

# A XVIII. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI

PROCEEDINGS OF THE  
XVIII-TH INTERNATIONAL  
CONFERENCE OF  
TECHNICAL  
SCIENCES

8.

MŰSZAKI  
TUDOMÁNYOS  
KÖZLEMÉNYEK



2018

**A XVIII. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK  
ELŐADÁSAI**

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

**MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK**

---

**PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE**

**8.**

**ISSN 2393 – 1280**

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

**MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK**

---

**PAPERS ON TECHNICAL SCIENCE**

**8.**

**A XVIII. MŰSZAKI TUDOMÁNYOS  
ÜLÉSSZAK ELŐADÁSAI**

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

Szerkesztette / Edited by  
BITAY ENIKŐ – MÁTÉ MÁRTON



**ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET**  
**Kolozsvár**  
**2018**

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

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



Copyright © a szerzők / the authors, EME/ TMS 2018

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

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

Kiadó / Publisher: Erdélyi Múzeum-Egyesület  
Felelős kiadó / Editor-in-Chief: Biró Annamária  
Szerkesztette / Edited by: Bitay Enikő, Máté Márton  
Műszaki szerkesztő / DTP: Szilágyi Júlia  
Borítótér / Cover: Könczey Elemér

Társkiadó / Co-Publisher: Óbudai Egyetem, Budapest  
ISBN 978-963-449-076-0

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

online elérhető / online available at:  
<http://eda.emc.ro/handle/10598/30275>

DOI: 10.33895/mtk-2018.08

**A XVIII. MŰSZAKI  
TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK  
ELŐADÁSAI  
(KOLOZSVÁR, 2017. NOVEMBER 25.)**

**PROCEEDINGS OF THE  
XVIII<sup>TH</sup> INTERNATIONAL  
CONFERENCE  
OF TECHNICAL SCIENCES  
(CLUJ, NOVEMBER 25. 2017.)**

**SZERVEZŐ / ORGANIZED BY:**

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

**TÁRSSZERVEZŐ / CO-ORGANIZER:**

Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar  
Sapientia Hungarian University of Transylvania, Faculty of Technical  
and Human Sciences

## **PROGRAMBIZOTTSÁG / ORGANIZATION BOARD**

GYENGE Csaba, MÁTÉ Márton, RÉGER Mihály, TALPAS János

### **TUDOMÁNYOS BIZOTTSÁG / LEKTOROK**

Bagyinszki Gyula (Budapest)  
Barányi István (Budapest)  
Bitay Enikő (Kolozsvár)  
Csibi Vencel (Kolozsvár)  
Dávid László (Marosvásárhely)  
Dobránszky János (Budapest)  
Domokos József (Marosvásárhely)  
Dudás Illés (Miskolc)  
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)  
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)  
Gyenge Csaba (Kolozsvár)  
Hollanda Dénes (Marosvásárhely)  
Imecs Mária (Kolozsvár)  
Kakucs András (Marosvásárhely)  
Kelemen András (Marosvásárhely)  
Kerekes László (Kolozsvár)  
Kopenecz Lajos György (Kolozsvár)  
Kovács Tünde (Budapest)  
Márton László (Gyergyószentmiklós)  
Máté Márton (Marosvásárhely)  
Orbulov Imre Norbert (Budapest)  
Pokorádi László (Budapest)  
Pinke Péter (Budapest)  
Somogyiné Molnár Judit (Miskolc)  
Veress Erzsébet (Kolozsvár)  
Tóth László (Miskolc/Debrecen)

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

Gyula Bagyinszki (Budapest, Hungary)  
István Barányi (Budapest, Hungary)  
Enikő Bitay (Cluj, Romania)  
Vencel-József Csibi (Cluj, Romania)  
László Dávid (Târgu Mureș, Romania)  
János Dobránszky (Budapest, Hungary)  
József Domokos (Târgu Mureș, Romania)  
Illés Dudás (Miskolc, Hungary)  
Zoltán Forgó (Târgu Mureș, Romania)  
Ferdinánd-Zs. Gobesz (Cluj, Romania)  
Csaba Gyenge (Cluj, Romania)  
Dénes Hollanda (Târgu Mureș, Romania)  
Mária Imecs (Cluj, Romania)  
András Kakucs (Târgu Mureș, Romania)  
András Kelemen (Târgu Mureș, Romania)  
László Kerekes (Cluj, Romania)  
Lajos György Kopenecz (Cluj, Romania)  
Tünde Kovács (Budapest, Hungary)  
László Márton (Gheorgheni, Romania)  
Márton Máté (Târgu Mureș, Romania)  
Imre Norbert Orbulov (Budapest, Hungary)  
László Pokorádi (Budapest, Hungary)  
Péter Pinke (Budapest, Hungary)  
Judit Somogyiné Molnár (Miskolc, Hungary)  
Erzsébet Veress (Cluj, Romania)  
László Tóth (Debrecen, Hungary)

## TARTALOM

<b>ELŐSZÓ</b> .....	11
<b>FOREWORD</b> (angol előszó) .....	13
<b>András József, Kovács József</b> <i>A marótárcsás kotrógépek üzemeltetése nehezen jöveszthető beágyazódások megjelenéseinek esetében</i> .....	15
<b>Bodnár István, Iski Patrik, Skribanek Ádám</b> <i>Akácfa gázosításának vizsgálata változó üzemi paraméterek mellett</i> .....	21
<b>Botoş Marius Lucian, Gobesz Ferdinánd-Zsongor, Kisfaludi-Bak Zsombor</b> <i>Telítetlen talajok jellemzőinek vizsgálatára alkalmas laboratóriumi berendezés fejlesztése</i> .....	31
<b>Botoş Marius Lucian, Kisfaludi-Bak Zsombor</b> <i>Stacionárius/nem-stacionárius áramlatok kisméretű földgátnál</i> .....	39
<b>Forgó Zoltán, Tolvaly-Roşca Ferenc, Pásztor Judit</b> <i>Vetőtengely szakaszos forgó mozgását és fordulatszámának állítását megvalósító mechanizmus matematikai és szerelési modellezése</i> .....	45
<b>Kulcsár Klaudia, Kónya János</b> <i>Kortikális megtámasztású egyéni implantátum korszerűsítése</i> .....	51
<b>Libotean Dan Alexandru, Chira Alexandru, Gobesz Ferdinánd-Zsongor</b> <i>Textilbeton szerkezeti elemek</i> .....	61
<b>Márton László, Talpas János, Bitay Enikő</b> <i>A balánbányai rézérc (kalkopirit) felhasználhatóságának kérdései a bronzkori eszközök előállításánál</i> .....	67



<b>Máté Márton, Hollanda Dénes</b>	
<i>A csigamaró származtató felületének torzulása az utánélezésekkel. ....</i>	75
<b>Nyikes Zoltán, Tokody Dániel, Kovács Tünde</b>	
<i>A vasúti sín felületi repedésterjedésének felügyelete. ....</i>	85
<b>Soós Noémi Rita, Soós Ödön János</b>	
<i>Fröccsöntő szerszámok aktív részeinek korszerű technológiájának tanulmányozása. ....</i>	89
<b>Zabóné Varga Irén</b>	
<i>A magyar nyelvű műszaki terminológia 1920-tól napjainkig. ....</i>	95
<b>SZERZŐK JEGYZÉKE .....</b>	101

## CONTENT

<b>ELŐSZÓ (Hungarian foreword)</b> .....	11
<b>FOREWORD</b> .....	13
<b>József András, József Kovács</b> <i>The Operating of Bucket Wheel Excavators When Occure Inclusions With Excessive Mining Resistance</i> .....	15
<b>István Bodnár, Patrik Iski, Ádám Skribanek</b> <i>Inspecting the Gasification Process Done on the Acacia-Tree under Industrial Conditions</i> .....	21
<b>Marius Lucian Botoș, Ferdinánd-Zsongor Gobesz, Zsombor Kisfaludi-Bak</b> <i>The Development of Laboratory Equipment for Testing the Characteristics of Unsaturated Soils</i> .....	31
<b>Marius Lucian Botoș, Zsombor Kisfaludi-Bak</b> <i>Steady/Unsteady Flow through Small Earthfill Dams</i> .....	39
<b>Zoltán Forgó, Ferenc Tolvaly-Roșca, Judit Pásztor</b> <i>Mathematical and Assembly Modeling of the Mechanism for Implementing Intermittent Rotational Motion and Speed Setting of the Metering Shaft for Seed Drill</i> .....	45
<b>Klaudia Kulcsár, János Kónya</b> <i>Moderization of Cortically Supported Individual Implants</i> .....	51
<b>Dan Alexandru Libotean, Alexandru Chira, Ferdinánd-Zsongor Gobesz</b> <i>Textile-Reinforced Concrete Structural Elements</i> .....	61
<b>László Márton, János Talpas, Enikő Bitay</b> <i>Issues of the Usability of Copper Ore (Chalcopyrite) from Bálan for Ustensiles Production in the Bronze Age</i> .....	67

**Márton Máté, Dénes Hollanda**

*The Deformation of the Gear Hob's Generating Surfaces Due to the Re-  
Sharpening. ....* 75

**Zoltán Nyikes, Dániel Tokody, Tünde Kovács**

*Monitoring System of Rail Surface Crack Propagation. ....* 85

**Noémi Rita Soós, Ödön János Soós**

*Study of Advanced Manufacturing Technologies for Active Parts of Injection  
Molds. ....* 89

**Irén Zabóné Varga**

*The Hungarian Language's Technical Terminology from 1920 until Today. ....* 95

**LIST OF AUTHORS. ....** 101

## ELŐSZÓ

A Műszaki Tudományos Közlemények sorozatot 2014-ben hozta létre az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztálya azzal a céllal, hogy a műszaki tudományok szakterületén megtartott ülészekokon, konferenciákon, emléknapon elhangzott előadásokat gyűjtse egy-egy csokorba. Azóta évi rendszerességgel két konferencia tanulmányait olvashatjuk a sorozatkötetben: 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.

A tudományos tevékenységek mozgatórugójaként intézményünk folyamatosan figyeli, segíti, ösztönzi a műszaki kutatás tevékenységeit, külön figyelmet szentelve az eredmények bemutatására, közlésére, terjesztésére is. Az anyanyelven írt és közölt, a magyar szakmai körökben megvitatott tudományos eredmények megőrzése az EME Műszaki Tudományok Szakosztályának egyik fontos célkitűzése. Ugyanakkor igyekszünk a nemzetközi vérkeringésbe is eljuttatni ezen eredményeket. Az idei évtől újdonságnak számít, hogy a tanulmányokat angol nyelven is bekértük, s ezek online felületen lesznek megjelenítve, terjesztve. A közlésre szánt tanulmányok továbbra is megjelennek a megszokott (nyomtatott) kötet formájában, magyar nyelven (rövid angol kivonattal); ezek tükörmása, online felületen, angol nyelven is, a *Papers on Technical Science* sorozatban. A két változat külön ISSN számmal rendelkezik, melyek egymáshoz kötöttek, s egy publikációnak (közlésnek) számítanak. Az online angol nyelvű publikációkat a De Gruyter Open – a vele kötött szerződés értelmében – széles körben fogja terjeszteni. Ezek így indexelve lesznek a nemzetközi szakmai adatbázisokban és a szakmai online könyvkereskedésben is.

A jelen kiadvány a *Műszaki Tudományos Közlemények* sorozat nyolcadik száma (MTK, 2018. 8. szám). A *magyar tudomány napja Erdélyben* 16. fóruma keretében, 2017. november 25-én, a XVIII. műszaki tudományos ülészekokon elhangzott tizenkilenc előadás válogatott tizenkét írását tartalmazza.

Az eddig megszokott módon a kötet mélyen interdiszciplináris jellegű, mozaikszerűen összeválogatott tudományterületekre enged bepillantást. A kötetbe foglalt tizenkét tudományos közlemény tudományterületi eloszlása a sokszínűséget, a sokirányú érdeklődést igazolja: a bányászat, geológia, gépészet, építészet, kémia, mechatronika, műszaki terminológia tudományterületről érkező dolgozatok jól megférnek egymás mellett.

Az említett tizenkét tanulmány huszonkilenc szerző munkáját dicséri. Ezeket az első szerzők névsorának rendjében, angol kivonat kíséretében jelentettük meg.

A tanulmányok jelentős része csoportos munka eredménye. A műszaki tudományokban rejlő erő, szépség és jelentőség minden lehetséges alkalommal való említése annak a záloga, hogy a művelésük iránti érdeklődés erősödjön. Ezt egyik legfontosabb célunkként kezeljük, mivel a Kárpát-medencében élő, gondolkodó és magyar nyelven alkotó elit utánpótlása jelenti kulturális örökségünk fennmaradásának nélkülözhetetlen feltételét.

A kötetbe foglalt tanulmányok, online módon, az Erdélyi digitális adattárban (EDA), külön-külön is elérhetők, a következő címen: <http://eda.eme.ro/handle/10598/30275>.

A kötet átfogó, interdiszciplináris jellege arra késztet, hogy bizalommal ajánljuk a kutatók, BSc- és MSc-szakos hallgatók, doktoranduszok, üzemmérnökök, valamint a tudomány iránt laikusként érdeklődők számára is.

Végül, de nem utolsósorban köszönetünket tolmácsoljuk a szerzőknek, akik vállalták a tudományos ülészakon való aktív részvételt, és értékes tanulmányaikat közlésre kínálták, illetve a tanulmányok szakmai értékelését elvégző szaklektoroknak, kik véleményükkel, tanácsaikkal értékes segítséget nyújtottak a kötet megjelenéséhez.

*Kolozsvárt, 2018 februárja*

Az Erdélyi Múzeum-Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályának nevében

*Bitay Enikő*  
elnök

*Máté Márton*  
alelnök

## Foreword

The first issue of the series Papers on Technical Science (*Műszaki Tudományos Közlemények*) was published by the Department of Technical Sciences of the Transylvanian Museum Society in 2014. The main objective was to collect the papers read at sessions, conferences, forums held in the field of technical sciences. Since then the papers of two conferences can be read in the series every year, both of them represent the most recent results of individual or group research of outstanding research fellows, university educators, PhD or undergraduate students working or studying in different fields of technical sciences in the Carpathian Basin.

Our department is continuously motivating and promoting technical research, paying special attention to the presentation, publication and dissemination of the results. The Department of Technical Sciences of the Transylvanian Museum Society considers the safeguarding of scientific regards written, published and scientifically discussed in Hungarian one of its most important tasks. At the same time we try to make these results internationally available. The novelty of the present year is that the papers have been presented also in English and the English versions will be available online. The papers will be published in a printed volume in Hungarian (followed by a short abstract in English) as usual, the loan translations will be available only in the online series of *Papers on Technical Science*. The Hungarian and the English versions have separate but linked ISSN, so they are considered one publication. The online English version will be widely disseminated by DeGruyter Open, according to our agreement. So they will be indexed in international scientific data base and online book trading.

The present volume is the 8<sup>th</sup> issue of the Papers on Technical Science (*Műszaki Tudományos Közlemények*, MTK, 2018. 8.) It contains twelve selected papers read at the XVIII<sup>th</sup> Forum of the Day of the Hungarian Science in Transylvania, on 25 November 2017.

The volume is widely interdisciplinary as usual – we try to give a mosaic-like insight into technical sciences. The twelve scientific publications approve the variety of scientific interest: mining, geology, engineering, architecture, chemistry, mechatronics, technical terminology are equally represented.

The above mentioned twelve papers praise the effort of twenty nine authors. The papers are put in alphabetical order by the names of the first authors. An English abstract is added to each paper.

Most papers are the result of group research. The power, the beauty and the significance hiding behind the walls of technical sciences are real values that we popularize using all our resources in order to intensify the interest of young people in this direction. This is considered one of our most important objectives, due to the fact that the reinforcement of the elite living, thinking and creating in Hungarian primes an indispensable condition for safekeeping our cultural heritage.

The volume and the papers are accessible online in the Erdélyi Digitális Adattár (Transylvanian Digital Database) at the following link:

<http://eda.eme.ro/handle/10598/30275>.

The wide interdisciplinarity of the volume encourages us to recommend it in the attention of scientists, BSc, MSc and PhD students, technical engineers and also for all nonprofessionals having a particular interest in science.

Finally, we warmly thank for all authors who honored the conference with their precious presence and agreed on the publication, and also for all reviewers who helped the publishing of the present volume through their valorous opinion and advice.

Cluj, February, 2018

On behalf of the Department of Technical Sciences of the Transylvanian Museum Society

*Enikő Bitay*  
president

*Márton Máté*  
vice-president

## A MARÓTÁRCSÁS KOTRÓGÉPEK ÜZEMELTETÉSE NEHEZEN JÖVESZTHETŐ BEÁGYAZÓDÁSOK MEGJELENÉSEINEK ESETÉBEN

### THE OPERATING OF BUCKET WHEEL EXCAVATORS WHEN OCCURE INCLUSIONS WITH EXCESSIVE MINING RESISTANCE

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

<sup>1</sup>Petrozsényi Egyetem, Gépész és Villamosmérnöki Kar, Gépész, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék), Cím: 332006, Románia, Petrozsény, Universităţii utca, 20 szám; Telefon / Fax: +40722262067, [iosif.andras@gmail.com](mailto:iosif.andras@gmail.com)

<sup>2</sup>Petrozsényi Egyetem, Gépész és Villamosmérnöki Kar, Gépész, Ipari és Szállításmérnöki Tanszék), Cím: 332006, Románia, Petrozsény, Universităţii utca, 20 szám; Telefon / Fax: 0723193455, [kovacsi@mail.com](mailto:kovacsi@mail.com)

#### Abstract

The Bucket Wheel Excavator (BWE) is the main harvesting equipment used in open pit lignite or brown coal open pit mines worldwide. Despite the continuous increase of size, productivity and technical sophistication in the past decades, they are not adapted to the changes of operating environment. In this respect, the more and more frequent escalation of hard inclusions – in terms of layers, boulders and other forms – revealed a consistent non-adaptation of BWE-s to face this challenge. The actual paper, inspired by the research project RFCR-CT-2015-00003-BEWEXMIN „Bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including un-mineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance” is dealing with the preliminary considerations and results in view to contribute to solve this problem.

