}\,\alpha_0\right) \qquad (11)$$

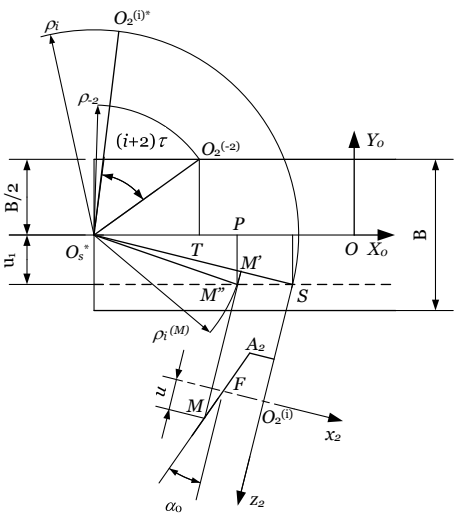
képlettel számítjuk.

3.2 A nyomgörbék általános egyenletei az S_0 koordináta-rendszerben

A **3-6 ábrák**ból észre lehet venni, hogy a vizsgált *M* pont távolsága a szerszám origótól az *x* tengely mentén a



5. ábra. *Konvex oldali nyomgörbe generálása, ha* $u_1 > 0$



6. ábra. *Konvex oldali nyomgörbe generálása, ha* $u_1 < 0$

$$\Delta_i^{(M)} = \sqrt{\left[\rho_i^{(M)}\right]^2 - u_1^2} \qquad (12)$$

képlettel számítható. Figyelembe véve, hogy a szerszámorigó közeledik az álló rendszer origójához, valamint azt, hogy a *z* irány mentén a vizsgált pont nem mozdul, felírhatók a nyomgörbe álló rendszerbeli parametrikus egyenletei:

$$\begin{cases} X_0(i;u_1;u) = -r_{d1}(\varphi_{11} - \theta) + s^* \varepsilon(i;u_1;u) + \Delta_i^{(M)} \\ Y_0(i;u_1;u) = u_1 \\ Z_0(i;u_1;u) = u \end{cases} \qquad (13)$$

3.2 A nyomgörbék általános egyenletei a fogaskerékhez kötött koordináta-rendszerben

A fogaskerék koordináta-rendszere a szerszámfej $\varepsilon(i;u_1;u)$ szöggel való elfordulására $i_{1s}\varepsilon(i;u_1;u)$ szöggel fordul el. Az **1. ábrá**t figyelembe véve, az S_1 rendszer *x* tengelyének és az X_0 iránynak a pillanatnyi szöge

$$\sigma_1 = \varphi_{11} - \theta - i_{1s}\varepsilon(i;u_1;u) \qquad (14)$$

Az S_0-ból az S_1-be az alábbi koordináta transzformációt alkalmazzuk:

$$\begin{cases} \underline{\mathbf{r}}_1 = \mathbf{M}_{10}\,\underline{\mathbf{r}}_0\,, \\ \mathbf{M}_{10} = \begin{pmatrix} \cos\sigma_1 & 0 & \sin\sigma_1 & E_1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin\sigma_1 & 0 & \cos\sigma_1 & E_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{cases} \qquad (15)$$

Az E_1, E_2 kifejezések a következők:

$$\begin{aligned} E_1 &= -R_s\cos\sigma_1 + (r_{d1} + m\xi)\sin\sigma_1 \\ E_2 &= R_s\sin\sigma_1 + (r_{d1} + m\xi)\cos\sigma_1 \end{aligned} \qquad (16)$$

A (13), (14), (15) és (16) képletek egybevetésével fel lehet írni a valós szerszámélek által hagyott nyomgörbéket a fogaskerék tengelyére merőleges síkokban.

4. Következtetések

A bemutatott modellen az (1)… (16) képletek a fogprofil középpontjához viszonyítják a nyomgörbék helyzetét, ennek következtében az egyes síkokban keletkezett

profilok egymáshoz viszonyított távolsága és helyzete nem torzul.

Az álló koordináta-rendszerben levezetett parametrikus egyenletek a virtuális fogasléc síkszelvényeit burkoló véges görbesereget adják. Ki lehet mutatni, hogy a θ paraméter változtatásával a léc profilja módosul.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás 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 keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

This research was supported by the European Union and the State of Hungary, co-financed by the European Social Fund in the framework of TÁMOP-4.2.4.A/2-11/1-2012-0001 'National Excellence Program'.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Litvin, F.L.: *A fogaskerékkapcsolás elmélete*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.

[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] Litvin, F.L., Pin-Hao, F., Lagutin, S.A.:*Computerized Generation and Simulation of Meshing and Contact of New Type of Novikov-Wildhaber Helical Gears,* R-2000-209415' [Online]. Available:http://gearexpert.free.fr/fichiers_pdf/engrenage_Novikov_Wildhaber_NASA_report.pdf [Accessed: 30-Jun-2012]

[4] Nacy, S.M., Abdullah, M.Q., Mohammed, M.N.: *Generation of Crowned Parabolic Novikov gears*. Adept Scientific Knowledge Base.http://www.adeptscience.co.uk/kb/articleprint.php?noteid=6E9E. [Accessed: 19-Mar-2012].

[5] Dudás, I.: *The Theory and Practice of Worm Gear Drives.* Penton Press, 2005, ISBN 978-1-85718-027-5.

[6] Máté, M., Hollanda, D., Tolvaly-Rosca, F., Popa-Müller, I.: *The localization of the contact patch by cylindrical gear having an Archimedean toothline using the method of setting the tangential displacement.* XXI-ik OGÉT-2013 – XXI-th International Conference of Mechanical Engineers), Arad, 25–28 apr. 2013, Conference Proceedings, ISSN 2068-1267, 265–268.

[7] Dudas, I., Banyai, K., Varga, G.: *Simulation of meshing of worm gearing*. American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication) DE 88, 141–146,1996.

[8] Varga, G., Balajti, Z., Dudas, I.: *Advantages of the CCD camera measurements for profile and wear of cutting tools* 2005, Journal of Physics: Conference Series 13 (1), pp. 159-162. "Zotero Style Repository," Roy Rosenzweig Center for History and New Media. http://www.zotero.org/styles. [Accessed: 19-Mar-2012].

[9] Máté, M.: *Hengeres fogaskerekek teherbírásának növelését és hordkép-lokalizációját megvalósító alternatív lefejtési módszerek elemzése.* XIX.- F.M.T.Ü., Kolozsvár, március 20–21. Konferenciakötet, ISSN 2067-6808, 33–40.

[10] Máté, M., Hollanda, D., Faluvégi, E.: *Arkhimédész-féle spirál fogvonalú hengeres fogaskerekek tangenciális előtolásos lefejtésének kinematikája egyparaméteres burkolás esetében.* XXII. Nemzetköz Gépész Találkozó, Nagyszeben, 2014.ápr. 24–27. Konferenciakötet, ISSN 2068-1267, 244–247.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 161–172. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.17
http://hdl.handle.net/10598/28535

A PÜTHAGORASZI KÖZÉPARÁNYOSOK JELENTŐS TULAJDONSÁGAI ÉS SZEREPÜK AZ ÉPÍTÉSZETBEN

THE IMPORTANT PROPRIETIES OF PYTHAGOREAN MEANS, AND ITS ROLE IN THE ARCHITECTURE

ifj.Orbán György

Erdélyi Múzeum-Egyesület, 400009 Kolozsvár/Cluj-Napoca Napoca/Jókai u. 2-4, orban@esvvv.com

Abstract

The scope of the paper is to present the proprieties of the Pythagorean means, and to highlite its role in the anthic thinking based architecture. The paper present based on examples, and in concrete arithmetic way, the role and use the same means system thinking, in architecture and space modeling. The means make possible a new way of analizing the space modeling, and make possible to understand completly new relations in architectural history and theory.

Keywords: *means, proportion, architecture*

Összefoglalás

A dolgozat célja a püthagoraszi középarányosok tulajdonságainak a bemutatása és az antik gondolkodású építészetben betöltött szerepük kiemelése. A dolgozat példákkal és konkrétan, számszerüen, mutatja be egyazon középarányos gondolkodás építészetben, téralkotásban betöltött szerepét, használatát. A középarányosok a téralkotás új tanulmányozását és teljesen új összefüggések megértését teszik lehetővé az építészettörténetben és -elméletben.

Kulcsszavak: *középarányosok, arányok, építészet*

1. Az „első három” középarányos-tapasztalat

Két pozitív számot a és b, ha a < b, összse lehet hasonlítani abból a szempontból, hogy az egyik mennyivel nagyobb mint a másik (ez a b – a különbség), vagy azzal, hogy az egyik hányszorosa a másiknak, ez a b/a arány, amit a görögök „logosz”-nak neveztek.

Természetesen tevődött fel a kérdés, hogy két adott $a<b$ valós szám esetén melyik az az m szám, melyre az $b-m=m-a$ vagy az $\frac{b}{m}=\frac{m}{a}$ egyenlőség teljesül. Az első esetben ez az érték az $m=\frac{a+b}{2}=M1(a,b)$ melyet az a és b számtani (vagy aritmetikai) középarányosának (vagy közepének) nevezünk Ezt a kérdésfelvetést szavakban – a kor gondolkodásának megfelelően – is meg lehet fogalmazni. Platón szavaival a számtani közép: „ugyanazzal a számmal haladja meg az egyik kültagot, mint amennyivel haladja őt meg a másik” [1:332]. A második esetben pedig ez az $m=\sqrt{ab}=M2(a,b)$ szám, az a és b mértani (geometriai) középarányosa (közepe). (Ennek szavakban történő megfogalmazása: melyik az a szám (m) , amely annyiszor

haladja meg a-t, amennyiszer b haladja meg őt (m)?) Ugyancsak logikus az m-et az $\frac{b-m}{b}=\frac{m-a}{a}$ aránypárból keresni. A kapott $m=\frac{2ab}{a+b}=M3(a,b)$ az a és b harmonikus középaránnyosa.

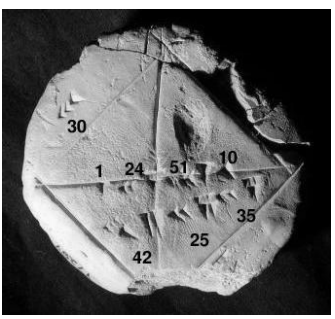
2. A babiloniai „gyökvonás" algoritmusa (kb. Kr.e. 1800) – gyakorlat

Ó-Babilonban Kr.e. 1800-ban nagy pontossággal aritmetikailag meg tudták határozni egy négyzet átlójának a hosszát. A gyökvonásra, szavakba foglalt recept gyanánt, [2:23] kezdetleges eljárással, algoritmussal rendelkeztek. [3:28] Az eljárás lényege:

0. tetszőleges első becslés a közelítésre $x_0 < \sqrt{a}$;
1. a becsült érték segítségével a gyök a közelítő érték és a szám/közelítő érték között van, így két korlát közé került. $x_0 < \sqrt{a} < a / x_0$ (ha $x_i > \sqrt{a} > a / x_i$ akkor is maradnak a korlátok);
2. az új közelítő értéknek a két korlát számtani közepét vették és fojtatták a 1. pont szerint

$$x_1 = \frac{x_0 + a / x_0}{2}.$$

Az YBC 7289 -es kőtábla [2:23] tanúsága szerint



1. ábra. *Az YBC 7289 kőtábla [2:23]*

a gyökvonás algoritmusa alapján a $\sqrt{2}$ értékét 1.4142…. megközelítőleg 8 milliomod, azaz 0.0000008 eltéréssel határozták meg (**1.táblázat**).[3:27][4:15–17]

1. táblázat. *Gyökvonás algoritmusának rekonstrukciója*

Tábla érték	Jelentés	J. Érték	Szám
1,0000000		1,0000000	1,0000000
24,0000000	1/60	0,0166667	0,4000000
51,0000000	1/(60*60)	0,0002778	0,0141667
10,0000000	1/(60*60*60)	0,0000046	0,0000463
Összesen			1,4142130
Gyök 2			1,4142136
Eltérés			0,0000006

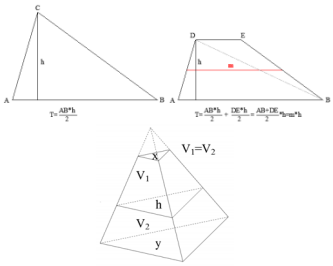
3. Moszkvai pappirusz – Héron-féle középérték (kb. Kr.e.1800)– az absztrakció

Ha x és y két pozitív szám, akkor a $h=\frac{x+\sqrt{xy}+y}{3}$ számot Héron-féle középértéknek nevezik.

Ennek mértani jelentése: ha x és y csonka gúla két alapjának területe, akkor a h az alapokkal párhuzamos azon síkmetszet területe, mely a gúlát két egyenlő térfogatú testre bontja fel.

Howard Eves szerint a Heron féle közepet már Kr.e. 1800 előtt ismerték. A moszkvai papiruszon szerepel egy probléma (14. számú), melyben numerikus feladatként egy piramisépítésnél használatos, elvégzett számítás van leírva. A csonka gúla térfogatának meghatározására leírt képlet a síkbeli trapézanalógia alapján, tapasztalati és intuitív módon alakult ki. A trapéz területének meghatározására az alapok számtani középaránnyosa volt megfelelő. A térbeli analógia szerint a csonka gúla alapjainak számtani közepe nem adott helyes eredményt (Ó-Babiloni analógia), az egyiptomiak azonban empirikus matematikai szemléletük szerint eljutottak a helyes formulához, ami alapján a Héron-féle középpel pontosan meg tudták határozni a csonka gúlák térfo-

gatát. Eric Temple Bell szerint ez az indukció nagyobb eredménye az egyiptomiaknak mint maguk a piramisaik, a maguk fizikai valóságában és így a Héron-féle közép felfedezését a legnagyobb egyiptomi piramisnak nevezte. [5:11–13]



2. ábra. *A Héron-féle középarányos geomeriai képe (jobbra)*

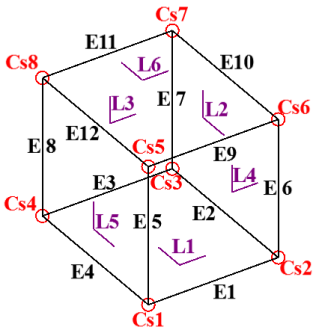
A Héron-féle közép ugyan nem püthagoraszi középarányos, ám a gondolkodás és megalkotás logikája alapján ismertetése fontos, épp azért, hogy rávilágítson, milyen fontos szerepet töltött be a középarányos gondolata az ókorban.

4. Püthagorasz és a püthagoreusok

Püthagoraszról tudjuk, hogy járt Egyiptomban és Babilonban is. Ezen utazásai alatt elsajátíthatta az ott ismert matematikai tudást, így ismerte legalább a három: (számtani (M1), mértani (M2) és szembenálló, majd később harmonikusnak (M3) nevezett) középarányt. [2:78–80]

4.1. A szabályos testek – az absztrakt harmónia

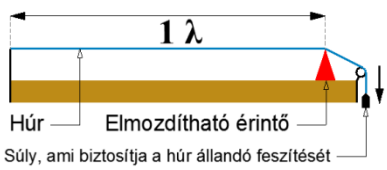
A püthagoreusok, sőt előttük a babilóniaiak is észrevették (**3.ábra**), hogy a kocka éleinek (E, lapjainak (L) és csúcsainak (Cs) száma között a $Cs = \frac{2 \cdot L \cdot E}{L+E} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 12}{6+12} = 8$ összefüggés igaz, és ugyanez teljesül más szabályos poliéder esetén is, vagyis a csúcsok száma az élek és lapok számának harmonikus középarányosa. „Íme – mondták már az ókorban –, a szabályos testekben rejlő harmónia, tükröződik a számok harmóniájában.” [2:82].



3. ábra. *A kocka csúcsa, élei és lapjai*

4.2. Középarányosok a püthagoraszi zenében – az absztrakció alkalmazása

Püthagorasz egy kifeszített húr pengetésének tanulmányozása nyomán fogalmazta meg a legtisztábban összecsengő hangokat (konszonanciákat). Ehhez egy monochordnak (a monochord helyett vízzel telt poharak vagy kalapácsok is lehetségesek) nevezett egyhúrú hangszert használt.



4. ábra. *Monochord*

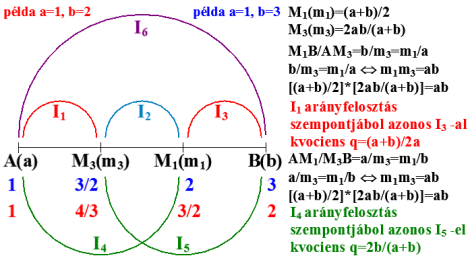
Egy adott hosszúságú húrt megpengetve meghatározza a hozzá tartozó hangmagasságot. A monochordnak van egy elmozdítható érintője, mellyel változtatható a húr hossza. Ahogy csökken a húrhossz, úgy nő a rezgő húr által kibocsátott hang magassága. Az f frekvencia (a hangmagasság) a λ hullámhosszal (húrral) fordítottan arányos. A hullám v sebességének és a λ hullámhosszának a hányadosa az $f_1 = \frac{v}{\lambda}$ frekvencia. Így ha a

λ hullámhossz a felére csökken, a frekvencia a duplájára nő: $f_8 = \frac{v}{\frac{\lambda}{2}} = \frac{2 \cdot v}{\lambda} = 2 \cdot \frac{v}{\lambda}$, vagyis a hang egy oktávval lesz magasabb.

A monochord kezdeti húrhossza az alaphangot bocsátja ki. A húrt a felére csökkentve kétszer olyan magas hangot hozunk létre, mint az alaphang, ezt a hangközt oktávnak nevezik. A húrhosszat 3/4-ére csökkentve 4/3-szór magasabb hangot, azaz kvartot (alaphaghoz viszonyítva) hozunk létre. Az eredeti húrhosszat 2/3-ára rövidítve 3/2-szer magasabb hangot kapunk, ami az alaphanghoz viszonyítva kvint távolságra van.

Püthagorasz észrevette, hogy a legszebben összecsengő hangok az alaphang és a kvint 1:(2/3), az alaphang és a kvart 1:(3/4), valamint az alaphang és oktávja 1:(1/2) távolságra levő hangok, vagyis: a kvart, kvint és oktáv hangközök. A fentiek alapján a püthagoreusok megfogalmazták, hogy kis egész számok (1,2,3,4) arányaival lehet a hangközöket jellemezni és meghatározni. [2:81–82] Ugyanekkor észrevették, hogy a hangok arányai, a szépen összecsengő hangközök középarányosokkal is meghatározhatók. Az alaphang (X Hz) és oktávja (2X Hz) közötti számtani középarányossal meghatározott hangmagasság (3/2 X Hz) a kvint, a harmonikus középarányossal meghatározott (4/3 X Hz) a kvart.

A szabályos testekben tükröződő számok harmóniája így a zenei skálákra is érvényesnek bizonyult. Püthagorasz működése nyomán elfogadottá vált, hogy az oktávot a kvint és a kvart (számtani és harmonikus közép) segítségével lehet felosztani (A kvint és kvart általi felosztást nevezték rögzített hangközöknek, míg köztük helyezkednek el a „mozgó” hangközök, amiknek a kiosztása a görög zeneelmélet egy központi feladatává vált.)



5. ábra. *Az oktáv felosztása Püthagorasz szerint, középarányosokkal*

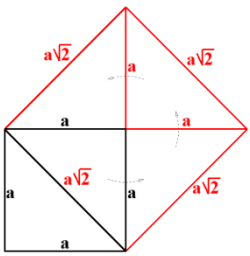
Püthagorasz zeneelmélete, de még inkább a szépségről alkotott absztrakt modell hatása meghatározó volt az utána következő évezredekben. Ennek talán legszebb pédája a Vatikánban levő Athéni iskola freskója, ahol Rafaello ugyanezt az ábrát festi meg Püthagorasz atribútumaként.

6. ábra. - *Raffaello Sanzio: Athéni iskola (részlet: Püthagorasz zenét oktat), 1509, Vatikáni Múzeum, fresko*

5. A déloszi oltárkő – a kór problémái és gondolkodása

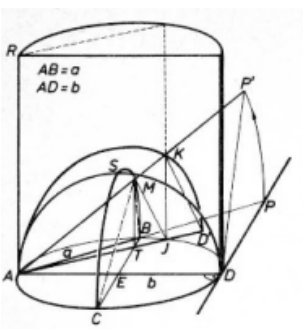
A déloszi oltárkő megkétszerezésének nevezetes problémája is a folytonos arányok problematikájára vezethető vissza. (Délosz szigetén az istenek azt kívánták az emberektől, hogy az ott álló kocka alakú oltárkövet kettőzzék meg, és akkor elmúlik

a városban dühöngő pestisjárvány. A kőfaragók azonban nem tudták megmondani, sem megszerkeszteni, hogy mekkora a kétszer nagyobb köbtartalmú kocka éle, így nem is tudták kifaragni. [2:101] Hippokratész (Kr.e. 450 körül) általánosította a síkban megoldandó négyzetkettőzés feladatát, ahol egy négyzethez egy kétszer akkora területű négyzetet kell szerkeszteni, aminek megoldása egy mértani középarányossal mint aránylánccal lehetséges a:x = x:2a, ahonnan $x^2=2a^2$.



7. ábra. *Négyzetkettőzés*

Térben, úgy gondolta, nem egy, hanem két középarányost kell a két szélső érték közé iktatni. Ezzel az egyenletrendszerrel pedig aritmetikailag kifejezte, aránylánc-ként meghatározta a kockakettőzés megoldását: a : x = x : y = y : 2a, ahonnan x^2=ay és $xy=2a^2$, vagyis $y=\frac{x^2}{a}$, amit beírva a második egyenletbe: $x^3=2a^3$. A szerkesztéssel nem boldogult. [2:106]



8. ábra. *Kockakettőzés[2]*

Arkhütasz (Kr. e. 428–365) azonban eredményes matematikusként a kockakettőzés hippokratészi megoldása nyomán egy káprázatos térbeli szerkesztést hozott létre. [2:114]

A fenti példák alapján jól látszik, hogy a középarányosok fogalma a kor alapproblémáinak megoldásában fontos szerepet játszott.

6. Platón – középarányosok mint világot formáló gondolat

A matematikában majd zenében kialakult középarányosokat – mint a világ harmóniájának szabályait – Platón (Kr.e. 427–347) foglalta össze és emelte filozófiájában méltó magasságra.

A középarányosokat mint arányláncokat a négy őselem összekapcsolására használta fel. *Timaiosz* című művében leírja a világ megalkotásának történetét. A világot tűzből és földből formálták. Kettőjüket egy köztük levő kötelék foglalja egységbe. [1:328–329] Összetartó láncként az arányosságot említi. Itt játszik szerepet a folytonos aránylánc, valamint a vele egyenértékű mértani középarányosok. Taylor rávilágít, hogy *„… a tűz és a föld azonban térbeli kiterjedéssel rendelkeznek, három dimenzióban léteznek, így nem egy (mint a négyzetkettőzésnél), hanem két(mint a kockakettőzésnél) középarányost kell használnunk. Erre a szerepre pedig a levegő és a víz kínálkozik”*. [6:617] A tűz úgy arányolik a levegőhöz, mint a levegő a vízhez és a víz a földhöz: $\frac{tűű}{levegő}=\frac{levegő}{víz}=\frac{víz}{föld}$ [1:329] Ugyancsak Taylor említi, hogy *„a kocka megkétszerezésének nevezetes problémájára történik utalás*”. [6:617] Ugyanott megfogalmazza, hogy a mértani közép felhasználásával a püthagoreus matematika összekapcsolódhat a négy „gyökér” empedoklészi doktrínájával. [6:617] Taylor nyomán megállapíthatjuk, hogy Platón a *Timaiosz*ban a középarányosokat aránylánc formában használta a

világ négy elemből való alkotásának szerkesztő elveként.

A *Timaiosz*ban szerepel a világtestet átjáró világlélek leírása is. A világlélek rendszerének megalkotásában Platón, a középarányosokat használja fel. A világlélek alkotóelemeinek leírását nem részletezem[1:331–333][6:617], hanem annak Timaiosz szerinti felosztásában mutatom be a középarányos rendszer felhasználását. Intervallumokat képez az 1,2,4,8 és az 1,3,9,27 mértani haladványok egymást követő tagjai között. A kétszeres és háromszoros intervallumokban két középarányost (számtanit és harmonikust) helyez el. Ez a származtatás lényege.

Az eredeti sorozatok tagjait, a származtatott középarányosokkal sorrendbe írja. Az így keletkezett 4/3 intervallumokat kitölti a 9/8 arányaival úgy, hogy a fennmaradó részek 256/243 legyenek. A leírás a püthagoraszi skála leírása 4 egész és 5/27-ed oktáv erejéig. Az így nyert számok – a püthagoraszi skála hangjainak megfelelően, hangonként – 2-es kvóciensű mértani haladványoknak felelnek meg, vagy zenei terminusokkal oktávonként épülnek egymásra. (Az így megalkotott középarányos rendszer vagy „készítmény" Platónnál a csillagászat alappillérévé is vált. A középarányosokkal átitatott pályákon keringenek az égitestek, és együttállásuk határozza meg a dolgok rendjét és idejét. [1:333–339])

Az oktávok egymásra épülését így az 1,2,4,8 mértani sorozat (a mértani sorozat vagy haladvány, egyben aránylánccként is felfogható, jelen esetben: 1/2=2/4=4/8=…) fejezi ki. Ez az aránylánc nem más mint a mértani középarányosok fordított alkalmazása. Egy másik művében az *Epinomisz*-ban megtudjuk – egyben a hosszúság, terület és térfogat arányait is kifejezi. Taylor szavaival „*mondhatjuk tehát, hogy a 2:1 arány, ennek hatványai, valamint az egyes tényezők között meghatározható közepek a természet végső titkáról lebbentik fel a fátylat (990a–991b, Epinomisz,Plato)"* [6:695].

Platón az általa leírt világkép rendező elveként határozta meg a középarányosok rendszerét, az arányosság ideáját. A számokban, a szabályos testekben, a zenében, a világot alkotó elemek egymáshoz való viszonyában és magát a világot átható és szabályozó lélekben látta meg a természet végső titkát, a világot formáló gondolatot és az örök harmóniát, melyet a középarányosok felhasználásával konkrétan le is írt.

A fentiekből kitűnik, hogy az ókori görög gondolkodásban milyen fontos szerepet töltöttek be a középarányosok.

7. Püthagoraszi középarányosok – az arányosság képletei

Eudoxosz (Kr.e. ~395–337) – Platón és Arkhütasz tanítványa – a Püthagorasz által ismert három középarányoson kívül másik hármat is leírt. [7:226–227] Hisher a Cantor által közölt, [7:227] Boyer által átalakított [3:56] forma szerint a következő középértékeket (mezotéták, azaz középen állók) tulajdonítja Eudoxosznak: [4:25] kontraharmonikus közép:

- M4: $\frac{m-a}{b-m}=\frac{b}{a}$, 1. kontramértani közép;
- M5: $\frac{m-a}{b-m}=\frac{m}{a}$, 2. kontramértani közép;
- M6: $\frac{m-a}{b-m}=\frac{b}{m}$, $0<a<m<b$.

A középarányosok tanulmányozása és használata így kezdett el bővülni.

Eratosztenész (Kr.e. 276–196) a *Peri mezotéton* című művében a középértékek elméletével foglalkozott (a mű nem maradt fenn, csak Papposz utalásai nyomán ismerjük létezését). [2:252] A középértékekről készült – valószínűleg átfogó – írás, mely a görög tudósok számára hozzáférhető és ismert lehetett, nem maradt ránk, de ez még nem ok arra, hogy a benne levő tudást fel ne használták volna a következő századokban.

Nicomachus (Kr.u. 100 körül) megemlíti, hogy az első három középarányost már Püthagorasz előtt ismerték. A következő hármat Arisztotelész és Platón koráig írták le a „tanítványok" (Platón tanítványa volt Arkhütasz, az ő tanítványa pedig Eudoxus, aki vélhetően a fent nevezett három középarányost leírta) és így együtt említi azt a hat középarányost, amit a „régi írók" hagyományához társítottak [8:283]. További négy az előzőekkel egyazon logikát követő középarányosról számol be, ami nem szerepelt a régiek műveiben, de bizonyosnak véli, hogy ismertek voltak, és használták őket [8:283–284]. Érdemes megjegyezni, hogy 10 középértéket Nichomachus [8:257–259], vele azonos 9-et Pappus [9:87] is ismert, és még 1-et, így összesítve mind a 11 középértéket ismerték.

Ha x<m<y három pozitív szám és H = {b-a, m-a, b-m}, J={a,m,b} számokból alkotott halmazok, akkor ennek elemeiből több olyan aránypár képezhető, melyek egy-egy m középértéket határoznak meg. Az eljárást kombinatorikusan leírva A,B a H-ból és C,D a J-ből egy-egy tetszőlegesen választott elem. Ekkor M középértéket meghatározó képleten az A / B = C / D aránypárt értjük, amiből 11 különböző létezik. A középarányosok táblázatban összefoglalva a következők [4:28]:

2. táblázat. *Püthagoraszi középarányosok*

sorszám	meghatározó aránysor	középérték	elnevezés jelölés	egy-egy példa egész számokban
1.	$\frac{m-a}{b-m}=\frac{a}{a}$	$m=\frac{a+b}{2}$	számtani közép $M_1(a,b)=A(a,b)$	$M_1(1,3)=2$
2.	$\frac{m-a}{b-m}=\frac{a}{m}$	$m=\sqrt{a\cdot b}$	mértani közép $M_2(a,b)=G(a,b)$	$M_2(1,3)=2$
3.	$\frac{m-a}{b-m}=\frac{a}{b}$	$m=\frac{2\cdot a\cdot b}{a+b}$	harmonikus közép $M_3(a,b)=H(a,b)$	$M_3(3,6)=4$
4.	$\frac{m-a}{b-m}=\frac{b}{a}$	$m=\frac{x^2+y^2}{x+y}$	kontraharmonikus közép $M_4(a,b)$	$\mathrm{M}_4(3,6)=5$
5.	$\frac{m-a}{b-m}=\frac{m}{a}$	$m=\frac{b-a}{2}+\sqrt{\left(\frac{b-a}{2}\right)^2+a^2}$	kontramértani közép 1. $M_5(a,b)$	$\mathrm{M}_5(2,5)=4$
6.	$\frac{m-a}{b-m}=\frac{b}{m}$	$m=-\frac{b-a}{2}+\sqrt{\left(\frac{b-a}{2}\right)^2+b^2}$	kontramértani közép 2. $M_6(a,b)$	$\mathrm{M}_6(1,6)=4$
7.	$\frac{b-a}{m-a}=\frac{b}{a}$	$m=b-\frac{(b-a)^2}{b}$	$M_7(a,b)$	$\mathrm{M}_7(6,9)=8$
8.	$\frac{b-a}{b-m}=\frac{b}{a}$	$m=a+\frac{(b-a)^2}{b}$	$M_8(a,b)$	$\mathrm{M}_8(6,9)=7$
9.	$\frac{b-a}{m-a}=\frac{m}{a}$	$m=\frac{a}{2}+\frac{1}{2}\cdot\sqrt{4\cdot a\cdot b-3\cdot a^2}$	$M_9(a,b)$	$\mathrm{M}_9(4,7)=6$
10.	$\frac{b-a}{b-m}=\frac{m}{a}$	$m=\max\{b-a,a\}$	$M_{10}(a,b)$	$\mathrm{M}_{10}(3,8)=5$
11.	$\frac{b-a}{b-m}=\frac{b}{m}$	$m=\frac{y^2}{2\cdot b-a}$	$M_{11}(a,b)$	$\mathrm{M}_{11}(3,6)=4$

8. Középarányosok a filozófiai gondolkodásban – a szépség mértéke

A középarányosokat eredeti aránypár mivoltuk miatt és a fentiek alapján méltán ilethetjük és társíthatjuk az arányossággal.

Már az ókorban a szépség mértékét az arányosságban látták. Ez a gondolat végigkísérte az emberi történelmet és a művészet racionális megítélését is, az ókortól, a humanizmus koráig mindenképp.

Szent Bonaventura igen találóan fogalmazza meg az arányosság és szépség elengedhetetlennek tartott kapcsolatát: „Minthogy tehát minden dolog szép és valamiképpen gyönyörködtető; s a szépség és gyönyörűség nem lehetséges arány (proportio) nélkül; az arány pedig elsősorban a számokban rejlik: szükséges, hogy minden dolog számszerű legyen; ezért a lélekben a szám a legfőbb mintája a Teremtőnek, és a dolgokban a legfőbb nyom, amely a bölcsességhez vezet. [10:364–365]

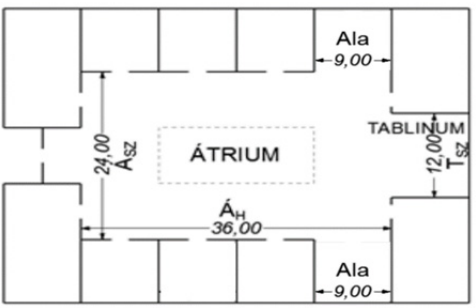
Umberto Eco így összegzi: „Minden középkori értekezés, amelyet a képzőművészetről írtak – Athosz-hegyi szerzetesek által írt bizánciaktól egészen Cennini Traktátusáig–, feltárja a képzőművészetnek azt a törekvését, hogy a zenével azonos matematikai szintre kerüljön. E szövegek révén a matematikai elgondolások gyakorlati kánonokká váltak. Képlékeny szabályokról van szó, amelyeket kiragadtak kozmológiai és filozófiai összefüggésükből, de amelyeket mégis összetartanak az ízlés láthatatlan áramlatai.” [11:84–85]

9. Középarányosok szerepe az építészetben – a megépített arányok

A középarányosok és az arányosság felvázolt jelentése már a görög templomépítészetben is konkrét alakot öltött. Jelen dolgozatban azonban a belső tér arányaiban mint az építészet egyik alaptulajdonságában kívánom bemutatni a szerepüket.

9.1. Vitruvius átriumos római lakóházának térarány rendszere – az elméleti minta

Az átriumos római lakóház építésével kapcsolatban Vitruvius [12:170–172] normatív egységekben határozza meg térarány-rendszerét.



9. ábra. *Az átriumos római lakóház sematikus rajza, a főbb helyiségekkel: átrium, tablinum és alák*

A ház arányait táblázat formájába lehet rendezni. Ki lehet fejezni valamennyi javasolt arányt az átrium szélességével. Ha az átrium szélessége 24 egység, a **3. táblázat** a következő értékek szerint alakul:

Püthagoraszi középarányosok és az arányosság fent leírt fogalmának segítségével meghatároztam egy modellt és eljárást, amivel Vitruvius térarányrendszerének fontos elemeit középarányosokkal elő lehet állítani.