**Keywords:** excavator, lignite, mining, excavatability, hard intrusions

#### Összefoglalás

A külszíni lignit bányászatban, úgy a szén kitermelésére, mint a fedő kőzet eltávolítására, már hagyományos technológia a marótárcsás kotrógépek használata. Az utóbbi időben, viszont, az európai országok külszíni lignit bányáiban a természetes – földtani, kőzeti – környezet folytonosan romlik. Egyre gyakoribb a nehezen jöveszthető beágyazódások megjelenése, amelyek előbukkanása művelési szüneteléseket, meghibásodásokat, magas energiafogyasztást, csökkentett termelékenységet és végső soron magas önköltséget okoznak. A létező marótárcsás kotrógépek nem alkalmasak az ilyen jellegű, megváltozott körülményekben való üzemeltetésre. A jelen dolgozat ezt a jelenséget tárgyalja, a RFCR-CT-2015-00003-BEWEXMIN európai projekt keretében végzett kutatás eredményeinek tükrében.

**Kulcsszavak:** kotrógép, lignit, bányászat, jöveszthetőség, beágyazódások.



## 1. Bevezetés

A külszíni lignit bányászatban, úgy a szén kitermelésére, mint a fedő kőzet eltávolítására alkalmazott hagyományos technológia, főleg Európában, a marótárcsás kotrógépek használatán alapszik.

Az utóbbi időben, viszont, több Európai országok külszíni lignit bányáiban a természetes – földtani, kőzeti – környezet folytonosan romlik.

Egyre gyakoribb a nehezen jöveszthető beágyazódások megjelenése, amelyek előbukkanását művelési szünetelések, meghibásodások, magas energiafogyasztás, csökkentett termelékenység és végül magas önköltségek kísérik.

A létező marótárcsás kotrógépek nem alkalmasak az ilyen körülmények között való üzemeltetésre.

Ennek a fő oka az, hogy a marótárcsás kotrógépet eredetileg ömlesztett állapotban levő anyagok rakodására tervezték.

A marótárcsás kotrógépek jövesztésre való adaptációja a XX. század 50-es éveiben történt, akkor alapozták meg a tervezési, gyártási és üzemeltetési szabványokat, előbb Németországban, majd ezt követően más országokban. [1], [2].

Ezek a gépek az elején általában könnyen jöveszthető kőzetben, lignitben vagy barnaszénben működtek. Később, ezeknek a gépeknek a működtetésével nyert tapasztalat alapján, ezek más országokban is elterjedtek, mint például Lengyelországban, Cseh-szlovákiában és Romániában.

Itt viszont különböző, az eredetitől eltérő kőzeti környezetben alkalmazták.

Többek között, gondokat okoztak a meddőközet vagy a szén jövesztési erő- és energiaigény-tényezők értékei, ezeknek változékonysága, mint pld. a kisebb telep-  
vastagság stb.

Az átvett tervezési szabványok hiányosak voltak, főleg az új környezetben fellépő dinamikus jellegű igénybevétellel kapcsolatosan, a dinamikus igénybevételt helyettesítő

statikus igénybevétel megállapítását illetően. [3].

Még a legújabb, Európa-szerte alkalmazott szabvány is (DIN 22261), [7], a régi dinamikai együttthatókat alkalmazza, pedig közben a gyakorlat kimutatta, hogy ezek valós értéke sokkal magasabb.

Ezért, az említett BEWEXMIN projekt fő célja az, hogy olyan megoldásokat javasoljon és dolgozzon ki, hogy az előbbieken említett, nem kívánt jelenségek következményeit vagy ezeknek gyakoriságát megelőzzék illetve csökkentsék.

Ezt egyrészt úgy lehet elérni, hogy a létező kotrógépeket honosítsák ezeknek az újonnan keletkezett körülményeknek megfelelően és ezeket az eredményeket az új gépek tervezéséhez felhasználják. [4], [5], [6]

Másodsorban egy olyan folytonos ellenőrzési rendszer kidolgozása és létrehozása kívánatos, amelyik az érzékeny szerkezeti egységekben létrejött veszélyes terheléseket (az üzemeltetési körülmények figyelembevételével) és a bekövetkezendő veszélyt is előre jelezzék.

A kutatómunkát három irányba terveztük, éspedig: azon követelmények megállapítása, amelyeknek a kotrógép felépítése eleget kell tessen, annak érdekében, hogy a dinamikus terhelés minimális legyen.

Erre alapozva, további két irány rajzolódott ki, éspedig:

- monitoring rendszer kidolgozása;
- a fejtés reálidőben való ellenőrzése, különböző geofizikai módszerek bevonásával, a beágyazódások előzetes felismerésére.

## 2. Az elvégzett kutatások rövid bemutatása

Az utóbbi időben több Európai országban, a külszíni lignit bányákban gyakori jelenség a lignittelepekben vagy a telepet fedő illetve a telepek közötti meddőközetben a nehezen jöveszthető beágyazódások megjelenése.

Ezek a jelenségek a marótárcsás kotrógépek üzemeltetésében folytonosan komoly gondokat okoznak.

Eleinte ilyen jelenségek nagyon ritkán keletkeztek, és csak bizonyos külszíni bányákban, egy-egy országban.

Ezért, ennek a jelenségeknek a kutatása is csökkentett mértékben történt, az adott bánya sajátos szükségleteire fókuszálva, az eredményeket pedig ritkán hozták nyilvánosságra.

A szakirodalom inkább a kotrógép meghajtó rendszerének a dinamikai (túl) terhelésével foglalkozott. Általában, az említett irodalomban, a helyi közeti környezet leírása elég szegényes, úgy hogy nehéz összefüggéseket megállapítani a közeti környezet és a gondokat okozó túlterhelés között.

Egy másik irány az eddigi kutatásokban arra összpontosult, hogy a meghajtó rendszert megóvják a dinamikus hatások okozta károsodástól, és így különböző hidraulikus biztonsági tengelykapcsolók alkalmazását vezették be, a meríték-fejlesztés mellett. [7]

Az eredmény sajnos nem volt nagyon biztató, arra a következtetésre jutottunk, hogy nem lehet egy kotrógépet úgy beállítani, hogy az minden környezetnek megfelelő (univerzális) legyen, biztonság, hibamentesség és termelékenység szempontjából.

Az egyedi (nem rétegszerű) beágyazódások mérete a meríték térfogatához viszonyítva nagy befolyást gyakorol az okozott károsodások súlyosságára és terjedelmére, például a nagy térfogatú merítékekkel ellátott kotrógépek esetében, ( $4 \text{ m}^3$  és annál nagyobb), az ennél kisebb beágyazódást a meríték kiássa a frontból és ez tovább kerül, a szállító rendszerre és ott okoz majd károsodásokat.

Ha a beágyazódás mérete nagyobb, mint a merítéké, akkor a bontófogakkal való ütközés okoz dinamikus igénybevételt a jövesztő rendszerre.

Mivelhogy Németországban inkább a nagy térfogatú merítékes kotrógépeket alkalmazzák, a német kutatók főleg a szállító-

szalagra került beágyazódás-darabokat észlelő érzékelőkkel foglalkoztak.

Bár a használható érzékelők jól ismertek és kifejlesztettek, mégis az elért eredmények ebben az esetben is szerények, a befektetéshez viszonyítva, főleg az elemző és adatkezelő szoftver szempontjából.

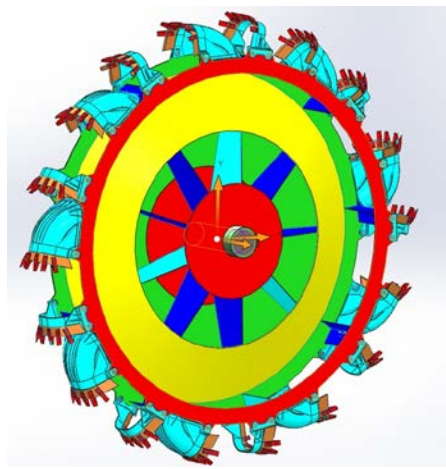
Egy összefoglalót nyújt ebben a témakörben a Németországban végzett tanulmányokról szóló [5] dolgozat.

Az eddigi tanulmányok hátránya az, hogy hiányzott a közeti környezet párhuzamos elemzése, tehát nem lehetett összefüggéseket levezetni az ok és következmény között.

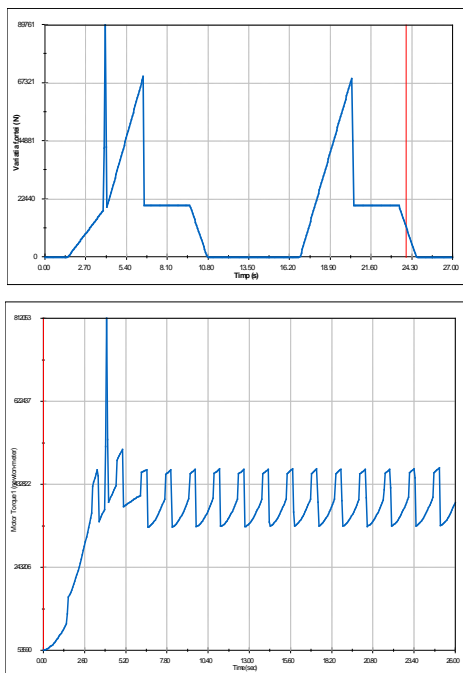
A másik nehezítő tényező az érzékelők számának és elhelyezésének meghatározása, úgy hogy a gép elemeinek igénybevételi állapotát a rendszer valóban tükrözze; ezek által szolgáltatott információ, hogy ez hogyan legyen kezelve.

Az efféle kísérleti megközelítés mellett, elméleti megközelítések is szóba jöttek, és pedig olyan elméleti modellek kidolgozására, amelyek leírják a változó, vagy pulzáló külső terhelésnek a hatását a kotrógép jövesztő-tartó szerkezetének a viselkedésére.

A gerjesztő pulzáló erő időbeli változását a két rugalmas-képlékeny test ütközésének modellje alapján vezették le. [6].



**1. ábra.** A kotrógép marótárcsájának 3D modellje



2. ábra. Az pulzáló erő időbeli változásának modellje (fent) és a meghajtó nyomatékra gyakorolt hatás (lent)

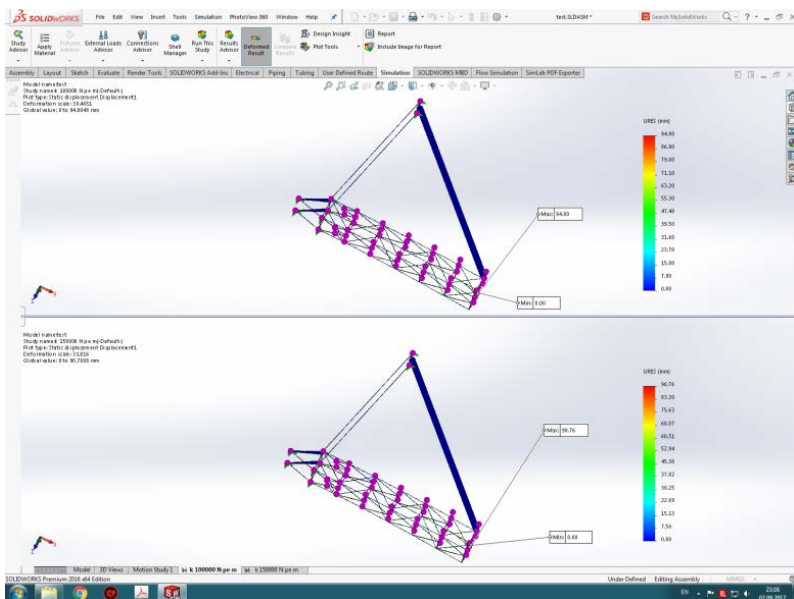
Ezen nyílt kérdések megoldását keresve, a petrozsényi csoportunk kidolgozott egy marótárcsa modellt, (1. ábra) amelyen szimulációt végeztünk és így próbáltuk a pulzáló erő befolyását a hajtónyomatéokra szemléltetni (2. ábra).

Tovább, egy gép modellen annak rezgéseinek amplitúdóját és frekvencia spektrumát tanulmányoztuk (3. ábra).

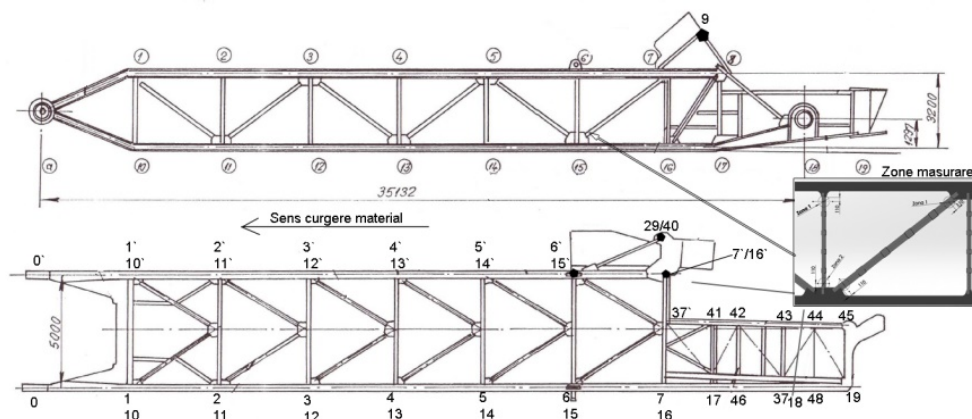
Közben, több külszíni bányában működő kotrógép gép elemeire szereltünk igénybevétel érzékelőket, amelyek a folytonos mérés eredményeit távközlési rendszer segítségével közvetítették és regisztrálták (4. ábra).

Mivel az igénybevétel érzékelők kényes módszertani problémákat okoztak, gyorsulási érzékelőket is szereltünk a rendszerbe.

A mérések összevont eredményeinek értelmezése még folyamatban van, de előzetes eredmények elfogadható összhangban vannak a modell által szerzett eredményekkel.



3. ábra. A gép alakváltozásának szimulációja dinamikus hatások által



4. ábra. A kotrógép-gémre elhelyezett érzékelők a monitoring rendszerhez

### 3. Eredmények

Az eddig végzett mérések kimutatták, hogy az igénybevétel rezgéstípusú és változékony jelben két komponens tevődik össze.

Az egyik a marótárcsa és a gép merev tömegeinek a saját rezgése, a másik pedig a jövesztési erő, illetve az egyéb dinamikus hatások által gerjesztett rezgés.

Ezeknek közeli a frekvencia spektrumuk, ezért nehezen különíthető el a különböző gerjesztési rezgésekből az, amelyik a jövesztési erő változásából ered. Ennek a kérdésnek a megoldása a projektnek egy másik fontos célja.

A kutatások egy másik iránya az, hogy a kotrógép működési (üzemelési) paramétereit, a szerkezet dinamikai tulajdonságait és a környezeti tulajdonságait összevonva a kritikus pontokban meg lehessen becsülni a reális terhelés –igénybevétel értékét.

Ennek eredménye egyrészt a létező kotrógépmoდეllek adaptációja a nehezen jöveszthető beágyazódásokat tartalmazó közegekben való alkalmazásra, másrészt új szabványokat és módszereket kidolgozni, amelyet egy új kotrógép-nemzedék tervezéséhez alkalmaznak.

Az új monitoring rendszer kifejlesztése nem csak a közvetlen károsodási veszély észlelését és kiküszöbölését szolgálja, ha-

nem a szerkezeti elemek kifáradási szintjének az ismeretét, és a gép megmaradt üzemeltetési időtartamának a becslését is.

### 4. Következtetések

Az eddig, az említett 3 irányban elvégzett kutatások a következőket mutatták ki:

Abban az irányban, amely azzal foglalkozott, hogy a váratlanul megjelent beágyazódásokat időben felismerjék, illetve azoknak létezését reálidőben jelezzék úgy, hogy a marótárcsa és a beágyazódás közötti impaktus elkerülhető legyen, több partner külszíni fejtésekben szándékosan különböző talajokban beépített beágyazásoknak az anyagközettől eltérő tulajdonságait vizsgálták különböző geofizikai eszközökkel. Az eddigi eredmények, például, a Husnicioara-i homokkő esetében nem mutattak észlelhető és felhasználható eredményeket.

A másik irány vonatkozásában, amelyik azzal foglalkozik, hogy milyen hatása van egy váratlan vágóerő hirtelen növekedésének a kotrógép szerkezeteire: bontófog, meriték, marótárcsa, beépített szállítószalag, gém, meghajtás, erőátvitel, stb., ezek megálapításának alapján az említett elemeken olyan szerkezeti adaptációt javasolni, illetve olyan működési beavatkozást, hogy az eset-

leges károsodásokat megelőzzék, vagy optimális esetben kiküszöböljék.

Ilyen például egy olyan monitoring rendszer, amely kiszűrő szoftver segítségével előre látja a nemkívánt változást, és egy szakértő rendszer segítségével megfelelő döntéshozatalra segíti a gépkezelőt vagy a vezérlő rendszert.

### Acknowledgment

*The actual paper is supported by the European Union Research Found for Coal and steel by the research project **RFCR-CT-2015-00003-BEWEXMIN** „Bucket wheel excavators operating under difficult mining conditions including unmineable inclusions and geological structures with excessive mining resistance”*

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bošnjak Srđan, Zrnić Nenad, Oguamanam Donatus - *On the dynamic modelling of bucket wheel excavators*, FME Transactions (2006) 34, 221–226.
- [2] Raaz, V., *Optimierung der maschinen- mid Verfahrenrechnischen Parameter von Schaufelradbaggern für einen abbau von harteren Materialien im Tagebau*. Braunkohle in Europa: Innovationen für die Zukunft; 1. Internationale Konferennnz, 29.März bis 1. April 2000. in Freiberg, Tagungsband.
- [3] Sümegi, J., *Külfejtési marótárcsás kotrógépek jövősző szerkezetének elméleti vizsgálata és fejlesztése*. Doktori értekezés, Miskolci Egyetem, 2002.
- [4] DURST W., VOGT V.: *Bucket Wheel Excavator*. Trans Tech Publications, Clausthal- Zellerfeld, Vol. 7, FRG, 1988
- [5] Rodenberg J.F.: *Contribution to the Assessment of the Specific Cutting Force for Bucket Wheel Excavators*. Continuous Surface Mining. Trans Tech Publications, Vol. 1, No.1-3/87, Clausthal, Germany, 1987.
- [6] Lu Zhong Lin: *Beitrag zur Festlegung der Auslegungs- und Betriebsparameter von Schaufelradbaggern durch Untersuchung ihrer Einflüsse auf das effektive Fördervolumen und den Energieverbrauch sowie durch Untersuchung des Entlehrungsvorganges des Fördergutes.*, Dissertation, TH Aachen, 1983.
- [7] DIN 22261-2 *Excavators, Stackers and Auxillary Equipment in Brown Coal Open Cut Mines Part 2 Calculation Principals*, German Institute for Standardization, 2015.

## AKÁCFA GÁZOSÍTÁSÁNAK VIZSGÁLATA VÁLTOZÓ ÜZEMI PARAMÉTEREK MELLETT

## INSPECTING THE GASIFICATION PROCESS DONE ON THE ACACIA-TREE UNDER INDUSTRIAL CONDITIONS

Bodnár István<sup>1</sup>, Iski Patrik<sup>2</sup>, Skribanek Ádám<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Egyetemi adjunktus, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, cím: Magyarország, 3515 Miskolc- Egyetemváros; Telefon / Fax: +36 46 565 142, [vegybod@uni-miskolc.hu](mailto:vegybod@uni-miskolc.hu)

<sup>2</sup> BSc hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, cím: Magyarország, 3515 Miskolc- Egyetemváros; Telefon / Fax: +36 46 565 142, [iskip95@gmail.com](mailto:iskip95@gmail.com)

<sup>3</sup> BSc hallgató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet, cím: Magyarország, 3515 Miskolc- Egyetemváros; Telefon / Fax: +36 46 565 142, [skribike@gmail.com](mailto:skribike@gmail.com)

### Abstract

This paper presents a thermos-kinetical modelling on the gasification process done on the acacia-tree under varying industrial circumstances and different humidity levels. The gasification does not produce flue gas, but due to imperfect burning synthesis gas which is rich in flammable components (CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>). The chemical structure of this gas is depends on the components of the fuel and the humidity levels but greatly affected by the technological parameters, also. Such as parameters are the pressure and the temperature, as well as the air-ratio. The study introduces the changing in the conjunction, the fuel value and the reaction efficiency due to varying gasification temperature and pressure. Rising temperature results in improved efficiency, while the higher pressure worsens the reaction efficiency. However at higher temperature intervals the effect of the pressure is neglect able.

**Keywords:** *acacias, gasification, temperature, air-ratio, reaction efficiency*

### Összefoglalás

A dolgozat az akácfa gázosításának termokinetikai modellezésével kapott eredményit ismerteti, változó üzemi paraméterek és fanedvesség esetében. A gázosítás egy olyan folyamat, amely során a tökéletlen égésnek köszönhetően nem füstgáz, hanem éghető komponensekben (CO<sub>2</sub> és H<sub>2</sub>) gazdag szintézisgáz képződik. A keletkező szintézisgáz kémiai összetételét a tüzelőanyag összetételén és nedvességtartalmán felül, a technológiai paraméterek is jelentős mértékben befolyásolják. Ilyen paraméter az üzemi nyomás, a gázosítási hőmérséklet, valamint a léghélesleg-tényező. A tanulmány a gázosítási hőmérséklet és az üzemi nyomás változtatására bekövetkező összetétel-, fűtőérték- és reakcióhatásfok-változást mutatja be. Míg a hőmérséklet növelése javuló hatásfokot eredményez, addig a nyomás növekedése a gázosítás reakció-hatásfokának romlását okoz. Azonban nagyobb hőmérséklettartományokban a nyomásváltozás hatása elhanyagolható.

**Kulcsszavak:** *akácfa, gázosítás, hőmérséklet, léghélesleg-tényező, reakció hatásfok*



## 1. Bevezetés

Napjaink egyik kulcsfontosságú kutatási területe az energetika, ami az energia-termelés- és felhasználás, valamint a hatékonyságnövelés köré épül. A hőenergia termelés kapcsán gyakran hallani a gázosítási technológiáról, első sorban a faelgázosító kazánok esetében. Azonban a gázosítás nem csak a hőenergia, hanem a villamos-energiatermelés folyamatába is bevonható, mivel a gázosítás fő terméke az éghető szintézisgáz, amely gázmotorokban, és gázturbinákban nagy hatásfokkal alkalmazható villamos-energia termelésére. A gázüzemű erőgépek gyakran kényesek a bemenő gáz összetételére, minőségi paramétereire, ezért elkerülhetetlen a fagázosítás vizsgálata. Mindemellett a fagázosítás lehetőséget biztosít tűzifa, illetve biomassza alapú gyorsindítású erőművek létesítésére.

## 2. A gázosítás történeti áttekintése

A gázosítás az egyik legrégebben alkalmazott eljárás szilárd halmazállapotú fosszilis és megújuló energiahordozók éghető szintézisgázzá és folyékony üzemanyaggá történő átalakítására. A gázosítást elsőként Thomas Shirley alkalmazta hidrogén előállítására 1659-ben. Az első szabadalmat 1788-ban Robert Gardner nyújtotta be, ezzel kezdetét vette a gázosítás térhódítása. Ipari alkalmazása William Murdoch nevéhez fűződik, és 1798-ban kezdődött Angliában valamint Franciaországban [1].

Kezdetben fából és szénből állítottak elő éghető gázokat (fagáz és szengáz), amit főleg fűtési és közvilágítási célokra alkalmaztak. 1850-re a technológia olyan fejlettségi szintet ért el, ami lehetővé tette, hogy London közvilágításának 75%-át, az ilyen módon előállított mesterséges gázokkal oldják meg. Néhány évvel később a gázosítási technológia megjelent az Amerikai Egyesült Államokban is, és 1920-ra a legtöbb városban (pl.: Chicago, Denver) fűtésre,

valamint világításra használták a gázgyárakban előállított szintézisgázokat [2].

A texasi olajmezők felfedezését követően 1930-ban kiépült az első földgázvezeték Denverben, ami megszüntette a szintézisgáz egyeduralmát. Az északi tenger alatt lévő olajmező felfedezését követően idővel Európában is a feledés homályába merültek a gázgyárak. Ugyan, az utolsót 1970-ben bontották le Angliában, de még napjainkban is található működő rendszer a harmadik világbeli országokban [1].

A belső égésű motorok megjelenésével a gázosítást alternatív üzemanyag előállítására is alkalmazni kezdték. Az első fagázzal működő autót 1901-ben Thomas Hugh Parker tervezte és építette meg, azonban elterjedésére mintegy harminc évet kellett várni. Az 1930-as években a hadiipar rohamos fejlődése és a második világháború okozta nyersanyaghiány alternatív technológiák alkalmazását tették szükségessé az üzemanyagiparban is. A II. világháború alatt a Szövetségesek és a Szovjetunió nem szállított kőolajat a németek által megszállt európai országokba. A helyi kismértékű kitermelést a német hadsereg (Wehrmacht) használta fel. Mivel még a hadiipar számára sem volt elegendő üzemanyag, a Wehrmacht még fagáz-üzemű tankokkal is kísérletezett, amelyek bevetésére végül körülményes üzemeltetésük miatt nem kerülhetett sor. A II. világháború végére, csupán Németországban körülbelül félmillió fagáz-üzemű jármű üzemelt [1]. Európában egy millióra volt tehető az ilyen járművek száma. A megszállt Dániában a civil járművek és mezőgazdasági gépek 95%-a fagázzal üzemelt [2].

A tűzifa gázosítása során keletkező szintézisgáz kémiai összetétele és energiataartalma megfelelő volt ahhoz, hogy az akkori, kezdetleges belsőégésű motorok (Otto-motorok) hajtóanyagául szolgáljon [1]. Néhány évtizeddel később a gázosítás továbbfejlesztett változatát a hulladékgazdálkodásban és az erőmű-energetikában is

alkalmazni kezdték. Külön szerelőműhelyeket alakítottak ki, hogy a már forgalomban lévő hagyományos autókat át tudják alakítani fagáz üzeművé, továbbá olyan üzemanyagtöltő állomások jöttek létre, ahol megfelelő méretűre aprított tűzifát lehetett vásárolni.

A gázosítás az anyagok gyors hőbontásán alapuló, parciális oxidációval lejártszódó folyamat, amely így a tökéletes égéshez szükséges elméleti oxigénmennyiséghez képest kisebb oxigénszükséglettel rendelkezik [2]. Az alapanyagban található szerves vegyületek részleges oxidációja közben szintézisgáz szabadul fel, ami akár nyersanyagként, vegyipari szintézisekben, vagy tüzelőanyagként hasznosítható [1].

A folyamat érzékenysége miatt fontos, hogy a beadagolt tüzelőanyag jellegzetességei (méret, nedvességtartalom, konzisztencia) bizonyos előre meghatározott határértékek közt maradjon [3]. Az érzékenység hatása jellemzően az energetikai- és a környezeti hatékonyságban jelentkezik.

Az eljárás legfőbb célja a hulladék ártalmatlanítása mellett a legnagyobb gázkihozatal, amihez az optimális energetikai hatásfok elérése társul. A gázosítás során előállított szintézisgáz hidrogénben és szén-monoxidban gazdag gázelegy, ami a gázosító közegtől függően más, energetikailag inert összetevőket is tartalmazhat. A leggyakrabban előforduló éghetetlen komponens a szén-dioxid és a vízgőz, amik a reaktortérben részt vesznek a kedvező reakciók lejátszódásában, de a reaktort elhagyva ballasztként viselkednek. A gázosító közeg jelentősen befolyásolja a keletkező szintézisgáz kémiai összetételét és energiatartalmát, valamint az átalakítás hatékonyságát. A gázosító közeg segít lebontani a szilárd kARBONT és a nagyobb molekulatömegű szén-hidrogéneket, ami eredményeként hidrogén és szén-monoxid szabadul fel [2]. Leggyakrabban levegőt, vízgőzt, vagy tiszta oxigént alkalmazunk, de szén-dioxid és oxigén megfelelő arányú keveréke is ked-

vező eredményt hozhat [2]. A helytelenül megválasztott segédgáz a technológia működésképtelenségéhez vezethet.

A szintézisgázt hasznosítás előtt célszerű lehűteni, továbbá komplex tisztítási eljárásnak kell alávetni a káros- és a korrozív anyagok (kénsav és kén-dioxid) eltávolítása érdekében. A tisztított szintézisgázból rendszerint gázmotorban, vagy gázturbinában kombinált ciklusban elégetve villamos- és hőenergiát állítanak elő, de számottevő a vegyipari szintézisekben történő alkalmazása, főleg a metanol gyártásban [2].

A gázosítás önállóan nem létező technológia, mert az erre a célra kialakított reaktorban pirolízis és égetési zóna egyaránt kialakul. A megnevezés mégis helytálló, mert a lejátszódó reakciók termodinamikai egyensúly esetén, a sugárzási veszteségeket leszámítva, önfenntartó folyamatot eredményeznek [1]. Termodinamikai egyensúlyi állapotban a rendszer nem hűl és nem melegszik, tehát nem igényel hőbetáplálást (pirolízis), vagy hőelvonást (égetés), valamint éghető szintézisgázt állít elő. A gázosítás négy lépcsőben valósul meg, ami a reaktorban eltérő hőmérsékletű és sztöchiometriai arányú zónákat eredményez. A zónák egymáshoz való viszonyát a reaktor típusa határozza meg [2].

A termikus kezelési technológiák közül a gázosítás az egyetlen, amely a légfelesleg tényező és a hőmérséklet függvényében lehet endoterm és exoterm folyamat [4]. A gázosítás alkalmazása során az önfenntartó folyamat elérése a cél [2]. Ez akkor következik be, ha a reaktor sugárzási és egyéb hőveszteségeit figyelembe véve, termodinamikai egyensúlyi állapotban üzemel. Az indítást követően az 5-20 perces tranziens-folyamat lefutása után a rendszer eléri, beáll egyensúlyi állapotba. A termodinamikai egyensúlyi állapotot a feladott alapanyag nedvességtartalma jelentősen befolyásolja. A légfelesleg tényező értékét a nedvességtartalom és a reaktor hő-veszteségei alapján lehet meghatározni [1].



### 3. A termokinetikai modellvizsgálatok alapegyenletei

A termokinetikai modellvizsgálat során meghatározzuk az egyes alapanyagokból előállított gáztermékek kémiai és energetikai tulajdonságait. A folyamatok modellezésére termokinetikai modellt alkalmazunk, ami a moláris tömeg- és energia megmaradás tételén alapul [1]. A modell alkalmazásával közelítő becslést lehet adni a keletkező gáz kémiai összetételére, fűtőértékére, viszkozitására, és a lejátszódó kémiai reakciók energetikai hatékonyságára.

Mivel a modell lényege, hogy egyszerűbbé és gyorsabbá tegye a számítást, ezért az egyszerűsített modellegyenletek felírásakor egyes összetevőket, mint például a nitrogén-oxidokat, valamint az etilén és acetilén vegyületeket elhanyagoltuk. A modell egyenlet a tüzelőanyag egy mólnyi karbon-tartalmára vonatkoztatott hidrogén- és oxigéntartalmára kerül felírásra [1, 5, 6].

A modellvizsgálatokat az egyensúlyi állandók módszerével, előre definiált elemi összetételű alapanyagra vonatkozóan, rögzített hőmérséklet és üzemi nyomás mellett végeztük el. Az egyensúlyi állandók módszere a megadott hőmérsékleten, az egyensúlyi átalakuláshoz tartozó számítás. Lényege, hogy a Gibbs-féle szabadenergia minimalizálásának elve alapján határozzuk meg a vizsgált folyamatok során keletkező termékek összetételét [7]. Az elemzések elkészítéséhez a Gaseq nevű, a NASA-módszeren alapuló szoftvert alkalmaztuk, amit Chris Morley fejlesztett ki és mindenki számára térítésmentesen elérhető, valamint szabadon felhasználható oktatási és nem profitorientált célokra. Elsősorban gázfázisú reagensek kölcsönhatását leíró egyenletek megoldására használható, de a termikus kezelési technológiák termokinetikai folyamatainak szimulálására is alkalmas. Abban az esetben, ha az elméleti és az alkalmazott moláris oxigénigény aránya egyenlő

eggyel ( $\lambda=1$ ), vagy egynél nagyobb, akkor visszkapjuk az égési egyenleteket.

A kibővített modellegyenlet a moláris anyagmegmaradás tétele alapján a következő módon írható fel (1):

$$\begin{aligned} CH_kO_l + n_m \cdot H_2O + a \cdot N_2 = x_1 \cdot H_2 + x_2 \cdot CO + x_3 \cdot H_2O + x_4 \cdot CO_2 + x_5 \cdot CH_4 + x_6 \cdot O_2 + x_7 \cdot NO + x_8 \cdot NO_2 + x_9 \cdot N_2 + x_{10} \cdot N_2O + x_{11} \cdot C + x_i \cdot C_dH_fO_g \end{aligned} \quad (1)$$

ahol:  $n_m$  a tüzelőanyag egy mólnyi karbon-tartalmára vonatkoztatott nedvességtartalma;  $a$  a tüzelőanyag nitrogéntartalma,  $x_1$  a keletkező nyers szintézisgáz moláris hidrogéntartalma,  $x_2$  a szén-monoxid-tartalma;  $x_3$  a vízgőztartalma és  $x_4$  a szén-dioxid-tartalma;  $x_5$  a metántartalom,  $x_6$  a maradó oxigéntartalom,  $x_7$  a nitrogén-monoxid,  $x_8$  a nitrogén-dioxid tartalom,  $x_9$  a nitrogéntartalom;  $x_{10}$  a dinitrogén-oxid-tartalom;  $x_{11}$  a visszamaradt szilárd karbon;  $x_i$  a keletkező egyéb összetevők moláris mennyisége (pl.: etilén, acetilén).

A modellvizsgálatok arra irányultak, hogy meghatározzuk a keletkező gáztermék kémiai összetételét, amiből származtatni tudjuk a technológiai-, valamint az energetikai hatékonyságot jellemző tulajdonságokat és paramétereket.

A paraméteres alapegyenletek megadása azért szükséges, mert ezeket felhasználva építettük fel a modellvizsgálatokat. A beemeneteli összetételek függvényében és a keletkező termékek ismeretében felírt (1) jelű képlet egyenlőségjelének jobb oldalán található ismeretlen mennyiségek meghatározására, azaz az egyenlet megoldására az egyensúlyi állandók módszerét választottuk.

Alkalmaztuk az egyensúlyi állandók módszerét, amihez előbb felírtuk minden egyes komponensre a moláris anyagmérleg egyenletet és ellenőriztük, hogy teljesül-e a moláris anyagmegmaradás tétele (2-4 összefüggések), végül meghatároztuk az egyensúlyi állandókat (5-6 képlet) [1, 6].