3. táblázat. *Vitruvius római átriumos lakóházának térarányai*

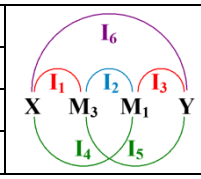
Átrium						Tablinum				
Variáns	Magasság		Hosszúság ($Á_H$)		Szélesség ($Á_{sz}$)	Variáns	Szélesség (T_{sz})		Magasság 9/8* T_{sz}	
	3/4* $Á_{sz}$	18,000	5/3* $Á_{sz}$	40,000	24,000	T_1	2/3 *$Á_{sz}$	16,000	3/4 *$Á_{sz}$	18,000
$Á_2$	3/4* $Á_{sz}$	18,000	3/2* $Á_{sz}$	36,000	24,000	T_2	1/2* $Á_{sz}$	12,000	9/16 *$Á_{sz}$	13,500
$Á_3$	3/4* $Á_{sz}$	18,000	√2* $Á_{sz}$	33,941	24,000	T_3	2/5* $Á_{sz}$	9,600	9/20 *$Á_{sz}$	10,800

Ala szélesség							
Ala variáns		**$Á_1$** [$Á_H$=40,000]		**$Á_2$** [$Á_H$=36,000]		**$Á_3$** [$Á_H$=39,941]	
1/3* $Á_H$	1/3* $Á_H$	5/9* $Á_{sz}$	13,333	1/2* $Á_{sz}$	12,000	√2/3* $Á_{sz}$	11,314
2/7* $Á_H$	1/3,5* $Á_H$	10/21* $Á_{sz}$	11,429	3/7* $Á_{sz}$	10,286	2√2/7* $Á_{sz}$	9,697
1/4* $Á_H$	1/4* $Á_H$	5/12* $Á_{sz}$	10,000	3/8* $Á_{sz}$	9,000	√2/4* $Á_{sz}$	8,485
2/9* $Á_H$	1/4,5* $Á_H$	10/27* $Á_{sz}$	8,889	1/3* $Á_{sz}$	8,000	2√2/9* $Á_{sz}$	7,542
1/5* $Á_H$	1/5* $Á_H$	1/3* $Á_{sz}$	8,000	3/10* $Á_{sz}$	7,200	√2/5* $Á_{sz}$	6,788

A modell felépítése:

1. Legyen a kezdeti szakasz AB, ahol A(a) és B(b), a=x és b=3x, ahol x=6. AB=2x.
2. Felossztjuk AB-t, így nyerjük az I_4: 1x-2x ; I_1: 1x-1,5x ; 1,5x-2x ; 2x-3x; 1,5x-3x; 1x-3x arány szerint különböző szakaszokat.
3. Kvóciensnek k=(a+b)/2a=2–t választva kiterjesztjük az 1x-2x intervallumot, így kapjuk a 2x-4x és 4x-8x intervallumokat, illetve az 1x-1,5x-et amiből kapjuk a 2x-3x-et, illetve kvóciensnek k=2b/(a+b)=1,5–t választva 1x-2x-ből 1,5x-3x-et.
4. Valamennyi szakaszban elhelyezzük a középarányosokat.

4. táblázat. *Vitruvius átriumos lakóházának belső térarányait leíró modell*

Felosztás			Középarányos rendszer								
			Intervallum		u	v	M1 (u,v)	M2 (u,v)	M3 (u,v)	M4 (u,v)	M11 (u,v)
középarányos rendszer			I4	1x-2x	6,000	12,000	9,000	8,485	8,000	10,000	8,000
			I1	1x-1.5x	6,000	9,000	7,500	7,348	7,200	7,800	6,750
X	x		I2	1.5x-2x	9,000	12,000	10,500	10,392	10,286	10,714	9,600
Y	3x		I6	1x-3x	6,000	18,000	12,000	10,392	9,000	15,000	10,800
M1 (X,Y)	2x		I3	2x-3x	12,000	18,000	15,000	14,697	14,400	15,600	13,500
M3 (X,Y)	1,5x		I5	1,5x-3x	9,000	18,000	13,500	12,728	12,000	15,000	12,000
Aránylánc alapú kiterjesztés											
Kvóciensnek k=(a+b)/2a=2–t választva kiterjesztjük az I4: 1x-2x intervallumot, így kapjuk a 2*I4: 2x-4x és 4*I4: 4x-8x intervallumokat			Intervallum		u	v	M1 (u,v)	M2 (u,v)	M3 (u,v)	M4 (u,v)	M11 (u,v)
			4*I4	8x-4x	24,000	48,000	36,000	33,941	32,000	40,000	32,000
			2*I4	4x-2x	12,000	24,000	18,000	16,971	16,000	20,000	16,000

Az így kialakult modellben (**4. táblázat**) előttünk áll Vitruvius átriumos házának térarányrendszere, matematikailag helyesen eltérések nélkül (átrium-tablinum és egyes alák esetében).

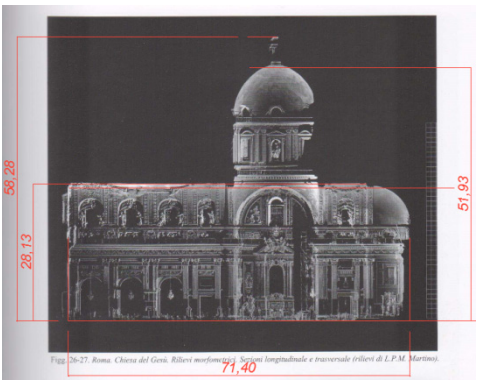
Ez indirekt módon arra enged következtetni, hogy Vitruvius mesteri módon, a püthagoraszi középarányosok segítségével egy világképet (Platón világlelke alapján) szerkesztett vagy komponált, melyet közérthetően jó mérnök módjára mindenkinek elérhetően, normatívan és számszerűen összegzett. A lakóház terének belső méreteit, arányaiban a világot rendező szabályosságok szerint (középarányosok) határozta meg.

9.1. Jezsuita barokk templomok térarányai – püthagoraszi középarányosok

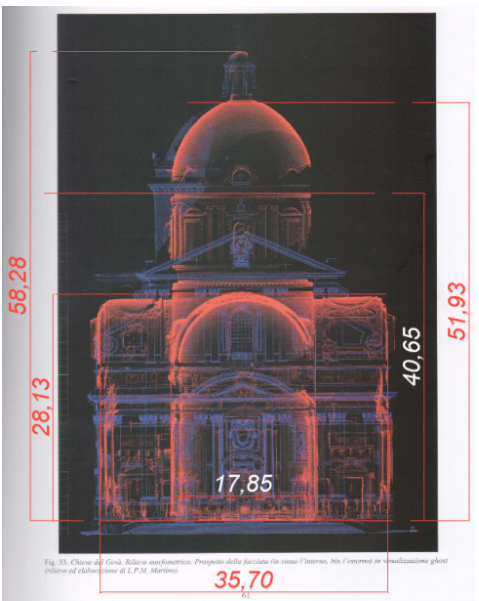
A középkor folyamán, majd később is a humanizmus korában, az arányosság ideája tovább élt, és mint a szépség mérhető tulajdonsága, ahogy Umberto Eco megfogalmazta, az alkotó művészetek gondolkodásában igen fontos szerepet játszott.

Meglátásom szerint nemcsak a gondolatvilágban, hanem igen konkrétan számszerűen is alkalmazták. A számos építészeti traktátus említi a fenti középarányosok közül az első hármat, ám egyik sem foglalja őket olyan rendszerbe ahogy azt Vitruvius tette. A jezsuita barokk építészet megjelenésével azonban a templomok belső terének hasonló arányrendszerét lehet a megépült és tervezett templomterekben kimutatni. Ennek példája az Il Gesu templom Rómában, melyet minden barokk templom előképének is lehet tekinteni.

A belső tér meghatározó méreteiről észrevettem, hogy középarányosok segítségével kifejezhetőek a főhajó szélességével, ugyanúgy mint Vitruvius átriumos római lakóházának méretei az átriumszélességgel. A jezsuita barokk templom meghatározó méretei a belső terek legnagyobb kiterjedései: szélesség, hosszúság magassák, a különböző térrészekben és összességében is.



10. ábra. *Il Gesu templom, Róma, hosszmetszet (Martino 2009-es 3D-s lézeres mérése)[13]*



11. ábra. *Il Gesu templom, Róma, alaprajz (Martino 2009-es 3D-s lézeres mérése)[13]*

A méreteket (felmérés és számított) az **5. táblázat**ban foglaltam össze. A számított méreteket az **6. táblázat** szerint számítottam ki.

5. táblázat. *Az Il Gesu belsőterének mért és számított meghatározó méretei*

nr.	Meghatározó méret	Felmérés	Számított méret	Közép-arányos	Aritmetikai különbség	Százalék-os eltérés
1	Kereszthajó szélessége	35,71	35,70	M2,M5	0,01	0,03%
2	Teljes szélesség	33,92	33,92	M8	0,01	0,01%
3	Hajó magasság	28,13	28,22	M2,M5	0,09	0,33%
4	Kupola aljának magassága	40,65	40,80	M11	0,15	0,37%
5	Kupola teljes magasága	51,93	51,93	M11	0,00	0,01%
6	Teljes magasság	58,28	58,01	M8	0,27	0,46%
x	Hajó szélesség	17,85	17,85		-	0,00%
y	Teljes belső hosszúság	71,40	71,40		-	0,00%

6. táblázat. *Az Il Gesu meghatározó belsőtere méreteinek számítása*

Középarány		Il Gesu - Roma				
Közép-arányos	Lépés	I	II	III	IV	
	X	17,85	44,63	17,85		Közép-arányos
	Y	71,40	71,40	44,63		
M1	$m = \frac{x+y}{2}$	44,63	58,01	31,24		M1
M2	$m = \sqrt{x \cdot y}$	35,70	56,45	28,22		M2
M5	$m = \frac{y-x}{2} + \sqrt{\left(\frac{y-x}{2}\right)^2 + x^2}$	58,95	59,98	35,70		M5
M8	$m = x + \frac{(y-x)^2}{y}$	58,01	54,67	33,92		M8
M11	$m = \frac{y^2}{2 \cdot y - x}$	40,80	51,93	27,89		M11

10. Következtetések

A középarányosok „felfedezése” és megismerése az európai kultúrának a hajnalán történt, és központi szerepet játszott az akkori gondolkodásban. A középarányosok tulajdonságait a tapasztalattól az empírikus gyakorlaton át a matematikai absztrakcióig feltárták az ókori bölcsek, majd Platón emelte rendező elvvé a világban. Az így megalkotott idearendszer a zenében és később az építészetben törekedtek megvalósítani a különböző művészetek.

Az eddigi vélekedésekkel ellentétben középarányos rendzser mutatható ki Vitruvius elméleti munkásságában, ami a későbbi korok építészetére döntő hatást gyakorolt.

Középarányosok felhasználása mutatható ki a jezsuita barokk építészetben is, melynek alappéldája a római Il Gesu templom, ahogy ezt a jelen dolgozatban bemutattam, vagy négy erdélyi jezsuita templom esetében, ahogy ezt doktori disszertációmban igazoltam [14].

Meglátásom szerint a középarányosok tanulmányázása számos olyan kérdésre és összefüggésre ad sokkal egyszerűbb és átfogóbb magyarázatot, amit eddig csak izoláltan vagy körülményesen ismert (vagy nem ismert) az élő tudomány, különösen az építészet és építészettörténet, -elmélet.

Az ujdonság nem új összefüggések megtalálásában rejlik, hanem a régi gondolat-gyakorlat-eszmevilágot átfogó egységes gondolkodás újrafelismerésében és matematkai összefüggéseinek, tulajdonságainak

ismertetésében. Az elfeledett eredet bemutatásában.

A dolgozat újdonságai az építészetelmélet és -történet egy teljesen új szemléletének lehet a kindulópontja. A felvetett kérdések, válaszok és összefüggések alapján egy középarányosokon alapuló építészettörténeti fejlődésvonalat lehet kialakítani.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Platón: *Platón összes művei harmadik kötet*. Európa Kiadó, Budapest, 1984. 332, 328–329, 329, 331–333, 333–339

[2] Sain Márton: *Nincs királyi út!* Gondolat, Budapest, 1986. 23, 23, 78–80, 82, 81–82, 101, 106, 114, 252,.

[3] Boyer, Carl B., Uta C. Merzbach: *A History of Mathematics*. John Wiley & Sons, New York [etc.], 1991, 28, 27, 56.

[4] Hischer, H. *Viertausend Jahre Mittelwertbildung. Eine fundamentale Idee der Mathematik und didaktische Implikationen.* In: Mathematica didactica 25 (2002)2, 3 51. – Als „Preprint Nr. 98" in der Preprint-Reihe der Fachrichtung Mathematik der Universität des Saarlandes erschienen, dort eingereicht am 04. November 2003. http://hischer.de/uds/forsch/publikat/hischer/ (12/12/2011), 15–17, 25

[5] Eves, Howard Whitley: *Great moments in mathematics (before 1650)*. Mathematical Association of America, [Washington, D.C.], 1983. 11–13.

[6] Taylor, A.E: *Platón*. Osiris Kiadó, Budapest, 1997. 617, 617, 617, 695.

[7] Cantor, M.: *Vorlesungen über Geschichte der Mathematik Bd. 1*, *Von den ältesten Zeiten bis zum Jahre 1200 n. Chr. Vorlesungen Über Geschichte Der Mathematik*. Teubner, Leipzig, 1894., 226–227, 226.

[8] Nicomachus, Martin Luther D'Ooge, Frank Egleston Robbins, and Louis Charles Karpinski: *Introduction to Arithmetic*. Macmillan Co, New York, 1926., 283, 283–284, 257-259.

[9] Heath, Thomas Little: *A History of Greek Mathematics: Volume 1 From Thales to Euclid*. Clarendon Press, Oxford, 1921. 87.

[10] Szent Bonaventura: *Itinerarium*,c II, 4–6, In: Redl Károly: *Az égi és a földi szépről*. Gondolat, Budapest, 1989. 364–365.

[11] Umberto Eco: *Művészet és szépség a középkori esztétikában*. Európa Kiadó, Budapest, 2002. 84–85.

[12] Vitruvius: *Tíz könyv az építészetről*. Képzőművészeti Kiadó, Budapest, 1988. 170–172.

[13] Martino, Lorenzo Pio Massimo: *La chiesa del Santissimo Nome del Gesù a Roma. Una nuova lettura tra 'ordini nascosti' e proporzioni da rilievi 3D*. In: Quaderni del Dipartimento Patrimonio Architettonico ed Urbanistico, nr35-36/2009.,47–68.

[14] 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. 141–201.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 173–178. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.18
http://hdl.handle.net/10598/28536

ALTALAJLAZÍTÓ MUNKAESZKÖZ KINEMATIKAI ÉS DINAMIKAI VIZSGÁLATA

RESEARCH ABOUT THE KINEMATICS AND THE DYNAMICS OF THE SUBSOILER'S WORKING TOOL

Pásztor Judit[1], Forgó Zoltán[2]

[1]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Cím: 540485, Románia, Marosvásárhely/Koronkai Segesvári út 1C, postacím: O.p. 9, C.p. 4, tel: +40 265 206 210, fax: +40 265 206 211, levelezési cím: pjudit@ms.sapientia.ro*

[2] *Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Románia, Cím: 540485, Románia, Marosvásárhely/Koronkai Segesvári út 1C, postacím: O.p. 9, C.p. 4, , tel: +40 265 206 210, fax: +40 265 206 211, levelezési cím: zforgo@ms.sapientia.ro*

Abstract

The preparation of the seedbed represents an essential work for the growth and development of plants. It is an important consumer of energy. The subsoiler is meant to carry out the basic works in the cultivated land. In this paper we study the kinematics and the dynamics of subsoiler's tillage tools.

Keywords: *subsoiler, kinematics, dinamics*

Összefoglalás

A talaj előkészítése nagyon fontos a termesztett növények számára. A gépek munkája hatással van a talaj fizikai-mechanikai tulajdonságaira, közvetve a növényekre, ezért megválasztásuk és üzemeltetésük nagy körültekintést igényel. Az altalajlazító a talajművelés alapgépe. Dolgozatunkban az altalajlazító munkaeszköz kinematikai egyenleteit határozzuk meg, amelyek segítségével dinamikai vizsgálatokat végzünk.

Kulcsszavak: *altalajlazító, kinematika, dinamika*

1. Bevezetés

A talajművelés mechanikai beavatkozás. Célja a termesztendő növény számára kedvező talajállapot kialakítása.

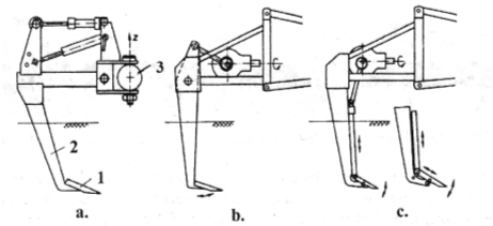
A talajművelés alapműveletekre, magágy-előkészítésre és tarlómunkákra osztható. Az alapműveletek a legmélyebb beavatkozások, amelyek forgatással vagy forgatás nélkül történhetnek [1].

Az altalajlazító az a munkagép, amely a mélyebb talajrétegek lazítását forgatás nélkül valósítja meg. Így a talaj művelt rétegét mélyíti, az alsó réteget lazítja, javítva a víz- és levegőháztartást. Elősegíti a mély gyökérzetű növények jobb fejlődését. Az eketalpbetegség megelőzésére és megszüntetésére is alkalmas.

Az altalajlazító munkagépeket a talajművelő eszközeik mozgásviszonyai, munkavégzésük jellegzetessége alapján két fő csoportba lehet sorolni. Passzív és aktív művelőeszközökkel felszerelt altalajlazítókat különböztethetünk meg.

Passzívnak tekintjük azt az eszközt, amely a munkagépre mereven van rögzítve, a kerethez képest önállóan nem mozdul el, csak a traktor által meghatározott főmoz-

gást végzi (**1a. ábra**). Aktív talajművelő eszköznek tekintjük azt a művelőelemet, amely a gép főmozgása, a haladó mozgás mellett kényszerhajtás következtében mellékmozgást végez (**1b-c. ábra**). E két mozgás együttes hatására jön létre az elérni kívánt talajmunka [3].



1. ábra. *Altalajlazító szerszámok:*
a - passzív művelőszerszám,
b - rezgő művelőszerszám,
c - lengő művelőszerszám [4]

Dolgozatunkban a lengőmozgást végző altalajlazító eszközt vizsgáljuk.

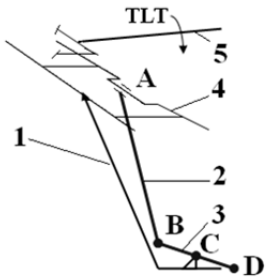
A gépüzemeltetés mindenkori célja a növény által igényelt magágy lehető legkevesebb menetszámmal és kedvező energiafelhasználással való biztosítása. A mozgáspályák matematikai modellezése alapján tanulmányozható a munkaeszköz mozgása. A kinematikai egyenletek alapján felírhatók a munkaeszköz dinamikai egyenletei. A kinematikai és dinamikai egyenletek segítségével számolható a munkagép energiaigénye.

2. Kidolgozás

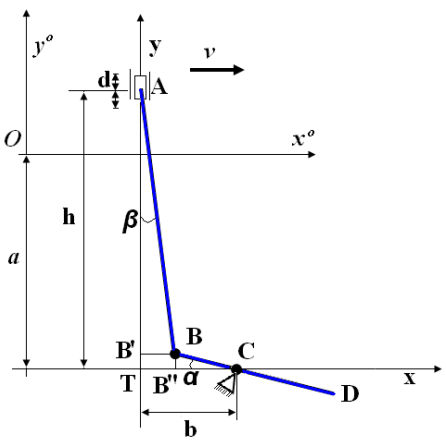
2.1. Az altalajlazító munkaeszköz kinematikai egyenletei

Az altalajlazító felépítését az **2. ábra** szemlélteti.

Az *1*-es szerszámszár előtt mozog a 2-es függesztőkar. Hajtása a *4*-es térben kitérő tengelyről történik, amely az erőgép teljesítményleadó tengelyéről kapja a hajtását lassító áttételen keresztül. Az 5-ös TLT tengely fordulatszáma egyezményes, 540 ford/min. Az AB függesztőkar a 3-as BD szerszámot mozgatja, amely a C pont körül lengő mozgást végez [7].



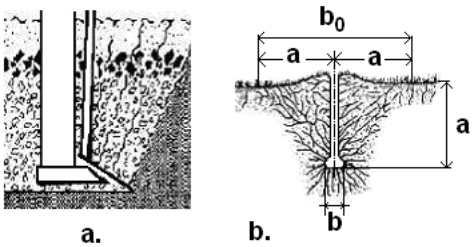
2. ábra. *Altalajlazító munkaeszköze*



3. ábra. *Altalajlazító mechanizmusa*

$D(x_D,y_D)$ pont a lazítószerszám hegyét jelképezi. A vontatás hatására a lazítószerszám és szerszámszár elvágja, hasítja a talajt. Az elhasított talajban a szerszám ékként halad előre, a talaj megemelkedik a szerszám felületén, majd lemaradva az ék után szétaprózódik. Ezáltal megnő a fajlagos térfogata, javul a talaj levegő- és vízháztartása. A lengőmozgás hatására a hasítás előtt széttöredezik, lazítódik a talaj. Ebben a lazított talajban könnyebb a szer-

számszár és szerszám előrehaladása, így csökken a munkagép vonóerőigénye **4. ábra**. A **4. ábrán** követhető, hogy az átmunkált talajkeresztmetszet az *a* munkamélységtől függ. A talaj belső surlódásának hatására a lazítás b_o=2a szélességben érzékelhető [1], [2].



4.ábra. *Lazítószerszám munkája:*
a - az előrehaladással párhuzamos síkban,
b - az előrehaladásra merőleges síkban

Az lazítóhegy, $D(x_D,y_D)$ pont, kinematikai egyenletei az *xTy* mozgó koordináta rendszerben a következő összefüggésekkel adhatók meg, [5], [6]:

$$A\begin{cases} x_A = 0 \\ y_A = h + d\sin\varphi \\ \varphi = \omega \cdot t \end{cases}, \qquad (1)$$

$$B\begin{cases} x_B = b - BC\cdot\cos\alpha \\ y_B = BC\cdot\sin\alpha \end{cases}, \qquad (2)$$

$$D\begin{cases} x_D = b + CD\cdot\cos\alpha \\ y_D = -CD\cdot\sin\alpha \end{cases}, \qquad (3)$$

ahol ω a hajtótengely szögsebessége, rad/s; *t* az idő, s; *b, h, d* [8]konstrukciós adatok, mm, α és β működést jellemző adatok, **3. ábra.**

Az ABB' és CBB'' derékszögű háromszögek szögfüggvényei segítségével elvégezzük a megfelelő behelyettesítéseket, és az alábbi össszefüggésekhez jutunk:

$$\begin{cases} y_A - BC\cdot\sin\alpha = AB\cdot\cos\beta \\ b - BC\cdot\cos\alpha = AB\cdot\sin\beta \end{cases}. \qquad (4)$$

A *(4)* összefüggéseket összevonjuk:

$$y_A^2 + b^2 + BC^2 - 2y_A\cdot BC\sin\alpha - \\ - 2\cdot b\cdot BC\cdot\cos\alpha = AB^2 \qquad (5)$$

Az *(5)* egyenlet megoldásához trigonometriai azonosságokat használunk, amelyek az alábbi másodfokú egyenlethez vezetnek [6], [9]:

$$(n+p)\cdot tg^2\frac{\alpha}{2} - 2m\cdot tg\frac{\alpha}{2} + p - n = 0 \qquad (6)$$

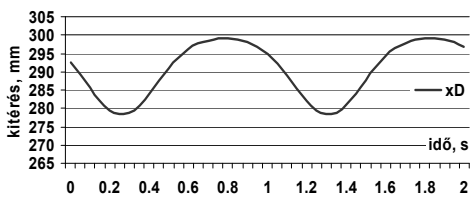
ahol:

$$m = -2y_A BC$$
$$n = -2b\cdot BC \qquad (7)$$
$$p = AB^2 - y_A^2 - b^2 - BC^2.$$

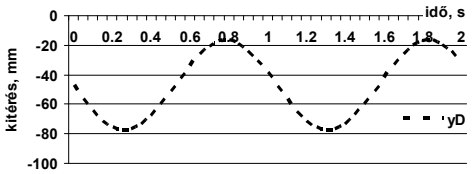
A *(6)* egyenlet megoldásai közül az α hegyesszög értékeit választjuk.

$$tg\frac{\alpha}{2} = \frac{m \pm \sqrt{m^2 + n^2 - p^2}}{n+p}. \qquad (8)$$

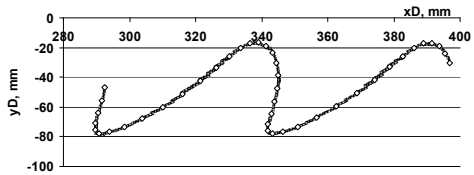
Az *α* szög ismeretében meghatározhatók a lengőmozgást végző $D(x_D, y_D)$ pont kitérései és pályagörbéje, amelyek az **5., 6., 7. ábrán** követhetők.



5.ábra. *Aktív talajlazító vízszintes kitérése*



6. ábra. *Aktív talajlazító függőleges kitérése*



7. ábra. *Aktív talajlazító szerszám pályája*

A $D(x_D, y_D)$ pont pályagörbéje az ${}^{o}xO^{o}y$ álló koordináta-rendszerben a következő transzformációs matrixszal határozható meg:

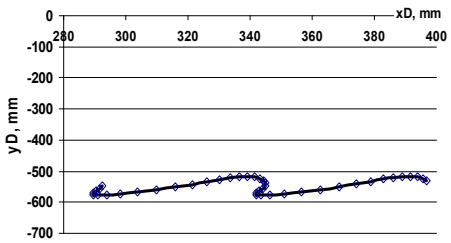
$$D_{xOy} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & v \cdot t \\ 0 & 1 & 0 & -a \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \qquad (9)$$

ahol v a munkagép sebessége, mm/s; a a munkamélység, mm. A jelölések a **3. ábrán** követhetők.

A D pont kinematikai egyenletei az álló koordináta-rendszerben az alábbiak:

$$D_{xOy} \begin{cases} {}^{0}x_D = b + CD \cdot \cos\alpha + v \cdot t \\ {}^{0}y_D = -CD \cdot \sin\alpha - a \end{cases} \qquad (10)$$

Az aktív talajlazító szerszám pályája mélylazítás közben a **12. ábrán** követhető. Megállapítható, hogy a mozgásegyenletek leírják a várt, a szakirodalomban fellelhető ábrát, így a kinematikai egyenletek helyeseknek tekinthetők, és alkalmasak a további vizsgálatok elvégzéséhez.



8. ábra. *Aktív talajlazító szerszám pályája munka közben*

2.2. Az altalajlazító munkaeszközének dinamikai egyenletei

A dinamikai modellek megalkotásához felhasználjuk az $D(x_D,y_D)$ lazítószerszám csúcsának mozgásegyenleteit.

A dinamikai modellek a következők:

- sebességmodellek *(11);*
- gyorsulásmodellek *(12).*

$$\begin{aligned} {}^{o}\dot{x}_D &= v_{xD} = -CD\sin\alpha \cdot \dot{\alpha} + v \\ {}^{0}\dot{y}_D &= v_{yD} = -CD\cos\alpha \cdot \dot{\alpha} \end{aligned} \qquad (11)$$

$$\begin{aligned} a_{xD} &= -CD\cos\alpha \cdot (\dot{\alpha})^2 - CD\sin\alpha \cdot \ddot{\alpha} \\ a_{yD} &= CD\sin\alpha \cdot (\dot{\alpha})^2 - CD\cos\alpha \cdot \ddot{\alpha} \end{aligned} \qquad (12)$$

A *(11)* és *(12)* összefüggésekben szereplő $\dot{\alpha}$ meghatározása az *(1)* és *(5)* összefüggések deriválásával történik:

$$\dot{y}_A = d \cdot \omega \cdot \cos\varphi \qquad (13)$$

$$\begin{aligned} & y_A\dot{y}_A - BC \cdot \dot{y}_A \sin\alpha - \\ & - BC \cdot y_A\dot{\alpha} \cdot \cos\alpha + BC \cdot b \cdot \dot{\alpha}\sin\alpha = 0 \end{aligned} \qquad (14)$$

A *(13)* és *(14)* egyenletekből kifejezhető az $\dot{\alpha}$, az α és φ szögek függvényében:

$$\dot{\alpha} = \frac{d\omega \cdot \cos\varphi \cdot [BC\sin\alpha - (h + d\sin\varphi)]}{[(h + d\sin\varphi) \cdot \cos\alpha - b \cdot \sin\alpha)] \cdot BC} = \frac{M}{N} \qquad (15)$$

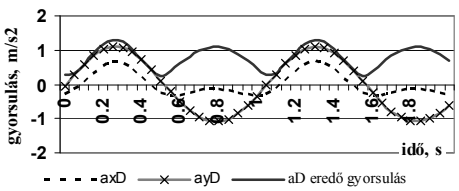
A *(15)* kifejezés deriválásával kiszámítható az $\ddot{\alpha}$ összefüggése:

$$\ddot{\alpha} = \frac{\dot{M} \cdot N - M \cdot \dot{N}}{N^2} \qquad (16)$$

ahol M a *(15)* kifejezés számlálója és N a kifejezés nevezője. M és N idő szerinti deriváltjai:

$$\begin{aligned} \dot{M} &= -d\varpi^2 \sin\varphi\left(BC\sin\alpha - y_A\right) + \\ &+ d\varpi\cos\varphi\left(BC\cdot\dot{\alpha}\cdot\cos\alpha - \dot{y}_A\right) \\ \dot{N} &= BC(b\cdot\dot{\alpha}\cdot\cos\alpha - \dot{y}_A\cos\alpha + \\ &+ y_A\cdot\dot{\alpha}\cdot\sin\alpha) \end{aligned} \qquad (17)$$

Az altalajlazító-szerszám gyorsulásai a (12) összefüggésekkel számolhatók és a 9.ábrán figyelhetők meg.



9. ábra. *Altalajlazítószerszám gyorsulása*

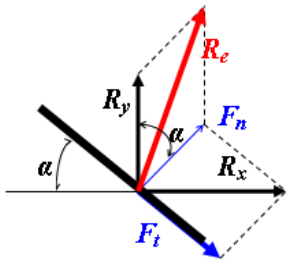
Az altalajlazító pályáján két szakasz különíthető el. Az a_{yD} grafikonját követve:

- új helyzetbe vonulás-lassítás, (0,5 s-1s),
- gyorsulás-emelés, (1s-1,5 s).

A szerszám tömegének és gyorsulásának ismeretében számolható a szerszámra ható erők nagysága, *(18)*.

$$\begin{aligned} \vec{R}_X &= m\cdot a_{xD} \\ \vec{R}_y &= m\cdot a_{yD} \end{aligned} \qquad (18)$$

Az erők ismeretében vizsgálható a lazítószerszámra ható erők feladata, **10.ábra.** *Ft* vágóerő a szerszám mentén jelentkezik, az R_x erőkomponens a szerszám ékfelületével párhuzamos összetevője.



10.ábra. *A lazítószerszámra ható erők*

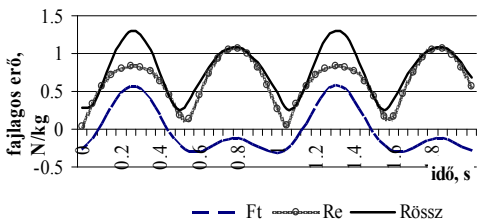
A függőleges R_y erő az ékfelületre merőleges F_n összetevővel együtt az emelést biztosítja. Eredőjük az R_e erő, amely a *(19)* egyenlet harmadik tagjával számítható.

$$\begin{aligned} F_t &= R_x\cos\alpha \\ F_n &= R_x\sin\alpha \\ R_e &= \sqrt{R_y^2 + F_n^2 - 2R_yF_n\cos\alpha} \end{aligned} \qquad (19)$$

Az $R_{össz}$ az R_x és R_y erők eredője:

$$R_{össz} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}\,. \qquad (20)$$

Az erők fajlagos értékei a **11.ábrán** láthatók.



11. ábra. *Talajlazító szerszámra ható erők fajlagos értékei*

3. Következtetések

- R_X, vízszintes komponens a talaj vágására és a talaj emelésére fordítódik.
- R_Y, függőleges komponens a kivágott talajszeletet emeli, a lazítást végzi.

- A fajlagos erők és az alkotórészek tömegének ismeretében számítható a munkagép hajtóerő- és teljesítmény-igénye.
- Az aktív munkaeszközök erőteljesen előlazítják a talajt, így kevesebb a munkagép vonóerőigénye, kisebb a vontatásnál jelentkező csúszási veszteség, ezért nedvesebb talajviszonyok közt is alkalmazható.
- A talajlazítók az energiatakarékos talajművelés gépei, a talaj lazítását forgatás nélkül végzik, így a vonóerőigény lényegesen kisebb, mint az azonos talajkeresztmetszetet átmunkáló ekéké.
- A kinematikai és dinamikai egyenletek további kutatások alapjául szolgálnak.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Brătucu Gh.: *Tehnologie agricolă*. Universitatea Transilvania, Braşov, 1999.

[2] Căpăţână I.: *Aspecte teoretice privind dinamica sistemului tractor-subsolier*. INMATEH III, Bucureşti, 2007. 183–191.

[3] Láng Z.: *A zöldség-, dísznövény- és szaporítóanyag – termesztés berende-zései és gépei*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999, 53–54;

[4] Naghiu Al.: *Maşini şi instalaţii agricole*. Vol. I. Editura Risoprint, Cluj-Napoca, 2004.

[5] Máté, M.: *Műszaki mechanika – kinematika*. EME Kiadó, Kolozsvár, 2010.

[6] Papp I.: *Mechanizmusok elmélete*. Scientia Kiadó, Kolozsvár, 2010.

[7] Pásztor J., Forgó Z.: *Ásógép kinematikája és munkaminőségi mutatóinak vizsgálata növényházban*. Műszaki Szemle, Kolozsvár, 2009. 310–314.

[8] Ripianu A.: *Mecanica tehnică*. Ed. Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1972. 210;

[9] Sztachó-Pekáry I., Szendrő P.: *Példák mezőgazdasági géptanból*. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest, 1997.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 179–186. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.19
http://hdl.handle.net/10598/28537

TŰ- ÉS CÉRNARÁNGATÓ MECHANIZMUS POZÍCIÓJÁNAK VIZSGÁLATA KÉNYSZEREGYENLETEK SEGÍTSÉGÉVEL

NEEDLE AND THREAD PULLING MECHANISM'S POSITION EXAMINATION WITH CONSTRAINT EQUATIONS

Popa-Müller Izolda[1], Papp István[2], Kakucs András[3]

[1]*SAPIENTIA-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Románia, Koronka, Segesvári út,1/C, Fax: 0265-206211, ipmuller@ms.sapientia.ro*

[2] *SAPIENTIA-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, pappistvan1944@yahoo.com*

[3] *SAPIENTIA-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, kakucs@ms.sapientia.ro*

Abstract

With the constraint equations can be difined the position of the members or parts of a mechanism lying in any space or plan. The kinematic pairs of the equation systems are composed of general validity constraint equations , by which the focal points positions and directions of the main axes of inertia of each members of a lever mechanism can be determined. The needle and threadmover mechanism is made up of frame, main axes , crank , needle, and threadmover .The parts of the mechanism are moving in a parallel plane with an elected XOY plane which turn around the $O_i^* Z_i^*$ axis perpendicular to the plane XOY.

Keywords: *kinematic pairs, constraints equations, the main axes of inertia*

Összefoglalás

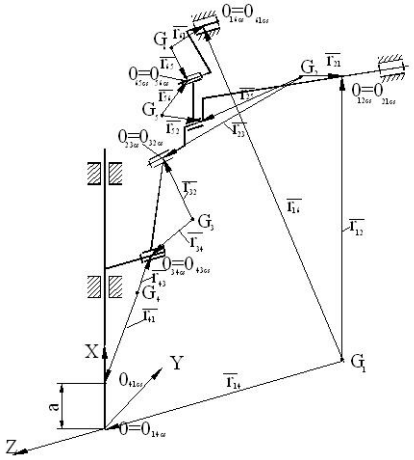
A kényszeregyenletek segítségével meghatározható bármely térben vagy síkban fekvő mechanizmus tagjainak pozíciója. A kinematikai párokra felírt egyenletrendszerek olyan általános érvényű kényszeregyenletekből tevődnek össze, amelyekkel bármely karos mechanizmust alkotó tagok súlypontjainak helyzetei és tehetetlenségi főtengelyeinek irányai meghatározhatók. A tű- és cérnarángató mechanizmus egy géptörzsből, főtengelyből, hajtókarból, tűrúdból, cérnarángatóból és egy lengőkarból tevődik össze.

A mechanizmus tagjai egy választott XOY síkkal párhuzamos síkokban mozognak amelynek síkmozgást végző tagjai az XOY síkra merőleges $O_i^* Z_i^*$ tengelyek körül fordulnak el.

Kulcsszavak: *kinematikai párok, kötöttségek, kényszeregyenletek, tehetetlenségi főtengelyek*

1. Tű- és cérnarángató mechanizmus pozíciójának meghatározása

A pozíciók meghatározására a gép törzséhez rögzített segédkoordináta-rendszert használunk [1]. Az egymáshoz kapcsolódó tagok sorrendjét a géptörzstől számoztuk, miszerint a géptörzs (1), a főtengely (2), a hajtókar (3), a tűrúd (4), a cérnarángató (5) és a lengőkar (6) számozást kapott.



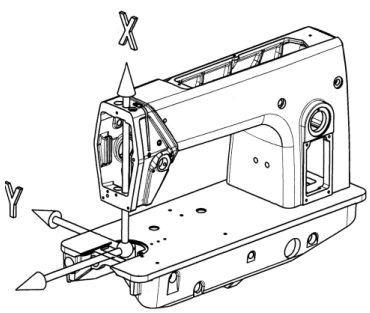
1. ábra. *A tűrúd és cérnarángató mechanizmusa*

1.1. Az állandók meghatározása: a segédrendszer helyzeteinek meghatározása a központi tehetelenségi főtengelyekhez képest

1.1.1. Géptörzs-1

A géptörzsön választott segédrendszer origója a tűrúd szimmetriatengelyének a varrógép asztalával való találkozási pontjában van (**2. ábra**).

A tehetetlenségi nyomatékok értékei és a főtengelyek iránytényezőit tartalmazó A_1 mátrix a géptörzs súlypontjába helyezett segédrendszerben van meghatározva.



2. ábra. *A géptörzsön választott segédrendszer*

Adataink és egyenleteink a [2] és [3]-as kutatási eredményeinkre alapoznak:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0.999277 & -0.037452 & 0.006551 \\ 0.037575 & 0.999097 & -0.019832 \\ -0.005802 & 0.020064 & 0.999782 \end{pmatrix} \quad (1)$$

A géptörzs súlypontja ehhez a koordináta-rendszerhez viszonyítva van meghatározva.

$$G_1 = \begin{pmatrix} 67.133 \\ 1.651 \\ -212.14 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} (m) \quad (2)$$

A géptörzsön választott O_{12}^* pont egybeesik a főtengely furatának tengelyvonalával, a koordinátái pedig a géptörzshöz rögzített segédrendszerben vannak megadva.

$$O_{12}^* = \begin{pmatrix} 170 \\ 0 \\ -212.14 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} (m) \quad (3)$$

Az r_{12} helyzetvektor a géptörzs súlypontjajához viszonyított O_{12}^* pont koordinátáit fejezi ki a géptörzs súlypontjába helyezett segédrendszerben.

$$r_{12} = O_{12}^* - G_1 \quad (4)$$

Az $r_{12}I$ helyzetvektor az O_{12}^* pont koordinátáit fejezi ki a géptörzs súlypontjába helyezett központi tehetetlenségi főtengelyek koordináta-rendszeréhez viszonyítva.

$$r_{12}I = A_1^T \cdot r_{12} \quad (5)$$

$$A_1^T = T_{11^*} = \begin{pmatrix} cos\alpha_{11}^0 & cos\beta_{11}^0 & cos\gamma_{11}^0 \\ cos\alpha_{21}^0 & cos\beta_{21}^0 & cos\gamma_{21}^0 \\ cos\alpha_{31}^0 & cos\beta_{31}^0 & cos\gamma_{31}^0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

ahol T_{ii^*} az $O_i^* X_i^* Y_i^* Z_i^*$ segédrendszer iránytényezői a $G_i X_i Y_i Z_i$ központi tehetetlenségi főtengely koordinátarendszeréhez viszonyítva.

Az r_{14} helyzetvektor az O_{14}^* pont koordinátáit fejezi ki a géptörzs súlypontjába helyezett segédrendszerben.

$$r_{14} = O_{14}^* - G_1 \tag{7}$$

A géptörzsön választott O_{14}^* pont egybeesik a géptörzs segédrendszerének origójával, és rajta van a tűrúd szimmetria tengelyén is.

$$O_{14}^* = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \tag{8}$$

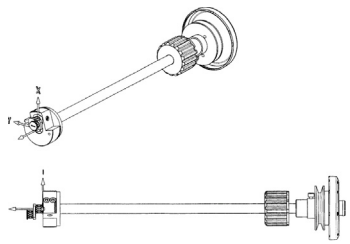
A géptörzsön választott O_{16}^* pont a lengőkaron felvett segédrendszer origójának koordinátáit fejezi ki a géptörzs segédrendszerében.

$$O_{16}^* = \begin{pmatrix} 196.27 \\ 18.9 \\ -9.5 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \tag{9}$$

Az r_{16} helyzetvektor az O_{16}^* pont koordinátáit fejezi ki a géptörzs súlypontjába helyezett segédrendszerben.

$$r_{16} = O_{16}^* - G_1 \tag{10}$$

1.1.2. Főtengely-2



3. ábra. *Főtengely*

$$O_{21}^* = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -184.64 \end{pmatrix} (mm) \tag{11}$$

A mechanizmus főtengelyén választott O_{21}^* pontjára felírható a G_2 súlypontba helyezett segédrendszerhez viszonyított helyzetvektor.

$$r_{21} = O_{21}^* - G_2 \tag{12}$$

A tehetetlenségi főtengelyek irányítényezői a (2) főtengelyen felvett segédrendszerhez viszonyítva az A_2 mátrixban van összefoglalva.

$$A_2 = \begin{pmatrix} 0.9779914 & -0.20863185 & -2.35850203 \cdot 10^{-3} \\ 0.20863484 & 0.97799299 & 1.09900472 \cdot 10^{-3} \\ 2.07731107 \cdot 10^{-3} & -1.56688287 \cdot 10^{-3} & 0.99999661 \end{pmatrix} \tag{13}$$

A tengely súlypontja a főtengelyen felvett segédrendszerhez viszonyítva.

$$G_2 = \begin{pmatrix} -0.471 \\ 0.248 \\ -210.49 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \, (m) \tag{14}$$

A főtengelyt a (3) hajtókarral egy forgócsukló kapcsolja össze. Az O_{23}^* pont koordinátáit a (2) főtengely súlypontjába helye-

zett segédrendszerben az r_{23} helyzetvektor adja meg.

$$r_{23} = O_{23}^{*} - G_2 \tag{15}$$

A forgócsukló tengelyvonalán választott O_{25}^{*} pont a mechanizmus működése közben egybeesik a cérnarángató alsó furatán választott O_{52}^{*} ponttal, amely a cérnarángatón felvett segédrendszer origójában van.

$$O_{25}^{*} = \begin{pmatrix} 13.85 \\ 0 \\ 10 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \tag{16}$$

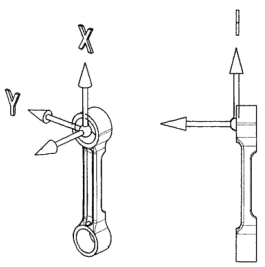
Az O_{25}^{*} pont koordinátáit a (2) főtengely súlypontjába helyezett segédrendszerben az r_{25} helyzetvektor adja meg.

$$r_{25} = O_{25}^{*} - G_2 \tag{17}$$

1.1.3. Hajtókar-3

A főtengelyhez kapcsolódó hajtókar felső furatának tengelyvonalán felvett segédrendszerhez viszonyított súlypont koordinátái.

$$G_3 = \begin{pmatrix} -22.719 \\ 0 \\ -4.294 \end{pmatrix} (mm) \tag{18}$$



3. ábra. *Hajtókar*

A segédrendszer origójával egybeeső O_{32}^{*} pont koordinátája a hajtókar súlypontjába helyezett segédrendszerhez viszonyítva (G_3), amelynek értékei az r_{32} helyzetvektor koordinátái, azaz:

$$O_{32}^{*} = r_{32} = \begin{pmatrix} 22.719 \\ 0 \\ 4.294 \end{pmatrix} \tag{19}$$

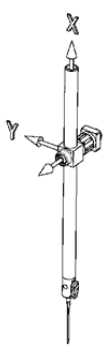
A hajtókar alsó furatának tengelyvonalán felvett O_{34}^{*} pont koordinátái a hajtókar segédrendszeréhez viszonyítva. A pont egybeesik a tűrúd csapján felvett O_{43}^{*} ponttal.

$$O_{34}^{*} = \begin{pmatrix} -48 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \tag{20}$$

Az r_{34} helyzetvektor, a hajtókar súlypontjához viszonyított O_{34}^{*} koordinátáit fejezi ki a hajtókar súlypontjába helyezett segédrendszerben.

$$r_{34} = O_{34}^{*} - G_3 \tag{21}$$

1.1.4. Tűrúd-4



4. ábra. *Tűrúd*

A tűrúd csapjának tengelyvonalán felvett O_{43}^{*} pont koordinátái működés közben egybeesik a hajtókaron felvett O_{34}^{*} ponttal.

$$O_{43}^{*} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -6 \end{pmatrix} (mm) \tag{22}$$

A O_{41}^{*} pont koordinátáit a tűrúd súlypontjába helyezett segédrendszerben az r_{41} vektor határozza meg.

$$r_{41} = O_{41}^{*} - G_4 \tag{23}$$

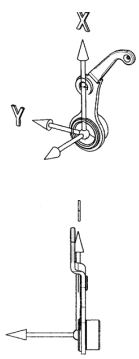
Alkotóit a központi tehetetlenségi főtengelyek koordináta-rendszerében az $r_{41}I$ adja meg.

$$r_{41}I = A_4^T \cdot r_{41} \tag{24}$$

A tehetetlenségi főtengelyek iránytényezői a tűrúdon felvett segédrendszerhez viszonyítva:

$$A_4 = \begin{pmatrix} 0.99922637 & -2.46699033 & 0.03924455 \\ 2.51876669 \cdot 10^{-3} & 0.999996 & -1.26893468 \cdot 10^{-3} \\ -0.03924055 & 1.36652692 \cdot 10^{-3} & 0.99922837 \end{pmatrix} \tag{25}$$

1.1.5. Cérnarángató-5



5. ábra. *Cérnarángató*

A főtengelyhez kapcsolódó cérnarángató alsó furatának tengelyvonalán felvett segédrendszerhez viszonyított súlypont koordinátái a következők:

$$G_5 = \begin{pmatrix} 14.918 \\ -3.935 \\ -2.28 \end{pmatrix} \cdot (mm) \tag{26}$$

Az $r_{52}I$ helyzetvektor az O_{52}^{*} pont értékeit fejezi ki a cérnarángató központi tehetetlenségi főtengelyeinek koordinátarendszerében.

$$r_{52}I = A_5^T \cdot r_{52} \tag{27}$$

A cérnarángató felső furatának tengelyvonalán felvett O_{56}^{*} pont koordinátái a cérnarángató segédrendszeréhez viszonyítva:

$$O_{56}^{*} = \begin{pmatrix} 25.06 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \tag{28}$$

Az r_{56} helyzetvektor a cérnarángató súlypontjához viszonyított O_{56}^{*} pont koordinátáit fejezi ki a cérnarángató segédrendszerében.

$$r_{56} = O_{56}^{*} - G_5 \tag{29}$$

A központi tehetetlenségi főtengelyek iránytényezői a cérnarángatón felvett segédrendszerhez viszonyítva:

$$A_5 = \begin{pmatrix} 0.927239 & 0.35986 & -0.10358 \\ -0.35276 & 0.932215 & 0.080943 \\ 0.125651 & -0.038422 & 0.99133 \end{pmatrix} \tag{30}$$

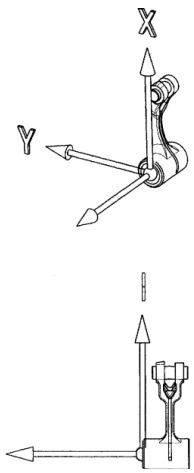
Az r_{56} helyzetvektor alkotóit a központi tehetetlenségi koordináta-rendszerben:

$$r_{56}I = A_5^T \cdot r_{56} \tag{31}$$

1.1.6. Lengőkar-6

A központi tehetetlenségi főtengelyeinek irányténye zői a lengőkaron felvett segédrendszerben:

$$A_6 = \begin{pmatrix} 0.998187 & -0.020493 & 0.056597 \\ 0.025574 & 0.995562 & -0.090562 \\ -0.05449 & 0.091846 & 0.994281 \end{pmatrix} \tag{32}$$



6. ábra. *Lengőkar*

A lengőkar tengelyvonalán felvett O_{65}^* pont koordinátái a segédrendszeréhez viszonyítva, amely egybeesik a cérnarángatón felvett O_{56}^* ponttal.

$$O_{65}^* = \begin{pmatrix} 29.32 \\ 0 \\ -8 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \left(mm\right) \tag{33}$$

A lengőkar súlypontja, a lengőkaron felvett segédrendszerhez viszonyítva:

$$G_6 = \begin{pmatrix} 11.222 \\ 1.093 \\ -9.288 \end{pmatrix} \cdot 10^{-3} \left(m\right) \tag{34}$$

Az r_{65} helyzetvektor az O_{65}^* pont koordinátáit határozza meg a lengőkar súlypontjába helyezett segédrendszerben.

$$r_{65} = O_{65}^* - G_6 \tag{35}$$

A O_{61}^* pont egybeesik a lengőkar segédrendszerének origójával. A O_{61}^* pont koordinátái a lengőkar súlypontjába helyezett segédrendszerben:

$$r_{61} = O_{61}^* - G_6 \tag{36}$$

2. A függvények és a kezdeti értékek meghatározása

A függvények a tagok tehetetlenségi főtengeleinek irányténye zői a géptörzshöz rögzített segédrendszerhez viszonyítva, azaz az Euler-szögekkel kifejezett forgatómátrixok változó tagjai. A kezdeti értékeket hozzávetőlegesen ránézésre határozuk meg. Az egy szabadságfokú mechanizmus vezető paramétere a ψ_2^*, amely a főtengely segédrendszerének a rögzített rendszerhez viszonyított OZ tengely körüli elfordulását jelenti.

3. A kényszeregyenletek rendszerbe foglalása

A tagokat összekötő csuklók mind ötödosztályúnak tekinthetők, amelyek térmechanizmus esetén egyenként öt kényszeregyenlettel vannak meghatározva.

Térmechanizmusként tárgyalt síkban fekvő hajtómű kényszeregyenletei:

$$\left(\begin{array}{l} XG1+x12\cdot\alpha110+y12\cdot\alpha210+z12\cdot\alpha310- \\ XG2-x21\cdot\alpha12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)_{...}-y21\cdot\beta12(\psi_2,\theta_2,\phi_2) \\ -z21\cdot\gamma12(\psi_2,\theta_2) \end{array}\right)=0 \quad (37)$$

$$\left(\begin{array}{l} YG1+x12\cdot\beta110+y12\cdot\beta210+z12\cdot\beta310- \\ YG2-x21\cdot\alpha22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)_{...}-y21\cdot\beta22(\psi_2,\theta_2,\phi_2) \\ -z21\cdot\gamma22(\psi_2,\theta_2) \end{array}\right)=0 \quad (38)$$

$$\left(\begin{array}{l} ZG1+x12\cdot\gamma110+y12\cdot\gamma210+z12\cdot\gamma310- \\ ZG2-x21\cdot\alpha32(\theta_2,\phi_2)_{...}-y21\cdot\beta32(\theta_2,\phi_2) \\ -z21\cdot\gamma32(\theta_2) \end{array}\right)=0 \quad (39)$$

$$b131-(\alpha12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma120+\beta12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma220+ \\ +\gamma12(\psi_2,\theta_2)\cdot\gamma320)=0 \quad (40)$$

$$b231-(\alpha22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma120+\beta22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma220 \\ +\gamma22(\psi_2,\theta_2)\cdot\gamma320)=0 \quad (41)$$

$$\left(\begin{array}{l} XG2+x23\cdot\alpha12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)+y23\cdot\beta12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)+ \\ +z23\cdot\gamma12(\psi_2,\theta_2)-XG3_{...}-(x32\cdot\alpha13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+ \\ +y32\cdot\beta13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+z32\cdot\gamma13(\psi_3,\theta_3)) \end{array}\right)=0 \quad (42)$$

$$\left(\begin{array}{l} YG2+x23\cdot\alpha22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)+y23\cdot\beta22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)+ \\ +z23\cdot\gamma22(\psi_2,\theta_2)-YG3_{...}-(x32\cdot\alpha23(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+ \\ +y32\cdot\beta23(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+z32\cdot\gamma23(\psi_3,\theta_3)) \end{array}\right)=0 \quad (43)$$

$$\left(\begin{array}{l} ZG2+x23\cdot\alpha32(\theta_2,\phi_2)+y23\cdot\beta32(\theta_2,\phi_2)+ \\ +z23\cdot\gamma32(\theta_2)-ZG3_{...}-(x32\cdot\alpha33(\theta_3,\phi_3)+ \\ +y32\cdot\beta33(\theta_3,\phi_3)+z32\cdot\gamma33(\theta_3)) \end{array}\right)=0 \quad (44)$$

$$\left(\begin{array}{l} \alpha12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma120+\beta12(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma220+ \\ +\gamma12(\psi_2,\theta_2)\cdot\gamma320_{...}+-(\alpha13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)\cdot\gamma130+ \\ +\beta13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)\cdot\gamma230+\gamma13(\psi_3,\theta_3)\cdot\gamma330) \end{array}\right)=0 \quad (45)$$

$$\left(\begin{array}{l} \alpha22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma120+\beta22(\psi_2,\theta_2,\phi_2)\cdot\gamma220+ \\ +\gamma22(\psi_2,\theta_2)\cdot\gamma320_{...}+-(\alpha23(\psi_3,\theta_3,\phi_3)\cdot\gamma130+ \\ +\beta23(\psi_3,\theta_3,\phi_3)\cdot\gamma230+\gamma23(\psi_3,\theta_3)\cdot\gamma330) \end{array}\right)=0 \quad (46)$$

$$\left(\begin{array}{l} XG3+x34\cdot\alpha13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+y34\cdot\beta13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+ \\ +z34\cdot\gamma13(\psi_3,\theta_3,)_{...}-(XG4+x43\cdot\alpha14(\psi_4,\theta_4,\phi_4)+ \\ +y43\cdot\beta14(\psi_4,\theta_4,\phi_4)+z43\cdot\gamma13(\psi_4,\theta_4)) \end{array}\right)=0 \quad (47)$$

$$\left(\begin{array}{l} YG3+x34\cdot\alpha23(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+y34\cdot\beta23(\psi_3,\theta_3,\phi_3)+ \\ +z34\cdot\gamma23(\psi_3,\theta_3,)_{...}-(YG4+x43\cdot\alpha24(\psi_4,\theta_4,\phi_4)+ \\ +y43\cdot\beta24(\psi_4,\theta_4,\phi_4)+z43\cdot\gamma23(\psi_4,\theta_4)) \end{array}\right)=0 \quad (48)$$

$$\left(\begin{array}{l} ZG3+x34\cdot\alpha33(\theta_3,\phi_3)+y34\cdot\beta33(\theta_3,\phi_3)+ \\ +z34\cdot\gamma33(\theta_3)_{...}-(ZG4+x43\cdot\alpha34(\theta_4,\phi_4)+ \\ +y43\cdot\beta34(\theta_4,\phi_4)+z43\cdot\gamma34(\theta_4)) \end{array}\right)=0 \quad (49)$$

$$\left(\begin{array}{l} \alpha13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)\cdot\gamma130+\beta13(\psi_3,\theta_3,\phi_3)\cdot\gamma230+ \\ +\gamma13(\psi_3,\theta_3)\cdot\gamma330_{...}-(\alpha14(\psi_4,\theta_4,\phi_4)\cdot\gamma140+ \\ +\beta14(\psi_4,\theta_4,\phi_4)\cdot\gamma240+\gamma14(\psi_4,\theta_4)\cdot\gamma340) \end{array}\right)=0 \quad (50)$$

$$\left(\begin{array}{l}\alpha 23(\psi 3,\theta 3,\phi 3)\cdot\gamma 130+\beta 23(\psi 3,\theta 3,\phi 3)\cdot\gamma 230+\\+\gamma 23(\psi 3,\theta 3)\cdot\gamma 330...-(\alpha 24(\psi 4,\theta 4,\phi 4)\cdot\gamma 140+\\+\beta 24(\psi 4,\theta 4,\phi 4)\cdot\gamma 240+\gamma 24(\psi 4,\theta 4)\cdot\gamma 340)\end{array}\right)=0 \quad (51)$$

$$\left(\begin{array}{l}XG4+x41\cdot\alpha 14(\psi 4,\theta 4,\phi 4)+y41\cdot\beta 14(\psi 4,\theta 4,\phi 4)+\\+z41\cdot\gamma 14(\psi 4,\theta 4)...+a\cdot b114(\psi 4,\theta 4,\phi 4)-(XG1+\\+x14\cdot\alpha 110+y14\cdot\alpha 210+z14\cdot\alpha 310)\end{array}\right)=0 \quad (52)$$

$$\left(\begin{array}{l}YG4+x41\cdot\alpha 24(\psi 4,\theta 4,\phi 4)+y41\cdot\beta 24(\psi 4,\theta 4,\phi 4)+\\+z41\cdot\gamma 24(\psi 4,\theta 4)...-(YG1+x14\cdot\beta 110+\\+y14\cdot\beta 210+z14\cdot\beta 310)\end{array}\right)=0 \quad (53)$$

$$\left(\begin{array}{l}ZG4+x41\cdot\alpha 34(\theta 4,\phi 4)+y41\cdot\beta 34(\theta 4,\phi 4)+\\+z41\cdot\gamma 34(\theta 4)...-(ZG1+x14\cdot\gamma 110+\\+y14\cdot\gamma 210+z14\cdot\gamma 310)\end{array}\right)=0 \quad (54)$$

$$\alpha 14(\psi 4,\theta 4,\phi 4)\cdot\alpha 140+\beta 14(\psi 4,\theta 4,\phi 4)\cdot\alpha 240+$$
$$+\gamma 14(\psi 4,\theta 4)\cdot\alpha 340-b111=0 \quad (55)$$

$$\alpha 24(\psi 4,\theta 4,\phi 4)\cdot\alpha 140+\beta 24(\psi 4,\theta 4,\phi 4)\cdot\alpha 240+$$
$$+\gamma 24(\psi 4,\theta 4)\cdot\alpha 340-b211=0 \quad (56)$$

4. Következtetések

A dolgozat célja az alapelv részletes leírása és gyakorlati alkalmazásainak széleskörű ismertetése. Az eddig ismert módszerek közül a dolgozatban leírt kényszeregyenletek módszerével lehet a legkönnyebben, leggyorsabban és legpontosabban meghatározni a térmechanizmusok pozícióját..

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Maros, D.: *Calcule numerice la mecanismele plane.* Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1987.

[2] Papp I., Popa-Müller I.: *Karos mechanizmus kinematikai ellemzése kényszeregyenletekkel.* 1298 számú Kutatási szerződés a Sapientia Alapítvány Kutatási Programok Intézetével, 2005.

[3] Papp I., Popa-Müller I.: *Pozíció meghatározása kényszeregyenletek segítségével, általános transzformálás esetén.* Kutatási szerződés a Sapientia Alapítvány Kutatási Programok Intézetével, 2008.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 187–190. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.20
http://hdl.handle.net/10598/28538

TŰ- ÉS CÉRNARÁNGATÓ MECHANIZMUS SEBESSÉGÉNEK VIZSGÁLATA KÉNYSZEREGYENLETEK SEGÍTSÉGÉVEL

NEEDLE AND THREAD PULLING MECHANISM'S SPEED EXAMINATION WITH CONSTRAINT EQUATIONS

Popa-Müller Izolda[1], Papp István[2], Kakucs András[3]

[1]*SAPIENTIA-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Románia, Koronka, Segesvári út,1/C, Fax: 0265-206211, ipmuller@ms.sapientia.ro*

[2]*SAPIENTIA-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, pappistvan1944@yahoo.com*

[3]*SAPIENTIA-Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humán Tudományok Kar, Gépészmérnöki Tanszék, kakucs@ms.sapientia.ro*

Abstract

The aim of this theses or presentation is the definition of the general shape of the onstraint equations which are necessary to calculate the speed of the robot arm and the mechanisms and the presentation of their application. The speed is expressed in the form of constraint equations for the case when the axes $O_i^* Z_i^* = O_j^* Z_j^*$ are overlaped. After the derivation in time of the contraint equations of the position, the constraint equations of the speed are found after grouping the unknowns.

The programs written for the mechanisms speed determination are forming a linear system of equations.

Keywords: *kinematic pairs, constraints equations, the main axes of inertia, angular velocity*

Összefoglalás

A dolgozat célja a karos mechanizmusok és robotok sebességeinek kiszámításához szükséges kényszeregyenletek általános alakjainak meghatározása és alkalmazási lehetőségeinek bemutatása.

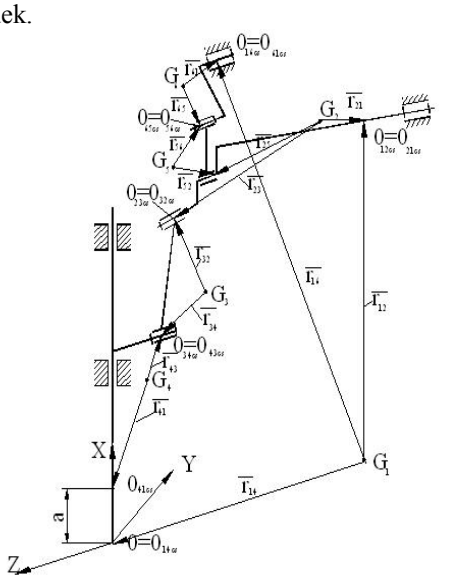
A sebesség kifejezett alakban írt kényszeregyenleteit a $O_i^* Z_i^* = O_j^* Z_j^*$ tengelyek egymásra tevésének esetére határoztuk meg. A sebesség kényszeregyenleteit a pozíciók kényszeregyenleteinek időfüggvényében való deriválása és a kifejezések az ismeretlenek szerinti csoportosítása után kaptuk meg.

A mechanizmusok sebességeinek meghatározására írt programok egyenletei lineáris rendszert alkotnak.

Kulcsszavak: *kinematikai párok, kötöttségek, kényszeregyenletek, tehetetlenségi főtengelyek, szögsebesség.*

1. Tű- és cérnarángató mechanizmus sebességének meghatározása

A gyorsvarrógép tűrúd és cérnarángató mechanizmusa: géptörzs (1), főtengely (2), hajtókar (3), tűrúd (4), cérnarángató (5) és a lengőkarból (6) tevődik össze. A mechanizmus tagjai egy választott XOY síkkal párhuzamos síkokban mozognak, amelynek síkmozgást végző tagjai az XOY síkra merőleges $O_i^* Z_i^*$ tengelyek körül fordulnak el. A sebesség meghatározására, akárcsak a pozíciók esetén, a gép törzséhez rögzített segédkoordináta-rendszert használunk [1]. A mechanizmus bármely tagjának súlypontjához viszonyított O_{ij}^* pontok koordinátái mindig állandók, amelyeket az r_{ij} vagy $r_{ij}I$ helyzetvektorokkal határoztunk meg, ezért az idő szerinti deriváltjaik mindig zéróértékűek.



1. ábra. *A tűrúd és cérnarángató mechanizmusa*

A segédrendszer helyzeteinek meghatározása a központi tehetelenségi főtengelyekhez képest ugyanaz, mint a pozíciók esetén.

2. A forgócsuklóval kapcsolt kinematikai pár sebességeinek kényszeregyenletei

A kényszeregyenletekkel kapcsolt kinematikai párok sebességeit a pozíciókhoz hasonlóan határoztuk meg, azzal a különbséggel, hogy ebben az esetben minden zárt vektorkontúrra egy-egy lineáris egyenletrendszer írható fel. Adataink és egyenleteink az [2], [3] és [4]-es kutatási eredményeinkre alapoznak.

Az $OZ \parallel O_i Z_i^*$ tengelyek körül elforduló tagok Euler-szögei közül csak a $\psi_i^*, \psi_j^*, \psi_i, \psi_j$ szögek változók. Az $OZ \parallel O_i Z_i^*$ tengelyek irányítényezői állandók, és deriváltjaik zérók.

$$b_{13i} = b_{13j} = 0$$
$$b_{33i} = b_{33j} = 1 \qquad (1)$$

A mechanizmus működése közben nem változnak a precessziós θ_i, θ_j és elfordulási szögek ϕ_i, ϕ_j.

$$\dot{\theta}_i = \dot{\phi}_i = \dot{\theta}_j = \dot{\phi}_j = 0 \qquad (2)$$

Forgócsuklóval kapcsolt kinematikai pár sebességeinek kényszeregyenlete:

$$\dot{X}_{Gi} - \dot{\psi}_i(x_{ij} \cdot \alpha_{2i} + y_{ij} \cdot \beta_{2i} + z_{ij} \cdot \gamma_{2i}) + \\ -\dot{X}_{Gj} + \dot{\psi}_j(x_{ji} \cdot \alpha_{2j} + y_{ji} \cdot \beta_{2j} + z_{ji} \cdot \gamma_{2j}) = 0 \qquad (3)$$

$$\dot{Y}_{Gi} - \dot{\psi}_i(x_{ij} \cdot \alpha_{1i} + y_{ij} \cdot \beta_{1i} + z_{ij} \cdot \gamma_{1i}) + \\ -\dot{Y}_{Gj} - \dot{\psi}_j(x_{ji} \cdot \alpha_{1j} + y_{ji} \cdot \beta_{1j} + z_{ji} \cdot \gamma_{1j}) = 0 \qquad (4)$$

3. Kényszeregyenletek a tű- és cérnarángató mechanizmus tagjai sebességeinek meghatározására

A mechanizmus egy síkban fekvő négyoldalú mechanizmusból és egy síkban fekvő hajtóműből tevődik össze.

Figyelembe véve, hogy a két mechanizmust ugyanaz a főtengely hajtja meg, a kettes tag ismeretlenjei mindkét rendszerben azonosak, ezért a két mechanizmus egyenleteiből alkotott rendszernek 13 ismeretlenje van, a tűrúd mechanizmusnak 7, a cérnarángatónak 6 ismeretlenje van.

Az ismeretlenek meghatározásához tizenhárom kényszeregyenletből alkotott rendszert írtunk fel kifejezett alakban.

A hat egyenletet a cérnarángató mechanizmusra felírt kényszeregyenletek alkotják.

A főtengely (2) és a cérnarángató (5) kinematikai pár kényszeregyenletei a következők:

$$\dot{X}_{G2} - \dot{\psi}_2(x_{25} \cdot \alpha_{25} + y_{25} \cdot \beta_{22} + z_{25} \cdot \gamma_{22}) - \dot{X}_{G5} + \dot{\psi}_5(x_{52} \cdot \alpha_{25} + y_{52} \cdot \beta_{25} + z_{52} \cdot \gamma_{25}) = 0 \qquad (5)$$

$$\dot{Y}_{G2} - \dot{\psi}_2(x_{25} \cdot \alpha_{12} + y_{25} \cdot \beta_{12} + z_{25} \cdot \gamma_{12}) - \dot{Y}_{G5} - \dot{\psi}_5(x_{52} \cdot \alpha_{15} + y_{52} \cdot \beta_{15} + z_{52} \cdot \gamma_{15}) = 0 \qquad (6)$$

A cérnarángató (5) és a lengőkar (6) kinematikai pár kényszeregyenletei :

$$\dot{X}_{G5} - \dot{\psi}_5(x_{56} \cdot \alpha_{25} + y_{56} \cdot \beta_{25} + z_{56} \cdot \gamma_{25}) - \dot{X}_{G6} + \dot{\psi}_6(x_{65} \cdot \alpha_{26} + y_{65} \cdot \beta_{26} + z_{65} \cdot \gamma_{26}) = 0 \qquad (7)$$

$$\dot{Y}_{G5} - \dot{\psi}_5(x_{56} \cdot \alpha_{15} + y_{56} \cdot \beta_{15} + z_{56} \cdot \gamma_{15}) - \dot{Y}_{G6} - \dot{\psi}_6(x_{65} \cdot \alpha_{16} + y_{65} \cdot \beta_{16} + z_{65} \cdot \gamma_{16}) = 0 \qquad (8)$$

A lengőkar (6) és a géptörzs (1) kinematikai pár kényszeregyenletei :

$$\dot{X}_{G6} - \dot{\psi}_6(x_{61} \cdot \alpha_{26} + y_{61} \cdot \beta_{26} + z_{61} \cdot \gamma_{26}) = 0 \qquad (9)$$

$$\dot{Y}_{G6} - \dot{\psi}_6(x_{61} \cdot \alpha_{16} + y_{61} \cdot \beta_{16} + z_{61} \cdot \gamma_{16}) = 0 \qquad (10)$$

A hét egyenletet a tűrúd mechanizmusra felírt kényszeregyenletek alkotják.

$$\dot{X}_{G2} = \dot{\psi}_2 \cdot (x_{21} \cdot \alpha_{22} + y_{21} \cdot \beta_{22} + z_{21} \cdot \gamma_{22}) \qquad (11)$$

$$\dot{Y}_{G2} = -\dot{\psi}_2 \cdot (x_{21} \cdot \alpha_{12} + y_{21} \cdot \beta_{12} + z_{21} \cdot \gamma_{12}) \qquad (12)$$

A főtengely (2) és a hajtókar (3) kinematikai pár kényszeregyenletei a következők:

$$\dot{X}_{G2} - \dot{\psi}_2(x_{23} \cdot \alpha_{22} + y_{23} \cdot \beta_{22} + z_{23} \cdot \gamma_{22}) - \dot{X}_{G3} + \dot{\psi}_3(x_{32} \cdot \alpha_{23} + y_{32} \cdot \beta_{23} + z_{32} \cdot \gamma_{23}) = 0 \qquad (13)$$

$$\dot{Y}_{G2} - \dot{\psi}_2(x_{23} \cdot \alpha_{12} + y_{23} \cdot \beta_{12} + z_{23} \cdot \gamma_{12}) - \dot{Y}_{G3} - \dot{\psi}_3(x_{32} \cdot \alpha_{13} + y_{32} \cdot \beta_{13} + z_{32} \cdot \gamma_{13}) = 0 \qquad (14)$$

A hajtókar (3) és a tűrúd (4) kinematikai pár kényszeregyenletei a következők:

$$\dot{X}_{G3} - \dot{\psi}_3(x_{34} \cdot \alpha_{23} + y_{34} \cdot \beta_{23} + z_{34} \cdot \gamma_{23}) - \dot{X}_{G4} = 0$$

$$\dot{Y}_{G3} - \dot{\psi}_3(x_{34} \cdot \alpha_{13} + y_{34} \cdot \beta_{13} + z_{34} \cdot \gamma_{13}) - \dot{Y}_{G4} = 0 \qquad (15)$$

A tűrúd (4) és a géptörzs (1) kinematikai pár kényszeregyenletei a következők:

$$\dot{X}_{G4} + \dot{a} \cdot b_{114} = 0 \qquad (16)$$

A mechanizmus ismeretlen paraméterei az oszlopmátrix értékei:

$$[Q_i]^T = (X_{G2}\ Y_{G2}\ X_{G3}\ Y_{G3}\ \psi_3\ a\ X_{G5}\ Y_{G5}\ \psi_5\ X_{G6}\ Y_{G6}\ \psi_6) \qquad (17)$$

A mechanizmus tagjainak sebességei:

$$[Q_i] = [A_{ij}]^{-1} \cdot [B_i] \qquad (18)$$

ahol [Aij] az ismeretlen együtthatóinak értékeit tartalmazó négyzetmátrixértékei meghatározhatók.