Karbon egyensúly:

$$1 = x_2 + x_4 + x_5 \quad (2)$$

Hidrogén egyensúly:

$$k + 2 \cdot n_m = 2 \cdot x_1 + 2 \cdot x_3 + 4 \cdot x_5 \quad (3)$$

Oxigén egyensúly:

$$l + n_m = x_2 + x_3 + 2 \cdot x_4 + 2 \cdot x_6 \quad (4)$$

Víz-gáz reakcióegyensúlyi állandó:

$$K_1 = \frac{x_1 \cdot x_4}{x_2 \cdot x_3} \quad (5)$$

Metánképződési egyensúlyi állandó:

$$K_2 = \frac{x_5}{x_1^2} \quad (6)$$

ahol:  $K_1$  és  $K_2$  a víz-gáz és a metánképződés egyensúlyi állandók, amelyek függenek a hőmérséklettől és a nyomástól.

Az egyes keletkező termékek moláris mennyiségben kifejezett értékét az egyensúlyi mól számmal ( $x$ ) jelöljük. Az egyensúlyi mól szám megmutatja, hogy a keletkező komponens milyen mennyiségben keletkezik a többi termékkomponenshez képest.

A Gibbs-féle szabadenergia az egyensúlyi számok, a nyomás és a hőmérséklet függvényében a (7) képlet alapján írható fel [1, 8]:

$$\frac{G}{R \cdot T} = \sum_{i=1}^n \left( \frac{x_i G_i^0}{R \cdot T} + x_i \cdot \ln \frac{x_i}{\sum x_i} + x_i \cdot \ln p \right) \quad (7)$$

ahol:  $G$  a Gibbs-féle szabad energia,  $G_i^0$  az  $i$ -edik alapanyag 1 mol anyag-mennyiségre vonatkoztatott fajlagos szabadenergiája atmoszférikus nyomáson,  $R$  az egyetemes gázállandó,  $T$  a rendszer hőmérséklete,  $p$  a rendszer nyomása,  $x_i$  az  $i$ -edik komponens egyensúlyi mólszáma, azaz az  $i$ -edik alapanyag anyagmennyisége a keverékben,  $n$  a kémiai elemek száma,  $\sum x_i$  a végtermék egyensúlyi mól számainak összege, a keverék anyagmennyisége.

Termodinamikai egyensúlyi állapotban a  $G/RT$  hányados minimalizálása a cél, amit az elemi összetétel határoz meg.

A modellvizsgálatok során a modell-egyenletek megoldására a Gaseq szoftverben a rögzített nyomáson és hőmérsékleten vett egyensúlyi állandók módszerét alkalmaztuk. A szoftvert kémiai egyensúlyi folyamatok elemzése céljából fejlesztették ki, így használata megfelelő a termikus kezelési technológiák vizsgálatára. A gázosítási folyamatok szimulálásával megfigyelhetjük, hogy a bemenő paraméterek változtatása hogyan befolyásolja a gázosítás során keletkező gáztermék összetételét.

#### 4. Energetikai hatékonyságvizsgálat

Az energiahatékonyság napjaink egyik központi témája. Az energiahatékonysági politika szorosan kapcsolódik a kereskedelmi, az ipari versenyképesség, valamint az energiabiztonsági tevékenységekhez, de egyre fontosabbá vált a környezetvédelmi előnyök, mint a szén-dioxid kibocsátás csökkentésére irányuló törekvések egyik alapeszközeként [3]. Az energia átalakításának hatékonyságára számos hagyományos és nem konvencionális mérőszám ismert és alkalmazhatott. A következőkben három nem konvencionális paramétert mutatunk be.

A reakció-, vagy más néven a kémiai hatásfok (8) képlet megmutatja, hogy a szilárd tüzelőanyag energiatartalmának mekkora része jelenik meg az előállított gáztermékben [9, 10]. A reakció hatásfok ismeretében meghatározható az égetés tökéletességét jellemző paraméter. Számítási módszerét a (9) képlet mutatja. Ezek alapján:

$$\eta_r = \frac{\dot{m}_{gt} \cdot F_{gt}}{\dot{m}_{szt} \cdot F_{szt}} \quad (8)$$

$$\eta_e = 1 - \eta_r \quad (9)$$

ahol:  $\eta_r$  a reakció hatásfok, ( $\dot{m}_{gt}$ ) a gáztermék tömegárama,  $F_{gt}$  a gáztermék fűtőértéke, ( $\dot{m}_{szt}$ ) a szilárd tüzelőanyag tömegárama,  $F_{szt}$  a tüzelőanyag fűtőértéke és  $\eta_e$  az égési hatásfok.

## 5. Akácfa gázosításának vizsgálata

A tanulmány kivitelezése a korábban említett „Gaseq Chemical Equilibrium Program” segítségével, az egyensúlyi állapotok módszerével történt. Egy adott elemzés lefuttatásához szükség van az adott folyamatot jellemző hőmérséklet, nyomás, valamint légfelesleg-tényező értékeire, és a választott tüzelőanyag összetételére. Ebben a feladatban tüzelőanyagként minden esetben akácfa szerepel. A száraz tüzelő-anyag összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

**1. táblázat.** Akácfa elemi összetétele a száraz bázisra vonatkoztatva.

Összetevő neve	Mennyisége
Karbondtartalom	49,50%
Hidrogéntartalom	5,90%
Oxigéntartalom	43,30%
Nitrogéntartalom	0,40%
Hamutartalom	0,90%

A modellezés folyamata során azonban, nem az elemi összetevőket, hanem az elemi alkotó molekulákat kell megadni. A fa cellulóz molekulákból épül fel, amit a szoftver nem tartalmaz, ezért a cellulózt fenollal helyettesítettük. A korrigált összetételt a 2. táblázat tartalmazza.

**2. táblázat.** A fenol-tartalommal korrigált száraz akácfa tüzelőanyag összetétele.

Összetevő neve	Mennyisége
Karbondtartalom	0,000%
Hidrogéntartalom	1,746%
Oxigéntartalom	32,311%
Nitrogéntartalom	0,400%
Hamutartalom	0,900%
Fenoltartalom	64,644%

A fenti adatok meghatározása után a reakció (gázosítás) hatásfokának vizsgálatára került sor a (8) összefüggés alapján, különböző peremfeltételek mellett.

A hatásfok meghatározásához kiszámítottuk a felszabaduló éghető gázok elméleti

fűtőértékének, és a fa tényleges fűtőértékének hányadosát. A felszabaduló gázok mennyiségét a fent említett Gaseq program segítségével határoztuk meg, az égéstermékben éghető alkotóként szén-monoxid és hidrogéngáz volt jelen a vizsgálat szempontjából számottevő mennyiségben.

Az elemzések során a légfelesleg-tényező, a reakció hőmérséklet és az üzemi nyomás változtatására bekövetkező gázösszetétel- és reakció-hatásfok változását vizsgáltuk.

Jelen szimuláció során a hőmérsékletet 600 °C és 1.000 °C fok között 100-as léptékkal, valamint a nyomást 1-20 bar között 5-ös léptékkal végeztük el. Az adatokat a következő táblázatokban foglaltuk össze, majd diagramon ábrázoltuk. A vizsgálat során az akácfa nedvességtartalmát konstans 15%-nak vettük, a légfelesleg-tényezőt pedig 0,5-nek állítottuk be. Minden esetben 1 kg akácfa gázosítását vizsgáltuk.

**3. táblázat.** 600 °C hőmérsékleten kapott hidrogén és szén-monoxid mennyiségek.

Nyomás [bar]	Hidrogéntartalom [kg]	Szén-monoxid-tartalom [kg]
1	0,03700	0,38466
5	0,02339	0,19235
10	0,01809	0,13551
15	0,01539	0,11033
20	0,01367	0,09534

**4. táblázat.** 600 °C hőmérsékleten kapott fűtőérték és reakció hatásfok.

Nyomás [bar]	Fagáz fűtőértéke [MJ/kg]	Reakció hatásfok [%]
1	8,3251	70,3682
5	4,7495	40,1458
10	3,5395	29,9174
15	2,9611	25,0292
20	2,6033	22,0049

A **3. táblázat**ban megfigyelhető, hogy kis hőmérsékleten végzett gázosítás során az üzemi nyomás növekedése csökkenti a hidrogén- és a szén-monoxid-termelést, amely következtében a felszabaduló fagáz fűtőértéke csökken és a reakció határfoka drasztikusan romlik (**4. táblázat**).

Az **5. és a 6. táblázat** 700 °C hőmérséklet esetében szemlélteti a kapott eredményeket. A nyomás növelésének függvényében szintén energetikai hatékonyság-csökkenés figyelhető meg, azonban a csökkenés meredeksége kisebb értékű.

**5. táblázat.** 700 °C hőmérsékleten kapott hidrogén és szén-monoxid mennyiségek.

Nyomás [bar]	Hidrogén-tartalom [kg]	Szén-monoxid-tartalom [kg]
1	0,03740	0,48279
5	0,03409	0,44707
10	0,02950	0,39625
15	0,02611	0,35773
20	0,02362	0,32876

**6. táblázat.** 700 °C hőmérsékleten kapott fűtőérték és reakció határfok.

Nyomás [bar]	Fagáz fűtőértéke [MJ/kg]	Reakció határfok [%]
1	9,3642	79,1514
5	8,6062	72,7445
10	7,5421	63,7503
15	6,7463	57,0233
20	6,1549	52,0245

A **7. és a 8. táblázat** 800 °C hőmérsékleten végzett gázosításra vonatkozóan tartalmazza a kapott eredményeket. A nyomás növelésének hatására bekövetkező energetikai hatékonyság-romlás egyre csökken. Míg 600 °C-on a reakció határfok 20 bar üzemi nyomáshoz képest kevesebb, mint a harmadára csökkent 1 bar üzemi nyomáson történő vizsgálatokhoz képest, addig 800 °C-nál ez az érték már a 10%-ot sem érte el.

**7. táblázat.** 800 °C hőmérsékleten kapott hidrogén és szén-monoxid mennyiségek.

Nyomás [bar]	Hidrogén-tartalom [kg]	Szén-monoxid-tartalom [kg]
1	0,03438	0,52939
5	0,03412	0,52648
10	0,03339	0,51837
15	0,03240	0,50705
20	0,03129	0,49426

**8. táblázat.** 800 °C hőmérsékleten kapott fűtőérték és reakció határfok.

Nyomás [bar]	Fagáz fűtőértéke [MJ/kg]	Reakció határfok [%]
1	9,4724	80,0664
5	9,4118	79,5543
10	9,2423	78,1215
15	9,0092	76,1509
20	8,7468	73,9331

**9. táblázat.** 900 °C hőmérsékleten kapott hidrogén és szén-monoxid mennyiségek.

Nyomás [bar]	Hidrogén-tartalom [kg]	Szén-monoxid-tartalom [kg]
1	0,03179	0,56572
5	0,03176	0,56542
10	0,03168	0,56455
15	0,03156	0,56318
20	0,03140	0,56132

**10. táblázat.** 900 °C hőmérsékleten kapott fűtőérték és reakció határfok.

Nyomás [bar]	Fagáz fűtőértéke [MJ/kg]	Reakció határfok [%]
1	9,5286	80,5409
5	9,5219	80,4849
10	9,5036	80,3294
15	9,4753	80,0908
20	9,4373	79,7697

A 9. és a 10. táblázatok 900 °C hőmérsékleten végzett gázosítás eredményeit tartalmazza. Megfigyelhető, hogy itt már a nyomásnövelés hatására bekövetkező reakcióhatásfok-romlás az 1%-ot sem éri el.

1.000 °C hőmérsékleten végzett gázosításnál (11. és 12. táblázatok) a nyomásnövelés hatása elhanyagolható.

A kapott eredmények alapján elmondható, hogy állandó légfelesleg-tényező mellett az üzemi nyomás növelése a gázosítás reakció hatásfokának csökkenését eredményezi, az alkalmazott hőmérséklet azonban pozitív irányban befolyásolja. A hőmérséklet függvényében figyelembe vett nyomásnövekedés reakcióhatásfok-csökkentő hatása exponenciális jelleget mutat. Az ideális gázosítási hőmérséklet akácfa esetében 800 °C és 900 °C közé tehető.

**11. táblázat.** 1.000 °C hőmérsékleten kapott hidrogén és szén-monoxid mennyiségek.

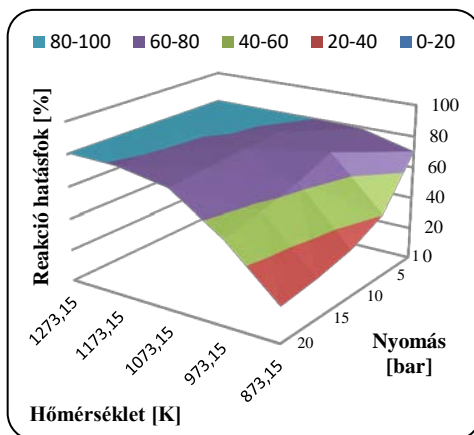
Nyomás [bar]	Hidrogén-tartalom [kg]	Szén-monoxid-tartalom [kg]
1	0,02967	0,59522
5	0,02966	0,59516
10	0,02964	0,59503
15	0,02962	0,59482
20	0,02960	0,59454

**12. táblázat.** 1.000 °C hőmérsékleten kapott fűtőérték és reakció hatásfok.

Nyomás [bar]	Fagáz fűtőértéke [MJ/kg]	Reakció hatásfok [%]
1	9,5721	80,9090
5	9,5703	80,8937
10	9,5666	80,8624
15	9,5621	80,8241
20	9,5569	80,7800

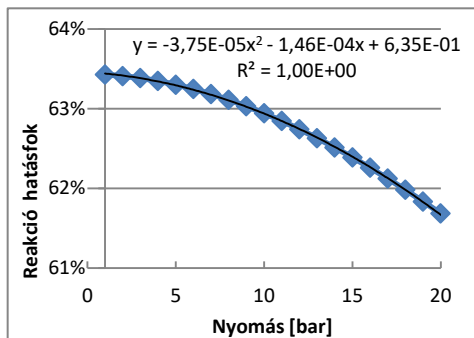
Az elmondottakat az 1. ábra szemlélteti. Megfigyelhető, hogyan alakul a reakció hatásfok a gázosítási hőmérséklet és az üzemi nyomás függvényében. Látható,

hogy kisebb hőmérsékleten az üzemi nyomás nagyobb hatást gyakorol a gázosítás reakció hatásfokára, mint nagyobb hőmérsékleten.



**1. ábra.** Reakció hatásfok a hőmérséklet és a nyomás függvényében, akácfa gázosítása során.

Megvizsgáltuk az is, hogyan változik a reakció hatásfok állandó légfelesleg tényező és hőmérséklet mellett, valamint állandó nedvességtartalmú tüzelőanyag esetében. A 2. ábra szemlélteti, hogyan változik a nyomás függvényében a reakció hatásfoka 0,6 légfelesleg tényezőnél, 800 °C hőmérsékleten végzett gázosítás során, a 15% az elgázosított akácfa nedvességtartalma.



**2. ábra.** Reakció hatásfok a nyomás függvényében, állandó hőmérséklet, légfelesleg tényező és nedvességtartalom esetén.

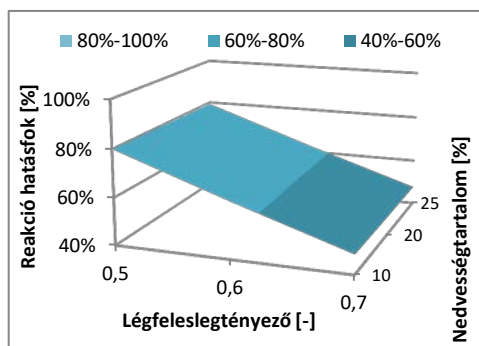
Megfigyelhető, hogy a nyomás növelése exponenciális jelleggel csökkenti a reakció hatásfokát, tehát gázosítás során célszerűtlen magas nyomást választani a reakció színterén. Hasonló tendencia figyelhető meg változó légfesleg tényező, hőmérséklet és nedvességtartalom esetén.

Következő lépésként megvizsgáltuk, hogyan változik a reakció hatásfoka, ha a légfesleg-tényező értéke, illetve a tüzelőanyag nedvességtartalma változik, amennyiben a gázosítás hőmérséklete 800 °C és az üzemi nyomás 1 bar.

Megfigyelhető, hogy a légfesleg-tényező növelésével a reakció hatásfoka drasztikusan csökken. A tüzelőanyag nedvességtartalmának növekedése pedig csak kis mértékben csökkenti a reakció hatásfokát. Mindezt a **13. táblázat** és a **3. ábra** szemlélteti.

**13. táblázat.** 800 °C hőmérsékleten és 1 bar üzemi nyomás mellett végzett gázosításra vonatkozó reakció hatásfokok.

Nedv.- tartalom	Légfelesleg-tényező [-]		
[%]	0,5	0,6	0,7
10	80,10%	63,65%	48,14%
20	79,49%	63,19%	47,77%
25	79,16%	62,93%	47,58%



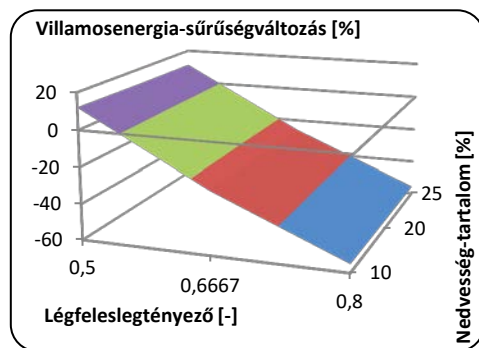
**3. ábra.** A hatásfok alakulása a légfesleg-tényező és a nedvességtartalom függvényében 800 °C hőmérsékleten.