[Bi] a szabad tagokat tartalmazó oszlopmátrix tagjainak értékei:

$$b_1 = \dot{\psi}_2 \cdot (x_{21} \cdot \alpha_{22} + y_{21} \cdot \beta_{22} + z_{21} \cdot \gamma_{22})$$

$$b_2 = -\dot{\psi}_2 \cdot (x_{21} \cdot \alpha_{12} + y_{21} \cdot \beta_{12} + z_{21} \cdot \gamma_{12})$$

$$b_3 = \dot{\psi}_2 \cdot (x_{23} \cdot \alpha_{22} + y_{23} \cdot \beta_{22} + z_{23} \cdot \gamma_{22})$$

$$b_4 = -\dot{\psi}_2 \cdot (x_{23} \cdot \alpha_{12} + y_{23} \cdot \beta_{12} + z_{23} \cdot \gamma_{12})$$

$$b_5 = 0, b_6 = 0, b_7 = 0, b_8 = 0 \quad (19)$$

4. Következtetések

A kényszeregyenletek módszere széles körű alkalmazást ad a karos térmechanizmusok és robotok kinematikai és dinamikai vizsgálatában. A kényszeregyenletek módszerével lehet a legkönnyebben és legpontosabban meghatározni a térmechanizmusok tagjaihoz tartozó központi tehetetlenségi főtengelyek sebességét, szögsebességét mind a saját, mind egy külső rögzített koordináta-rendszerhez viszonyítva.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Maros D.: *Calcule numerice la mecanismele plane.* Ed. Dacia, Cluj-Napoca, 1987.

[2] Papp I., Popa-Müller I.: *Karos mechanizmus kinematikai ellemzése kényszeregyenletekkel.* 1298. számú Kutatási szerződés a Sapientia Alapítvány Kutatási Programok Intézetével, 2005.

[3] Papp I., Popa-Müller I.: *Karos mechanizmust alkotó tagok sebességeinek meghatározása kényszeregyenletek segítségével.* Kutatási szerződés a Sapientia Alapítvány Kutatási Programok Intézetével, 2006.

[4] Papp, I., Popa-Müller, I.,: *Pozíció meghatározása kényszeregyenletek segítségével, általános transzformálás esetén.* Kutatási szerződés a Sapientia Alapítvány Kutatási Programok Intézetével, 2008.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 191–198. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.21
http://hdl.handle.net/10598/28545

A TÉRINFORMATIKA ALKALMAZÁSA AZ EGYHÁZTÖRTÉNETI KUTATÁSOKBAN. ERDÉLYI UNITÁRIUS EGYHÁZKÖRÖK TÉRINFORMATIKA ALAPÚ TÖRTÉNETI ESEMÉNYREKONSTRUKCIÓJA

GIS USE IN CHURCH HISTORY. GIS BASED EVENT RECONSTRUCTION OF TRANSYLVANIAN UNITARIAN CHURCH HISTORY

Selinger Sándor

Budapesti Műszaki Egyetem (Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék), selinger.sandor@gmail.com

Abstract

The existence and activity of humankind have an effect on geographic space, thus it is easy to understand that geographic information has an important role in any decision regarding human activity. GIS methodology is used in those applications that study the geographical positioning of objects or events. It is also applicable in the spatial and timely study of the characteristics of a given church community. GIS methodology is used in church history research together with tools and methodologies from other disciplines to answer questions related to the geography of religion. Thus it may be easy to understand, as we have explained in a previous study, that the field of GIS can help us understand where, when, and why congregations and districts were formed in the Hungarian Unitarian Church in Transylvania.

***Keywords**: geographic information system, administrative districts, Unitarian congregations, Unitarian districts, Transylvanian Unitarian Church*

Összefoglalás

Dolgozatunkban az Erdélyi Unitárius Egyház térinformatika (GIS) alapú egyháztörténeti eseményrekonstrukciójával foglalkozunk. Az emberi lét és tevékenység hatással van a földrajzi értelemben vett térre, ezért érthető, hogy a földrajzi információnak igen nagy szerepe van bármilyen emberi tevékenységet érintő döntésben. A térinformatika módszereit a térrel foglalkozó azon tudományokban alkalmazzák, amelyek tárgyak vagy jelenségek térbeli elhelyezkedését, eseményeit vizsgálják. A térinformatika módszerei alkalmasak egy adott egyházi közösség tér- és időbeli szerkezeti sajátosságainak az elemzésére is. Az egyháztörténeti kutatások és elemzések irányába nyitó térinformatika a saját szempontból más diszciplínák eszközeit és módszereit is felhasználva próbál meg vallásföldrajzi kérdések megfogalmazására válaszokat adni. Így talán érthető, hogy a térinformatika szakterülete segíthet megérteni, hogy az egyháztörténeti kutatások során a Magyar Unitárius Egyház keretében Erdélyben *hol, mikor és miért* alakultak ki az egyes *egyházkörök, anya- és leányegyházak, szórványok*.

***Kulcsszavak:** térinformatika, közigazgatási beosztás, unitárius egyházközségek, unitárius egyházkörök, Erdélyi Unitárius Egyház*

1. Bevezető

Az emberi lét és tevékenység hatással van a földrajzi értelemben vett térre, ezért érthető, hogy a földrajzi információnak igen nagy szerepe van bármilyen emberi tevékenységet érintő döntésben.

A vallásföldrajz a Föld népességének vallási hovatartozásával, az egyes térségek, országok vallási viszonyaival, továbbá a természeti-társadalmi jelenségek és a vallási nézetek, szerveződések kapcsolataival, térségi problémáival foglalkozik.

Kijelenthető, hogy a vallási jelenségek, szerveződések, intézmények éppen úgy térhez, területhez kötődnek, mint minden más természeti-társadalmi jelenség, tevékenység.

A térinformatika módszereit a térrel foglalkozó azon tudományokban alkalmazzák, amelyek tárgyak vagy jelenségek térbeli elhelyezkedését, eseményeit vizsgálják. A térinformatika módszerei alkalmasak egy adott egyházi közösség tér- és időbeli szerkezeti sajátosságainak az elemzésére is.

Az egyháztörténeti kutatások és elemzések irányába nyitó térinformatika a saját szempontból más diszciplínák eszközeit és módszereit is felhasználva próbál meg vallásföldrajzi kérdések megfogalmazására válaszokat adni.

Első olvasatban talán úgy tűnik, hogy az egyháztörténeti események vizsgálatának a térinformatikához (térinformatikai adatgyűjtéshez) nem sok köze lehet. Valóban az egyháztörténeti eseményeket történeti források, speciális adatok (püspöki vizitációk jegyzőkönyvei, egyházközségi számadáskönyvek, anyakönyvek, egyházi adók, népszámlálási statisztikák) írják le. Ezekhez az adatokhoz, bizonyos forráskritika után, mindenképpen ragaszkodnunk kell. Bár ezzel lehet, hogy egy „ingoványosabb talajra” léphetünk, több buktatóval is találkozhatunk. Magyarország felekezeti megoszlásáról csak a 19. századtól kezdve rendelkezünk már elfogadhatóan pontos, hiteles adatokkal.

Azonban az egyre több, újabban előkerült forrásanyag, mely térképi elemekkel kibővítve már olyan nagy tömegű információhalmazt alkot, hogy a hagyományos eszközökkel abból rendszert alkotni nagyon nehéz. Ezekből az információkból kell megszerkeszteni a „lebutított” akár csak egyetlen szóra, évszámra szorítkozó adattár sorait, oszlopait. Ezért van különös jelentősége a térinformatikának, mert ez az „informatikus szemléletű lebutítás” teszi elemzésre alkalmassá a rendszert a különböző egyháztörténeti események vizsgálatára, vagy annak rekonstrukciójára.

Az egyháztörténeti eseményrekonstrukció alapinformációi nyilvánvalóan a történettudományokhoz kapcsolódó adatok. A térinformatika használatának az egyháztörténeti kutatásban nem az a célja, hogy más formában, egy digitális adatbázisban archiválja az adatokat, hanem annak a lehetősége, hogy ezeket az eseményeket térben és időben integrálva egy egységes geometriai alapra helyezze, és így végezze el az egységes elemzést. Jól definiált geometriai alaprendszer nélkül nem juthatunk el egy elfogadható eredményhez.

Így talán érthető, hogy a térinformatika szakterülete segíthet megérteni, hogy az egyháztörténeti kutatások során a Magyar Unitárius Egyház keretében Erdélyben hol, mikor és miért alakultak ki az egyes egyházkörök, anya- és leányegyházak, szórványok, ezt a lehetőséget már több korábbi tanulmányunkban kifejtettük [1, 2].

Vizsgálatunk alapja egy olyan térképsorozat, amelyik környezethű módon kell hogy tartalmazza a vizsgálandó idősík(ok) településszerkezetét, ill. azt, hogy az adott korszakban milyen volt Erdély közigazgatási beosztása, melyben kirajzolódik az unitárius egyház „térfoglaló vagy megtartó ereje”. Kutatásunkat csak olyan geometriai alapon szabad elvégeznünk, amelyik megegyezik a vizsgált idősíkok geometriai kör-

nyezetével. Ez a követelmény azért is fontos, mert az összefüggések keresése csak ebben a környezetben válnak hitelessé.

2. A térinformatikai adatbázis szerkezete

Az egyháztörténeti rekonstrukció során felmerülő kérdések és feladatok nagyon sok kiindulási információt, adatot igényelnek. Az egyháztörténeti adattárak, nyilvántartások döntő hányada még ma is a hagyományos kartonrendszerű vagy a legjobb esetben táblázatos nyilvántartási szöveges formátumban hozzáférhető adathalmazként jelennek meg.

Az egyháztörténeti adatbázisok digitális formában történő megjelenítése egyben az „egyetemes digitális kultúra" részét is jelentik, és véleményünk szerint kiterjedt formában, mindenki számára hozzáférhetően más módon nem is képzelhető el.

Az adatbázisok az „egyszerű" szöveghez képest jelentős érték- és tudástöbblettel rendelkeznek, ami annak köszönhető, hogy az adatbázisok logikai, illetve reláció szintű megalapozottságából adódóan egyértelműen és könnyen lehet újfajta szempontok szerint további információkhoz jutni egy adott tudástartományban. Az adatbázisok – előre meghatározott elvek és dimenziók mentén történő – rendezettsége adja azt a többletinformációt, ami miatt az egyháztörténeti események vizsgálatában is elengedhetetlen a digitális formában megjelenített adatbázisok használata. Az adatoknak egységes rendszerben történő feldolgozása lehetőséget nyújt komplex vizsgálatok elvégzésére. Az egységes – elsősorban geometriai – feldolgozásnak az eszköze a térinformatika.

A feldolgozás folyamatát úgy kell elképzelnünk, hogy egy térképi alaphoz egy vagy több táblázatot rendelünk, melynek adatai az eseményrekonstrukció szempontjából fontos információkat tartalmaznak (pl. az egykoron unitáriusok által is lakott településhez köthető anyakönyvi, népszámlálási adatok, egyéb statisztikák), ezeket a táblázatokat elemezzük, lekérdezzük, a térbe integráljuk, ami azt jelenti, hogy térképszerűen ábrázoljuk az összegyűjtött információkat és ezekből új összefüggések megállapítására is következtethetünk.

A cél egy olyan térinformatikai adatbázis (GIS) felépítése, mely az egyháztörténeti kutatások segítésére hivatott rendszerezett információhalmaz. A kérdés az, hogy ezzel az adatbázissal milyen feladatokat tudunk, akarunk megoldani [3].

A lényeg a következő: egy egységes, adott felbontású rendszerben kell integrálni minden olyan térképet, információt (szöveges és képiinformációt), amely szerepet játszik az egyháztörténeti események lokalizálásában. Tehát megpróbálunk helyes választ adni arra, hogy hol és mikor alakultak ki az egyes unitárius egyházközösségek, egyházkörök, ill. ezek egykori létezését a térképen nyomon követni. Az alkalmazott módszer azon a térinformatikai szemléleten alapul, amely a fizikai valóságból indul ki, ezt a valóságot magyarázza, és esetenként fizikai és geometriai alapelvek, műveletek segítségével megkísérli a múlt fizikai valóságát elméletben rekonstruálni.

Megállapítható, hogy az eseményrekonstrukció során a térinformatika az eszköz, az egyháztörténet a témafelvető, a vallásföldrajz pedig az elemző szempont.

Térinformatikai szempontból ehhez legelőször meg kell jelölni azt az objektumot (vagy jelenséget), amelyik az esetleges elemzésnél az alapvető, sem geometriailag, sem a tulajdonságait tekintve tovább nem osztható ismérvekkel rendelkezik. Ezt az elemi objektumot entitásnak nevezzük. Az entitás jelentősége abban áll, hogy meghatározhatja a későbbi feldolgozás, kiértékelés lehetőségeit, az egyháztörténeti kutatásokban végzett elemzések támogatásának alapegységét. Minden esetben mérlegelés tárgya ennek az alapegységnek a térinformatikai jellegű lehetőségei és kapcsolatrendszerei.

A mi esetünkben az entitás maga az unitárius egyházköri település vagy egykoron unitáriusok által is lakott település, melyhez egyszerűen kapcsolható egy „térkörnyezeti” információhalmaz, amit a GIS kezelni tud.

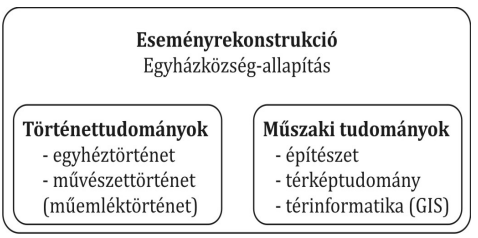
Legfontosabb feladat az úgynevezett attribútumtábla összeállítása. Ez egy az adatbázisoknál alapesetben használatos táblázat, amely tartalmazza mindazokat az adatokat, amelyek fontosak lehetnek az elemzésnél. A táblázat adatainak segítségével térbeli és tulajdonságszinten elemzéseket, műveleteket lehet elvégezni, illetve összefüggéseket keresni. Az attribútumtáblázat elemeinek összeállítása tehát nagyon fontos, mivel a GIS-funkciók csak ennek segítségével alkalmazhatók hatékonyan.

Adott térinformatikai rendszerhez még szöveges adatok is kapcsolhatók, melyekben akár az adott településhez kapcsolódó egész levéltári anyagot is tárolhatjuk. Azonban ezek a szövegek nem alkalmasak műveletek végzésére, de belőlük a településre vonatkozó bármilyen adat kiolvasható. Hasonlóképpen járhatunk el a településre vonatkozó képekkel és egyéb birtokadatokkal is.

Egy térinformatika alapú egyháztörténeti adattár esetében az adatok és adatkörök fogalmi köre jól definiált, és a mi esetünkben a földrajzi tér – Erdély – is jól meghatározott. Ezen túlmenően a létrehozott térinformatikai adatbázis segítségével a modellezés eszközeit is felhasználva logikai műveletekkel mintegy „lejátszhatóvá” tehetők azok a folyamatok, melyek a Magyar Unitárius Egyház keretében Erdélyben az elmúlt 450 évben egyháztörténeti szempontból végbemehettek. A cél az unitárius tanok térbeli, földrajzi értelemben vett elterjedésének, ill. visszaszorulásának térinformatikai eszközök segítségével történő vizsgálata, azaz az egyes idősíkokban megrajzolni az unitárius egyházkörök, egyházközösségek térképét.

Hangsúlyozni szeretnénk, hogy a kialakítandó adatbázis tér-idő szerkezete nem azt jelenti, hogy egy mástípusú, új adatgyűjtésre lenne szükség. Ebben a szerkezetben az unitárius egyház különböző levéltári, könyvtári, ill. internetes forrásokban jelenleg megtalálható egyháztörténeti eseményeit, adatait rögzítjük. De a nagy kérdés igazából az, hogy az adatbázis alapja milyen eszmetörténeti, történeti kutatásokra, ismérvekre épüljön, és hogy a vallásváltás leírása milyen adatokból derül ki. Hogyan lehet ezt rekonstruálni?

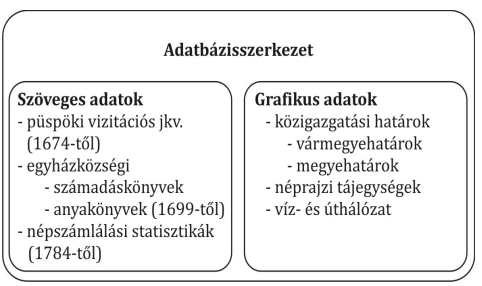
A rekonstrukció során több tudományterület, történet- és műszaki tudományok adatainak az integrálására van szükség (**1. ábra**).



1. ábra. *Történet- és műszaki tudományok adatainak integrálása*

A történelmi adatok esetében azonban az egységes homogén szemlélet megvalósítása nem mindig sikerül. De találkozhatunk olyan esettel is, amikor egyszerűen „nincs adat”.

Az adatbázisszerkezet szöveges és grafikus adatait a **2. ábrá**n jelölt elemek adják.



2. ábra. *Adatbázis-szerkezet elemei*

A térinformatikai rendszerben integrálandó adatokat célszerű táblázatos formákban ún. attribútumtáblázatban (**3.ábra**) összegezni. Ezekben a táblázatokban egyrészt az adott településen létrejövő, megmaradó, ill. megszűnt egyházközségek adatai, története, másrészt a megjelölt településeken található egyházi tulajdont képező épített örökségnek az adatai (templomok, haranglábak, lelkészi lak, iskolák-tanodák, nyomdák, kórházak-ispotályok) műemléki adatbázisokban szokásos leírásoknak megfelelően kerülnek felsorolásra (**4. ábra**).

Település neve (mai és régebbi)	Egyházközség alapításának éve	Templom építésének („birtokbavételének", elvételének), új templom építésének ideje	Leányegyház	Szórvány	Megszűnés ideje

3. ábra. *Attribútumtáblázat*

Egyházközség, település neve (mai és régebbi)	Műemlék száma, hsz.	Műemlék típusa	Műemlék stílusa	Műemlék építésének ideje	Renoválások, változtatások időpontjai	Rövid építészeti leírás	Fotók

4. ábra. *Egyházi épített örökség adatai*

A térinformatikai adatbázist egy folyamatábra mentén építettük fel, ennek egyik fontos eleme az a feltételes elágazás, lekérdezés, mely lehetővé teszi, hogy a történeti adatoktól függően többféle irányban is folytatódjék az egykori unitárius egyházközséggel rendelkező települések keresési eljárása.

A feltételes elágazás vagy lekérdezés során, ha az állított feltevés igaz, akkor az IGAZ [I] ágon, ha a feltevés hamis, akkor a NEM [N] ágon kell továbbhaladni. A rombusz belsejébe egy egyértelműen eldönthető logikai kifejezést, feltételt írtunk.

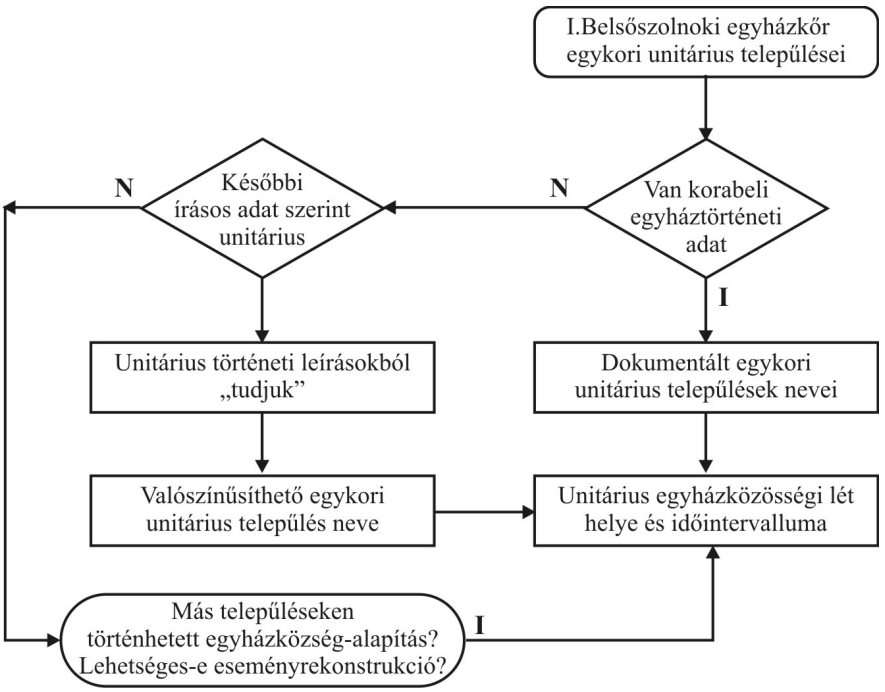
A megjelölt történeti időpontok a térinformatikai adatbázisban szakadatként szerepelnek. A hozzájuk kötött esemény, az egyházközségi lét és annak földrajzi helye, az adott időponttal rendelkező állapotra vonatkozik.

Az alábbi folyamatábra (**5. ábra**) segítségével az általunk javasolt egyháztörténeti eseményrekonstrukció folyamatát ábrázoljuk. Az egyháztörténeti alapadatok feldolgozása után a megszerkesztett egységes tematikus térképrendszereken az egyes létező unitárius települések, egyházközségek az adott idősíkokhoz kapcsolhatóan megjelölhetők.

Ez azt jelenti, hogy ugyanolyan jelkulccsal, egybevágó geometriával elkészített térképeken megjelöljük a dokumentáltan vagy valószínűsíthetően unitárius egyházközséggel rendelkező településeket.

A térinformatikai adatbázisban található településeket két síkban ábrázoljuk. Az egyik síkon azokat a településeket ábrázol-

tuk, amelyek esetében valamilyen szinten dokumentált adatokat találtunk az eklézsia létezését illetően. A másik síkon pedig azokat a településeket, amelyek esetében az egyes unitárius egyháztörténeti leírásokból csak „tudjuk”, hogy egykoron létezett unitárius egyházközség, de a létezést igazoló időintervallumra utaló adatot eddig nem találtunk. Ezek a síkok egymásra vetíthetők, így a településkataszterben eddig felvett unitárius eklézsiával rendelkező települések egy szelvényen is megjeleníthetők.



5. ábra. *Egykori unitárius települések meghatározásának folyamatábrája*

3. Eredmények

Jelen dolgozatunkban, a Tőzsér–Uzoni-féle egyháztörténetben [4] szereplő első unitárius egyházkörrel, a XVI. sz. elején alkotott közigazgatási beosztás szerinti Belsőszolnok vármegyei egyházkörrel foglalkozunk. Ezen egyházkör települései többségükben már az 1568–1570. években unitáriusokká lettek, így a XVI. században népes unitárius egyházkört alkotott.

Annak ellenére, hogy a települések döntő hányadában a keletkezés pontos időpontja nem ismeretes, mégis általánosan elfogadott az a megállapítás, hogy az 1570-es évek elejére az új, unitárius vallásfelekezet a legtöbb erdélyi magyarlakta faluban és városban otthonra talált.

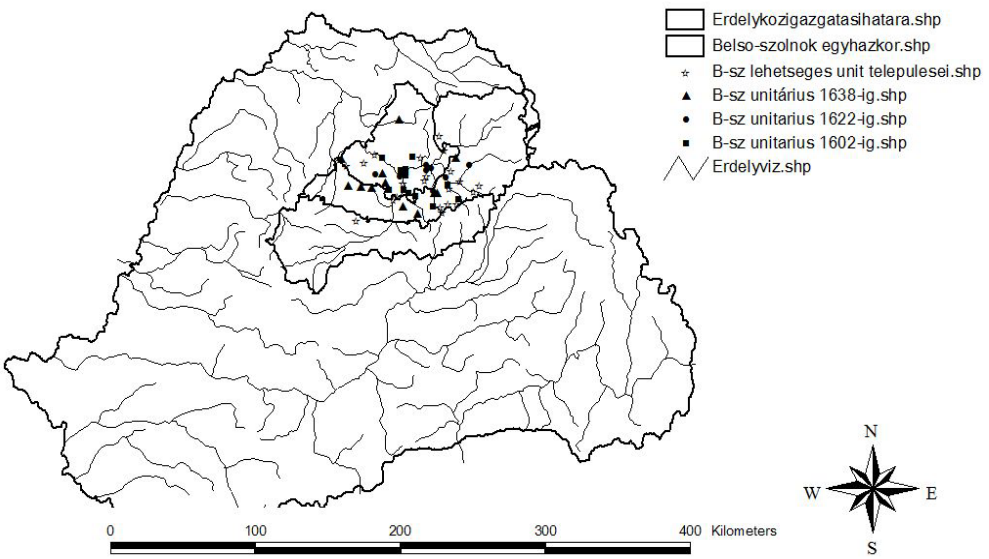
Az általunk megszerkesztett térképrendszeren – geometriai alapul Erdély ún. magyarországi EOV-vetületű (EOV – Egységes Országos Vetületi) térképét használtuk fel – érzékelhető az unitárius egyház térfoglaló vagy megtartó erejének térbeli terjeszkedése, ill. csökkenése a XVI. század második felében és XVII. század első felében Belsőszolnok és Doboka vármegyék terüle-

tén elterülő a Belsőszolnok egyházkör esetében.

A feladat választ adni arra, hogy térben és időben hogyan változtak az Unitárius Egyház terjedési határai, egyházköreinek száma, és alakult ki mára a 110 anya-, 7 társ-, 3 szórvány-, 37 leány-, és 29 szórványegyházközség.

Tanulmányunkban az egyháztörténeti források alapján megállapítható, hogy a térinformatikai alapú településkataszterben felvett és a térképen ábrázolt 75 településből 54 település esetében konkrét utalást találtunk a XVI. században létrejött unitárius egyközségekről és ezek létezésének időintervallumáról. Azonban az unitárius történeti leírásokból kikövetkeztethető, ún. „tudjuk" kategóriába sorolható 21 település esetében semmilyen konkrét időpontra nem találtunk utalást, tehát az egyházközség léte csak valószínűsíthető [3]. Az egykori unitárius egyházközösségek léte az általunk eddig felhasznált irodalmi adatok szerint három jól elkülöníthető időintervallumra korlátozódik, az 1571–1602, 1571–1622 és az 1571–1638 időintervallumokra, melyek jól ábrázolhatók a térképen is (**6. ábra.**).

Megállapíthatjuk, hogy a „teljes" településkataszter felépítése további egyháztörténeti kutatások nélkül nem képzelhető el.



6. ábra. *A Belsőszolnok vármegyei egyházkör egykori unitárius települései*

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Selinger S.: *Erdélyi unitárius egyházkörök térinformatika alapú történeti adatbázisa*. KerMagv 2011/4, p. 444.

[2] Selinger S.: *Erdélyi unitárius egyházkörök térinformatika alapú történeti eseményrekonstrukciója és adatbázisszerkezete*. KerMagv 2012/4, p.338.

[3] Selinger S.: *Egykori Belsőszolnoki unitárius egyházkör és településeinek térinformatika alapú adatbázisa.* KerMagv 2014/1, p.38.

[4] Kenosi Tőzsér J., Uzoni Fosztó I.: *Az unitárius egyház története*, Az Erdélyi Unitárius Egyház Gyűjtőlevéltárának és Nagykönyvtárának kiadványai 4/1. Kolozsvár, 2005.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 199–206. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.22
http://hdl.handle.net/10598/28539

MECHANIKAI ÉRZÉKELŐ NÉLKÜLI KALICKÁS INDUKCIÓS MOTOR KETTŐS MEZŐORIENTÁCIÓS SZABÁLYOZÁSÁNAK IMPLEMENTÁCIÓJA

IMPLEMENTATION OF THE DOUBLE FIELD-ORIENTED CONTROL STRUCTURE FOR SENSORLESS CAGE INDUCTION MOTOR

Szabó Csaba[1], Imecs Mária[2], Szőke sz. Benk Enikő[3], Incze János Jób[4]

Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Románia, Kolozsvár, Romania, 400114, Kolozsvár/Cluj-Napoca, Str. Memorandumului Nr. 28.
[1] csaba.szabo@emd.utcluj.ro, [2] maria.imecs@emd.utcluj.ro,
[3] eniko.szoke@emd.utcluj.ro, [4] ioan.incze@emd.utcluj.ro

Abstract

The paper presents a mechanical sensorless vector control system for cage induction motor with double field orientation with focus on the rotor parameter independence regarding both the computation of the control variables and the speed identification procedure. The induction motor is fed by a voltage controlled pulse-width-modulated voltage-source IGBT inverter. The reference rotor speed is generated by a torque controller in the feedback of the active control loop, as a consequence the rotor-parameter dependence is eliminated in the feedback loop. The same aim is followed by the applied direct field-orientation procedure, based on the integration of the stator-voltage equation, avoiding the slip compensation in the identification of the orientation-flux position angle. The rotor-parameter independence in the computation of the control variables is realized by the double field-orientation procedure. The practical implementation was performed on an experimental rig controlled by a dSPACE DS1104 controller card.

Keywords: *Vector Control, Pulse-Width Modulation (PWM), Voltage-Source Inverter (VSI), Static Frequency Converter*

Összefoglalás

A dolgozat egy mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motor kettős mezőorientációs szabályozásának a gyakorlati implementációját mutatja be. A hajtómotor betáplálása nyílt hurkú feszültség típusú impulzusszélesség-modulációval (ISzM) vezérelt IGBT-s feszültségforrás jellegű váltóirányítóról történik. A mechanikai érzékelő nélküli struktúrában a sebességvisszacsatolási jelet egy kaszkádkapcsolású nyomatékszabályozó generálja, mellyel elkerülhető a rotorparaméter-függőség. Ugyancsak ezt a célt szolgálja a direkt mezőorientáció, mely az alkalmazott fluxusidentifikációs eljárásnak köszönhető. Ez az állórész feszültségegyenletének az integrálásán alapul, és mellőzi a csúszáskompenzálást az orientációs fluxus pozíciószögének az identifikációjában. A vezérlési ágban a rotorparaméter-függőséget a kettős mezőorientációval küszöböljük ki. A gyakorlati implementációt a dSPACE cég által kifejlesztett DS1104 típusú személyi számítógépbe illesztett vezérlőkártya segítségével hajtottuk végre.

Kulcsszavak: *vektoriális szabályozás, impulzusszélesség-moduláció, feszültséginverter, sztatikus frekvenciaváltó.*

1. Bevezető

A kalickás indukciós motor (KIM) mechanikai (sebesség-) érzékelő nélküli (MÉN) úgynevezett „*sensorless*" rendszereinél alkalmazott eddig ismert technikák – mint a nyílt hurkú becslők, a referenciamodell alapú adaptív rendszerek (MRAS – „*Model reference Adaptive Systems*"), a Luenberger-megfigyelők, a Kálmán-szűrős eljárások stb. – hátrányai között elsősorban a leszűkített sebességtartományt és a nagy szoftverszámítási igényt sorolják fel. Az ipari alkalmazások terén mindezek a hátrányok korlátozzák a MÉN-rendszerek felhasználhatóságát. Ha nem túl igényes sebességszabályozásra van szükség, akkor ez megoldható egyszerűbb rendszerekkel, viszont így számolnunk kell a rotorparaméter-függőséggel.

Ezen paraméterek identifikációja bonyolult és nagy számítási kapacitást igényel, ugyanakkor ezeknek az értéke (főleg a rotorellenállás) változik a működési hőmérséklet függvényében [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8].

Ismerve a kettős mezőorientáció (2MO) alkalmazási lehetőségeit és előnyeit [9], [10], [11], [12], alkalmazása a MÉN-KIM szabályozási rendszereknél is rotorparaméter-független struktúrákhoz vezethet [13]. Ugyancsak a 2MO-s eljárásnak köszönhetően a rendszer kisebb számítási kapacitás (ami az állórészfeszültség mint szabályozási mennyiség számolását illeti) mellett jobb dinamikát és stabilitást, valamint nagyobb túlterhelőséget biztosít.

2. A kettős mezőorientációs sebesség-érzékelő nélküli hajtás

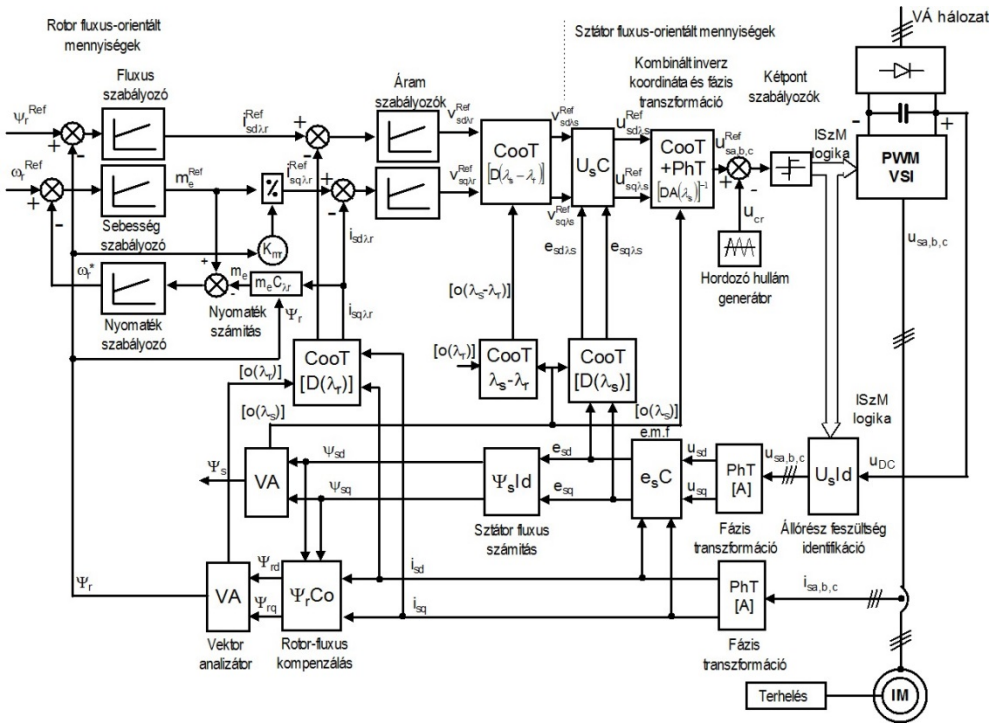
Kutatásaink során a számítógépes szimulációk, illetve a próbapadi implementációk alkalmával nyert eredmények folyamatos kiértékelése eredményeképpen a bemutatott struktúrák fokozatosan módosultak, ugyanakkor nem veszítve szem elől mindazokat a fontosabb elemeket, amelyek a KIM-2MO-ra, illetve az alkalmazott sebesség identifikációs módszerre vonatkoznak. Ennek tükrében megmaradt a rotorfluxus-szabályozás (RFSz), mely jó dinamikus viselkedést és működési stabilitást kölcsönöz a hajtásnak, míg az váltóirányító vezérléséhez szükséges állórészfeszültség számítását, állórész-mezőorientációban végezzük, ami rotorparaméter-függetlenséget biztosít.

A gyakorlatilag implementált rendszer az [6], [7], [8]-ban került bemutatásra. Legelső próbálkozásaink során a két (azaz az aktív, illetve a reaktív) áramösszetevő-szabályozó állórészfluxus szerint orientált koordináta-rendszerben működik [4], [5], [10], [11], [12], [13], [14].

A legújabb eredmények azt bizonyították, hogy tranziens folyamatok során (úgymint az indítás vagy a gyors irányváltás), amennyiben ezek az áramszabályozók rotormező-orientált koordináta-rendszerben dolgoznak, a rendszer viselkedése feljavul [6], [7], [8]. Ugyancsak ennek köszönhetően, a sebességidentifikációt szintén a rotormező-orientált állórészáram aktív összetevőjének a szabályozójával valósítottuk meg [4], [6], [7], [14], ahogyan az már előzőleg közlésre került [15], [16]. Az áramszabályozó helyett alkalmazhatunk nyomatékszabályozót is [3], [5].

Az a megoldás, amelynek során a sebességszabályozáshoz szükséges visszacsatoló jelet egy, a sebességszabályozóval kaszkádban kapcsolt áram- vagy nyomatékszabályozóval generáljuk, kiküszöböli a visszacsatolásban a sebesség effektív számolását, és lehetővé teszi a rotorparaméter-függetlenség elérhetőségét [3], [4], [5], [6].

Az **1. ábrán** látható a MÉN-KIM-os hajtásra alkalmazott, az általunk kifejlesztett 2MO-n alapuló vektoriális szabályozási struktúra.



1. ábra. *Sebességérzékelő nélküli indukciós motor (IM) kettős mezőorientációs szabályozása kaszkádban kapcsolt nyomatékszabályozóval generált sebességvisszacsatolással*

A KIM-et egyenáramú közbensőkörös statikus frekvenciaváltóról tápláljuk, melynek a nyílt hurkú impulzusszélességmodulációs feszültség típusú váltóirányítója (PWM-VSI – „*Pulse-Width Modulation Voltage-Source Inverter*”) a hajtás beavatkozó eszköze. A sebességszabályozáshoz szükséges visszacsatolási értéket egy kaszkádban kapcsolt nyomatékszabályozó generálja rotor-fluxus szerinti mezőorientációban [7], [8], hasonlóképpen, mint az [5]-ben.

A sebességszabályozó kimenetén az aktív szabályozási hurokban az m_e^{Ref} nyomatékreferenciát generáljuk, mely a becsült ω_r^* rotorszögsebességet előállító nyomatékszabályozó alapjeleként is szolgál. A szabályozó visszacsatoló m_e elektromágneses nyomatékot az $m_eC_{\lambda r}$ blokkban a következő összefüggés alapján számítjuk ki:

$$m_e = k_{Mr}\Psi_r i_{rq\lambda_r} \qquad (1)$$

ahol k_{Mr} a nyomatékkoefficiens [16], [17].

Az sebességhurokban az állórész-áram szabályozó rotorfluxus-orientált aktív áram alapjelet a következő összefüggés alapján számoljuk:

$$i_{rq\lambda_r}^{Ref} = \frac{m_e^{Ref}}{k_{Mr}\Psi_r} \qquad (2)$$

Mivel a vezérlési ágban a nyomatékszabályozó hiányzik (helyette egyszerűen osztással nyerjük az aktív áram alapjelét), a struktúra úgynevezett közvetlen (indirekt) nyomatékszabályozást biztosít.

A sztátorfluxus identifikációja az elektromotoros feszültség integrálása révén történik, ami direkt mezőorientációhoz vezet, kiküszöbölve a csúszáskompenzálást a visszacsatolási hurokban [18], [19].

Ami újítást ez a szabályozási struktúra az eddigiekhez képest hoz, az a szátoráramösszetevők szabályozására vonatkozik, melyet rotorfluxus-orientációs koordinátarendszerben végzünk (sztátorfluxus szerinti orientáció helyett). Ezzel a struktúrával, változó terhelő nyomaték esetén, a hajtás viselkedésének a feljavítása érhető el.

3. Implementációs eredmények

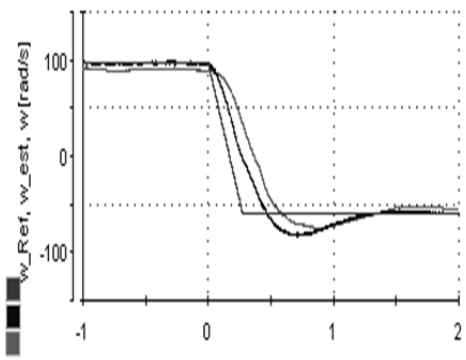
A KIM-et tápláló PWM-VSI (**1. ábra**) váltóirányító vezérlését egy DANFOSS gyártmányú, VLT5004 típusú ipari frekvenciaváltó módosításával tettük hozzáférhetővé. Az IGBT-s feszültségforrás jellegű váltóirányító vezérlőjeleit egy, a dSPACE cég által gyors folyamatok vezérlésére kifejlesztett, DS1104 típusú személyi számítógépbe illesztett vezérlőkártya processzora generálja.

A kártyát támogató Matlab-Simulink® szoftverre szükség van a fejlesztési munka minden fázisában, a számítógépes szimulációtól elkezdve, az implementációs eljárás kivitelezésében, egészen a mért adatok kiértékeléséig [7], [8].

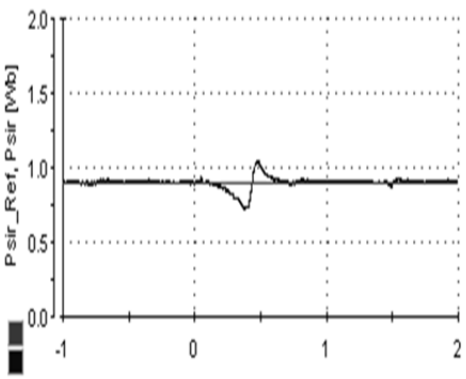
Az alkalmazott 1LA7-106 4AA10 típusú SIEMENS gyártmányú indukciós motor névleges adatai: P_{tN}=2,2kW, U_{sN}=230/400V^{eff}, I_{sN}=8,2/4,7A^{eff}, f_N=50Hz, n_N=1420 ford/perc. A névleges munkapontra számított értékek: az elektromágneses nyomaték m_{eN}=15Nm és az alapjelek: ω_{rN}=297 rad/s villamos szögsebesség, valamint a rotorfluxus amplitúdója Ψ_{rN}=0.9 Wb [5], [6], [7], [8], [11], [13].

A **2-13 ábrá**kon látható implementációs eredmények egy, állandósul állapotból történő forgásirányváltás folyamatát mutatják be, ami 100 rad/s szögsebességről –60 rad/s-ra enyhe m_L=2Nm nyomatékterhelés alatt történik (az időbeli diagramokon a 0s-ban). Ahogyan a **2. ábra** diagramján látható, a becsült sebességérték (a középső görbének felel meg) megelőzi a mért sebességértéket.

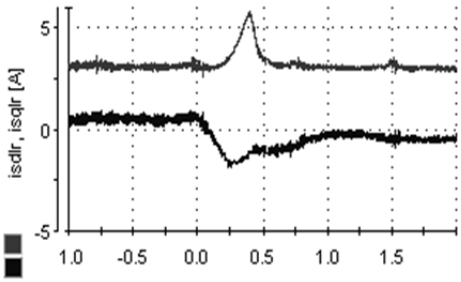
Az előírt rotorfluxus alapjel a névleges értéken állandó marad. Az irányváltás folyamán az identifikált aktuális rotorfluxus értékén megfigyelhető lüktetés abban az időszakaszban jelentkezik, amikor a motor nagyon alacsony sebességen működik, következésképpen ekkor az elektromotoros feszültség is nulla felé tart.



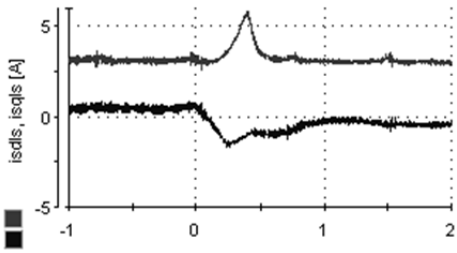
2. ábra. *Az előírt* (w_Ref)*, a becsült* (w_est)*, illetve a mért* (w) *szögsebességek (az **1. ábrán** ω_r jelöléssel) időbeli változása*



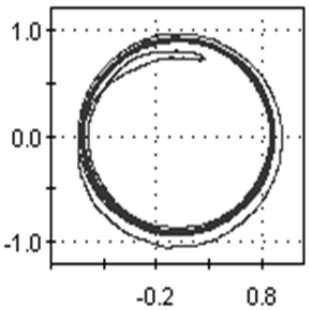
3. ábra. *Az előírt állandó értékű alapjel* (Psir_Ref, *az **1. ábrán** Ψ_r) és az aktuális rotorfluxus* (Psir) *amplitúdójának időbeli változása*



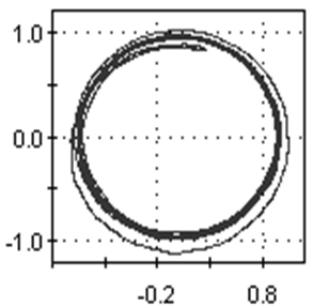
4. ábra. *A sztátoráram* (isdlr a felső, isqlr az alsó diagram) *rotormező-orientált kétfázisú összetevőinek (az* ***1. ábrán*** *$d\lambda_r$-$q\lambda_r$ jelöléssel) időbeli változása*



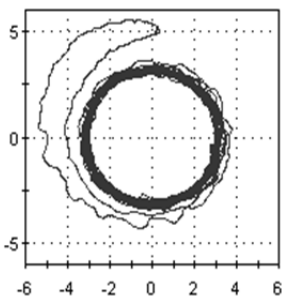
5. ábra. *A sztátoráram* (isdls a felső, isqls az alsó diagram) *sztátormező-orientált kétfázisú összetevőinek (az* ***1. ábrán*** *$d\lambda_s$-$q\lambda_s$ jelöléssel) időbeli változása*



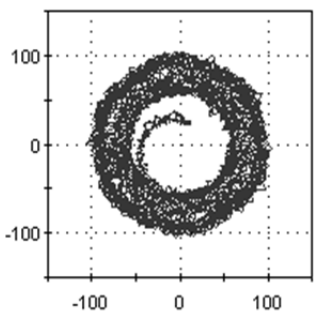
6. ábra. *A rotorfluxus térfázordiagramja*



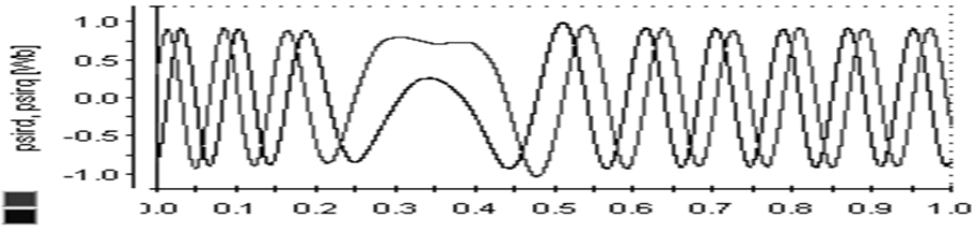
7. ábra. *A sztátorfluxus térfázordiagramja*



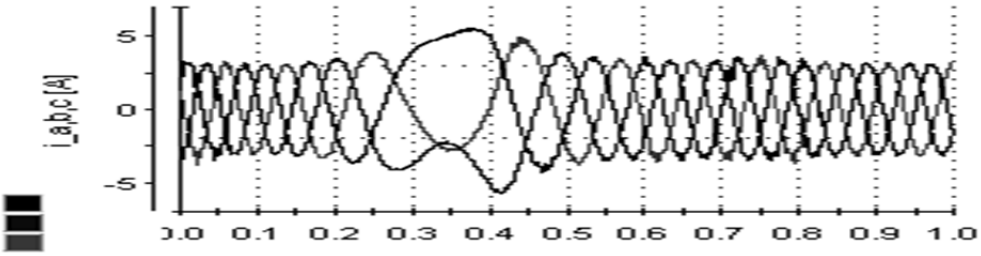
8. ábra. *Az sztátoráram térfázordiagramja*



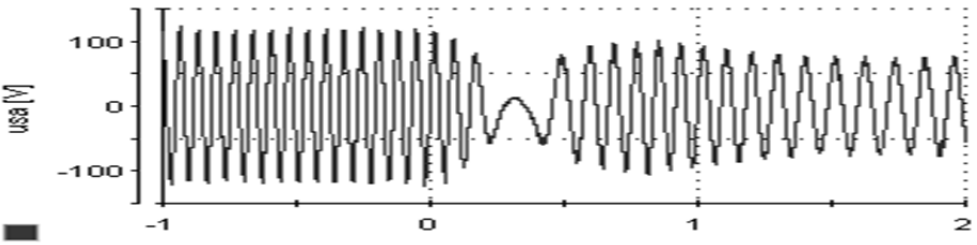
9. ábra. *Az sztátorfeszültség térfázordiagramja*



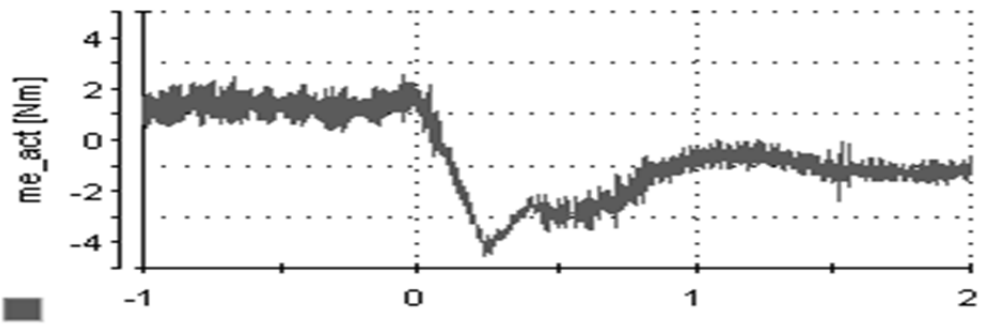
10. ábra. *A* Ψ_r *rotorfluxus sztátororientált kétfázisú* d-q *összetevőinek időbeli lefolyása*



11. ábra. *Az állórész három fázisáramának* (i_a,b,c) *időbeli lefolyása*



12. ábra. *Az állórészfeszültség időbeli lefolyása az „a” fázisban*



13. ábra. *Az elektromágneses nyomaték időbeli változása*

A MÉN-rendszerek azon ismert hátránya, miszerint alacsony sebességen a struktúrában azonosított sebességértékek kevésbé megbízhatóak, az alkalmazott fluxusidentifikációs módszernek is tulajdonítható, mely az elektromotoros feszültség integrálásán alapszik.

A dinamikus viselkedést illetően az eredmények kielégítőek. A közvetett nyomatékszabályozásnak köszönhetően a forgásirányváltás pillanatában, amikor az indukciós motor fékező üzemmódba kerül, az áramerősség, illetve nyomaték értékeket sikerült megfelelő korlátok között tartani.

Többszöri kísérletezés után az eredmények azt mutatták, hogy a hajtás dinamikája és robusztussága tovább növelhető, amenynyiben az aktív ágon lévő áramszabályozót adaptív szabályozóval helyettesítjük.

Az adaptív jellegét a klasszikus PI-szabályozónak a K_I integráló tag valós időben történő újrahangolása adhatja meg.

4. Következtetések

A dolgozatban bemutatott mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motoros hajtás sebesség-visszacsatolási jelét a sebességszabályozóval kaszkádba kapcsolt nyomatékszabályozó generálja, mellyel a visszacsatolási ágon kiküszöbölhető a rotorparaméter-függő számítások nagy része. A többi számítás rotorparaméter-függőségét az alkalmazott fluxusidentifikációs módszernek köszönhetően a direkt (közvetlen) mezőorientációval küszöböltük ki, mint ahogyan a [3]-ban volt javasolva az addig alkalmazott indirekt (közvetett) csúszáskompenzáláson alapuló forgómező-sebesség számolása helyett [5], [14], [15], [16].

A kettős mezőorientáción alapuló szabályozási struktúra rotorparaméter-függetlenséget biztosít váltó-irányító vezérléséhez szükséges állórészfeszültség alapjeleinek a számításhoz.

Az újított struktúra szerint az állórészáram szabályozása sztátormező-orientált összetevők helyett rotormező-orientált összetevőkkel történik, ami megnöveli a hajtásrendszer dinamikáját és stabilitását nyomatékperturbációk esetén.

Amennyiben a klasszikus PI jellegű szabályozót részben adaptív szabályozóval helyettesítjük (csupán az integráló tag adaptálásával) a rendszer jobb viselkedést mutat a referenciasebesség változtatásakor, illetve a terhelőnyomaték által okozott perturbációk esetén.

Ha a sebességszabályozó kimenetén nem közvetlenül az aktív sztátoráramösszetevő alapjelét generáljuk, hanem az elekromágneses nyomatékét, akkor ebből a rotorfluxus segítségével egy egyszerű osztással az előbb említett aktív áramösszetevő számolható. Ezzel az eljárással a szabályozási struktúrának közvetett (indirekt) nyomatékszabályozást biztosítunk.

Amennyiben a motor nyomatékát pontosabban szeretnénk szabályozni, az aktív áramösszetevőt egy nyomatékszabályozó segítségével állíthatjuk elő (direkt/közvetlen nyomatékszabályozás). Ez esetben megnő a szabályozási struktúra komplexitása, és ennek következtében a számítási igény is, mely kritikus tényező lehet a próbapadi implementáció során.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Vas P.: *Sensorless Vector and Direct Torque Control.* New York, Oxford University Press, ISBN: 978 0198564652, 1998.

[2] Holtz J.: *Sensorless Control of Induction Motors*. Proceedings of the IEEE, Vol.90, No.8, Aug. 2002, pp.1358–1394.

[3] Imecs M.: *Kettős mezőorientációs szabályozási struktúra mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motoros hajtás részére*. XIV. Műszaki Tudományos Ülésszak MTÜ 2013, Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományos Szakosztálya, Kolozsvár, 2013. Nov. 23, e-Book, pp. 69–80, ISBN: 978-606-8178-80-6, http://hdl.handle.net/10598/28082.

[4] Imecs, M.; Szabó, Cs.; Szőke Benk, E.; Incze, I. I.: *Mechanikai érzékelő nélküli kalickás indukciós motor kettős mezőorientációs szabályozási struktúrájának szimulációja*, XIX. FMTÜ Nemzetközi Tudományos Konferencia, Műszaki Tudományos Füzetek, Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa, Kolozsvár, 2014, pp. 213-216, ISSN 2067-6 808, http://eda.eme.ro/handle/10598/28186.

[5] Negrea, C. A.: *Identificarea poziției și vitezei în acționări cu motor de inducție* (*Position and Speed Identification in Induction Motor Drives*), Doktori tézis, Kolozsvári Műszaki Egyetem, 2014.

[6] Szőke Benk, E.: *Implementarea structurii de reglare vectorială a mașinii de inducție fără senzor mecanic cu orientare dublă după câmp (Implementation of Vector Control Structure for Speed Sensorless Induction Machine with Double Field Orientation)*. Doktori tézis, Kolozsvári Műszaki Egyetem, 2014.

[7] Szabó, Cs.; Szőke Benk, E.; Imecs, M.; Incze, J. J.: *Sebesség-érzékelő nélküli kettős mezőorientációs vektoriálisan szabályozott aszinkron motoros hajtás*. XV. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, ENELKO 2014, Székelyudvarhely, 2009 okt. 9-12, ISSN 1842-4546, 94–99 .

[8] Szőke Benk, E.; Szabó, Cs.; Imecs, M.; Incze, I. I.: *Double field oriented sensorless control of cage induction motor*. 15th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics, CINTI 2014, Budapest, nov. 19–21, 2014. (Elfogadott dolgozat, nyomtatás alatt).

[9] 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 old.

[10]Imecs, M.; Incze, I. I.; Szabo, 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: Proceedings of the 14th National Conference on Electrical Drives CNAE, 2008. ISSN 1582-7194, pp. 135–140.

[11]Imecs, Mária; Szabó, Cs.; Incze, I. I.: *Vector control of the cage induction motor with dual field orientation*. 9th International Symposium of Hungarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics CINTI 2008, Budapest, 2008. ISBN 978-963-7154-82-9, 47–58 old.

[12]Imecs, M.; Szabó, Cs.; Incze, J. J.: *Kalickás indukciós motorok vektoriális szabályozása kettős mező-orientációval.* ENELKO 2009. X. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Marosvásárhely 2009. ISSN 1842-4546, 72–77 old.

[13]Imecs, M.; Incze, I. I.; Szabó, Cs.: *Dual field orientation for vector controlled cage induction motors*, 13th IEEE Intern. Conference on Intelligent Engineering Systems, INES 2009, Barbados, CD-ROM, ISBN: 978-1-4244-4111-2, pp. 143–148.

[14]Imecs, M.; Negrea, C. A.; Szabó, Cs.; Incze, J. J.: *Sebesség-érzékelő nélküli aktív áramszabályozáson és közvetett mező-orientáción alapuló vektoriális aszinkron motoros hajtás szimulációja*. ENELKO 2013. XIV. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Nagyszeben, 2013. ISSN 1842-4546, 54–59 old.

[15]Akeshi, M.; Thung, H. C.; Hiroichirou, T.; Takashi, K.; Ysugutosi, O.: *Today's AC drive industrial application in Japan*.4th European Conference on Power Electronics and Applications EPE'91, Florence, 1991. pp. 2-618–2-624.

[16]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.

[17]Imecs, M.: *A villamos gépek modern szabályozási módszerei a térfázor elmélet alapján*. Plenáris előadás, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka, XVI. FMTÜ Nemzetközi Tudományos Konf., Műszaki Tudományos Füzetek, Erdélyi Múzeum-Egyesület kiadványa, Kolozsvár, 2011. pp. XIX–XLIV, ISSN 2067-6 808, http://eda.eme.ro/handle/10598/13994.

[18]Incze, I. I.; Imecs, M.; Szabó, Cs.; Vásárhelyi, J.: *Orientation-field identification in asynchronous motor drive systems*. 6th IEEE International Carpathian Control Conference ICCC 2005. Lillafüred-Miskolc, Hungary, 2005. Vol I, ISBN 963 661 644 2, pp. 131–136.

[19]Imecs, M.; Incze, J. J.; Szabó, Cs.: *Fluxusidentifikációs és szabályozási módszerek kalickás indukciós motorok mező-orientált hajtásrendszereiben.* ENELKO 2009 X. Nemzetközi Energetika–Elektrotechnika Konferencia, Marosvásárhely, 2009, ISSN 1842-4546, pp. 60–65.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 207–212. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.23
http://hdl.handle.net/10598/28541

MŰSZAKI ALKOTÁSOK MEGŐRZÉSE AZ IDEGENFORGALOM FEJLESZTÉSÉVEL

DEVELOPMENT OF TOURISM – A MANNER TO PRESERVE THE TECHNICAL CREATION

Talpas János

Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Földrajz Kar, 400006 Kolozsvár/Cluj-Napoca, Str. Clinicilor Nr. 5–7. talpasjanos@gmail.com

Abstract

The technical history vocational camps organized by the Transylvanian Museum Society offered a great opportunity to the study of touristic utilization of the technical creation. Certain methods and strategies were here developed. This paper presents three different places related different case studies focusing on the possibilities of development of tourism. The locations are Torockó, Gyerőmonostor and Kide. This technical history oriented case studies offer important contributions to the developing of maintenance methods and models, focusing on tourism organizing methods. Here are emphasized the specific interpretation instruments and those elements that emphasize the peculiarities of the touristic objectives.

Keywords: *tourism, touristic motivation, attraction peculiarities*

Összefoglalás

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya által rendezett technikatörténeti táborok lehetőséget nyújtottak a műszaki alkotások turisztikai hasznosításának tanulmányozására, a módszerek kidolgozására. Jelen dolgozat három helyszínről készített esettanulmányt mutat be röviden, az idegenforgalom fejlesztési lehetőségeiről. A helyszínek: Torockó, Gyerőmonostor és Kide. A technikatörténeti esettanulmányok hozzájárulnak a fenntarthatósági módszerek és modellek kidolgozásához. A tanulmány az idegenforgalmi módszerekre fokuszál. Ennek keretében kiemelt helyet foglalnak el az interpretációs eszközök, valamint a turisztikai vonzerő tulajdonságait feltáró elemek.

Kulcsszavak: *idegenforgalom, idegenforgalmi motiváció, vonzóerő-tulajdonságok*

1. Bevezető

A technikatörténet fő célja a régi műszaki alkotások feltárása, megőrzése és bemutatása. Ha elvesztik funkcionalitásukat, a műszaki alkotások egy része az idő múlásával feledésbe merülhet. Az idegenforgalom lehet a megoldás az említett alkotások megmentésére. A megmaradt alkotások idegenforgalmi értékét a régiségen kívül egyediségük és egyéniségük adja. Az egyediség nem minden esetben kimutatható, azonban vannak olyan műszaki tárgyak, melyeknél ez fontos jellemző. Egyéniségét a műszaki alkotásoknak az alkotója adta. Ezeknek a tárgyaknak a bemutatása általában a statikus eszköztár kategóriához tartozik. Ahhoz, hogy vonzerővé váljanak, hatékony, szemléltető bemutatásra van szükség. A műszaki kutatások alkalmával sikerült

feltárni olyan műszaki alkotásokat, melyeket érdemes bemutatni a turistáknak. Az interpretációt legegyszerűbb formában egyfajta kommunikációs, információáramlási folyamatként írhatjuk le [1 Ham]. A világháló elterjedése inkább az egyenirányú kommunikációs módszereket részesíti előnyben. A közreműködés típusa a személytelen interpretáció, mely lehet jelek, tárlók, önvezetéses túrák, modellek és számítógépes eszközök együttes vagy egyedi alkalmazása egy-egy téma ismertetésében [2: 150–154 Puczkó-Rátz 2011.]. A következő fejezetekben szemléltetjük három településen feltárt műszaki alkotás idegenforgalomban való bemutatásának lehetőségét.

2. Torockó

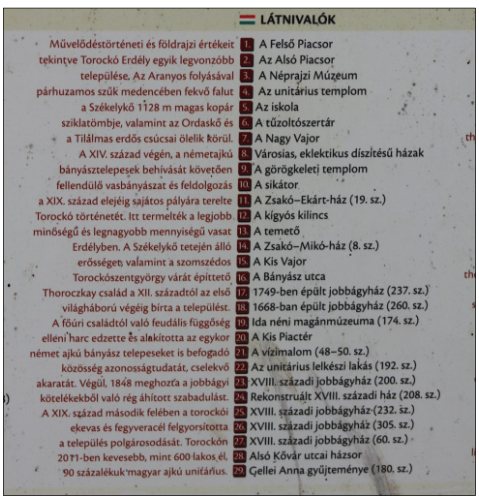
Torockó a XIX. századig mint bányaváros működött. A vaskenyér megmunkálása (kovácsolása) a vízerővel működtetett kalapáccsal történt (**1 ábra**).

1. ábra. *A jelenleg működő hajtó malomkerék*

Az idő folyamán a kovácsműhelyeket gabonát őrlő malmokká alakították (**2. ábra**), így csak interpretációs eszközökkel vagy módszerekkel lehet bemutatni a kalapácsok egykori működését.

2. ábra. *A toroczkói vízimalom*

Az interpretációs eszközök lehetnek nyomtatott kiadványok, információs poszterek. A helyszínen találkoztunk poszterrel (**3. ábra**), de ez inkább tájékoztató, nem bemutató jellegű.



3. ábra. *Létező háromnyelvű információs poszter (térkép, látnivalók)*

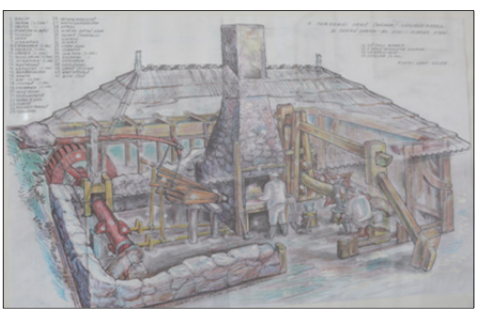
Mivel szakképzet idegenvezetővel nem rendelkezünk a térségben, ez esetben hordozható egyéni hangfelvételes (hangkazetta, vagy maroktelefon) idegenvezető használata ajánlatos.

A település helyi múzeumában látható az egykori kalapács fényképe (**4. ábra**), azonban a rekonstruált helyszínen ajánlott az „élő display” eszközök használata.

Ennek érdekében a helyszínen filmeket készítettünk. Ez segítséget nyújthat a szerkezet működésének bemutatására is. A modellek lehetnek statikusak vagy aktívak [2: 164–166 Puczkó-Rátz 2011]. A statikus modell elkészítésekor szükséges a kalapácsot hajtó szerkezet helyszíni rekonstruált modelljének felállítása.

A torockói múzeumban látható a hámor (verő) látványrajza (**5. ábra**), ez lehetőséget nyújthat a még megmaradt rendszer újraépítésére. Az aktív modell elkészítésekor ajánlott a 3D térhatású kivetítés. A 3D működési modell megvalósításához szükséges a kinematikai tervek elkészítése.

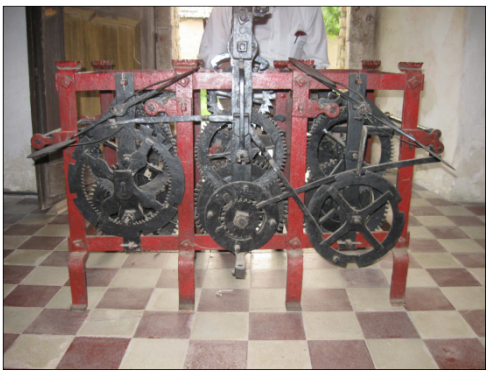
4. ábra. *A vízerővel működő nagykalapács*



5. ábra. *A toroczkói hámor látványrajza*

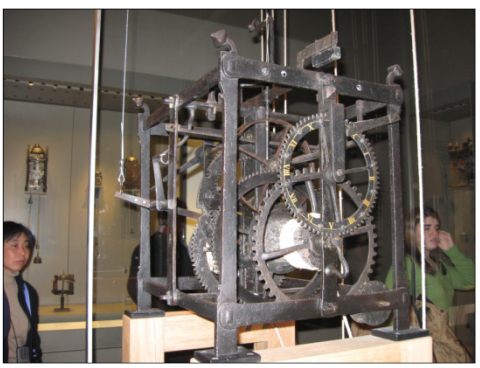
3. Gyerőmonostor

Gyerőmonostor műszaki és néprajzi értékekben igen gazdag. A műszaki értékek közül kiemeljük a templom előterében található toronyórát (**6. ábra**).



6. ábra. *A gyerőmonostori toronyóra*

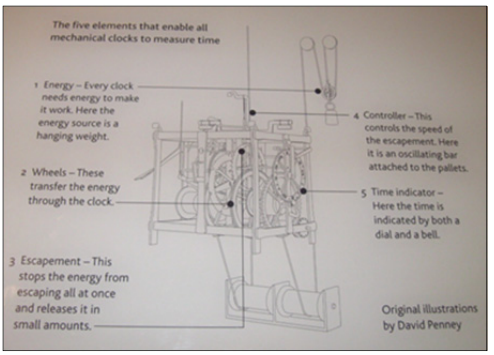
Nem szokványos kiállítóhely egy toronyóra esetében a templom előtere. Egy ember alkotta mű vonzerejének fontosabb turisztikai tulajdonságai a régisége, egyedisége, egyénisége és funkcionalitása. A négy tulajdonság közül mondhatni csak a funkcionalitás hiányzik a kiállított toronyóra esetében. Ennek a feladatnak a megoldására a londoni British Museum modellje válaszolhat (**7. ábra**).



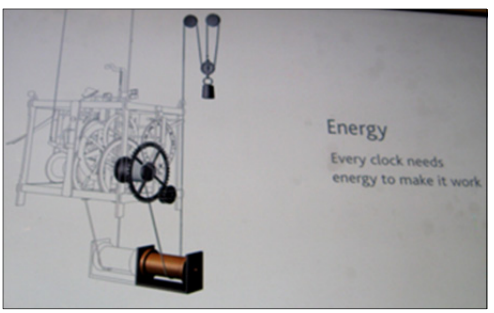
7. ábra. *Kiállított toronyóra a londoni British Museumban*

Ahhoz, hogy a kiállított toronyóra fontos turisztikai vonzóérőt képviseljen, keresnünk kell számára egy elfogadhatóbb helyszínt.

Az új helyszínen interpretációs eszközökkel segítenénk a toronyóra bemutatását, mint ahogyan a londoni British Museumban is alkalmazták ezt a módszert (lásd **8–9. ábra**).



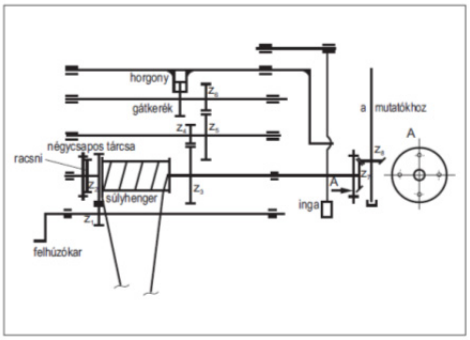
8. ábra. *Működési elv bemutatása nyomtatványon*



9. ábra. *Részletrajz a toronyóra működéséről a British Museumban*

Ugyanakkor élő displayek használatát is javasoljuk, melyek által bemutatásra kerülhetne az ebben a kategóriában létező óraművek sokasága. Ezzel a módszerrel kiemelhetnénk a kiállított tárgy régiségét és egyediségét. A „ketyerékes” interpretációs módszer [3 Velarde] talán a legtalálóbb ebben az esetben. A tárgy megtekintésekor kialakíthatunk egy hangos információs pon-

tot. A kinematikai rajz alapján (**10. ábra**) [4: 34–40 Bitay–Márton–Talpas] elkészíthetők a hiányzó fogaskerekek, és funkcionálissá tehető a kiállított toronyóra.



10. ábra. *A gyerőmonostori toronyóra kinematikai rajza [4. 36]*

Ha több a témához hasonló tárgyat lehetne kiállítani, ez kiemelné a kiállított tárgy értékét. Tehát a látogatottság érdekében ajánlatos volna egy megfelelő helyszínt találni.

4. Kide

Kidét az erdélyi művészet egyik bölcsőjének is tekinthetjük. Itt alkotott Kidei Sipos Dávid kőfaragó és Nyírő József író. Mivel csak templomaink őrzik Kidei Sipos Dávid alkotásainak emlékét, valamint Kidében találkozhatunk az alkotó befejezetlen munkáival is (**11. ábra**), ezért érdekes volna egy emlékmúzeumot kialakítani a településen.