Az elemzés legvégén pedig azt vizsgáltuk meg, hogyan viszonyul a nedves fa gázosítása során előállított szintézisgázból, gázmotor segítségével termelt villamosenergia, ahhoz az energiamennyiséghez, amelyet a nedves fa elégetésével, gőzturbinás erőműben nyernénk. Ezt a mennyiséget villamosenergia-sűrűségváltozásnak neveztük el. A számítási módszerét a 10. összefüggés mutatja.

$$\Delta e_v = \frac{e_k \text{ gázosítás} \cdot \eta_{\text{egv D}}}{e_k \text{ égetés} \cdot \eta_{\text{egv RC}}}, \quad (10)$$

ahol:  $\Delta e_{rv}$  a villamosenergia-sűrűségváltozás,  $e_k \text{ gázosítás}$  a gázosítás fajlagos energia kihozatala,  $e_k \text{ égetés}$  az égetés fajlagos energia kihozatala,  $\eta_{\text{egv D}}$  a gázosítás során alkalmazott Diesel-körfolyamat villamos hatásfoka,  $\eta_{\text{egv RC}}$  az égetés során alkalmazott Rankine-Clausius-körfolyamat villamos hatásfoka.

A Rankine-Clausius ciklus villamos hatásfokát 27%-nak, míg a gázmotoros energiatermelés villamos hatásfokát 36%-nak vettük, amely értékek átlagosnak tekinthetők. Az így kapott értékeket diagramon ábrázoltam (**4. ábra**).



**4. ábra.** A villamosenergia-sűrűségváltozás alakulása a légfesleg-tényező és a nedvességtartalom függvényében 800 °C hőmérsékleten.

A **4. ábráról** leolvasható, hogy mind a légfesleg tényező, mind a nedvességtarta-

lom növekedésével az energiasűrűség-változás kedvezőtlen irányba változik. A légfelesleg tényező növelése intenzívebb villamosenergia-sűrűségváltozást eredményez, mint a nedvességtartalom növekedése, ezért nagyobb nedvességtartalmú tüzelőanyag esetében is kedvező lehet a gázosításon alapuló villamosenergia-termelés.

0,5-ös légfelesleg tényező felett pedig az energiasűrűség-változás értéke negatívvá válik, ami azt eredményezi, hogy egységnyi tüzelőanyagból nem lehet több villamos energiát előállítani gázosítási technológia alkalmazásával, mint a hagyományos égetésses technikával.

## 6. Következtetések

Az elemzések során megbizonyosodtunk arról, hogy a fás szárú biomasszák gázosításának szimulációja mögött rendkívül bonyolult számítások állnak. Továbbá az is nyilvánvalóvá vált számunkra, hogy az alapanyag tulajdonságai közül vizsgált nedvességtartalom, valamint a technológiához kapcsolódó paraméterek közül a légfelesleg-tényező, a hőmérséklet, valamint a nyomás változtatása nagymértékben tudja befolyásolni az előállított szintézisgáz fűtőértékét. Az elemzés arra mutatott rá, hogy a nedvességtartalom, a légfelesleg-tényező, valamint a nyomás növelése a reakció hatásfok csökkenését eredményezi, míg a hőmérséklet emelése a reakció hatásfok növekedéséhez járul hozzá.

A fenti eredményekből megállapítható tehát, hogy a gázosítás hatásfoka a három vizsgált légfelesleg-tényező közül 0,5 értéken a legmagasabb. Mivel a nedvességtartalom nem befolyásolja jelentősen a gázosítás hatásfokát, ezért jól alkalmazható olyan esetekben is, ahol a tüzelőanyag nedvességtartalma viszonylag magas (20-25%).

A nyomás növekedésével a hatásfok exponenciálisan csökken, ezért nem célszerű magas nyomást választani a gázosítás reakcióterében. A reakciótér hőmérséklete 800

°C feletti növelése csekély mértékben javítja a reakció hatásfokát, ezért növelése gazdaságossági megfontolások alapján nem célszerű.

Véleményünk szerint tehát egy-egy adott gázosító üzem hatékony működtetése rendkívül összetett folyamatnak minősül és gondos mérnöki munkát igényel.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Zainal Z. A., Ali R., Lean C. H., Seetharamu K. N.: *Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modelling for different biomass material*. Energy Conversion and Management 42. (2001) 1499–1515.
- [2] Red T. B., Das A.: *Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems*. Solar Energy Research Ins., 1988. 148.
- [3] Hill T. & Downen, S.: *Pyrolysis and gasification*. Briefing (Draf 2), UK Without Incineration Network (UK WIN), 2010. 1–9.
- [4] Patterson, M. G.: *What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues*. Energy Policy. Vol. 24, No. 5. 1996. 377–390.
- [5] Wang Y., Kinoshita, C. M.: *Kinetic model of biomass gasification*. Solar Energy, Vol. 51. No. 1. 1993, 19–25.
- [6] Mountouris, A., Voutsas, E., Tassios, D.: *Solid waste plasma gasification: equilibrium model development and exergy analysis*. Energy Conversion and Management. Vol. 47. 2006. 1723–1737.
- [7] Hatzilyberis, K. S.: *Design of an indirect heat rotary kiln gasifier*. Fuel Processing Technology. 92, 2011. 2429–2454.
- [8] Morly, C.: *Method for calculating equilibrium compositions at specified temperature*. Gaseq, a chemical equilibrium program for windows. www.gaseq.co.uk 2005. 6.
- [9] Rajvanshi, K., A.: *Biomass gasification*. Alternative Energy in Agriculture. Vol. 2. No. 4. 1986. 83–102.
- [10] Schuster, G., Löffler, G., Weigel, K., Hofbauer, H.: *Biomass steam gasification – an extensive parametric modeling study*. Bioresource Technology. Vol. 77. 2001. 71–79.

## TELÍTETLEN TALAJOK JELLEMZŐINEK VIZSGÁLATÁRA ALKALMAS LABORATÓRIUMI BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE

## THE DEVELOPMENT OF LABORATORY EQUIPMENT FOR TESTING THE CHARACTERISTICS OF UNSATURATED SOILS

Botoș Marius Lucian<sup>1</sup>, Gobesz Ferdinánd-Zsongor<sup>2</sup>, Kisfaludi-Bak Zsombor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tan-  
 szék, 400027, Románia, Kolozsvár, Gh. Baritiu u. 25, I. em., 147, Tel. +40-264-  
 401517, [marius.botos@mecon.utcluj.ro](mailto:marius.botos@mecon.utcluj.ro)

<sup>2</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tan-  
 szék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu u. 15, III. em., 305, Tel. +40-264-  
 401351, [go@mecon.utcluj.ro](mailto:go@mecon.utcluj.ro)

<sup>3</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tan-  
 szék, 400027, Románia, Kolozsvár, Gh. Baritiu u. 25, I. em., 147, Tel. +40-264-  
 401517, [zsombi\\_kisfaludi@yahoo.com](mailto:zsombi_kisfaludi@yahoo.com)

### Abstract

The laboratory assessment of the hydraulic characteristics of unsaturated soils usually requires expensive equipment and extended time period. In lack of financial support, but taking advantage of local knowledge and resources, the development of cheaper alternative equipment is presented in the present paper. The automated setup allows the assessment of the saturation degree of soil samples subjected to different suctions.

**Keywords:** laboratory, equipment, testing, unsaturated, soil, water.

### Összefoglalás

A telítetlen talajok hidraulikus jellemzőinek a méréséhez laboratóriumi környezetben költséges felsze-  
 relés és hosszú idő szükséges. Pénzügyi fedezet hiányában, de kihasználva a helyi forrásokat és tudást,  
 egy olcsóbb alternatív berendezés kifejlesztése kerül ismertetésre a dolgozatban. Az automatizált fel-  
 szerelés különböző szívóhatásoknak alávetett talajminták telítettségi fokát hivatott értékelni.

**Kulcsszavak:** laboratórium, berendezés, vizsgálat, telítetlen, talaj, víz.

### 1. Bevezetés

A földből készült építmények viselkedé-  
 sét a talajvíz döntően befolyásolhatja. A  
 talajba jutó vízmennyiségre a szivárgások  
 vizsgálatából lehet következtetni, melyeket

fúráspróbákkal, illetve gyakorlati és elméle-  
 ti módszerek kombinálásával lehet véghez-  
 vinni. Különösen fontos ilyen vizsgálatokat  
 végezni olyan földépítményeknél, ahol a  
 biztonság a cél. Ingatag lejtők csapadék  
 általi átítatódása, mosódása, vagy ingadozó



vízmennyiségű tározók esetében, e számításokhoz alkalmazott peremfeltételek jelentős változása megkövetelheti, hogy telítetlen talajok vizsgálata történjen. Ilyen és hasonló esetekben, a hidraulikus jellemzők meghatározása (telítettségi fok, vízvisszatartó és tároló képesség, különféle szívásokra jellemző permeabilitási együtthatók, stb.) a kezdeti lépés. Ezeket a jellemzőket többféle képen lehet meghatározni, így például közvetlen laboratóriumi módszerekkel, stacionárius [1] vagy nem-stacionárius körülmények között [2], vagy akár közvetlenül a terepen [3]. Akkor akadnak számítási problémák, amikor a telítettségi görbékhez közelebbi értékek adódnak [4 – 6], melyek feletti rész a talaj telítettségét mutatja.

Mivel a közvetlen eljárások igen hosszadalmasak és költségesek, szinte természetesen, több közvetett módszer lett kifejlesztve a talajok hidraulikus jellemzőinek a kiszámítására a WRC (vízvisszatartási görbe) meg a SWCC (talaj–víz jelleggörbe) alapján [7 – 10].

E görbék laboratóriumi meghatározásához is elég komoly felszereltség és tapasztalt személyzet szükséges. Gipsz elemekhez vagy fém rudakhoz csatlakoztatott villamos vagy hő érzékelők, valamint feszültség mérők segítségével alkalmazzák a tengelyeltolási módszerrel [11], mely által különböző nyomásokat lehet létrehozni és fenntartani addig, amíg kialakul a gáz–víz egyensúly. Villamos- vagy hő érzékelők hiányában is alkalmazható a tengelyeltolási módszer, például talajpróbákra fektetett szűrőpapírral észlelve a nedvességet különböző nyomási szinteken.

## 2. Számítási folyamat

Mint ismeretes, a nem permanens mozgást telítetlen közegekben Richard egyenletével lehet meghatározni, ahol  $k_x(h)$ ,  $k_y(h)$  és  $k_z(h)$  a hidraulikus vezetőképességi tényezők;  $C(h)$  pedig a kapilláris kapacitás (mindegyik a  $h$  szívás függvényében):

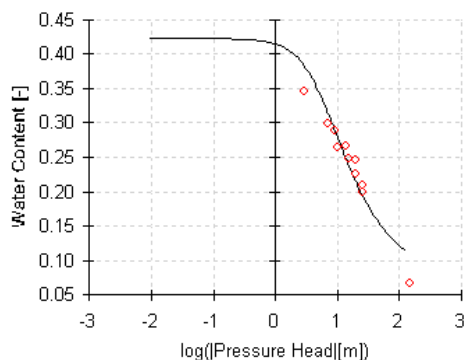
$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y(h) \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z(h) \frac{\partial h}{\partial z} \right) = C(h) \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

A telítettségi fokot az alábbi képlet alapján lehet megállapítani:

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (2)$$

ahol  $\theta_s$  jelöli a nedvességet telített állapotban (90–92%) és  $\theta_r$  a reziduális nedvesség tartalmat (1500 kPa szívás után a talajmintában visszamaradt nedvesség).

A  $\theta$  nedvesség tartalmat, vagy a  $S_e$  telítettségi fokot a tengelyeltolási kísérleti módszerrel lehet különböző szintű szívóhatásokra megállapítani.



1. ábra. Egy „ $\Theta$  vs.  $\log h$ ” jelleggörbe.

Ahhoz, hogy egy deriválható kifejezéshez jussunk, az 1. ábrán látható függvény alakja folytonos kell legyen. Ezt közelítő képletek kiválasztásával és alkalmazásával lehet elérni.

A szakirodalom által kínált változatok közül az alábbi két változatra esett a választás:

Brooks és Corey [10]:

$$S_e = (\alpha|h|)^{-\lambda} \quad (3a)$$

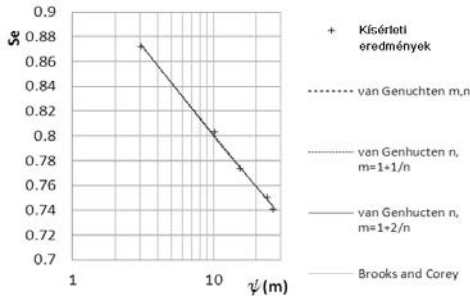
Illetve, van Genuchten [7]:

$$S_e = [1 + (\alpha|h|)^n]^{-m} \quad (3b)$$

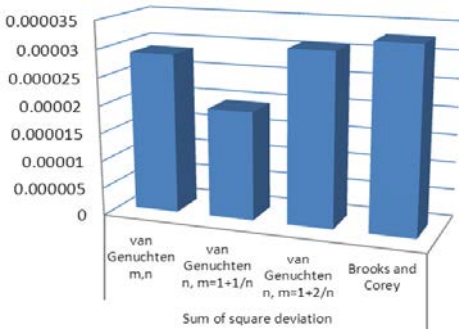
$$S_e = [1 + (\alpha|h|)^n]^{-(1-2/n)} \quad (3c)$$

$$S_e = [1 + (\alpha|h|)^n]^{-(1-1/n)} \quad (3d)$$

A problémát részben megoldottnak lehet tekinteni akkor, amikor az  $\alpha$  és  $\lambda$ , illetve az  $\alpha$ ,  $m$  és  $n$  paraméterek értékét úgy sikerül meghatározni, hogy a telítettségi fokot leíró  $S_e(h)$  függvény minél pontosabban fedje a kísérleti mérések eredményeit (2. ábra).



2. ábra. Egy számítási sorozat eredményeinek az összevetése a kísérleti mérésekkel.



3. ábra. A közelítő képletek alkalmazásából eredő eltérések összehasonlítása.

Miután sikerül kiválasztani azt a modellt, amelyik a legjobban közelíti meg a kísérleti mérési adatokat, az említett alakparamétereket felhasználhatjuk a  $k_r$  relatív hidraulikus vezetőképesség kiszámításához.

Brooks és Corey képlete a Burdine modell [12] esetében a következő alakot ölti:

$$k_r = S_e^{l+1+2/\lambda} \quad (4a)$$

Illetve a Mualem modell [10] esetében:

$$k_r = S_e^{l+2+2/\lambda} \quad (4b)$$

Van Genuchten képlete a Burdine [12] modell alkalmazása esetén:

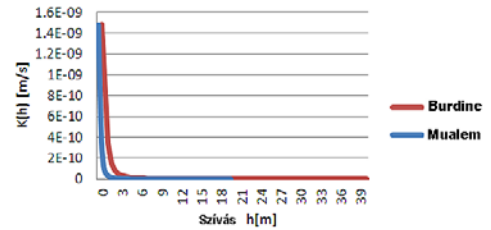
$$k_r = S_e \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{1/n} \right)^n \right] \quad (4c)$$

Illetve, a Mualem [10] modellre írva:

$$k_r = S_e \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{1/n} \right)^n \right]^2 \quad (4d)$$

A telítetlen talaj szivárgási tényezője úgy lesz kiszámítva, hogy a telített közeg szivárgási tényezője meg lesz szorozva a (4a) – (4d) egyenletek egyikével kiszámított relatív szivárgási tényezővel.

A 4. ábrán látható a vízvisszatartási görbék meg a Brooks és Corey féle alaki paraméterek alapján becsült szivárgási tényező változása a Burdine, illetve a Mualem modell esetén.



4. ábra. A szivárgási tényező változása a szívó értékek függvényében (a Burdine és a Mulaem modell alkalmazásakor).

### 3. Mérőberendezés

A közvetlen módszerek alkalmazásához meg kell határozni a talaj–víz jelleggörbét, illetve a telített állapotra jellemző szivárgási tényezőt, az előző fejezetben leírtak alapján, laboratóriumi környezetben.

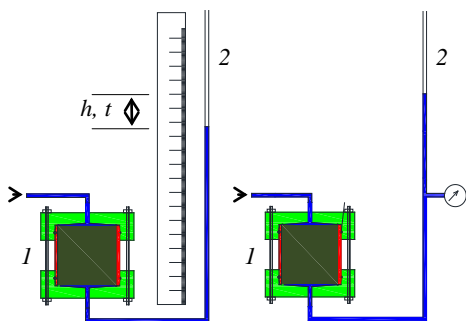
Porózus és laza talajoknál konstans gradiensű, míg csekély vízáteresztő képesű talajmintáknál változó gradiensű permeamétert használnak e célra. A telített állapotra jellemző szivárgási tényező kiszámításához az alábbi képlet alkalmazható (Darcy törvényéből indulva ki, mely többféleképpen írható, attól függően, hogy mely értékeket mérjük):

$$q = v \cdot A = K_{tel} \cdot i \cdot A \quad (5)$$

Ebben a képletben  $q$  az áramlási intenzitás (áteresztett vízmennyiség),  $K_{tel}$  a szivárgási tényező (más néven hidraulikus vezető-képesség) telített állapotban,  $i$  a hidraulikus gradiens és  $A$  a vízáteresztő metszet mérete (a  $v$  pedig a vonalmenti sebesség).

Az áramlási intenzitást a tömeg vagy a térfogat alapján is meg lehet állapítani (például egy precíziós mérleg vagy buretta segítségével). Konstans gradiensű permeaméter esetében:

$$q = \frac{V}{\Delta t} = \frac{m \cdot g}{\gamma \cdot \Delta t} \quad (6)$$



**5. ábra.** Kézi meg automata adatörögzítésű permeaméter sémája (1 – a telített talajmintát tartalmazó kamra, 2 – átlátszó cső).