A faragott kövek esetében nehéz lenne funkcionalitásról beszélni. Mondhatni a domináns tulajdonság a faragások esetében az egyéniség. Ezt a tulajdonságot próbáljuk kiemelni a kiállítási helyszín megválasztásával. Lehet merész ajánlat, de az unitárius templom (**12. ábra**) megmentése érdekében (nem jegyeztek egy unitáriust sem a 2011. évi népszámlálás alkalmával) ezt jelölném ki kiállítási helyszínként.

11. ábra. *A kidei unitárius templom szószéke, Kidei Sipos Dávid munkája*

A helyszín személyes bemutatási, hang- és fényjáték, prózai bemutató és „érints meg” interpretációs módszerekkel történhetne [3]. A módszerek jó kiválasztása vezethet az alkotások értékének kiemelésére.

12. ábra. *Az unitárius templom belső tere*

5. Következtetések

Annak érdekében, hogy a műszaki alkotások vonzerővé váljanak a turizmus részére a feldolgozott helyszíneken, minden esetben ajánlatosak volnának az interpretációs módszerek, a nyomtatványok és poszterek. A hatékonyság érdekében minden esetben más-más interpretációs módszer használata volna jó. Mint az esettanulmányokból kiderült, a turisztikai tulajdonságokhoz csatlakozik a helyszín. A bemutatott műszaki alkotások csak akkor jelentenek igazi turisztikai vonzerőt, ha kiemelkednek turisztikai tulajdonságaik. Az esettanulmányokból kiderült, ahhoz, hogy funkcionálissá tegyük ezeket az alkotásokat, műszaki, kommunikációs és turisztikai szakemberekre van szükség. Ezáltal a technikatörténeti és idegenforgalmi kutatások elősegíthetik a műszaki alkotások fenntarthatóságát.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Ham, S. H.: *Enviromental Interpretation: A Practical Guide for People with Big Ideas and Small Budgets*. North America Press, Golden, Colorado. 1992.

[2] Puczkó, L.; Rátz, T.: *Az attrakciótól az élményig.* Akadémiai Kiadó, Budapest. 2011. 150–154, 164–166.

[3] Velarde, G.: *Design-based interpretasion*. In: Harrison, R. (red.): *Manual of Heritage Management.* Butterwort-Heinemann, Oxford. 1996.

[4] Bitay, E.; Márton, L.; Talpas, J.: *Technikatörténeti örökségek Magyargyerőmonostoron.* Tudomány- és Technikatörténeti Füzetek 2. EME, Kolozsvár, 2010. 34–40. http://hdl.handle.net/10598/13967

[5] Izsó, L.; Becker, Gy. (szerk.): *Termékélmény*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2011.

[6] Puczkó, L.; Rátz, T.: *A turizmus hatásai.* Aula Kiadó, Budapest. 1998.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 213–218. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.24
http://hdl.handle.net/10598/28542

ALUMÍNIUM–SZÉNSZÁL KOMPOZITHUZAL MIKROSZERKEZETÉNEK VIZSGÁLATA

MICROSTRUCTURAL CHARACTERIZATION OF AL-C COMPOSITE WIRE

Tihanyi Károly[1], Törzsök Péter[2], Dobránszky János[3], Bitay Enikő[4]

[1] *BME, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. kartihanyi@gmail.com*

[2] *MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. tpeti@eik.bme.hu*

[3] *MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3, Dobranszky.Janos@eik.bme.hu*

[4] *Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, 540485 Târgu-Mureş, O.p. 9, C.p. 4. bitay@eme.ro*

Abstract

This paper describes the successful experimental production of carbon fiber reinforced aluminum matrix composite wires by using continous pressure infiltration and the examination of the composite wires with optical microscopy and scanning electron microscopy.

Keywords: *carbon fiber, composite wire, aluminum matrix composite, pressure infiltration*

Összefoglalás

A cikk ismerteti a nyomásos beitatással, folyamatos eljárással gyártott, szénszál erősítésű, alumínium mátrixú kompozithuzalok sikeres kísérleti gyártását, továbbá az Al–C kompozithuzalok mikroszerkezetének optikai mikroszkópos és pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálati eredményeit.

Kulcsszavak: *szénszál, kompozithuzal, alumínium mátrixú kompozit, nyomásos beitatás*

1. Bevezetés

A fémkompozitok gyártásának az egyik elterjedt és gazdaságos módja a nyomásos beitatás (angolul: infiltration). Ez jellemzően kompozittömb-gyártási technológiákat foglal magába [1]. Az Al mátrixú, szénszál erősítésű kompozitok esetében azonban a szilárdság jóval alatta marad az elméletileg elérhető szilárdságnak. A probléma forrása az, hogy az alumínium szénszállal érintkező határfelületén tűs szerkezetű Al_4C_3 karbidok képződnek, amelyek mikroszkopikus feszültséggyűjtő helyekként szolgálnak, és rontják a határfelületi kohéziót [2, 3].

A karbidképződés megakadályozására több lehetőség is kínálkozik. Az egyik, hogy a szénszálak felületét valamilyen – jellemzően kerámia-bevonattal vonjuk be, amely gátat szab a szénszál és az alumínium határfelületi reakciójának [4, 13]. Egy másik lehetséges megoldás az alumínium mátrixú, szénszál erősítésű kompozitok mechanikai tulajdonságainak javítására, ha

a gyártás során a mátrix minél kevesebb időt tölt az alumíniumolvadékban. Így a képződött karbidréteg vastagsága jelentősen csökkenthető. Erre csak a folyamatos gyártási eljárások esetén nyílik lehetőség. Ilyen a *Blücher és társai* által szabadalmaztatott, majd az általa gyártott kísérleti berendezéssel Budapesten, a fémkompozitok laboratóriumában folytatott folyamatos nyomásos beitatási eljárás. Ennél a gyártási módnál a kompozithuzal olvadékban eltöltött ideje a másodperces tartományokba esik, így az elérhető szakítószilárdság megközelíti az elméletileg elérhetőt [2].

Ez idáig a folyamatos nyomásos beitatást alkalmazva szinte csak kerámiaszállal (Al- és Si-oxid) erősített kompozithuzalokat gyártottak, ugyanis a szénszállal történő gyártáshoz szükséges jóval nagyobb nyomás technológiai nehézségeit nem sikerült leküzdeni. Ez a nagy nyomásigény abból ered, hogy a szénszál felületét az alumíniumolvadék rendkívül rosszul nedvesíti; a peremszög az olvadék felületén lévő oxidhártya miatt lényegesen nagyobb, mint kerámiaszál esetén [5].

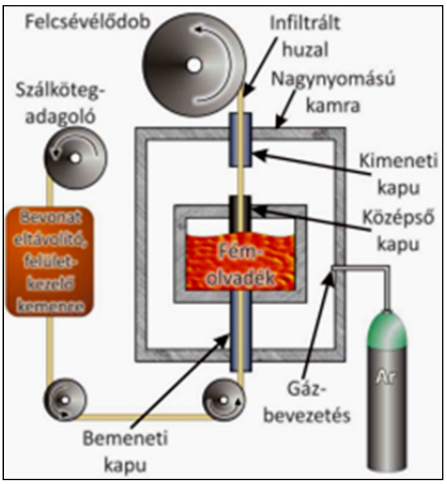
A nedvesítés javítására több módszer is kínálkozik. Az egyik a szálak bevonatolása, egy másik az alumíniumolvadék olyan elemekkel történő ötvözése, amelyek csökkentik annak felületi feszültségét. Ilyen ötvöző a Mg, melyet sikeresen alkalmaztak szénszál erősítésű kompozithuzal gyártására ultrahanggal segített folyamatos beitatásnál [4, 6, 7]. A kutatásaink során a kísérleti berendezésünk fejlesztésével sikerült feltárni és megoldani azokat a technológiai nehézségeket, amelyek megakadályozták a szénszálkötegek alumíniummal való beitatását. Ilyenfajta sikeres kísérletre – ismereteink szerint először és utoljára – 2000-ben volt példa ezzel a technológiával [10], míg másféle beitatási koncepciót alkalmazva 2002-ben és 2007-ben [11, 12]. A kompozithuzal-gyártási kísérletek során sikerült bevonat nélküli szálakkal Al-Mg-ötvözet mátrixú huzalokat gyártanunk. A következőkben ezeknek a gyártási jellegzetességeit és eredményeit fogjuk bemutatni.

2. Kísérletek

2.1. A gyártási eljárás bemutatása

A folyamatos nyomásos beitatásos berendezés fényképe az **1. ábrán**, elvi vázlata a **2. ábrán** látható. A technológia első lépéseként a szálköteg áthalad a védőbevonateltávolító kemencén, majd ezt követően a bemeneti kapun keresztül belép az olvadékba. Ha az olvadék a rá ható gáz nyomásának köszönhetően eléri a gyenge nedvesítés leküzdéséhez szükséges nyomásküszöböt, a szálköteg átitatódik.

1. ábra. *A folyamatos nyomásos beitatásos berendezés fényképe*



2. ábra. *A folyamatos nyomásos beitatásos berendezés vázlata [7]*

Ezzel a nyomással azonban a befelé tartó szálköteg olvadékra ható súrlódásából származó erőnek egyensúlyt kell tartania, különben az olvadt fémet a nyomás a bemeneti kapuban a hideg zónába juttatja, ahol az olvadék megdermed, és ez megszakítja a folyamatot. Az átitatódott szálköteg az olvadékot a felületén lévő oxidhártya alá nyúló középső kapun keresztül hagyja el. Végül a megszilárdult kompozithuzal a nagynyomású kamrából a kimeneti kapun keresztül távozik [1, 2, 8].

2.2. A sikeres gyártási kísérletek technológiai tényezői

A bevonat nélküli szénszállal számos sikeres gyártási kísérletet végeztünk, ahol a szénszálköteg átitatottsága teljes volt. A kísérletek során Mitsubishi–Dialed K63712, 11 µm átmérőjű, 12 000 elemi szálból álló szénszálkötegből gyártottuk a ~70% szálkitöltésű kompozithuzalt. Az olvadék hőmérsékletet 700–800 °C-ra, az áthúzási sebességet 3 m/min-re választottuk.

Az első kísérletekben a mátrix Mg-tartalmát 5–8%-ra választottuk. *Matsunaga és társai* [7] az ultrahangos átitatással folytatott kísérletek nyomán a szilárdság és a nedvesítés szempontjából az 5%-ot állapították meg ideális értéknek. Az átitatáshoz szükséges nyomás függ az olvadék felületi feszültségétől, amit a hőmérséklet és a Mg-tartalom is befolyásol. Az olvadék összetételét és a kísérletben elért legnagyobb nyomásértékeket mutatja az **1. táblázat**; nyilvánvalónak mondható, hogy ezeknél az értékeknél kisebb nyomáson indult meg az olvadék beitatódása.

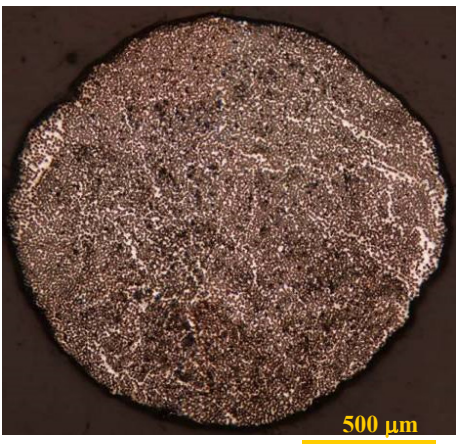
1. táblázat. *Szénszál erősítésű kompozithuzalok folyamatos nyomásos beitatásának jellemzői: az olvadék összetétele és a beitatási nyomás*

	Mátrix anyaga	Nyomás (psi # bar)
1.	AlMg8	300 # 20,7
2.	AlMg7	350 # 24,1
3.	AlMg5	310 # 21,4
4.	AlMg5	360 # 24,8

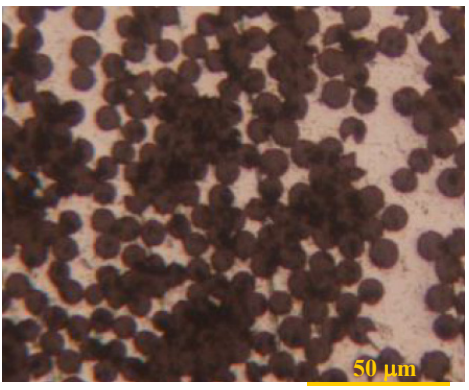
3. Eredmények

A gyártási kísérletek anyagaiból keresztmetszeti csiszolatok készültek; a keresztmetszet alapján számolt átlagos átmérő 1,37 és 1,40 mm között változott. Ez az érték meglepő, ugyanis a bemeneti kapu átmérője 1,6 mm volt, és a kerámiaszálakkal történő gyártás során szerzett tapasztalatink alapján a huzal átmérője megegyezik a bemeneti kapu átmérőjével. Az első sikeres kísérletből származó kompozithuzal teljes csiszolati képe a **3. ábrán** látható.

A **4. ábrán** egy nagy nagyítású szövetszerkezeti kép látható a harmadik sikeres kísérlet termékének keresztcsiszolatáról. Megfigyelhető, hogy bár az alumíniumolvadék a szálkötegbe teljesen behatolt, a szálak közötti távolság meglehetősen egyenetlen. Sok elemi szálat egyáltalán nem vesz körbe a mátrix anyaga, ami miatt ezek a szálak egészen másképpen vesznek részt a huzal szilárdságát befolyásoló teherviselésben, mint azok, amelyeknél jó az adhézió.

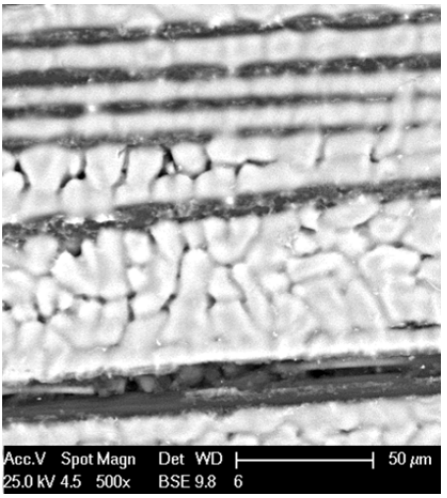


3. ábra. *Alumínium mátrixú, szénszál erősítésű kompozithuzal keresztcsiszolati képe*



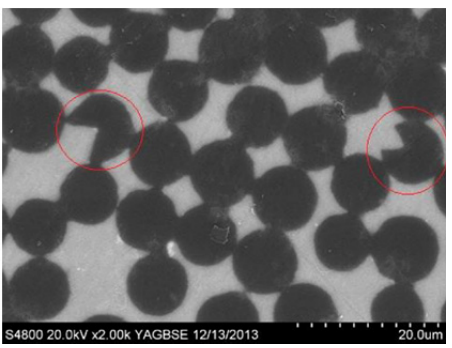
4. ábra. *A kompozithuzal keresztcsiszolatának nagy nagyítású részlete*

A huzalok felületének pásztázó elektronmikroszkóppal történő vizsgálata során megfigyelhető volt, hogy az Al-szemcsék nem összefüggő szemcsehatárok mentén találkoznak, hanem közöttük folytonossági hiányok vannak. Ennek feltehetően az az oka, hogy az Al-olvadék gyenge nedvesítése miatt nem összefüggő felületi rétegként van jelen a felületen a dermedést megelőzően, hanem olvadékcseppek sűrű halmazaként. A huzal felületéről készült, fáziskontrasztot mutató visszaszórtelektron-kép látható az **5. ábrán**.



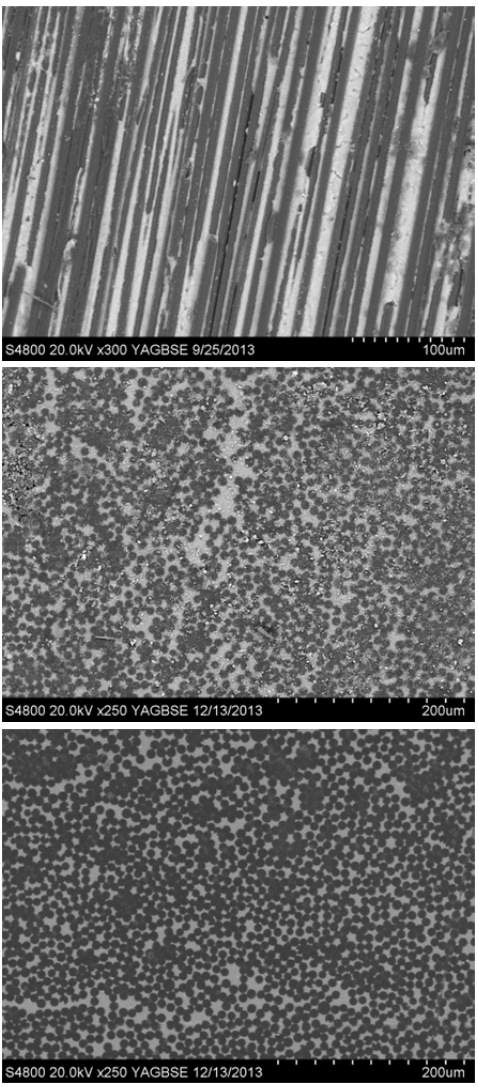
5. ábra. *Al-C kompozithuzal felületének képe*

A csiszolatok vizsgálata során feltűnt, hogy egyes szálak a hosszuk mentén „felnyíltak”. Erre mutat példát a negyedik sikeres kísérlet termékének csiszolatáról készített, a **6. ábrán** látható YAGBSE-kép. Ennek magyarázata az lehet, hogy a szálat alkotó, nyalábként illeszkedő, egymással párhuzamos krisztallitok [9] határait a beitatás során beáramló olvadéksúrlódás megbontja, de a szálak gyártási hibája is lehetséges.



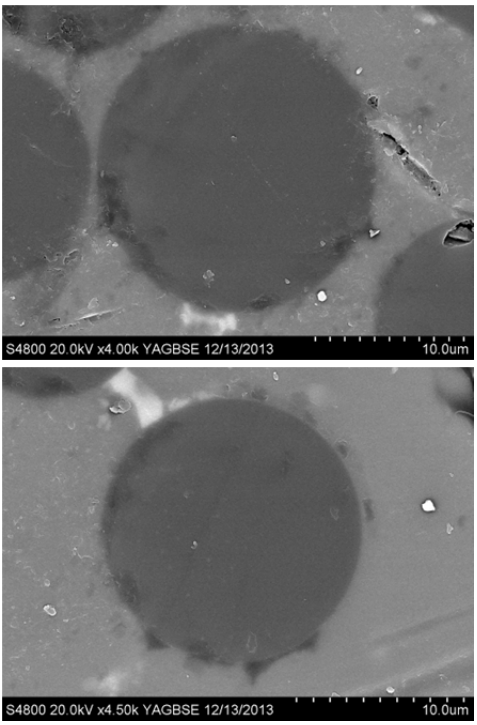
6. ábra. *Al–C kompozithuzal keresztmetszeti csiszolatának képe, amelyen a megjelölt helyeken láthatók a széltengely irányban „felhasadt” elemi szénszálak*

A kompozithuzalok mikroszerkezetének jellemzésére nagy feloldású, téremissziós katódos pásztázó elektronmikroszkópon végeztünk vizsgálatokat a Miskolci Egyetem nanotechnológiai laboratóriumában.



7. ábra. *Al–C kompozithuzal keresztcsiszolatának kis nagyítású képei*

A **7. ábra** a globális átitatottságot szemlélteti kis nagyítású képeken, a **8. ábra** pedig jól mutatja a szál–mátrix-határfelület jellegét.



8. ábra. *Al–C kompozithuzal keresztcsiszolatának nagy nagyítású képei*

3. Következtetések

A nyomásos beitatásos kompozithuzalgyártó berendezés szerkezeti módosításával és a nedvesítést elősegítő Mg-ötvözéssel sikerült alumínium mátrixú, szénszál erősítésű kompozithuzalokat gyártanunk. A kompozithuzalok vizsgálata során megfigyeltük, hogy az olvadék annak ellenére is teljes mértékben átitatta a szálköteget, hogy az elemi szálak egy része tömött halmazokba rendeződik. A gyártás és a szál kristályszerkezetének következtében egyes szálak hosszirányban „felhasadnak”.

Köszönetnyilvánítás

Köszönjük *Sytcheva Annának* és *Roósz Andrásnak*, a Miskolci Egyetem fémtani

tanszéke munkatársainak az elektronmikroszkópos vizsgálatokhoz adott támogatást.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Blucher, J.T., Narusawa, U., Katsumata, M., Nemeth, A.: *Continuous manufacturing of fiber-reinforced metal matrix composite wires – technology and product characteristics.* Composites Part A: applied science and manu-facturing 32 (2001) 1759–1766.

[2] Pippel, E., Woltersdorf, J., Doktor, M., Blucher, J.T., Degischer, H.P.: *Interlayer structure of carbon fibre reinforced aluminium wires.* Journal of Material Science, 35 (2000) 2279–2289.

[3] Orbulov, I.N., Németh, A., Dobránszky, J.: *XRD and EDS Investigations of Metal Matrix Composites and Syntactic Foams*. EXRS 2008 Proceedings: 13th European Conference on X-Ray Spectrometry. Cavtat, 2008.06.16–20. 1–10.

[4] Rajan, T.P.D., Pillai, R.M., Pai, B.C.: *Review - Reinforcement coatings and interfaces in aluminium metal matrix composites*. Journal of Material Science, 33 (1998) 3491–3503.

[5] Eustathopoulos, E., Joud, J.C., Desre, P.: *The wetting of carbon by aluminium and aluminium alloys*. Journal of Material Science, 9 (1974) 1233–1242.

[6] Kimura, Y., Mishima, Y., Umekawa, S., Suzuki, T.: *Compatibility between carbon fibre and binary aluminium alloys.* Journal of Material Science, 19 (1984) 3107–3114.

[7] Matsunaga, T., Matsuda, K., Hatayama, T., Shinozak,i K., Yoshida, M.: *Fabrication of continuous carbon fiber-reinforced aluminum-magnesium alloy composite wires using ultrasonic infiltration method*. Composites Part A: applied science and manufacturing, 38 (2007) 1902–1911.

[8] Kientzl I.: *Alumíniummátrixú kompozithuzalok és hibrid kompozit szerkezetek. PhD-értekezés.* Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (2010).

[9] www.mpi.co.jp/english/products/industrial_materials/pitch_based_carbon_fiber/pbcf001.html (2014.01.12)

[10] Doktor, M.: *Production and characterization of continuous fiber reinfo rced aluminum wires*. PhD-értekezés. Technische Universität Wien, Institut für Werkstoffkunde und Materialprüfung, 2000.

[11] Margueritat-Regenet, C.: *Elaboration et caractérisation de fils composites C/Al : infiltration spontanée et continue par activation chimique du mouillage.* PhD-értekezés, École des Mines de Paris, 2002.

[12] Matsunaga, T., Ogata, K., Hatayama, T., Shinozaki, K., Yoshida, M.: *Effect of acoustic cavitation on ease of infiltration of molten aluminum alloys into carbon fiber bundles using ultrasonic infiltration method*. Composites Part A 38 (2007:3) 771–778 .

[13] Orbulov, I.N., Ginsztler, J.: *Compressive behaviour of metal matrix syntactic foams.* Acta Polytechnica Hungarica, 9 (2012:2) 43–56.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 219–226.
http://hdl.handle.net/10598/28546
DOI: 10.33895/mtk-2015.02.25

MODERN FOGASKERÉK-MODELLEZÉSI ELJÁRÁSOK ÖSSZEHASONLÍTÓ TANULMÁNYA

COMPARATIVE STUDY OF MODERN GEAR MODELLING METHODS

Tolvaly-Roşca Ferenc[1], Forgó Zoltán[2]

[1]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humán Tudományok Kar Marosvásárhely, Gépészmérnöki Tanszék, Cím: 540485, Románia, Segegesvári út, 1C, Telefon / Fax: +40 265 206 210/+40 265 206 211, tferi@ms.sapientia.ro*

[2]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humán Tudományok Kar Marosvásárhely, Gépészmérnöki Tanszék, Cím: 540485, Románia, Segegesvári út, 1C, Telefon / Fax: +40 265 206 210/+40 265 206 211, zforgo@ms.sapientia.ro*

Abstract

After the exponentially increased possibilities offered by the information technology in engineering, a novel and modern modeling method was implemented in gearing studies: study in virtual environment using Computer Aided Design. Nowadays there are numerous gears modeling methods used for different studies of gearing processes in virtual environment. They were developed using various CAD techniques, even from the first moment when CAD was defined and used. Many authors published their work regarding particular CAD techniques applied in developing gear solid or surfaces models. All published works are based only on few basically methods. Most of this methods were used or even developed by the authors of the present paper, but the advantages or disadvantages of different methods are not present in the literature, as well the comparative study of those methods are missing. The paper compares some basic gear modeling CAD methods trough given real gear modeling solutions, proposed and used by the authors in over 13 years of experience of gear modeling in virtual environment.

Keywords: *CAD, gear modelling, comparative study*

Összefoglalás

A számítástechnika alkalmazási lehetőségeinek exponenciális növekedésével a mérnöki fejlesztésekben egy új és modern fogaskerékhajtás-vizsgálati módszer alakult ki: virtuális környezetben való modellezés, a számítógépes tervezés eszközeit alkalmazva. Napjainkban számos modellezési eljárás létezik, amelyeket virtuális környezetben végzett fogaskerék-modellezési és hajtásvizsgálatára dolgoztak ki már a számítógépes tervezés fogalmának a legelső megfogalmazásától kezdve. Számos szerző publikált eredményeket ezen a téren, egyedi elgondolásokat alkalmazva a fogaskerekek test- vagy felületi modelljeinek a megépítésére. Az alkalmazott módszerek valóban egypár alapvető modellezési eljáráson alapszanak. Ezen alapmódszereket a jelen dolgozat szerzői számos esetben alkalmazták, és új módszereket is kidolgoztak. A szakirodalomban az alapvető modellezési eljárások összehasonlítása nincs jelen, ezek előnyeinek és hátrányainak összehasonlító számbavétele a szerzők fő célja. Több mint 13 év tapasztalatai alapján, adott fogaskerékhajtás és modellezési feladatokon keresztül hasonlítjuk össze az eljárásokat, kiemelve azok előnyeit és hátrányait.

Kulcsszavak: *számítógépes tervezés, fogaskerék-modellezés, összehasonlító tanulmány*

1. Fogaskerék-modellezés virtuális környezetben

A számítástechnika fejlődésével egyre alkalmazottabb eszközé vált a fizikai jelenségek és valós események modellezése virtuális környezetben. Az időjárási előrejelzéstől a csillagászati jelenségeken keresztül a gépészeti tervezésig minden emberi tevékenység vagy ennek az eredménye modellezve van néhány egyszerű ok miatt:

- a fizikai jelenség egyáltalán nem volt még valóságban megfigyelve: a modellezése irányt adhat akár elméleti számításokra is;
- előző megfigyelések alapján modellezve egy jelenséget jövőbeli valószínű választ vizsgálnak;
- költséges mérnöki fejlesztések modellezése: anyagi költségek csökkentése céljából valós kísérletek vagy prototípusgyártás előtt felmérik a tervezett eszközök várható viselkedését virtuális környezetben.

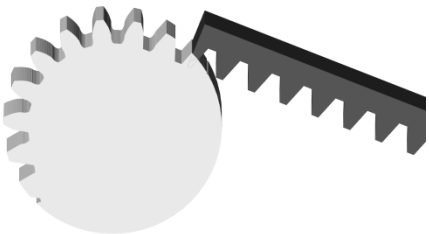
A fogaskerék-kutatások és -fejlesztések terén igen elterjedt a harmadikként felsorolt eljárás. A meglévő fogaskerékhajtások fejlesztését vagy új típusú hajtások prototípusgyártását megelőzően modellezik, és megvizsgálják, hogy a várható eredmények igazolják-e a további költségeket.

A fogaskerekek virtuális környezetben való modellezését széles körben való elterjedése okán számos publikációban megtaláljuk.

1.1. Fogaskerekek megjelenítése és vizualizálása, gyártásszimuláció

A fogaskerekek virtuális gyártása, „vágása” vagy a forgácsleválasztás folyamata azonnali szemléltetési vagy akár gyártási hibák vagy nehézségek azonosítására alkalmas eszköz [1], [2], [3], [4], [5].

A dolgozat egyik szerzője 2003-ban foglalkozott az ún. „merevtest kivonásának módszerével” [2]. A 2004-es Sapientia EMTE Tudományos Diákköri Konferenciára egy fogasléc és egy henger használatával, profileltolás lehetőségével egyenes fogú hengeres fogaskereket generáltunk (**1 ábra**).

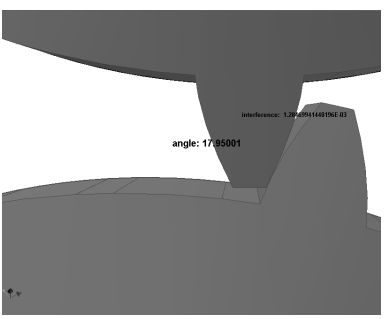


1. ábra. *Egy korai, egyenes fogú hengeres fogaskerék generálása (2003)*

Ha az eljárást csupán vizuális szimulálási célokra használjuk, nem igényel semmilyen felületi pontosságot, a generált mozgások lépései lehetnek tetszőlegesek.

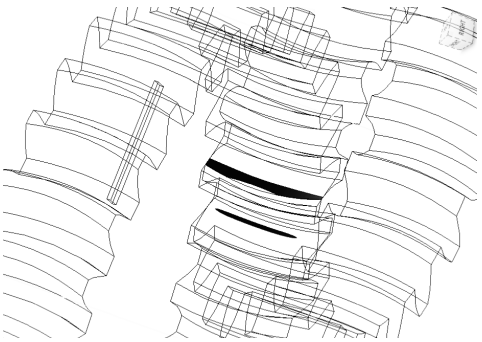
1.2. Hajtáspontosság- és kopásvizsgálat, kontakt- és végeselemelelemzés, hordképtanulmányozás

Virtuális környezetben, ha pontos felületi- vagy testmodellel rendelkezünk, viszonylag pontos szimulációs eredményeket érhetünk el a hajtáspontosság-vizsgálatban [6, 7, 8]. Itt akár elméleti fogaskerékhajtások testmodelljeinek hajtáspontosságát is összehasonlíthatjuk gyártásban lévő fogaskerékhajtásokhoz (**2. ábra**).



2. ábra. *Hajtáspontosság-vizsgálat virtuális környezetben*

A hordkép tanulmányozása céljából [9, 10] is pontos modelleket kell használni, a test- vagy felületi modellek megfelelő pontossága teszi lehetővé a hordképek felbecsülését, illetve a tervezésben célként kitűzött hordkép azonnali becslését (**3. ábra**).



3. ábra. *Hordképelemzés arckimédészi spirális vezérgörbéjű fogaskerékhajtás testmodelljein*

Igen fontos kiemelni azt, hogy bármely virtuális vizsgálat minél pontosabb test- vagy felületi modelleket igényel, ez szükségesé teszi a fogláb és fogfej minél pontosabb modellezését is. Végeselem-elemzés céljából, ha nem megfelelők a foglábfelületek, akkor hibás fogtőhajlítási feszültségeket kapunk.

2. Pontos test- és felületmodellek előállítása

A megfelelő pontosság elérése érdekében meg kell állapítani először is, hogy elsődleges cél a test- és felületi modellek minél pontosabb elkészítése, ha lehetséges, a fogaskerekek teljes térfogatában vagy legalább a fogazatoknál és azok környezetében.

Mielőtt megvizsgálnánk a különböző modellezési eljárások pontosságát, meg kell állapítanunk ezeknek egy nagyon egyszerű csoportosítását, amely valójában teljeséggel meghatározza előnyeiket és hátrányaikat.

Az összes fogaskerék felület- vagy testmodellezési eljárás, eltekintve a végső cél elérését célzó CAD-eljárások sokaságától, alapvetően 2 csoportra osztható:

– matematikai egyenletekből kiinduló modellezési eljárások;
– a generáló mozgásokon alapozó CAD-eljárások.

A matematikai egyenletekből kiinduló eljárások alapvetően kapcsolási egyenletekből indulnak ki, ezekkel meghatározhatók a fogfelületek parametrikus egyenletei. A fogfelületek egyenleteit felhasználva, a legváltozatosabb módon keverhető CAD-technikák alkalmazhatók a fogaskerékmodellek megépítésére [10, 11, 12].

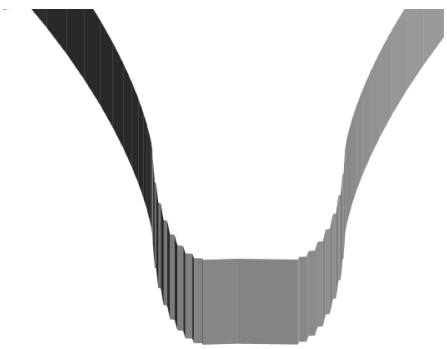
A szakirodalomban található legtöbb virtuális modellezési eljárás ezen a módszeren alapszik. A módszer vitathatatlanul legnagyobb előnye, hogy mivel matematikai eszközökön alapul, a fogaskerék-kapcsolás elméletét alkalmazza, az így épített fogaskerékmodellek, ha a megfelelő CAD-rendszert általában NURBS- vagy MESH-felületekre épült technikákkal egészítik ki, kiváló eredményhez vezethetnek.

Sajnos ennek a módszernek elég nagy hátrányai is vannak. Elsősorban, mivel a kapcsolási egyenletekből indulnak ki, a fogtő és a fogfej felületei egyszerűen mellőzve vannak, ezeket egyébként majd technológiai eljárások is befolyásolhatják. Az eljárás hátránya azonnal megfigyelhető a **3. ábrá**n, ahol egyenletek hiányában a fogfej- és foglábfelületek találomra vannak megépítve. Ezzel csak annyi a gond, ahogy az ábrán látszik, hogy a hordkép a fogfej- és foglábkapcsolásoknál hamis. Ennek javítása érdekében meg kellene állapítani a hiányzó felületek egyenleteit, amelyek további bonyolult matematikai eljárásokhoz vezetnének. Ezzel nem is lenne gond, ha érdemes lenne vele foglalkozni. Tudjuk azonban, hogy a nevezett felületeket szerszám- és technológiai meggondolásokból sokszor módosítják. Ezeknek a módosításoknak is

szeretnénk tudni a pontos hatását, lehetőleg ugyancsak virtuális környezetben. Ez többszöri matematikai számításokat és ismételt CAD-modellezési eljárásokat igényel minden módosítás esetében. A „találomra” becsült foglábfelületek végeselem-modellezésnél a valóságtól igen eltérő fogtőhajlító feszültségeket eredményezhetnek.

A második eljárás igen érdekes módón nem igényli a fogfelületek matematikai egyenleteit [1, 2, 3, 4, 5]. Ellenben ismernünk kell a valós gyártáshoz szükséges szerszám- és előgyártmány-mozgásokat. A merev testekkel modellezett szerszámok és előgyártmányok a valós generált mozgásnak megfelelő viszonyított mozgásokat végeznek, meghatározott diszkrét lépésekkel. Minél kisebbek ezek a lépések, annál pontosabb lesz a generált testmodell, ebbe beleértve mind a fogláb, mind a fogfej felületeit. Ezek után bármilyen szerszámmódosítás, bármely technológiai eljárás (például profileltolások, hordósítás stb.) a generáló mozgások módosítása révén a végső testmodelleken is meg fog jelenni. Ez az eljárás vitathatatlan előnye!

A merev testek folytonos kivonásának az előnyei mellett sajnos igen súlyos hátrányai is vannak. Az egyik legjelentősebb az, hogy a diszkrét mozgáslépések miatt esetenként igen durva felületű testmodelleket eredményezhet (**4. ábra**).



4. ábra. *A testkivonással nyert merev test felületei igen töredezettek is lehetnek*

Az ábrán a foglábfelületeken látható lépcsős szerkezetek a relatív mozgások diszkrét értékétől függő térfogatfölöslegek. Ha csak esztétikai vonatkozásai lennének, nem jelentenének gondot, de gyökeresen befolyásolhatják mind a kontakt-, mind a végeselem-, mind a hordképvizsgálat eredményeit.Az eljárás másik igen nagy hátránya, hogy rendkívüli idő- és számítógépteljesítmény igényes. Ha több szerszámmal dolgozunk, vagy a szerszámok testmodelljei bonyolultabbak, igen jelentős (akár napok is) modellezési időre van szükség. Ha javítani szeretnénk a felületek pontosságán, egyúttal a testmodell pontosságán is, a mozgások lépéseit kellene kisebbekre venni. Azonban ennek igen nagy ára van! A modellezési idő exponenciálisan nő a lépések csökkentésével. Egy z = 24 foggal rendelkező egyenes hengeres fogaskerék fogasléccel való generálási idejét vizsgáltuk meg [13].

A vizsgálat a 2°; 1°; 0,5° és 0,2° lépésű előgyártmány elfordulási lépéssel megvalósított generálási időt mérte és hasonlította össze. A 2°-os lépésnél mért idő 21 sec volt, míg a 0,2°-es lépésnél 2430 sec. A relatív mozgások lépéseinek 10%-ra való csökkentése a modellezési időt több mint 100 szorosára növelte!

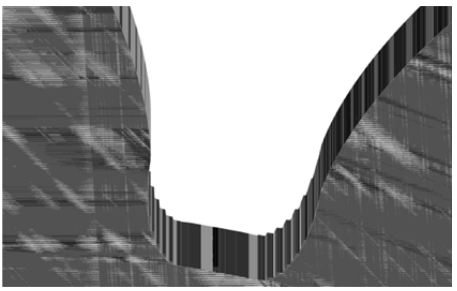
A merev testek kivonását használó módszerről megállapíthatjuk:

- bármilyen technológiai eljárás, profil- és szerszámmódosítás modellezhető, kiterjedt matematikai számítások használata nélkül;
- a tervezés vagy fejlesztés során nehézség nélkül ismételt módosítások építhetők be a modellekbe;
- a fogazatok láb- és fejfelületei igen kis hibahatárok között modellezhetők;
- a testmodellek felületi pontosságát nagymértékben befolyásolja a relatív mozgások lépéseinek nagysága;
- a mozgások lépésének csökkentésével exponenciálisan nő a számítógépes ge-

nerálási idő, esetenként napokat jelentő számítógépes futási időre is;
– a lépések csökkentésével a modellek igen nagy adatmennyiséget jelentenek, ezek további használata igen nehézkésé válik.

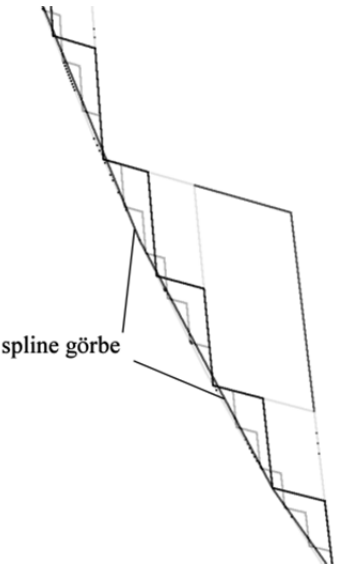
3. Megfigyelések és új fogaskerék-modellezési eljárás kidolgozása

A [13]-ban ismertetett adatok alapján észrevettük, hogy a „kivonásos módszer” generálási pontossága hogyan változik, ha a 2°, 1°, 0,5° és 0,2° lépésekkel generált testmodelleket egymásba helyeztük, és vizsgáltuk a fogfelületek eltéréseit (**5. ábra**).

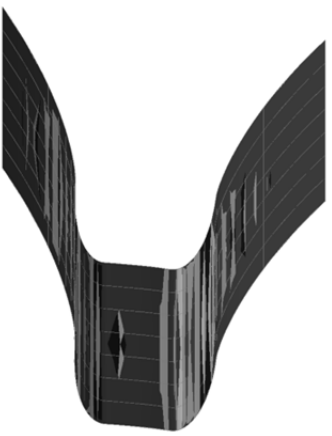


5. ábra. *Az egymásra helyezett testmodellek, amelyeken jól láthatók a diszkrét lépésekből adódó lépcsők*

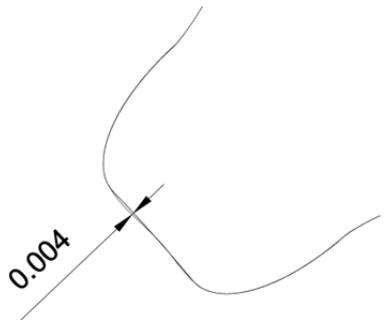
Ezután azonosítottuk a valós felületeken fekvő pontokat (**5. ábra**). Ezek a lépcsős szerkezetek alján találhatók amint a **6. ábrá**n jól megfigyelhető. Ezeken a pontokon keresztül Bézier-spline görbéket húztunk (**6. ábra**). Majd a spline görbéket NURBS-felületek építésére használtuk fel (**7. ábra**). A 4 lépéspontosságnak megfelelő NURBS-felületek eltéréseit vizsgáltuk, és megállapítottuk, hogy legnagyobbak a fogárok alján. De ennek értéke csak 4 μm! (**8. ábra**).



6. ábra. *Különböző lépéspontossággal generált és egymásba helyezett hengeres fogaskerék-testmodellek profiljai*



7. ábra. *A 4 egymásra helyezett NURBS-felület árnyékolt modellje*

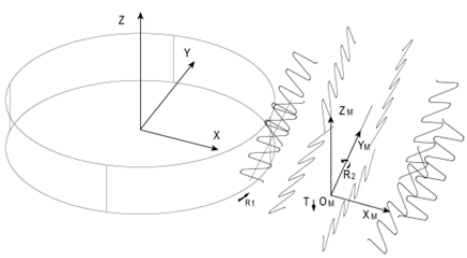


8. ábra. *Az egymásra helyezett NURBS-fogfelületek maximális eltérése nem haladja meg a 4 μm-t*

Ez a kis eltérés adta az ötletet, hogy próbáljunk a két bemutatott eljárástól eltérő modellezési módszert felépíteni, esetleg egy olyant, amelyik mindkettő előnyeit ki tudja használni.

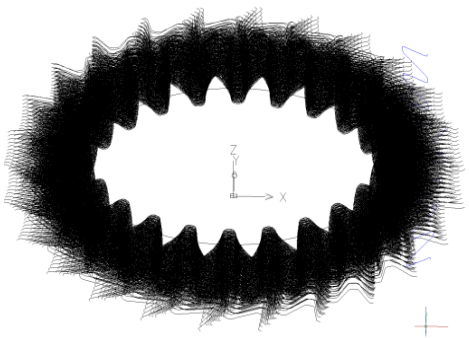
A megfigyelések alapján új modellezési módszert javasoltunk [14]. Megtartottuk a relatív mozgásokkal való generálást, de nem testmodelleket, hanem pontokat generáltunk. Ezekből a pontokból pedig küszöböljük ki azokat, amelyek nem a fogfelületeken vannak, ezekre építsük fel a NURBS-felületeket, amelyekkel majd testmodelleket építhetünk.

Program készült a cél elérésére, amelyet a [14]-ben mutattunk be. Az eljárás alapelve, hogy a szerszámok profiljait használjuk csak a generálásra, megtartva a relatív elmozdulásokat a szerszám és a munkadarab között, mint a **9. ábrán**. ([14] fig.2.).



9. ábra. *A javasolt modellezési eljárás is a generáló mozgásokon alapszik [14. fig.2.]*

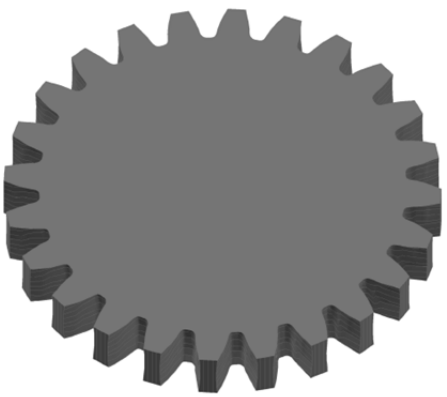
Az első generálás sok fölösleges, a többszöri vágás során a végső felületen nem található pontot eredményezett (**10. ábra**). Ezeket a pontokat természetesen el kell távolítani, a végső fogfelületeken nincsenek rajta.



10. ábra. *Az új módszerrel való generálás után a szerszámélek kiemelt pontjai*

Az új módszer eredményei még kiértékelés alatt vannak, illetve a fölösleges pontokat kiszűrő algoritmuson még dolgozunk.

Az első eredmények a merev test kivonásos módszeréhez hasonló testmodellt szemléltetnek, pár perces futási idő alatt (**11. ábra**).



11. ábra. *Az új modellezési eljárással nyert első fogaskerék-testmodell*

3. Következtetések

A virtuális környezetben végzett fogaskerékhajtás-vizsgálat igen sok módszert használ. Ezek mind megfelelő pontosságú fogaskerékmodelleket igényelnek. Alapos tapasztalat és megfigyelések alapján két alapvető módszer ismerhető fel, amellyel felület- és testmodellek építhetők. Ezen módszerek közül a matematikai egyenleteken alapuló módszer a legpontosabb, de csak a kapcsolódó fogfelületek építésére alkalmas, ismételt módosítások esetén. A második módszer a valós generáló mozgásokon alapszik, hiteles modelleket eredményez, de a felületek pontosságának növelésével drasztikusan nő a modellezési idő.

A két módszer ötvözéséből új módszert javasoltunk, amely a két módszer előnyeit használja, és töredékére csökkenti a modellezési időt.

Az új módszert „vegyes modellezési" eljárásnak neveztük el. Fejlesztése és a módszerrel generált fogaskerékmodellek pontosságának kiértékelése folyamatban van. Az eljárás egyelőre csak AutoCAD környezetben működik, de megfelelő eredmények esetén bármilyen CAD-környezetbe átvihető. Előnye, hogy még a szerszámok testmodelljére sincs szükségünk, elégséges ezeknek csak a profilját, illetve a vágóéleit ismerni. Ismételt módosításokra kiválóan alkalmas, a modellek generálási ideje töredéke a többi eljárás idejének.

Azonnali lépésként a generált modellek pontosságát kell megvizsgálni számadatokkal. Bármilyen elért pontosság a műszaki tervezésben és gyártásban használt pontosságokon belül kell hogy legyen.

Az új módszer még egy igen érdekes fejlesztési lehetőséget villant fel. Segítségével ismert felületek (például golyósanyák gördülőpályái) megmunkálására alkalmas szerszámprofilokat is meghatározhatunk.

Ezeket majd akár NC-megmunkálással kialakított szerszámprofilok készítésére is használhatjuk.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Mohan, L. V. and Shunmugam, M. S.: *CAD approach for simulation of generation machining and identification of contact lines.* Int. J. Mach. Tools Mf. 2004. 44(7–8). 717–723.

[2] Böjte Gy., Tolvaly-Roşca F.: *Hengeres fogaskerék fogasléc segítségével való generálásának a szemléltetése*. Tudományos Diákköri Konferencia, EMTE Sapientia, Marosvásárhely, 2004.

[3] Chang, K. L.: *AutoLISP cutting simulation and error analysis*. Mach. Month. 2006. 373(2). 30–38.

[4] Popa-Müller, I., Tolvaly-Roşca, F.: *A köriv alakú kúpkerék generálásának szimulálása a Gleason-fogazógépen a generáló síkkerék segítségével*. The 17-th International Conference on Mechanical Engineering, Gheorgheni, 2009. 331–335.

[5] Bouzakis K.-D., Lili E., Michailidis N., Friderikos O.: *Manufacturing of cylindrical gears by generating cutting processes: A critical synthesis of analysis methods*. CIRP Annals – Manufacturing Technology 2008. 57. 676–696.

[6] Tolvaly-Roşca, F.: *Studiul preciziei angrenajelor conice prin metoda modelării parametrice solide. (Bevel gears precision study with solid parametrical modeling methode, Phd Thesis).* Universitatea Transilvania Braşov, 2006.

[7] Tolvaly-Roşca, F., Hollanda, D., Száva, J., Kakucs, A., Forgó, Z.: *Contact Algorythm in VBA, for Kinematic Studies on Rigid, Solid Gear Models*. microCAD International Scientific Conference, march 2006. Miskolc, Hungary. 31–36.

[8] Tolvaly-Roşca, F., Hollanda, D., Forgó, Z., Száva, J.: *Kinematic studies of straight bevel gears with octoid II, octoid I and exact involute profiles, using solid models*. Procedings of the 7th International Conference Modern Technologies in Manufacturing, Cluj Napoca, 2005. 399–402.

[9] Tolvaly-Roşca F.: *The Cad-Analysis Of The Contact By The Cylindrical Gears Having*

Archimedic Spiral Shaped Teeth. Inter-Eng 2012, Interdisciplinarity in Engineering, Tg. Mureş, Romania 2012. 130–135.

[10] Máté M., Hollanda D., Tolvaly-Roșca F., Popa-Müller I.: *The Localization of the Contact Pattern by Spur Gears with Archimedean Tooth Line by Setting of Tangential Displacement*. The 21-st International Conference on Mechanical Engineering 2013. Arad, Romania. 265–268.

[11] Jehng W.K.: *Computer solid modeling technologies applied to develop and form mathematical parametric tooth profiles of bevel gear and skew gear sets*. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 122. 2002. 160–172.

[12] Tolvaly-Roșca, F., Forgó, Z.: *Solid Modeling of Bevel Gears with Spherical Involute, Octoid I and Octoid II type profiles*. Procedings of 11th, International Conference in Mechanical Engineering OGET 2005, Satu Mare, 2005. 332–335.

[13] Tolvaly-Rosca F., Forgó Z.: *Gyorsított fog-felület-modellezési eljárás pontosságvizsgálata*. The 22-nd International Conference on Mechanical Engineering, 2014. Sibiu, Romania. 415–418.

[14] Tolvaly-Roșca F., Forgó Z.: *Mixed CAD Method to Develop Gear Surfaces Using the Relative Cutting Movements and NURBS Surfaces*. The 8th International Conference INTER-ENG 2014. Tg. Mureș, Romania. Megjelenés alatt. Under publishing.

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 227–234. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.26
http://hdl.handle.net/10598/28543

A TRIP ACÉL PONTHEGESZTÉSÉNEK HATÁSA

RESISTANCE SPOT WELDING EFFECT IN CASE OF TRIP STEEL

Vajdics Dániel[1], Kovács-Coskun Tünde[2]

[1,2] Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1084 Magyarország, Budapest, Népszínház u. 8; Telefon / Fax: +36-1-666-5327, vajdics.daniel@hotmail.com, kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Abstract

The TRIP steel is a widely applicable advanced high strength steel type, which has good strength and ductile properties besides low carbon and alloying elements. Since its structure is composed by ferrite, bainite, martensite and retained austenite, transformation can happen in its structure during spotwelding, where its mechanical properties can change. In our experiments we tried to examine the spotwelding effect in an experimental way with several adjustments.

***Keywords**: resistance spot welding, TRIP steel, microstructure, mikrohardness*

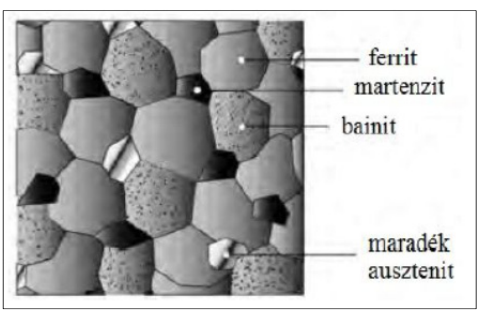
Összefoglalás

A TRIP acél egy széles körben alkalmazható, növelt szilárdságú acéltípus, mely alacsony karbon- és ötvözőtartalom mellett is jó szilárdsági és szívóssági tulajdonságokkal rendelkezik. Mivel szövetszerkezetét ferrit, bénit, martenzit és maradék ausztenit alkotja, ponthegesztése során a szövetszerkezetben átalakulások jöhetnek létre, melyeknek hatására a mechanikai tulajdonságok is megváltoznak. Kísérleteinkben a ponthegesztés hatását vizsgáljuk kísérleti úton különböző beállítások mellett.

***Kulcsszavak:** ellenállás-ponthegesztés, TRIP acél, szövetszerkezet, mikrokeménység*

1. Bevezetés

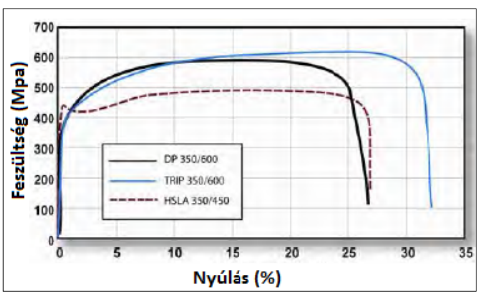
A TRIP (Transformation Induced Plasticity) más néven fázisátalakulással kiváltott képlékenységgel rendelkező acél a nagyszilárdságú acélok (Advanced High Strength Steel) családjába tartozik [1]. A nagyszilárdságú acélok kiemelt jelentőséggel bírnak a gépjárműipar számára, általában a karosszériaelemek alkotói. A nagyszilárdságú acélok további fajtái: duál fázisú (DP: Dual Phase), komplex fázisú (CP: Complex Phase), ferrite-bénites (FB: Ferritic-Bainitic), martenzites (MS: Martensitic), valamint a melegen alakított (HF: Hot Formed) és a legújabb fejlesztésű, ikerképződéssel előidézett képlékenységgel rendelkező (TWIP: Twinning-Induced Plasticity) acélok [2].



1. ábra. *TRIP acél mikroszerkezete [2]*

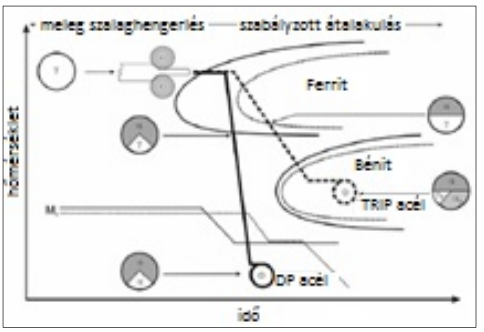
A TRIP acélok mikroszerkezete többfázisú (ferrit, bénit, ausztenit, martenzit), mint ahogy az **1. ábrán** látható.

A szövetszerkezete nagyrészt ferritből tevődik össze és minimum 5 térfogatszázalék maradék ausztenitet tartalmaz, valamint kemény szövetelemeket, bénitet és martenzitet [4]. A TRIP acél legfőbb tulajdonsága, hogy jól alakítható, és ugyanakkor nagy szilárdsággal rendelkezik. A nagy szilárdság hidegalakítás hatására alakul ki. Az ausztenit alakítás következtében progresszíven martenzitté alakul át. A **2. ábrán** látható egy TRIP350/600 (folyáshatár= 350MPa, szakítószilárdság= 600MPa) típusú acél szakítódiagramja (a feszültség a mérnöki nyúlás függvényében), összehasonlítva a DP350/600 és HSLA350/450 (High Strength Low Alloy) acélokkal.



2. ábra. *Nagyszilárdságú acélok összehasonlító szakítódiagramjai. [2]*

A TRIP acélok többes fázisú szövetszerkezete többlépcsős hőkezeléssel érhető el **(3. ábra)**. A melegszalag utolsó szúrása vagy a hidegszalag felhevítése után úgynevezett interkritikus hőkezeléssel, amely A_1 és A_3 hőmérsékletek között van 50-50% ferrit és ausztenit szövetszerkezet keletkezik. Ezt követően bénites mezőbe 350-500 °C-ra kell hűteni az acélt 15-32 °C/s hűtési sebességgel, összetételtől függően. A bénites mezőből 3-10 perc állandó hőntartást követően megkezdődik a viszonylag lassú (3-8 °C/s) hűtés szobahőmérsékletre.



3. ábra. *TRIP acél gyártása. [3]*

A TRIP acélokat a gépjárműipar előszeretettel használja karosszériaszerkezeti elemekhez, főleg az ütközési energiát elnyelő elemek részeként és az utascella oldalsó elemeiként. Ütközés alkalmával nagy energiát képes elnyelni, az anyag szilárdsága deformáció következtében növekszik, ami a fázisátalakulásnak köszönhető (a maradék ausztenit alakítás következtében martenzitté alakul). A másik ok amiért jól alkalmazható az autóipar számára, nagymértékű alakíthatósága, ami lehetővé teszi bonyolultabb formájú karosszériaelemek gyártását is.

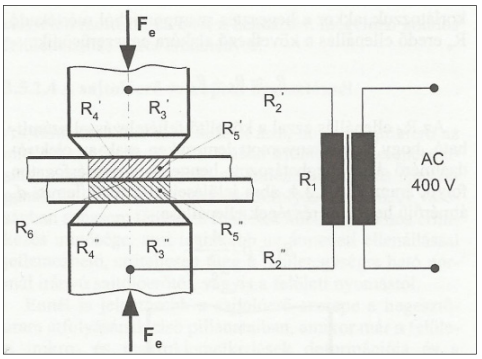
2. Ellenállás-ponthegesztés

Az ellenállás-ponthegesztés vékony lemezek átlapolt kötésére alkalmas eljárás. Hengeres elektródákkal közrefogott lemezeken átfolyatott áram hatására a munkadarabban ellenállás lép fel, aminek következtében hő keletkezik, ez az úgynevezett ellenálláshő. A Joule–Lenz-törvény (1) értelmében a szilárd fázisú elektromos vezetőn fejlődő hő(energia) függ az ellenállástól (R) és az ellenálláson átfolyó (I) áramerősségtől [5]:

$$E_r = \int_{t=0}^{t_h} I(t)^2 \cdot R(t) \cdot dt \qquad (1)$$

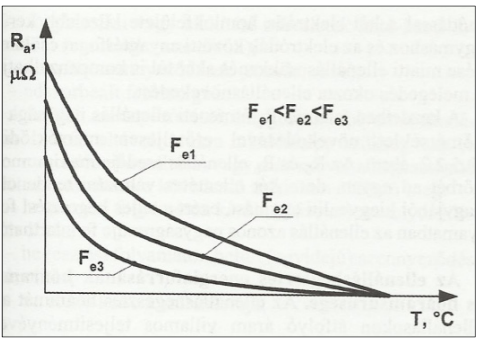
Ellenállásponthegesztésnél kétféle ellenállásnak van szerepe az anyagok belső

ellenállásának és az érintkezésüknél fellépő átmeneti ellenállásnak [4].



4. ábra. *Az ellenállás-ponthegesztés hevítési szakaszában érvényre jutó ellenállások [5]*

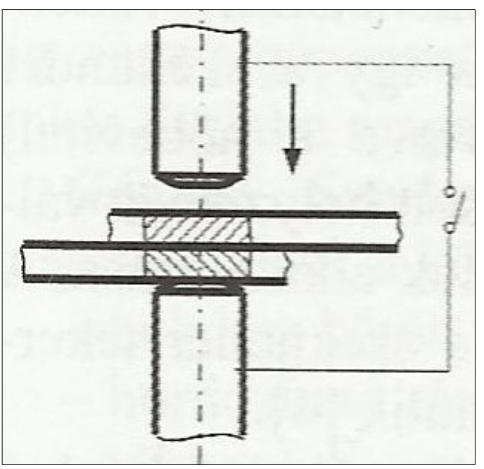
A **4. ábrán** az R_4 az érintkezési és R_6 az átmeneti ellenállást, az R_5 az anyag belső ellenállását jelöli. Az érintkezési ellenállás az elektródák és a darabok érintkezési felületein van jelen, ami elhanyagolható az elektródák jó hővezető-képessége, ill. hűtése miatt. A lemezek belső ellenállása a hőmérséklet növekedésével számottevően nő, amit a számításoknál figyelembe kell venni. Az átmeneti ellenállás a nem tökéletesen sík felületek pontszerű érintkezési helyein létrejövő helyi áramsűrűség-növekedésből és a felületi szennyezettségből ered. Az átvezetett áram Joule-hője az alkalmazott nyomóerővel együtt a felületi érdességcsúcsokat ellapítja, a felületi szennyeződéseket roncsolja. Ilyen módon a két anyagdarab rövid idő múlva szinte tökéletes fémes érintkezésbe kerül egymással, aminek következtében az átmeneti ellenállás megszűnik. Ezt mutatja az **5. ábra** [5].



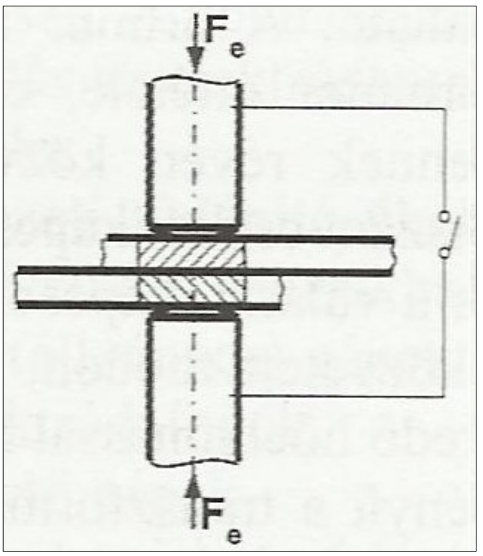
5. ábra. *R_a átmeneti ellenállás a T hőmérséklet és az elektródaerő F_e függvényében [5]*

A hőfejlődés az érintkezési zóna hőmérsékletét növeli, miáltal a fémes anyagok ellenállsát is növeli, vagyis az áramkörnek továbbra is a darabok érintkezésénél lesz a legnagyobb ellenállása, itt fejlődik a legtöbb hő [5].

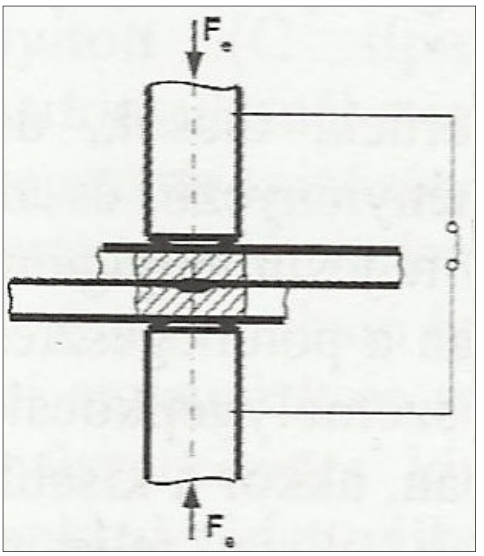
A ponthegesztett kötés létrehozásának fázisait a következő ábrák (**6a, 6b, 6c, 6d,6e, 6f**) szemléltetik:



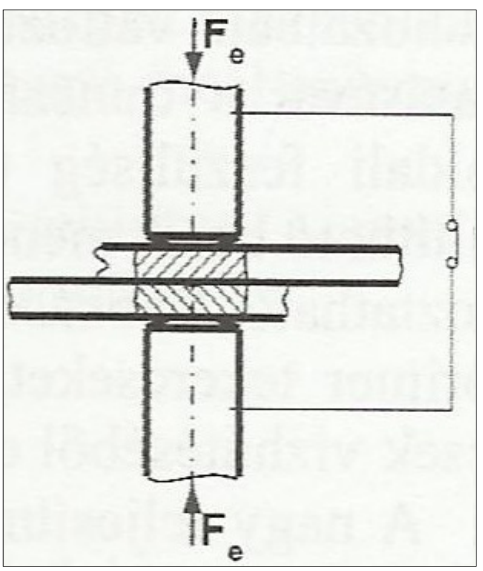
6a. ábra. *A munkadarab pozicionálása az alsó elektróda érintkezésével, majd a felső elektróda elmozdulásával összezárás megkezdése [5]*



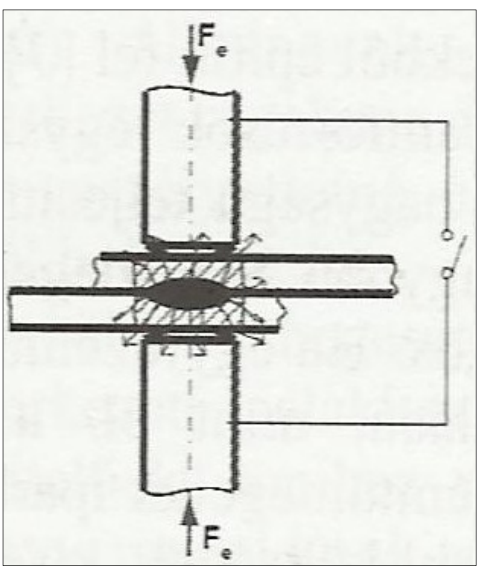
6b. ábra. *Elektródák zárása, a szükséges elektródaerő kifejtése a munkadarabra [5]*



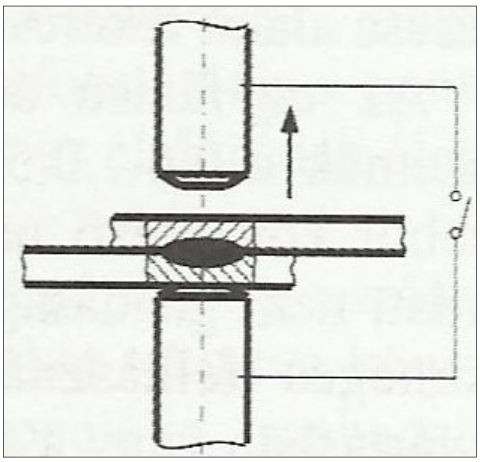
6d. ábra. *Lencse alakú ömledék létrejötte és növekedés. [5]*



6c. ábra. *Az elektródaerő hatása alatt a szekunder áramkör zárása [5]*



6e. ábra. *A szekunder áramkör nyitása után az elektródaerő fenntartása mellett a hegfürdő dermedése megkezdődik [5]*



6f. ábra. *Az elektródák szétnyitása [5]*

7. ábra. *PFB 116 ellenállás ponthegesztőgép [6]*

Az ellenállás-ponthegesztés technológiáját megkülönböztethetjük lágy, illetve kemény munkarenddel. Ugyanazt a bevitt hőenergiát előállíthatjuk rövidebb ideig tartó nagyobb árammal és hosszabb ideig tartó kisebb árammal is. Az előbbi a kemény munkarend, amelyet jó hővezető fémeknél alkalmaznak, mint például az alumíniumnál, a réznél és ötvözeteinél. A lágy munkarend edződésre hajlamos acéloknál ajánlott, de akkor is alkalmazható, ha a hegesztőberendezés nem képes megfelelő teljesítményre. Ha lehet választani a két munkarend közül, akkor a kemény munkarend javasolt inkább, mert kevesebb veszteséggel járó, gazdaságosabb folyamat [5].

2.1. Ponthegesztő-berendezés

A TRIP acélok kísérleti ponthegesztése egy PFB 116 típusú, párhuzamos löketű asztali ponthegesztőgépen történt (**7. ábra**).

Főbb jellemzői:

- névleges teljesítmény 50% x= 15kVA;
- max. hegesztőáram: 9,2kA;
- elektródaerő (6 bar esetén): 185daN;
- üresjárati feszültség: 3,5V;
- hasznos karkinyúlás: 275mm.

A felső elektróda mozgatása pneumatikus működtetésű. Az elektródák vízhűtéssel vannak ellátva. A hegesztőgép PX1500 plus vezérléssel rendelkezik a hegesztési ciklus irányítására. Az időzítő egységidejét a hálózati periódus (50Hz) határozza meg, mely megfelel a másodperc 1/50-es részének.

A gépen 9 programhely található:

- előtartási idő (0-99 periódus);
- áram felfutási idő (0-20 periódus);
- hegesztési idő (0-99 periódus);
- teljesítmény (0-99)
- impulzusszám (1-20)
- impulzus-szünet idő (0-99 periódus)
- utótartási idő (0-99 periódus)
- nyugalmi idő (0-99 periódus)
- energia funkció (0-1)

2.2. Hegesztési paraméterek

A ponthegesztésnél három paraméter változott, az áramerősség (I), hegesztési idő (t_h), valamint a hűtés jellege (vízhűtéssel vagy levegőn hűtve).

1. táblázat. Beállított hegesztési paraméterek

Jelölés	I [kA]	t_h [s]
T1 (levegőhűtéssel)	5,9	30
T2 (levegőhűtéssel)	6,3	25
T3 (vízhűtéssel)	5,9	30
T4 (vízhűtéssel)	6,3	25

A gépen beállítható többi érték állandó:

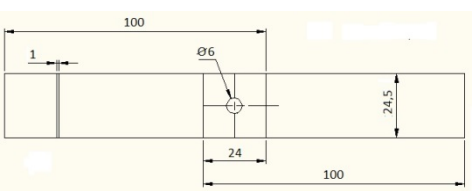
- előtartási idő: 99 periódus
- áramfelfutási idő: 20 periódus
- impulzusszám: 1
- impulzusszünet idő:0
- utótartási idő: 5 periódus
- nyugalmi idő: 0
- energiafunkció: 0
- elektródaerő (F_h): 1,85kN

3. Vizsgálatok

A hegesztett próbadarabok minősítése nyíró-szakítóvizsgálattal történt. A pontkötésekhez ez a legáltalánosabban használt roncsolásos vizsgálat. A vizsgálat szakítógépen történik, amelynek során regisztrálásra kerül az erő, illetve az elmozdulás.

Az elnyírt próbatestek mikroszkópi vizsgálattal és keménységméréssel is minősítésre kerültek.

A hegesztett próbadarabok geometriai méretei a **8. ábrán** láthatóak:



8. ábra. *Próbatest geometriai méretei*

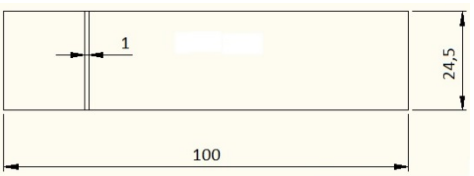
A kémiai összetétel a **2. táblázat**ban látható tömegszázalékban kifejezve:

2. táblázat. TRIP700 kémiai összetétele (%-ban) [3]

C	Mn	Si	Al	P	S
0,2	1,7	0,35	0,5	0,112	0,008

A vizsgált próbatestek korrózióvédelmi okok miatt cinkbevonattal is el vannak látva.

A TRIP700 acél szakítóvizsgálatához felhasznált próbatestek geometriai méreteit a **9. ábra** mutatja.



9. ábra. *Szakítópróbatest geometriai méretei.*

A vizsgálat egy 130kN mérési tartományú szabályozott hajtású orsós szakítógépen került végrehajtásra. A szakítás során az erő és a hozzá tartozó elmozdulás regisztrálása történt, amelyből számítható volt a szakítószilárdság. A szakítógép a próbatesteket 12 mm/min sebességgel húzta.

A mérési eredmények átlagából számolt szakítószilárdság 695 MPa.

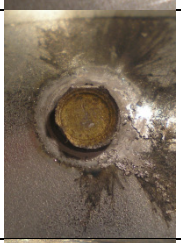
3.1 Nyíró-szakítóvizsgálat

A **3. táblázat**ban összesítve vannak a vizsgálat eredményei, a szakítóerő átlagolt értékei, illetve a heglencseátmérő átlagai.