Amennyiben a nyomásmérőt a próbatestbe folyó víz szintjében helyezük el (**5. ábra**), a hidraulikus gradiens értéke a kijelzett  $p$  nyomás meg a próbatest  $L$  hosszának

a függvényében, az alábbi képlettel számítható ki:

$$i = \frac{p}{\gamma \cdot L} \quad (7a)$$

Kézi adatörögzítés esetében (5. ábra) az előbbi képlet így alakul:

$$i = \frac{h}{L} \quad (7b)$$

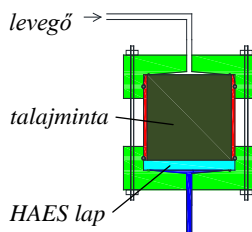
Változó gradiensű permeaméter alkalmazása esetén a  $d$  átmérőjű (átlátszó) csőben észlelhető  $\Delta h$  szintkülönbség alapján lehet kiszámítani az áramlási intenzitást:

$$q = \frac{\Delta h \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \Delta t} \quad (8a)$$

Nyomásmérő használata esetén az előbbi képlet a következő alakban írható:

$$q = \frac{\Delta p \cdot \pi \cdot d^2}{\gamma \cdot 4 \cdot \Delta t} \quad (8b)$$

A tengelyeltolási módszerhez ugyanazokat a berendezéseket lehet használni mint a telített közegekben mért permeabilitáshoz, de víz helyett levegő kerül a talajmintát tartalmazó kamra bemene- tébe és a szűrőket egy HAES (High Air Entry Stone) lappal helyettesítik az alsó kimenetnél (**6. ábra**).



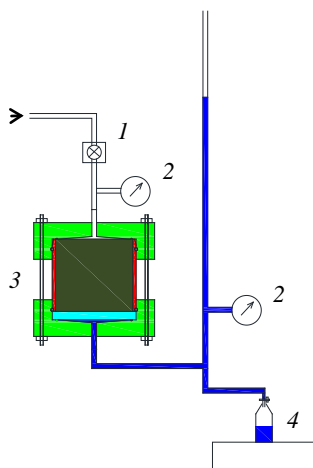
**6. ábra.** Telítetlen talajok permeabilitásának a méréséhez használható kamra sémája.

Ez a lap, a pórusainak a mérete és alakja révén, meggátolja a levegő áthaladását egy bizonyos (gyártási jellemzőként megadott)

nyomásig. A talajpróbában levő víz viszont kijuthat ezen a lapon keresztül addig, amíg közvetlenül érintkezik vele (a kísérleti kamrába való helyezése előtt ezért telített állapotban kel legyen a HAES lap).

A talajmintán átszivárgó vízmennyiséget természetesen mérni lehet (mint már említve volt, akár elektronikus mérleggel, akár egy precíziós burettával), így megállapítható az áramlási intenzitás.

Az egyensúlyi állapot meghatározásához szükséges légnyomás beállítása és fenntartása egy szabályozóval történik, de alacsony szívóértékek esetén ezt elég nehéz megvalósítani. Ilyen esetekben (20–30 kPa alatti szívásra) egy nyomásgerjesztő nélküli berendezést lehet alkalmazni, úgy, hogy a kamrában levő légköri nyomáshoz képest állandó szívóhatás keletkezzen a HAES lap alján. Ezt az állandó értékű szívóhatást a legegyszerűbben egy kimeneti túlfolyóval lehet biztosítani (a távozó víz szintjének a változatlanságával).



**7. ábra.** *Telítetlen talajminták mérését szolgáló automatizált berendezés sémája (1 – a mikrokontroller által vezérelt nyomás-szabályozó; 2 – a mikrokontrollerhez csatlakoztatott nyomásérzékelő; 3 – a telítetlen talajmintát tartalmazó kamra, a HAES lappal alul; 4 – a mikrokontrollerhez csatlakoztatott mérleg).*

Ezek a mérési ciklusok igen hosszadalmas folyamatokat képeznek és az egyensúlyi állapot észleléséhez jelenlétet meg időszakos ellenőrzéseket igényelnek, ezért nem árt az automatizálásuk. Az automatizálás akkor válik igazán szükségessé, amikor több talajmintán kell végezni párhuzamosan méréseket, mivel ilyen esetekben a nyomások beállítása meg az egyensúlyi állapotok észlelése igen figyelmes gondoskodást és nagyon sok időt igényel. A **7. ábrán** látható egy ilyen automatizált berendezés sémája, mely egy mikrokontroller segítségével van vezérelve.

#### **4. Megvalósítás és alkalmazás**

Az előbbieken ismertetettek alapján, a tanszékünk vízpépítési laboratóriumában egy olyan automatizált berendezést sikerült kialakítani, melyen egyszerre több talajminta hidraulikus jellemzőit meg lehet kapni anélkül, hogy emberi felügyelet lenne szükséges hozzá.

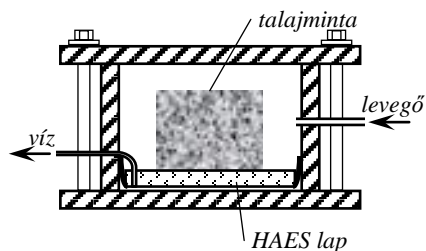
Kétféle kísérleti kamra lett készítve, egy nagyobb, acélköntösű (**8. és 9. ábra**), meg hat darab kisebb, műanyag, illetve plexi köntösű (10. ábra). A nagyobb méretű, acélköntösű kamra akár 15 bar nyomást is el tud viselni, míg a kisebb kamrák csak 3 bar nyomásig voltak próbálva.



**8. ábra.** *A nagyobb nyomásnak alávetett telítetlen talajminták permeabilitását mérő kamra képei (balra szétszerelve, jobbra lezárt állapotban).*

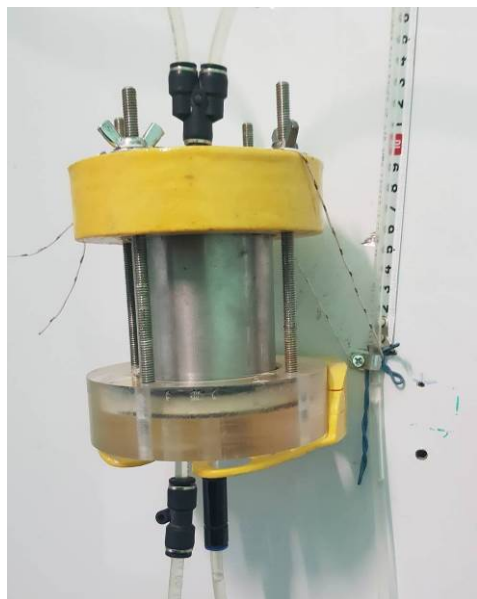
A **10. ábrán** látható az egyik kisebb nyomásnak alávetett telítetlen talajminták permeabilitását mérő kamra (a **6. ábrán**

látható séma szerint megvalósítva). A plexi talpon keresztül látható a HAES lap és a tömítő gyűrű, a kamra mellett pedig a precíziós bűretta is.



**9. ábra.** A nagyobb nyomásnak alátett telítetlen talajminták permeabilitását mérő kamra metszete.

A költségesebb komponensek a HAES lapok voltak (**11. ábra**), mivel a laboratórium már fel volt szerelve kompresszorral.



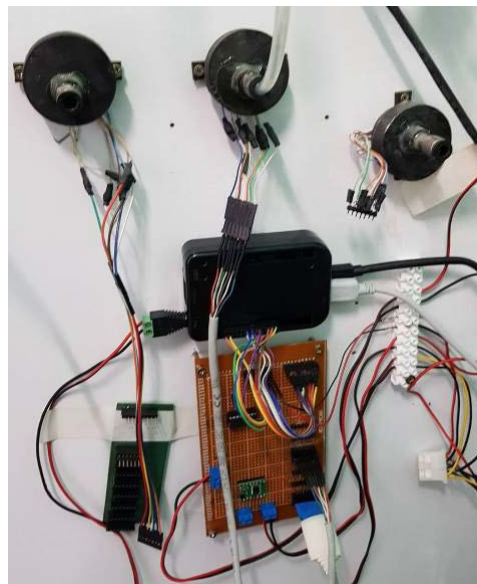
**10. ábra.** Az egyik kisebb kísérleti kamra.

Az automatizálás egy programozható „element14 BeagleBone Black” [13, 14] egységgel lett kialakítva, mely 1 GHz-es ARM Cortex A8-as processzorral, 512 MB

memóriával és 4 GB tárhelytel volt ellátva (**12. ábra**). Az egység programozásával Simon Zsolt számítástechnikai mérnök-hallgató foglalkozott kitarótan.



**11. ábra.** A nagyobb HAES lap áztatás (telítés) közben.



**12. ábra.** A mikrokontrolleres egység (néhány csatlakozással, felette 3 nyomásérzékelő is látható).

Az első változatban egy számítógéphez volt csatlakoztatva a mikrokontrolleres egy-



ség, és akár tíz talajminta párhuzamos méréseit is képes volt ellátni, az alábbi lépéseket vezérelve:

- nyomásszabályozás (különböző értékeken, végighaladva minden beütemezett mérési szakaszon);
- a bűrettában vagy a piezométerben levő víz szintjének a mérése (az áramlási intenzitás megállapításához, valamint ahhoz, hogy mikor lehet a következő nyomásszintre térni);
- a mágnesszelepek párhuzamos vezérlése (ezek segítségével lehet pontosan mérni mindegyik talajmintában külön-külön a vizet, minden mért és lementett egyensúlyi szintre);
- az adatok továbbítása egy adatbázisba, majd a jelleggörbék megjelenítése;
- a telítettségi fokot ábrázoló függvény folytonosságához leginkább alkalmas egyenletet kiválasztó algoritmus futtatása, az egyezési paraméterek meghatározásával;
- az összes hidraulikus jellemző kiszámítása és a változási görbék ábrázolása;
- minden nyomástartományra megalkotja és lementi a kiszivárgó térfogatok időbeli változási görbéit, hogy meg lehessen határozni a diffúzivitást;
- értesítést küld a meghatározások bevégzéséről talajmintákként (e-mail üzenettel).

Ez a rendszer megengedte a külső beavatkozást is (vezérlést, monitorizálást) egy webes felületen keresztül.

Utólagos fejlesztések eredményeként a köztes számítógépet is sikerült kiiktatni a rendszerből, a mikrokontrolleres egységet közvetlen HDMI csatlakozással kötve egy kijelzőhöz.

A jelenlegi felállásban három kisméretű (alacsony nyomású) permeaméter működik párhuzamosan a nagyobb nyomást bíró, acélköntösű kamrával (a rendelkezésre álló HAES lapok korlátozott száma miatt). Ezeknek a kamráknak egy kompresszor biztosítja a szükséges légnyomást, melyet a

mikrokontroller által vezérelt nyomásszabályozó alegységek (**12. ábra**) által lehet kamránként különböző szintekre állítani.

A közeljövőben az acélköntösű kamrában ki lesz cserélve a HAES lap alól kiszivárgó vizet elvezető műanyag cső egy neoprén csőre, illetve a bemeneti nyomás is acél csövön keresztül lesz (mivel véleményünk szerint a jelenlegi rézcső képlékenysége befolyásolhatja a méréseket).



**12. ábra.** Egy nyomást mérő és vezérlő alegység (a háttérben egy bűrettával).

## 5. Következtetések

Aránylag kis költségekkel (és lelkes munkával) sikerült létrehozni egy olyan kísérleti berendezést, mellyel olyan mérések végezhetők el, mint a jól felszerelt laboratóriumokban. Ezáltal bővült a kutatási lehetőségek palettája is.

A létrehozott kísérleti berendezés eddigi működése azt mutatja, hogy a kutatási munkát végző hallgatók mellett a gyakorló szakemberek is eredményesen igénybe vehetik a telítetlen talajok vizsgálatához.

Az automatizálásnak köszönhetően a mérések hosszantartó ideje alatt nem szükséges az emberi jelenlét és beavatkozás. Komoly időmegtakarítást jelent az is, hogy több kísérleti mérést és számítást lehet párhuzamosan végezni (ezek számát még bővíteni lehet a jövőben)

A berendezés, a telítetlen talajok hidraulikus jellemzőinek a jelleggörbéken keresztüli meghatározása mellett arra is lehetőséget kínál, hogy a különböző talajminták gázáteresztési képességével, nyírási ellenállásával, vagy hővezetési képességével kapcsolatos kérdésekkel is foglalkozni lehessen.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Klute, A.: *Laboratory measurement of hydraulic conductivity of unsaturated soil*. Methods of Soil Analysis, Mono. 9, Part 1. American Society of Agronomy, Madison, WI, USA, 1965, 253 – 261.
- [2] Hamilton, J. M., Daniel, D. E., Olson, R. E.: *Measurement of hydraulic conductivity of partially saturated soils*. Permeability and Groundwater Contaminant Transport. ASTM Special Tech. Publ. 746, 1981, 182 – 196.
- [3] Watson, K. K.: *An instantaneous profile method for determining hydraulic conductivity of unsaturated porous materials*. Water Resources Research 2, 1966, 709–715 oldal.
- [4] Gardner, W. R.: *Calculation of capillary conductivity from pressure plate out flow data*. Soil Science Society of America Proceedings 20, 1956, 317–320.
- [5] Benson, C. H., Gribb, M.: *Measuring unsaturated hydraulic conductivity in the laboratory and field*. (Eds: Houston, S., Fredlund, D. G.), Unsaturated Soil Engineering Practice. American Society of Civil Engineers Special Technical Publication No. 68, Reston, VA, 1997, 113–168.
- [6] Leij, F. J., van Genuchten, M. T.: *Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media*. (Eds.: van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Wu, L.), Proceedings of International Workshop, Characterization and Measurements of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. University of California, Riverside, CA, 1999, 31–42.
- [7] Brooks, R. H., Corey, A. T.: *Hydraulic properties of porous medium*. Hydrology Paper 3. Colorado State University, Fort Collins, USA, 1964.
- [8] Fredlund, D. G., Xing, A., Huang, S.: *Predicting the permeability function for unsaturated soil using the soil – water characteristic curve*. Canadian Geotechnical Journal 31, 1994, 533–546.
- [9] Mualem, Y.: *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. Water Resources Research 12 (3), 1976, 513–522.
- [10] van Genuchten, M. T.: *A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils*. Soil Science Society of America Journal 44, 1980, 892–898.
- [11] Vanapalli S. K., Nicotera M.V., Sharma R.S.: *Axis translation and negative water column techniques for suction control*. Laboratory and Field Testing of Unsaturated Soils, Springer, 2009, 33-49.
- [12] Burdine, N. T.: *Relative Permeability Calculations From Pore Size Distribution Data*, Transactions of the American Institute of Mining & Metallurgical Engineers, 198, 1953, 71 – 78.
- [13] Coley, G.: *element14 BeagleBone Black System Reference Manual*, Premier Farnell, 2014, [https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Beagle/e14 BBB\\_SRM\\_rev 0.9.pdf](https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Beagle/e14 BBB_SRM_rev 0.9.pdf) (hozzáférés: 2017.október).
- [14] <https://beagleboard.org/bone> (hozzáférés: 2017.október).

## STACIONÁRIUS/NEM-STACIONÁRIUS ÁRAMLATOK KISMÉRETŰ FÖLDGÁTAKNÁL

### STEADY/UNSTEADY FLOW THROUGH SMALL EARTHFILL DAMS

Botoș Marius Lucian<sup>1</sup>, Kisfaludi-Bak Zsombor<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tan-  
 szék, 400027, Románia, Kolozsvár, Gh. Baritiu u. 25, I. em., 147, Tel. +40-264-  
 401517, [marius.botos@mecon.utcluj.ro](mailto:marius.botos@mecon.utcluj.ro)

<sup>2</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tan-  
 szék, 400027, Románia, Kolozsvár, Gh. Baritiu u. 25, I. em., 147, Tel. +40-264-  
 401517, [kisfaludi.zsombor@mecon.utcluj.ro](mailto:kisfaludi.zsombor@mecon.utcluj.ro)

#### Abstract

The small earth-fill dams without permanent water storages are constructions with simple functioning, without any operating or control system, which creates the water storages in flood periods. From the flows point of view, these simple constructions have a specific complex behaviour. Even if generally the body of the gate can be considered to be homogeneous, the infiltrations are unsteady within the partially saturated environments. The water level rapidly increases from the minimum to the maximum level as the water storages have relatively low volumes.

**Keywords:** dam, flow, unsteady, unsaturated, soil, water.

#### Összefoglalás

A kisméretű, nem állandó gyűjtőóval rendelkező földgátak egyszerű működésű építmények, működte-  
 tő és vezérlő rendszerek nélkül képeznek gyűjtőtavat árvizek esetén. Ha a szivárgások szemszögéből  
 figyeljük ezen egyszerű építményeket, akkor egy komplex specifikus viselkedést figyelhetünk meg.  
 Habár általánosan nézve a gáttest homogén, az áramlatok nem-stacionáriusak a részlegesen telített  
 közegekben. A vízszint hamar éri el a minimum szinttől a maximumot a gyűjtőtavak térfogatának kis  
 méretéből adódóan.

**Kulcsszavak:** gyűjtőgát, áramlás, nem-stacionárius, telítetlen, talaj, víz.

#### 1. Bevezetés

Jelen dolgozat témája a nem állandó  
 gyűjtőóval rendelkező, homogén földből  
 áteresztő alapzatra épült gátak, az alapzat  
 anyaga pedig megegyezik a töltelék-  
 anyaggal.