3. táblázat. *Vizsgálat eredményei*

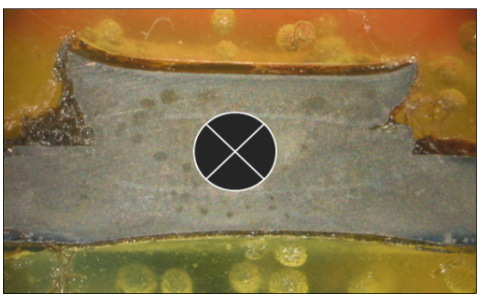
Jel	F(kN)	Heglencse-átmérő (mm)
T1	11,3	5
T2	11	5,6
T3	10,6	5,3
T4	11,3	5,1

4. táblázat. *A vizsgálat utáni hegpontok*

Jel	Hegesztett kötés képei	F(kN)
T1		11,3
T2		11
T3		10,6
T4		11,3

A **4. táblázat**ban látható a szakítóerő és a hegesztett kötés szakítás utáni fényképe a négy különböző beállítás esetén.

4.2 Keménységmérés



10. ábra. *Mikrokeménység-mérés helye*

A hegesztett pontvarratok keresztmetszetének közepén Vickers-mikrokeménység mérést végeztünk. A **10. ábrán** a mérés helye látható. A mérés ZWICK 3212 típusú optikai keménységmérő berendezésen történt. A keménységmérés 1,2 kg terheléssel történt.

5. táblázat. *Keménységértékek*

Jel	Áram-erősség (kA)	Víz-hűtés	Keménység (HV1,2)
T1	5,9	-	500
T2	6,3	-	470
T3	5,9	van	510
T4	6,3	van	585

5. Megállapítások

1. A kötés nyíróerejét nem befolyásolta nagymértékben a hegesztés során az elektródahűtés, amely jól látható a **3. táblázat**ból.

2. A hegpont átmérője az alkalmazott paraméterektől kismértékben függött.

3. Keménység a hegpont közepén (**5. táblázat**) a hűtött próbadarab esetében megnőtt.

4. Magasabb áramerősséggel hűtés nélkül végzett kísérletnél a hegközéppontban mért keménység alacsonyabb, valószínűleg a nagyobb bevitt hő megeresztette a kialakult hegpont szerkezetét, míg azonos áramerősséggel (nagyobb hőbevitel) és hűtéssel is végzett ponthegesztés esetén a keménység jelentősen nőtt.

5. Feltételezhető, hogy a hegesztett varrat mechanikai tulajdonságai javulnak, ha hegesztés után nem történik gyors hűtés, hanem biztosított a lassú lehűlés.

Amennyiben a hegesztés során biztosítani tudnánk az acél gyártása során alkalmazott hűlési körülményeket, akkor a heg-

pont és a hőhatásövezet szívóssága az alapanyagnak megfelelő lehetne.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Zsoldos I.: *Különleges autóipari acélötvözetek, karosszériaelemek lemezanyagai*. Széchenyi István Egyetem.
http://www.sze.hu/~zsoldos/valogatott_fejezetek_az_anyagtudomanybol_MSc_leckek/Korszer%C5%B1_ac%C3%A9lok_lecke.pdf

[2] Keeler, S., Sc.D. Mechanical Metallurgy, Menachem Kimchi, M.Sc. Welding Engineering: Adavanced High-Strength Steels Appliaction Guidelines Version 5.0. 2014.május.
http://309fbf2c62e8221fbaf0-b80c17cbaf20104b072d586b316c6210.r88.cf1.rackcdn.com/AHSS_Guidelines_V5.0_20140514.pdf

[3] Orosz Cs.: *Nagyszilárdságú TRIP-acélok hegesztett kötéseinek vizsgálata*. 2006.

[4] Bagyinszki, Gy.; Bitay, E.: *Hegesztéstechnka I. eljárások és gépesítés*. Erdélyi Múzeum-Egyesület. Kolozsvár, 2010.

[5] Szunyogh, L.: *Hegesztés és rokon technológiák.* Kézikönyv. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007.

[6] REHM hegesztéstechnika: Ellenálláshegesztés katalógus 2013.
http://www.rehm.hu/download/dokumentumok/EH_katalogus_2013_1.pdf

XV. Műszaki Tudományos Ülésszak, 2014. Kolozsvár, 235–241. DOI: 10.33895/mtk-2015.02.27
http://hdl.handle.net/10598/28544

TECHNIKAI RENDSZEREK ÁLLAPOTLEÍRÁSÁNAK KÉRDÉSEI

QUESTIONS REGARDING THE DESCRIPTION OF THE STATE OF TECHNICAL SYSTEMS

Vekov Géza[1], Pokorádi László[2]

[1]*Sapientia EMTE, Műszaki és Humántudományok Kar, Matematika-Informatika tanszék, Cím: 540485, Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út, 1C; Telefon / Fax: +40-265-206210, vgeza@ms.sapientia.ro*

[2]*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Cím: 1081, Magyarország, Budapest, Népszínház u., 8, Telefon / Fax: +36-1-6665446, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu*

Abstract

To observe and describe the current state of a technical system, we have to know the current values of its parameters. The acquisition, standardization and registration of this information are supervised by a registration module, which can be part of the technical system or not. The information will be passed on to the appropriate data processing threads. This study presents a classification of the state parameters based on the possible automated registration of each. We also discuss the particularities of the parameter values and the occurrence of the members of each category.

Keywords: *technical systems, state description, parameter, registration*

Összefoglalás

A technikai rendszerek pillanatnyi állapotának leírásához ismernünk kell az úgynevezett állapotleíró paramétereinek értékét. Az értékek megszerzését és standardizálását egy regisztráló modul felügyeli, mely esetektől függően vagy része a rendszernek, vagy egy különálló modul. A kapott információkat továbbítja a megfelelő adatfeldolgozási folyamatoknak. A tanulmány az állapotleíró paraméterek regisztrálhatóságának automatizálhatósága szerinti osztályozását dolgozza ki. Külön kitérünk a különböző osztályokba tartozó paraméterek értékeinek jellegzetességeire és előfordulására.

Kulcsszavak: *technikai rendszer, állapotleírás, paraméter, regisztrálás*

1. Bevezetés

Pokorádi megfogalmazásában a technikai rendszer az anyagi világ vizsgálatunk tárgyát képező része, mely egymással valamilyen kölcsönhatásban lévő elemek (berendezések és személyek) összessége. A rendszer állapota, illetve a benne lejátszódó folyamat a be- és a kimenő, valamint a belső jellemzőkkel írható le. A környezet kölcsönhatásban lehet a rendszerrel, és meghatározza a rendszer működésének peremfeltételeit [1]. Felépítésükben és működésükben egyaránt meghatározhatóak azon összetevők, tulajdonságok és funkcionalitások, melyek a rendszer adott célnak megfelelő optimális működését és működtetését lehetővé teszik. A rendszer állapota minden pillanatban leírható a komponensei aktuális funkcionális és fizikai paramétereivel, a komponensek közti kölcsönhatások pilla-

natnyi állapotával, a rendszer környezetével történő kommunikációjának jellemzőivel. A rendszerek állapotának megfigyelésére, előrejelzésére, hibaelhárításra, valamint ezek tervezésére különböző modelleket használhatunk. A modell egy valóságos rendszer egyszerűsített, a vizsgálat szempontjából lényegi tulajdonságait kiemelő mása. Ezek gyakran nélkülöznek olyan részleteket, melyek a gyakorlati megvalósításhoz, az üzemeltetéshez vagy a nyilvántartáshoz elengedhetetlenül szükségesek. Az említett tulajdonságok, legyenek fizikai vagy funkcionális természetűek, sok esetben befolyásolhatják a valós rendszer telepíthetőségét, beüzemelését. Vegyük például egy számítógéphálózatban alkalmazott szerverszekrény fizikai méretét. Mérete szabványosított, de a számára szükséges hely és szellőzés olyan paraméterek, melyek nem az általa tárolt szervereket jellemzik. Ennek ellenére egy szerver alkalmazásának tervezésekor figyelembe kell venni ezeket. Belátható, hogy ezen paraméterek, ha nem is az aktuális rendszer modellezése során, de ennek valamely életciklusában jelentős szerepet játszanak vagy játszhatnak, ezért indokolt lehet a nyilvántartásuk. A mai technológiai irányzatok megközelítésében lehetőség szerint egy rendszer valamennyi paramétere automatikusan regisztrálható kell hogy legyen. De mint a példa is bizonyítja, vannak olyan tulajdonságok, melyek csak manuálisan vezethetők be egy a valós rendszert leíró és megfigyelő nyilvántartásba.

Egy rendszer állapotleíró paraméterei, a komponensek vagy folyamatok szerint, amelyekhez tartoznak, lehetnek statikusak vagy dinamikusak, alapvető vagy kiterjesztett funkcionalitásokra, tulajdonságokra vonatkozóak. Egy nyilvántartás kidolgozása esetén természetszerűleg szűrni kell a szükséges paraméteradatok listáját, ám nem szabad figyelmen kívül hagyni ezek potenciális fontosságát sem. Ebből kifolyólag tervezéskor, illetve implementáláskor valamennyi állapotleíró paraméter esetén maximálisan biztosítani kell ezek regisztrálhatóságát.

Ugyancsak fontos kérdéskör a regisztrált adatok esetén a megfelelő feldolgozás és tárolás megvalósítása. Ebből a szempontból külön hangsúlyt kell fektetni az adatok megbízhatóságára. Alkalmazástól függően lényeges lehet, az áttekinthetőség érdekében, az adatok esetleges diszkretizálása.

Jelen tanulmány a fent említett vetületek figyelembevételével, a regisztrálhatóság szempontjából vizsgálva, a technikai rendszerek állapotleíró paramétereinek egy lehetséges osztályozási módját elemzi. Három különböző állapotparaméter-kategóriát különítettünk el, melyekkel a tanulmány további részében foglalkozunk.

Az osztályozási módszer megkönnyítheti a rendszertervezést, például nagyszámú számítógép – mint technikai rendszerek – hardveradatainak egyéni szempontok szerinti nyilvántartásba vétele esetén. A szükséges paraméterek kiválasztása, tulajdonságaik elemzése, majd ezt követően az általunk meghatározott osztályokba sorolása meghatározó lehet a nyilvántartás regisztrációs moduljának, egy felhasználói felületnek és az adatgyűjtéshez használt szoftverkomponensek megtervezésének vagy kiválasztásának tekintetében. A tanulmány további fejezeteiben példaként visszatérünk a fent említett számítógép-nyilvántartási megoldás egyes paramétereinek osztályozására.

A dolgozat az alábbi fejezetekből áll: A második fejezet az általunk használt fogalmak definícióit tartalmazza. A harmadik fejezet az automatikusan regisztrálható adatokkal, azok jellemzőivel, illetve a regisztrálásukhoz szükséges infrastruktúrát tárgyalja. A negyedik fejezet a diszkretizálandó, de nagy szórású és a már diszkrét, de gyakran előforduló paraméterértékek kezelésével foglalkozik. Az ötödik fejezetben az rendszer automatikusan nem regisztrálható,

kizárólag manuálisan rögzíthető állapotjelzőit tárgyaljuk. A következtetésben összefoglaljuk a tapasztalatokat, és összegezzük egy rendszer állapotának automatikus regisztrálásához szükséges infrastrukturális, illetve funkcionális komponensekkel szemben támasztott elvárásokat.

2. Fogalmak

A *regisztráló modul* felel a paraméteradatok standardizált formában történő továbbításáért. A modul a technikai rendszer része, vagy bizonyos esetekben egy különálló nyilvántartás illetve felügyelő rendszer része is lehet. A tanulmányban, az általánosság korlátozása nélkül, a technikai rendszerrel közvetlen kapcsolatban álló, de független modulként hivatkozunk rá. A modul kimenete tetszőleges adatfeldolgozó folyamatoknak adja át az információt.

Az állapotjelzők osztályozásában megkülönböztethetünk aktív, folyamatos közlésű vagy elsütő mechanizmus (trigger) hatására továbbított értékű, illetve passzív paramétereket. Utóbbiak kizárólag manuálisan adhatók át a regisztráló modulnak. A *trigger*ek olyan eszközök vagy programok, melyek a nem folyamatos közlésű állapotleíró paraméterek pillanatnyi értékének közlését váltják ki a regisztráló modul felé. Egy trigger egy vagy több paraméter közlését is kezdeményezheti. A passzív paraméterek bevezetésére a *felhasználói felület* biztosítja a lehetőséget.

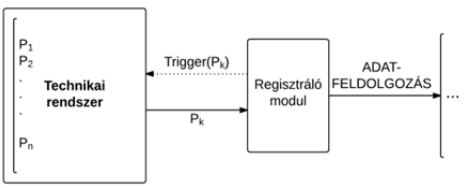
A *standardizált* állapotjelző adat elsődleges tulajdonsága a megbízhatóság és a formai szabványnak való megfelelés. *Manuális standardizálás* alatt a nem megfelelő formában kapott, illetve a manuálisan bevezetett paraméterértékek megadott szabványnak megfelelő alakra hozását értjük.

Az *adatfeldolgozás*i folyamat a regisztráló modulhoz kapcsolódva ennek kimenetét hivatott feldolgozni.

3. Automatizáltan regisztrálható állapotparaméterek jellemzése

Automatizáltan regisztrálható állapotparaméterről beszélünk abban az esetben, amikor az adott aktív paraméter pillanatnyi értéke időzítve, programvezérléssel vagy folyamatos közlés eredményeképpen, közvetlen emberi beavatkozás nélkül, a kívánt formában megszerezhető. A meghatározás azokra az értékekre is vonatkozik, melyek a regisztráló modulba nem megfelelő alakban kerülnek be, viszont előre ismert transzformációs lépések végrehajtásával standardizálhatóak.

Az **1. ábra** az automatizáltan regisztrálható paraméterek feldolgozását szemlélteti.



1. ábra. *Automatizáltan regisztrálható paraméterek feldolgozási folyamata. P_1-P_n – a rendszer állapotleíró paraméterei*

A regisztráló modul az aktuális állapotjelző közlési módozatától függően alkalmazhat triggereket vagy sem. A technikai rendszer a kérdéses paraméter értékét közli a regisztráló modul felé. Az érték formai követelményeknek való megfelelésének függvényében a regisztráló modul végrehajtja a szükséges transzformációkat, majd az eredményt továbbítja az adatfeldolgozási folyamat inputjára. Például egy személyi számítógép operációs rendszerének egyik regisztrációs modulja, az eszközmeghajtókezelő a korszerű illesztőprogramok által szolgáltatott információk egy részét automatikusan továbbítja az operációs rendszer magjának feldolgozás végett. Ennek hatása az egér virtuális mozgása a képernyőn a fizikai rendszer állapotváltozásának következményeként. A modern operációs rend-

szerekben a hardverfelismerés automatikus triggerek használatával biztosított. A regisztráló modul, ez esetben is a rendszer részeként, folyamatosan lekérdezi a fizikai csatlakozási pontok állapotát, és ennek eredményét továbbítja az adatfeldolgozási folyamatoknak. Ugyancsak az állapotjelzők automatizált regisztrálásáról beszélhetünk a különböző műszerek méréstechnikai összetevői esetén, ha a feldolgozóegységet regisztráló modulnak tekintjük. Ilyenek például a gépkocsiban a különböző szenzorok által szolgáltatott adatok, a fedélzeti számítógép pedig a regisztráló modul. A transzformációk ebben az esetben a jelek regisztrálható formára hozására vonatkoznak. A mérési adatok folytonosan közölt állapotleíró paraméterek.

Az automatikusan regisztrálható adatok megbízhatóságának biztosítása elsődlegesen a technikai rendszer, illetve a regisztráló modul tervezési fázisához tartozik. A standardizálási transzformációk megtervezése a pontosan meghatározható paraméterértékek azonosításán múlik. Diszkrét alakra hozás esetén kijelenthető, hogy a folyamat sikere csak a matematikai értelemben vett folytonos és intervallumokra bontható adatok, vagy az előre meghatározott kategóriákba sorolható értékek regisztrálása esetén biztosítható. Ellenkező esetben az adatok ismeretlen kategóriákba és tartományokba kerülhetnek, melyek ha nincsenek a regisztráló modul definícióiban tárgyalva, a rendszer által szolgáltatott információkat inkonzisztenssé tehetik. Amennyiben feltételezhető ilyen értékek megjelenése, megbízhatósági szempontból a félig automatizált módszerek alkalmazása ajánlott.

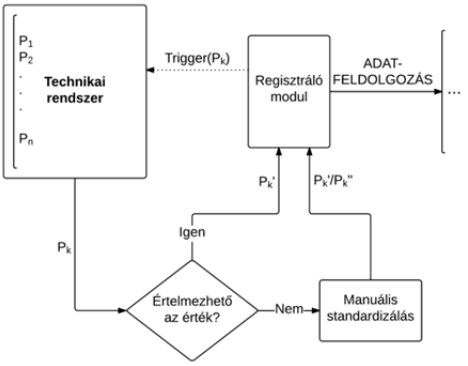
A már diszkrét alakban levő automatikusan regisztrálható paraméterek értékei gyakran a kapcsolók állására vagy a komponensek létezésére utalnak. Tekintsünk a bevezetőben említett példa részeként egy Linux alapú operációs rendszer segítségével végzett hardverfelmérést. A PCI eszközök listáját lekérdező *lspci* segédprogram kimenetében a számítógép konfigurációjában található aktív hálózati eszközöket lehet keresni mint az eszköz létezésének feltételeit. Az lspci utasítás alapértékekkel történő futtatása valamennyi – a pci.ids adatbázis [2] szerint ismert – a PCI sínen elhelyezkedő eszköznek kiírja a gyártó által meghatározott azonosítóját, valamint az eszköz funkcionális kategóriáját. A hálózati eszközök esetében például a leírás tartalmazza az „Ethernet” vagy a „LAN” kulcsszavakat, tehát ezek jelenléte garantálja egy aktív hálózati eszköz jelenlétét a rendszerben. Figyelembe kell venni ugyanakkor, hogy az állapotleíró paraméter értékeit hogyan értelmezzük. Az előbbi példában biztosítékot kerestünk egy aktív hálózati eszköz létezésére, ugyanakkor ennek hiánya az lspci kimenetében nem jelenti azt, hogy a konfigurációnak nem része, hanem csak azt, hogy nem szerepel a PCI eszközök adatbázisának megfelelő listázásban ilyen komponens. Ez az eset felfogható mint bizonytalansági tényező, de előfordulásának valószínűsége elhanyagolható. Más esetekben viszont, amikor ez az érték számottevően nagy, a manuálisan regisztrálható paraméterértékek osztályába történő besorolás és az ennek megfelelő kezelés szolgáltathat megfelelő módszert.

4. Félig automatizáltan regisztrálható állapotparaméterek jellemzése

Bizonyos esetekben, például a számítógép-merevlemezek (Hard Disk Drive) kapacitásának meghatározásánál mint releváns paraméternél jókora szórás figyelhető meg a standard kapacitások határain belül. Ennek ellenére ugyanúgy kell kategorizálni két különböző fizikai kapacitású, de ugyanolyan felhasználói kategóriába sorolt egységet. Például a 80 GB kapacitásra kiadott WD800JD-60LS modellű merevlemez fizikai kapacitása 156301488 szektor*512 byte, míg az ugyancsak 80 GB kapacitású,

egyazon gyártótól származó WD800JD-75MS modellű merevlemez fizikai kapacitása 156250000 szektor*512 byte. A különbség laikusok szempontjából lényegtelennek is tekinthető, ennek ellenére egy diszkrét értékekkel dolgozó regisztráló modul különbözőnek látja a két kapacitást, sőt a 80 GB-os méretet sem fogadja el, hiszen annak definíció szerinti fizikai kapacitása 167772160 szektor*512 byte ($80*2^{30}$ byte). A megoldást az intervallum alapú, bővíthető kategóriák adják, melyek segítségével egy paraméternek megfeleltethető egy jól meghatározott diszkrét érték. A módszer hátránya az, hogy újabb kategóriák megjelenése esetén a rendszer nem elég flexibilis, ha az adott állapotjelzőt automatikus módon regisztráljuk. Ezeket az állapotjelzőket nevezzük félig automatikusan regisztrálható állapotjelzőknek. Ezen definíciónak megfelelő paraméterek esetében lehetőséget kell biztosítani új kategóriák és a nekik megfelelő értékintervallumok létrehozására, illetve a már létező intervallumok módosítására. Az ilyen módon implementált rendszerek automatikusan regisztrálják az ismert intervallumokba sorolható értékeket, a meghatározhatatlan esetekben viszont felhasználói beavatkozást igényelnek. A **2. ábra** szemlélteti egy félig automatizáltan regisztrálható állapotparaméter regisztrálási folyamatát.

A regisztráló modul a paraméter közlési módozatától függően ebben az esetben is alkalmazhat triggereket az adatközlés elindítására. A manuális standardizálási folyamat egy felhasználói felület létezését feltételezi, mely megjeleníti az összes releváns információt az adott paraméterértékről, illetve a hozzá legközelebb eső már definiált intervallumokról. A felhasználó ennek ismeretében eldöntheti, hogy új alapérték és intervallum létrehozása vagy egy már létező intervallum kibővítése szükséges.



2. ábra. *Automatizáltan regisztrálható paraméterek feldolgozási folyamata. P_1-P_n – a rendszer állapotleíró paraméterei*

A félig automatizáltan regisztrálható paraméterek közé lehet sorolni azon állapotjelzőket is, melyek ritkán változó, beolvasható értékekkel bírnak. Ilyen például a számítógépekben Vekov által tárgyalt [3], a mikroprocesszorok azonosítására szolgáló „Manufacturer–Family–Model–Stepping–Cache-CPU ID String” értékhatos. Tekintve a mikroprocesszorok típusainak véges számát, ezen értékek diszkrét és ritkán bővülő értékhalmazt képeznek. Egy új CPU megjelenése esetén elegendő első alkalommal a specifikációit és a neki megfelelő standardizált paraméterértékét megadni, ezután az állapotleíró a következő ismeretlen értékig újra automatizáltan regisztrálhatóvá válik.

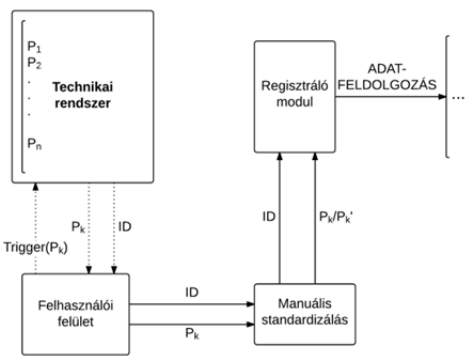
Megállapítható tehát, hogy a félig automatizáltan regisztrálható állapotleírók értékei a teljesen automatizáltan regisztrálhatóakhoz hasonlóan pontos specifikációkkal kell hogy rendelkezzenek, ami által biztosítható a minimális felhasználói beavatkozás az állapotleírás során.

5. Manuálisan regisztrálható állapotparaméterek jellemzése

Mint azt a bevezetőben is említettük, egy technikai rendszer állapotleíró paramétereinek listája különböző szempontok alapján szinte tetszőlegesen bővíthető. Az au-

tomatizáltan és félig automatizáltan regisztrálható állapotleírók azonosítását követően a kizárólag manuálisan regisztrálható értékek kezelése a következő lépés. Ide tartoznak a nem mérhető és nem lekérdezhető fizikai paraméterek vagy a rendszer funkcionalitásával közvetlenül nem összefüggő tulajdonságok, melyek információközlési kapcsolata a regisztráló modullal, fizikai, anyagi vagy egyéb megfontolásból, nincs megvalósítva. A bevezetőben említett példát tovább elemezve, számítógépek hardverazonosítása esetén, ebbe a csoportba tartozik például a szín, a forma vagy a külső házára ragasztott szoftverlicence sorozatszáma. Más technikai rendszert véve alapul ugyancsak ide sorolható egy elektronikai lapra forrasztott kondenzátor kapacitása vagy akár egy gépkocsi alvázszáma (feltételezve, hogy a jármű nem személyre szabott fedélzeti számítógéppel rendelkezik).

A manuálisan regisztrálható állapotleírók feldolgozásának folyamata a **3. ábrán** látható.



3. ábra. *Manuálisan regisztrálható paraméterek feldolgozási folyamata. P_1-P_n – a rendszer állapotleíró paraméterei*

Ezen állapotleírók esetén a felhasználói felület segíti elő az értékek megadását. A manuális standardizálás után az információ a regisztráló modulba kerül. Mivel a regisztráló modul ebben az esetben nem áll közvetlen logikai kapcsolatban a technikai rendszerrel, a paraméterre vonatkozó azonosító információkat is mellékelni kell a bevezetett adatokhoz.

A paraméterek között külön kategóriába sorolhatjuk az értékeit – trigger hatására vagy folyamatos módon – közlő, de nem megbízható vagy automatizáltan nem standardizálható információkat szolgáltató állapotleírókat. Ebben az esetben is kizárólag manuálisan vezethetők be, illetve hozhatók megfelelő alakra az adatok [4]. Ilyenek például a számítógépek alaplapjának külső és belső csatlakozóiról, PCI sínjeiről az SMBIOS menedzsmenti táblába táplált adatok [5], melyek sok esetben nem felelnek meg a valóságosan létező csatlakozóknak (a nyákokat egyazon standardok szerint gyártják, de az olcsóbb alaplapokról hiányozhatnak bizonyos csatlakozási elemek). A megbízhatatlanság miatt – habár az SMBIOS táblákban létezik a megfelelő mező [5] – csak közvetlen vizuális megfeleltetéssel lehet egy számítógép sorozatszámát meghatározni és mint paramétert regisztrálni.

Manuálisan regisztrálható állapotjelzők lesznek mindazon paraméterek, melyeket a rendszer tervezésekor nem azonosítottak, és a megfelelő infrastruktúrát nem dolgozták ki a regisztrációs modul felé történő információközlésre. Esetenként kifejleszthetőek a megfelelő kapcsolati modulok, így ezen paraméterek előléphetnek az előbbi két csoport egyikébe.

6. Következtetések

Megállapíthatjuk, hogy az adatleíró paraméterek osztályozása elsősorban a technikai rendszer tervezésének a része kell hogy legyen. A tervezési fázisban kell eldönteni, hogy mely paraméterértékek hordoznak a későbbi felhasználók számára releváns információt, és ezek közül melyek alakíthatóak át a szükségletek és a lehetőségek szerint automatizáltan vagy félig automatizáltan regisztrálható típusúvá. Saját fejlesztésű rendszerek esetében ennek megfelelően kell

kialakítanunk a rendszer belső információs infrastruktúráját, illetve ehhez kell adaptálni a regisztráló modul irányába történő kommunikációt és az ehhez szükséges kapcsolati elemeket. Amennyiben a rendszer nem változtatható, csak a regisztráló modult, valamint ennek eszköztárát lehet a technikai rendszer paramétereinek specifikációihoz igazítani. Ugyancsak ebben a fázisban kell megterveznünk a manuálisan regisztrálható paraméterek bevezetésére szolgáló felhasználói felületet, valamint az adatok standardizálását biztosító egységet.

A bevezetőben említett szerverszekrény példájából inspirálódva törekedni kell a rendszer állapotleíró paraméterlistájának utólagos bővítését elősegítő maximális flexibilitás elérésére. Természetesen a manuális regisztrálás minden esetben egy létező alternatíva az új paraméterértékek bevezetésére. Mindazonáltal az optimális tervezés céljának a legtöbb esetben az emberi beavatkozás minimalizálásának kell lennie. Véleményünk szerint a manuálisan regisztrálható állapotleírók számának csökkentése, illetve ezek átalakítása automatizáltan regisztrálhatókká a technikai rendszer hatékonyságának növekedését idézheti elő. Ennek oka elsősorban az emberi tényező mint lehetséges hibaforrás kiiktatására, illetve szerepének minimalizálására vezethető vissza [4,6]. Az automatizálási lehetőségeknek ugyanakkor korlátot szabnak a paraméteradatok helyességére vonatkozó bizonytalansági tényezők is. A helytelen állapotjelző adatok regisztrálása és feldolgozása legtöbb esetben a rendszer vagy valamely alrendszer megbízhatatlan működését vonhatja maga után.

Végkövetkeztetésként megállapíthatjuk, hogy az általunk felállított osztályozás megfelel a mai technika nyújtotta automatizálási lehetőségeknek. A jövőre nézve feltételezhetjük olyan információs, vagy más technikai rendszerekbe integrált regisztráló modulok és állapotfelmérő berendezések kifejlesztését és hatékony implementálását, melyek akár a passzív állapotleírók értékét is automatizáltan regisztrálhatóvá tudják tenni.

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Pokorádi L.: *Rendszerek és folyamatok modellezése*. Campus Kiadó, Debrecen, 2008., ISBN 978-963-9822-06-1, 8.

[2] The PCI ID Repository, http://pciids.sourceforge.net, Letöltés dátuma 2014. október 28.

[3] Vekov G.: *Számítógépek és hardverkomponensek. Tesztelés és nyilvántartás*. Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, 2008. Államvizsga-dolgozat, 16–17.

[4] Vekov G.: *Kétszintes információs rendszerek számítógépek nyilvántartásában*. Műszaki Szemle, EMT, Kolozsvár, 2012(58), 4–6.

[5] *System Management BIOS (SMBIOS) Reference Specification*, DMTF, http://www.dmtf.org/sites/default/files/standards/documents/DSP0134_2.8.0.pdf, Letöltés dátuma: 2014. október 28., 31–32 és 61–69.

[6] Pokorádi, L.: *Technikai rendszerek megbízhatósága és biztonsága*. Szolnoki Tudományos Közlemények, 2009 (XIII). 12.

SZERZŐK JEGYZÉKE / LIST OF AUTHORS

András József
Petrozsényi Egyetem, Gépész és Villamosmérnöki Kar, Gépész, Ipari és Szállitásmérnöki Tanszék, Cím: 332008, Románia, Petrozsény/Petroșani, Universității, 20; iosif.andras@gmail.com

Angi Norbert
Transilvania Egyetem, Technológus Mérnöki Kar, Repülőmérnöki Szakképzés, 500017, Románia, Brassó, anginorbert@gmail.com

Bakos Levente
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, bakos@ms.sapientia.ro

Bitay Enikő
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, ebitay@ms.sapientia.ro

Dávid László
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, ldavid@ms.sapientia.ro

Dezső Gergely
Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Intézeti Tanszék H-4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b dezsog@nyf.hu

Dobránszky János
MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. dobranszky.janos@eik.bme.hu

Farkas Loránd
Lambda Communications SRL, R&D Department, Romania, Târgu Mureș, lorand.farkas@lambda.ro

Fekete Albert-Zsombor
S.C. Tetronic S.R.L., 547530, Románia, Marosszentgyörgy/Sângeorgiu de Mureș, Wesselényi Erzsébet utca 6 szám; zsombor.fekete@tetronic.ro

Forgó Zoltán
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, zforgo@ms.sapientia.ro

Gyenge Csaba
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 400641 Cluj-Napoca, B-dul Muncii 103-105, csaba.gyenge@tcm.utcluj.ro

György Katalin
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, kgyorgy@ms.sapientia.ro

Gobesz Ferdinánd-Zsongor
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, Románia, 400020 Cluj-Napoca, C. Daicoviciu u. 15, V. épület, III/305; go@mecon.utcluj.ro

Hollanda Dénes
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, hollanda@ms.sapientia.ro

Imecs Mária
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Románia, 400114 Kolozsvár/Cluj-Napoca, Str. Memorandumului 28, maria.imecs@emd.utcluj.ro

Incze János Jób
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Románia, 400114 Kolozsvár/Cluj-Napoca, Str. Memorandumului 28, ioan.incze@emd.utcluj.ro

Jakab-Farkas László
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, jflaci@ms.sapientia.ro

Kacsó Zoltán
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, kacsozoli82@ms.sapientia.ro

Kakucs András
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, kakucs@ms.sapientia.ro

Kátai Zoltán
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Matematika-informatika Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, katai_zoltan@ms.sapientia.ro

Katona Norbert
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu-Mureş, O.p. 9, C.p. 4.

Kelemen András
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, kandras@ms.sapientia.ro

Kopenetz Lajos
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, Románia, 400020 Cluj-Napoca, C. Daicoviciu u. 15, V. épület, III/305; ludovic.kopenetz@mecon.utcluj.ro

Kocsis Lóránd
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4., Marosvásárhelyi Orvosi és Gyógyszerészeti Egyetem, Marosvásárhely

Kovács-Coskun Tünde
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1084 Magyarország, Budapest, Népszínház u. 8; kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu

Kovács József
Petrozsényi Egyetem, Gépész és Villamosmérnöki Kar, Gépész-, Ipari és Szállitásmérnöki Tanszék, Cím: 332008, Románia, Petrozsény/Petroşani, Universitatii, 20, kovacsi@gmail.com

Losonczi Lajos
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, lajos.losonczi@ms.sapientia.ro

Márton László
Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, 400009 Cluj-Napoca, str. Napoca (Jókai u.) 2–4, martonlb@yahoo.com

Márton László Ferenc
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, martonlf@ms.sapientia.ro

Mohácsi Bugárszki Norbert
Szent Miklós Rend Egyesület, Mohács, Magyarország

Máté Márton
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, mmate@ms.sapientia.ro

Orbán György
Erdélyi Múzeum-Egyesület, 400009 Kolozsvár/Cluj-Napoca Napoca/Jókai u. 2-4, orban.gyorgy@gmail.com

Papp István
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, pappistvan1944@yahoo.com

Pásztor Judit
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, pjudit@ms.sapientia.ro

Pokorádi László
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1084 Budapest, Népszínház u. 8, Magyarország, pokoradi.laszlo@bgk.uni-obuda.hu

Popa-Müller Izolda
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu-Mureş, O.p. 9, C.p. 4, ipmuller@ms.sapientia.ro

Selinger Sándor
Budapesti Műszaki Egyetem (Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék), selinger.sandor@gmail.com

Szabó Csaba
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Románia, 400114 Kolozsvár/Cluj-Napoca, Str. Memorandumului 28, csaba.szabo@emd.utcluj.ro

Szigeti Ferenc
Nyíregyházi Főiskola, Műszaki és Agrártudományi Intézet, Műszaki Alapozó, Fizika és Gépgyártástechnológiai Intézeti Tanszék, H-4400 Nyíregyháza, Sóstói út 31/b

Szigeti Péter
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Villamosmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4.

Szőke sz. Benk Enikő
Kolozsvári Műszaki Egyetem, Villamosmérnöki Kar, Villamos Gépek és Hajtások Tanszék, Románia, 400114 Kolozsvár, Str. Memorandumului 28, eniko.szoke@emd.utcluj.ro

Talpas János
Babeş−Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, 400006 Cluj-Napoca, str. Clinicilor Nr.5-7. talpasjanos@gmail.com

Tihanyi Károly
BME, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. kartihanyi@gmail.com

Törzsök Péter
MTA–BME Kompozittechnológiai Kutatócsoport, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3. tpeti@eik.bme.hu

Tolvaly-Roşca Ferenc
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, tferi@ms.sapientia.ro

Vajdics Dániel
Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyagtudományi és Gyártástechnológiai Intézet, 1084 Budapest, Népszínház u. 8, Magyarország.

Vekov Géza
Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Műszaki és Humántudományi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, 540485 Târgu Mureş, O.p. 9, C.p. 4, vgeza@ms.sapientia.ro