A francia ICOLD [1] 2011-ben elfoga-  
 dott „kis gátakra” vonatkozó meghatározása  
 a következő (1. ábra):

$$2.5 \text{ m} < H < 15 \text{ m} \quad (1)$$

és

$$H^2 \sqrt{V} < 200 \quad (2)$$

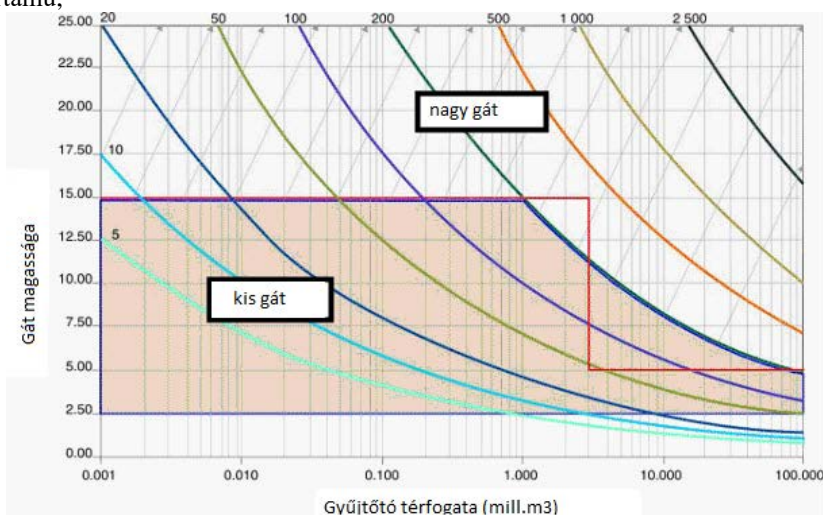


Ezek alapján a kis gát megnevezés nem feltétlenül jelent kis magasságot, mivel a keletkezett gyűjtő térfogatát is figyelembe kell venni. Léteznek olyan alacsony gátak, amelyeknél a gyűjtő nagy térfogata miatt ezek a nagy gátak közé sorolódnak. Jelen dolgozatban a kis gátakat elemezzük a következő okokból:

- a kis gátnál az árvíz lezajlása rövid időtartamú;

- a vízszint gyorsan növekedik és csökken.

Ilyen feltételek mellett vizsgájuk az infiltrációkat, melyeket nem stacionáriusnak feltételezünk (a vízszint hirtelen változása miatt), a gáttest anyaga pedig kezdetben nem telített. A vizsgálat célja megállapítani azt az időintervallumot, amely szükséges ahhoz, hogy ezen infiltrációk stacionáriussá változzanak.



1. ábra. A „kis gát” ICOLD meghatározása.

Elfogadott hipotézisek: Amikor a gyűjtőt gát teljesen üres, a talajt telítettnek, míg a gáttestet nem telítettnek feltételezzük. A talaj telítettség fokát a retenciós jelleggörbék (SWCC) alapján határozzuk meg, melyek különböznek a használt talajtípusok esetén [2].

A vízszint hirtelen fog a gátkorona szintje alatt 0,5 méterre emelkedni és mindvégig konstans marad, a víz pedig elkezdi beszívárogni.

A telített környezetben történő nem folytonos mozgás egyenlete (Richards) a következő [3]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( k_z(\psi) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right) = C(\psi) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (3)$$

$$C(\psi) = \frac{\partial \theta}{\partial \psi} \quad (4)$$

Az áteresztőképesség (permeabilitás) az a relatív áteresztőképesség és a telítettség áteresztőképesség szorzata.

A relatív áteresztőképességet a telítettség fok függvényében határozzuk meg, amely a pórusbeli víznyomástól függ.

## 2. Számítási folyamat

Jelleggörbék és paraméterek nem folytonos folyás esetén kövér agyagra:

CH

Kövér agyag (Fat clay)

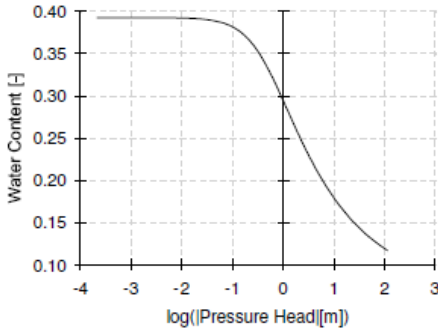
20% agyag; 40% por; 40% homok

$\theta_R=0.0627$ ;  $\theta_S=0.4063$

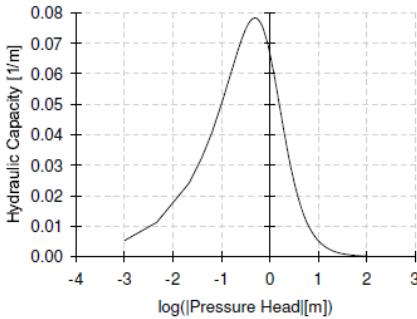
$\alpha=0.97$ ;  $n=1.4966$ ;  $m=0.3318$

$K_S=1.15 \times 10^{-6}$  m/s

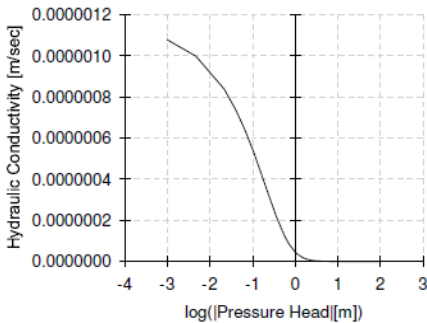
#### Hydraulic Properties: Theta vs. log h



#### Hydraulic Properties: C vs. log h



#### Hydraulic Properties: K vs. log h



2. ábra. A kövér agyag jelleggörbéi.

Jelleggörbék és paraméterek nem folytonos folyás esetén kövér agyagos porra:

MH

Agyagos por

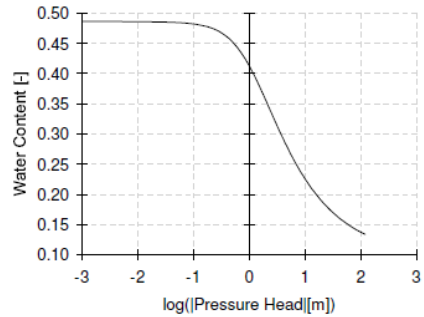
35% agyag; 60% por; 5% homok

$\theta_R=0.0937$ ;  $\theta_S=0.4862$

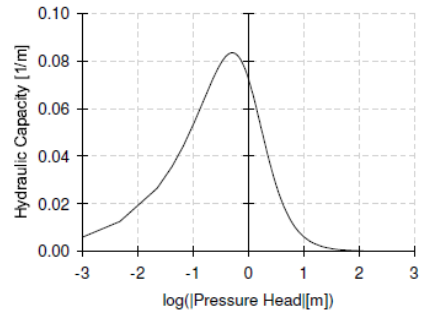
$\alpha=0.92$ ;  $n=1.485$ ;  $m=0.3266$

$K_S=1.297 \times 10^{-6}$  m/s

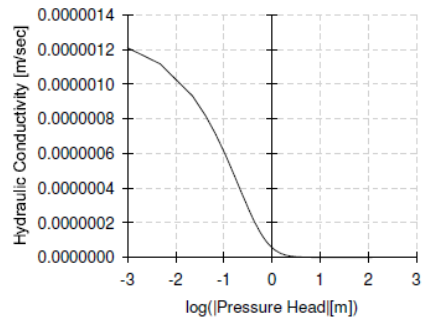
#### Hydraulic Properties: Theta vs. log h



#### Hydraulic Properties: C vs. log h



#### Hydraulic Properties: K vs. log h



3. ábra. Az agyagos por jelleggörbéi.

Jelleggörbék és paraméterek nem folytonos folyás esetén homokos agyagra:

CL

Homokos agyag

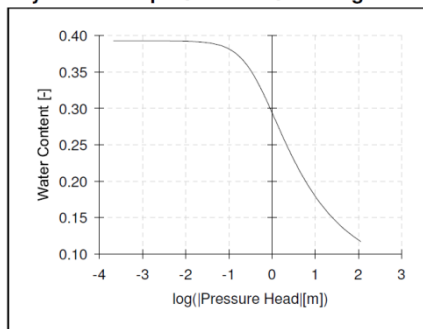
25% agyag; 20% por; 55% homok

$\theta_R=0.0672$ ;  $\theta_S=0.3963$

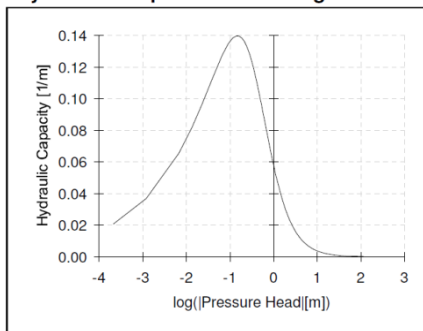
$\alpha=2.4$ ;  $n=1.3348$ ;  $m=0.2508$

$K_S=1.416 \times 10^{-6}$  m/s

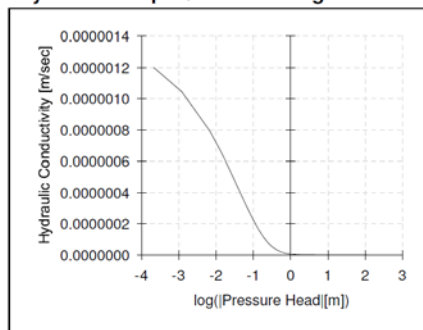
**Hydraulic Properties: Theta vs. log h**



**Hydraulic Properties: C vs. log h**



**Hydraulic Properties: K vs. log h**



**4. ábra.** A homokos agyag jelleggörbéi.

A jelleggörbék egy olyan adatbázisból lettek kivonva, amely a Van Genuchten-Mualem [4] egyenletre épül:

$$k_r = S_e^l \left[ 1 - \left( 1 - S_e^{1/m} \right)^m \right]^2 \quad (5)$$

A számítási keret és talajparaméterek rögzítése után meghatároztuk a jellegzetes keresztmetszeteket. Mindegyik földtípusra három különböző magasságú gátat vizsgáltunk: 2, 5 illetve 10 métereseket. A koronaszélesség a gátmagasságtól függ, még a dőlésszög a földtípustól.

**1. táblázat.** A modellezéshez használt lejtésszögek

Földtípus	Dőlésszög	
CH, MH	3.5:1	2.5:1
CL	3:1	2.5:1
SC, SM	2.5:1	2:1

A vizsgált 2,5 és 10 méteres gátak nem rendelkeztek a beszivárgott víz számára drénrendszerrel, a gáttest anyaga megegyezett az alapzat anyagával. A számítási algoritmus ellenőrizte az infiltrációs görbe időbeli változását különböző pontokban. A tolerancia mértéke  $10^{-3}$  m volt. Az infiltrációk folytonosságának vizsgálatára egy másik megoldás lehet az infiltrációs görbe szintjének összehasonlítása mindenik számítási lépésnél a folytonos folyásnál mértékével.

Ezen folytonossági görbét meghatároztuk a vizsgálat indításától mért 24 órára, 4 napra, 14 napra, az eredmények az **5. ábrán** figyelhetők meg.

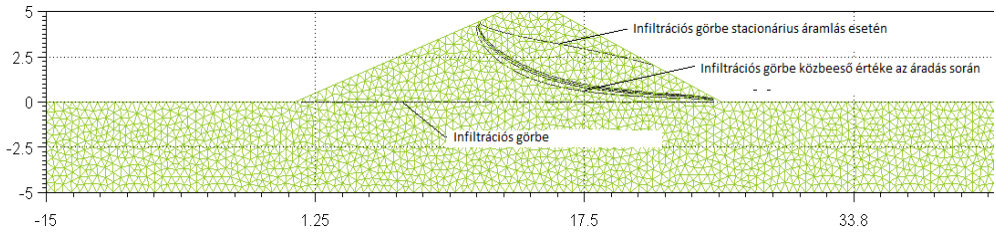
A görbe vizsgálatával észrevehető az a meghatározott időpont, amikor a folyás folytonossá válik (**6. ábra**).

Észrevehető, hogy a 2 méteres gát esetén a szivárgások csak 175 nap eltelte után lesznek folytonosak, persze az infiltrációs görbe változása már 50 nap után nagyon lassú lesz.

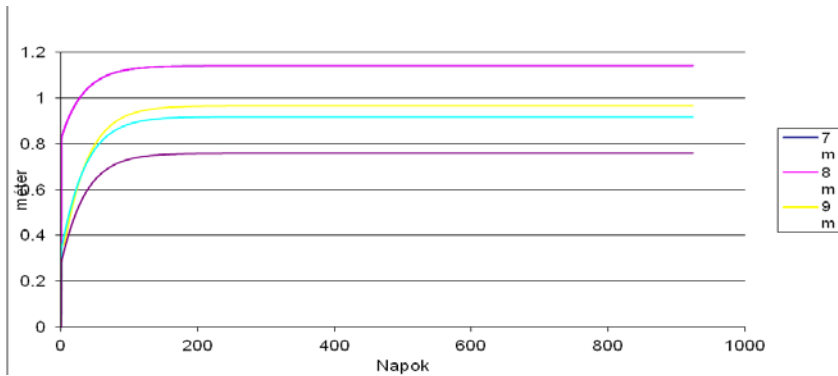
Az 5 méteres gát esetén a görbe változása 600 napig tart (**7. ábra**).

A 10 méteres gátak esetén a nem folytonos folyás megőrződik 1000 nap eltelte után

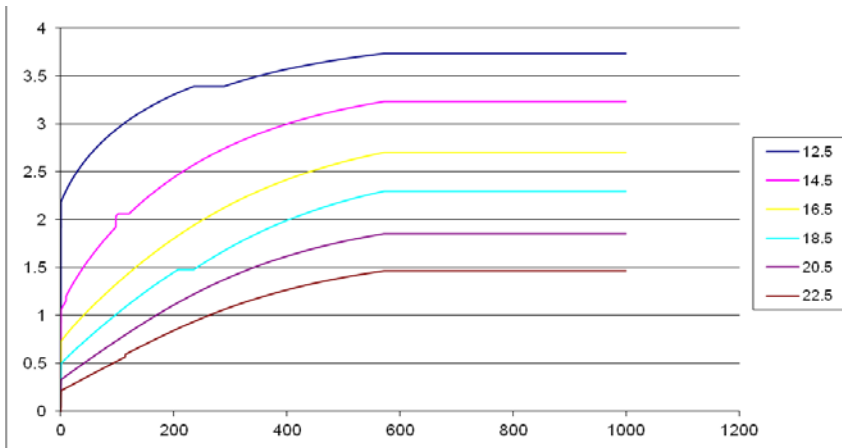
is. A fenti gátlábtól mért 25, 30 és 35 méterre elhelyezkedő piezométerek szintjei a **8. ábra** foglalja össze.



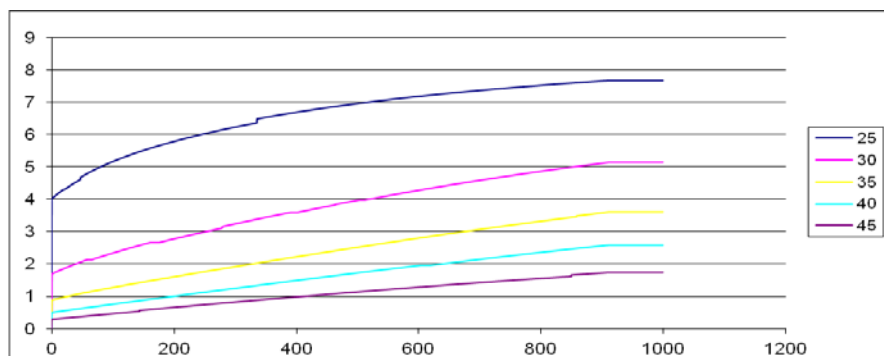
**5. ábra.** Az infiltrációs görbék grafikus ábrázolása.



**6. ábra.** A két méteres agyagos porból készült gát piezometrikus vízszintjének időbeli változása a fenti gátlábtól mért különböző távolságokra.



**7. ábra.** Az 5 méteres finom poros homokból készült gát piezometrikus vízszintjének időbeli változása a fenti gátlábtól mért különböző távolságokra.



8. ábra. A 10 méteres finom poros homokból készült gát piezometrikus vízszintjének időbeli változása a fenti gátlábtól mért különböző távolságokra.

### 3. Következtetések

Annak ellenére, hogy a földgátak lokális stabilitásának vizsgálatában egyik fő változó a telített zóna pozíciója, megfigyelhetjük, hogy ez nem érvényes a nem állandó gyűjtőóval rendelkező gátaknál, függetlenül a magasságtól, vagy töltés-anyagtól.

Az infiltrációk nem változnak folyamatosan a kritikus periódusban, árvizek esetén. A kis gátak esetén is az infiltrációk változása lassú. Így hát, a nem állandó gyűjtőóval rendelkező gátak esetén az infiltrációs görbét nem kell számításba venni a lejtők csúszásveszélyének számításánál. A kis homogén, állandó óval rendelkező gátak esetén a hasonló számításnál használt infiltrációs görbe nem függ a maximális vízszinttől, csak a normális víztartási szinttől.

Az anyagok magas telítettségű foka miatt a gátestet egyfajta záró elemként szolgál, amely megakadályozza a telített zóna emelkedését.

A mindennapi valóságban a rossz karbantartással rendelkező kis gátak esetében a beszívargási görbe gyorsabb a rácsálók által előidézett repedések és galériák miatt. A vegetatív védelem megfelelő karbantartásával olyan viselkedés biztosítható, amely ebben a tanulmányban végzett kísérleti

számolásokkal megegyezik. A növényi szőnyeg megtartása gátolja a töltőanyagok gyors kiszáradását, és a szőnyeg kis méretének megőrzésével megakadályozható a rácsálók fejlődése is.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] French Committee on Dams and Reservoirs Guidelines for Design, Construction, and Monitoring. Coordinator Gerard Degoutte. ISBN 2-85362-448, 1997.
- [2] Botos, M. L.: *Contribuții la studiul comportării în exploatare a barajelor cu acumulări nepermanente în varianta transformării în acumulări permanente*, – doktori értekezés, Universitatea Politehnică Timișoara, Editura Politehnica, Temesvár, 2015.
- [3] Leij, F. J.; van Genuchten, M. T.: *Characterization and measurement of the hydraulic properties of unsaturated porous media*. (Eds.: van Genuchten, M.Th., Leij, F.J., Wu, L.), Proceedings of International Workshop, Characterization and Measurements of the Hydraulic Properties of Unsaturated Porous Media. University of California, Riverside, CA, 1999, 31–42.
- [4] Mualem, Y.: *A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media*. Water Resources Research 12 (3), 1976, 513–522.

## VETŐTENGELY SZAKASZOS FORGÓ MOZGÁSÁT ÉS FORDULATSZÁMÁNAK ÁLLÍTÁSÁT MEGVALÓSÍTÓ MECHANIZMUS MATEMATIKAI ÉS SZERELÉSI MODELLEZÉSE

### MATHEMATICAL AND ASSEMBLY MODELING OF THE MECHANISM FOR IMPLEMENTING INTERMITTENT ROTATIONAL MOTION AND SPEED SETTING OF THE METERING SHAFT FOR SEED DRILL

Forgó Zoltán <sup>1</sup>, Tolvaly-Roşca Ferenc <sup>2</sup>, Pásztor Judit <sup>3</sup>

<sup>1</sup> *Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar / Sapientia University, Faculty of Technical and Humanities Science / Marosvásárhely / Târgu Mureş, 540485, O.p. 9, C.p. 4, Şoseaua Sighişoarei 1C., Tel.: +40 265 208 170, Fax: +4026520621, [zforgo@ms.sapientia.ro](mailto:zforgo@ms.sapientia.ro)*

<sup>2</sup> *Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar / Sapientia University, Faculty of Technical and Humanities Science / Marosvásárhely / Târgu Mureş, 540485, O.p. 9, C.p. 4, Şoseaua Sighişoarei 1C., Tel.: +40 265 208 170, Fax: +4026520621, [tferi@ms.sapientia.ro](mailto:tferi@ms.sapientia.ro)*

<sup>3</sup> *Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar / Sapientia University, Faculty of Technical and Humanities Science / Marosvásárhely / Târgu Mureş, 540485, O.p. 9, C.p. 4, Şoseaua Sighişoarei 1C., Tel.: +40 265 208 170, Fax: +4026520621, [pjudit@ms.sapientia.ro](mailto:pjudit@ms.sapientia.ro)*

#### Abstract

The metering shaft of the drilling machines is driven from the impeller. The standard, traditional gearbox, the Norton gearbox, provides a constant rotating motion between the impeller and the metering shaft. Manufacturers have started to replace this gearbox with a intermittent rotating movement. Using the stepless variable speed gearbox, the speed of the metering shaft and thus the seed rate is set steplessly. The aim of the thesis is the mathematical modeling of the intermittent rotating motion of the seed drill of a particular drilling machine, and the creation of a striping model.

**Keywords:** *intermittent rotating movement, oscillating swing arm cam mechanism, continuous seed drill drive.*

#### Összefoglalás

Sorvetőgépek vetőtengelyének hajtása járókerékről történik. A szokványos, hagyományosnak mondható, fogaskerekes sebességváltómű, a Norton-szekrény, állandó forgó mozgást valósít meg a járókerék és vetőtengely között. A gyártók ezt a sebességváltóművet szakaszos forgó mozgást megvalósító hajtóművel kezdik felváltani. A dolgozat célja egy adott sorvetőgép vetőtengelyének szakaszos forgó mozgását megvalósító mechanizmus matematikai modellezése és a szerelési modell megalkotása.

**Kulcsszavak:** *szakaszos forgó mozgás, lengőkaros bütykös mechanizmus, fokozatmentes vetőtengely-hajtás.*



## 1. Bevezetés

Sorvetőgép a magot párhuzamos sorokba, soron belül változó tötávolságban helyezi a talajba, [2].

Sorvetőgép általános felépítésében tartály, vetőszerkezet, magvezető cső, csoroszllya, magtakaró, nyomjelző, járókerekek, hajtószerkezet találhatók, [2].

A vetőszerkezet a magok adagolását és kijuttatását végzi. A vetőszerkezetek egy közös tengelyre, a vetőtengelyre vannak felszerelve. A vetőtengely hajtása járókekről történik. A vetőtengely hajtása lehet:

- folyamatos forgó mozgású: csere fogaskerekekkel, fogaskerék áttétellel, lánchajtással, Norton-szekrénnel;

- szakaszos forgó mozgású: bütykös-lengőkaros mechanizmussal vagy kuliszszás hajtóművel, [4], [5].

A korábbi sorvetőgépek hagyományosnak mondható sebességváltója a Norton-szekrény. Ez a hajtómű akár 72 sebességfokozatot is megvalósít, biztonságos a működése, azonban nagy a mérete, nagy a tömege, drága a fogaskerekek miatt, ugyanakkor porosodik, korrodálódik, [8].

Mindenkori cél a vetőmag adagolás tág határok közti beállítása, vagyis minél több kijuttatási fokozat megvalósítása. A neves nemzetközi mezőgépgyártók néhány éve sorvetőgépeiket lengőkaros bütykös sebességváltóval kezdik felszerelni. Ez egy zárt térben, olajfürdőben működő, szemléltő számára nem követhető sebességváltó,

### 1. ábra.

A lengőkaros bütykös sebességváltó felépítésében a következő elemek vesznek részt: 1-es a hajtó tengely; 2-es hajtott tengely, amely a vetőtengely is egyben, rajta egy van egy egyenirányító és jelképesen megjelenítve egy toló rendszerű vetőszerkezet; 3-as lengőkar; 4-es a himba; 5-ös bütyök; 6-os görgő; 7-es a támasztó ív; 8-as a támasztó ív elfordítását megvalósító állító kar; 9-es előfeszített rugó, amely az íven tartja a himbát.



1. ábra. Egy lengőkaros bütykös sebességváltó felépítése

Kis mérete ellenére akár 100 vagy ennél több sebességfokozat beállítására alkalmas. Működése csendes, a magmennyiségre való beállítás gyors, fokozatmentes és automatizálási lehetőséget nyújt [5], [6], [9].

A dolgozatban tanulmányozunk egy szakaszos forgó mozgást megvalósító vetőtengely hajtást. A tárgyalásmód analitikus, már meglévő szerkezetet vizsgál, [1], [10]. Ugyanakkor szintetikusnak is mondható, hiszen adott feladatot ellátó mechanizmus építése is megtörténik, ugyanis a bütykös hajtást excenteresre cseréljük.

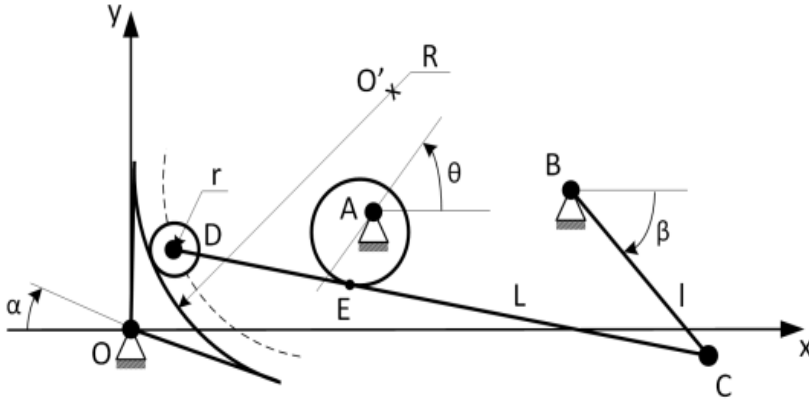
A dolgozatban mozgásegyenletek meghatározása és tanulmányozása alapján szerelési modellt tervezünk. A szerelési modell a vetőtengely kivetett magmennyiségre való beállításának szemléltetését segíti elő.

### 1.1. Szakaszos forgó mozgást megvalósító sebességváltó felépítése

A tanulmányozott szakaszos forgó mozgást megvalósító vetőtengely-sebességváltó egy lengőkaros excenteres mechanizmus.

A kinematikai vázlat az 2. ábrán követhető: A-hajtó tengely, B-hajtott tengely, BC-lengőkar, DC-himba, E-excenter, D-görgő, O'-támasztó ív középpontja.

A támasztó ív a hajtott tengely  $\beta$  lengőszögének változtatására ad lehetőséget.



2. ábra. Lengőkaros mechanizmus kinematikai vázlata

### 1.2. Szakaszos forgó mozgást megvalósító sebességváltó működése

A szakaszos forgó mozgást megvalósító sebességváltó hajtó A tengelye a járókerék-ről kapja a folyamatos hajtását. A tengelyre szerelt excenter lengésben tartja a DC himbát és általa a BC lengőkart, amely egy szabadonfutó közbeiktatásával szakaszos mozgást közvetít a B kimenő tengely felé. A kimenő tengely a hajtott tengely, amely a tulajdonképpeni vetőtengely. A himba támasztóíven való tartását a valóságban előfeszített rugók végzik, de a kinematikai ábrán ez nem tüntetődik fel.

A kimenő tengely maximális elfordulási szöge, lengése befolyásolja a vetőtengely fordulatszámát, közvetve a kivetett magmennyiséget. A lengés mértéke a támasztólap elfordításával változtatható. Ezáltal változik a himba aktív hossza. A lap elfordítása egy skála előtt elmozdítható kar segítségével történik. A skála eligazítást ad a kivetett magmennyiségről. Ez táblázatban van rögzítve és a felhasználók számára könnyen elérhetővé teszik a gyártók.

### 2. A szakaszos forgó mozgást megvalósító vetőtengely sebességváltó matematikai modellezése

A cél  $\beta$  lengőszög kifejezése a hajtó tengely pillanatnyi szögelfordulásának, a  $\theta$  szögnek a segítségével, 2. ábra.

A mechanizmust geometriai módszerrel tanulmányoztuk, [7].

Meghatároztuk a D pont, a C pont, az E pont geometriai helyét.

A D pont geometriai helyét az (1) összefüggés írja le:

$$(x_D - x_{O'}^\alpha)^2 + (y_D - y_{O'}^\alpha)^2 = (R - r)^2, \quad (1)$$

ahol:  $R$  a támasztóív sugara,  $r$  a görgő sugara,  $D$  a görgő középpontja,  $O'$  a támasztóív középpontja.

A C pont geometriai helye:

$$(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 = l^2 \quad (2)$$

ahol:  $l$  a lengőkar hossza.

Az E pont geometriai helye:

$$(x_E - x_A - e \cos \theta)^2 + (y_E - y_A - e \sin \theta)^2 = r_A^2, \quad (3)$$

ahol:  $A$  a hajtótengely középpontja,  $E$  az excenter és a himba érintkezési pontja,  $r_A$  az



excenter sugara,  $e$  az excentricitás,  $\theta$  a hajtótengely pillanatnyi helyzetét jellemző forgásszög.

A  $C$ ,  $D$  és  $E$  pontok kolineárisak, ennek a feltételét a (4)-es összefüggés értelmezi:

$$(x_C - x_D)(y_E - y_D) - (y_C - y_D)(x_E - x_D) = 0 \quad (4)$$

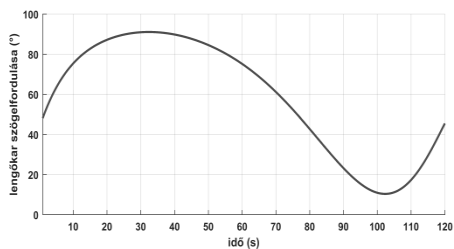
A  $C$  és  $D$  pontok mindenkor, relatív távolsága állandó, jelölése  $L$ :

$$(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 = L^2 \quad (5)$$

A  $DC$  és  $EA$  szakaszok merőlegességének feltétele az alábbi egyenlettel fejezhető ki:

$$(y_D - y_C)(y_E - y_A) - (x_D - x_C)(x_E - x_A) = 0 \quad (6)$$

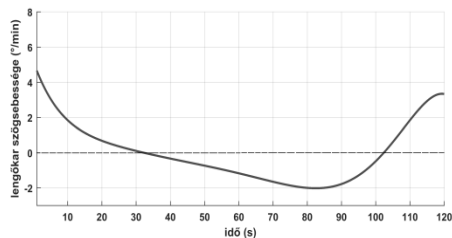
A modellek alkalmasak a vetőtengelyt elfordító lengőkar helyzetének a megjelenítésére. A geometriai egyenletek alapján szerkesztett pályagörbe a hajtó tag mozgásidejének függvényében történik, **3. ábra**.



**3. ábra.** Lengőkar helyzete

A pályagörbe emelkedő része a vetőtengely elfordítását eredményezi. A görbe ereszkedő részén a szabadonfutó nem követi a mozgást, így a kimenő tengely, vagyis vetőtengely nem forog.

A sebesség meghatározása szintén grafikus módszerrel történt, grafikus deriválással, **4. ábra**.

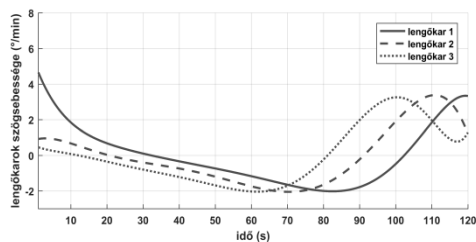
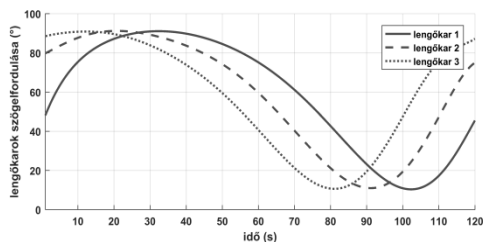


**4. ábra.** Lengőkar szögsebességének változása

A pozitív sebesség a vetőtengely elfordulását jelenti, a negatív sebesség alatt a vetőtengely nem forog.

A sebességgörbe elemzésekor megfigyelhető, hogy a vetőtengely sebessége változó. A forgatás kezdetén egy lökészerű szakasz jelenik meg.

A gyártók több lengőkaros büttyös mechanizmust kötnek-építenek sorba, a vetőtengely folyamatos forgatásának megvalósítása érdekében. Tanulmányoztuk három, egymáshoz képest eltolt excenter hatását a lengőkar helyzetére, közvetve a hajtott tengely szögelfordulására. A közös pályagörbét és a sebességgörbéket **5. ábra** jeleníti meg.

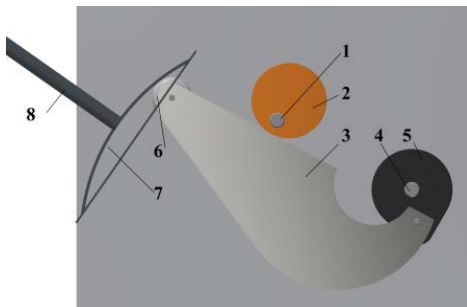


**5. ábra.** Három lengőkar együttes mozgása és sebességeik

A sebességgörbék együttesének elemzése során megfigyelhető a forgatás kezdetén jelentkező sebességnövekedés, és az egymás után induló forgatás hatására, annak elhúzódása, állandó szinten tartása. Ez a magkihordás egyenletességét kedvezően befolyásolhatja.

### 3. A szakaszos forgó mozgást megvalósító sebesség-váltó szerelési modellje

A mozgásegyenletek alapján megalkotott szerelési modell a **6. ábrán** látható.



**6. ábra** Szerelési modell

A szerelési modell valós méreteken alapul, ennek érdekében a *Bomet m 2,7x21* sorvetőgép sebességváltójának mérvadó méreteit mértük le.

A lengőkaros excenteres sebességváltó működése a következő: az 1-essel jelzett, a járókerékről működtetett hajtó tengely a 2-es excenter segítségével hajtja a 3-as himbát. A himba elmozdítja az 5-ös lengőkart, amely egy szabadonfutó segítségével egyirányú szakaszos forgó mozgást valósít meg a 4-es hajtott tengelyen. A himba másik vége a 6-os görgővel támaszkodik a 7-es ívelt lapra. Az ív a 8-as kar segítségével elmozdítható-elfordítható, ezáltal változik a himba helyzete, közvetve a lengőkar lengésszöge és a hajtott tengely fordulatszáma. Így változik a kivetett mag mennyisége. A görgő és lap közti folytonos kapcsolatot megvalósító kényszer az előfeszített rugót helyettesíti.

A modell figyelembe veszi a mozgásegyenleteket. A kimeneti tengely forgásszöge függ a mechanizmus kinematikai paramétereitől, az excentricitás méretétől, a himba aktív hosszától, a támasztólap helyzetétől, amelyek befolyásolják a kimenet átlagos szögsebességét.

### 4. Következtetések

A büttykös sebességváltók egyszerűsítik a gép felépítését, üzemeltetését, csökkentik az előállítás költségeit. A beállítások egyszerűen, a skálát és a táblázatot követve, fokozatmentesen történhetnek. Emiatt kerülnek egyre gyakrabban beépítésre a vetőgépekbe.

A megalkotott matematikai modellek segítségével tanulmányozható a paraméterek hatása a vetőtengely fordulatszámára. A matematikai modellek alkalmasak az összehasonlításra, új megoldások megvalósítására.

A szakaszos forgó mozgás egyenlesebbé tétele érdekében a hajtó tengelyre több büttyköt szerelnek a gyártók. A megvalósított matematikai modellek alkalmazhatóak több excenter együttes hatásának tanulmányozására a vetőtengely optimális működtetése érdekében.

Érdemes lenne tanulmányozni annak a lehetőségét, hogy a vetőtengely forgása a lengőkar, közel vízszintessel megközelített, állandósult sebességtartományában legyen.

A lengőkaros büttykös vetőtengely-sebességváltó mozgását jól szemlélteti a megvalósított szerelési modell. Megkönnyíti a vetőtengely-sebességváltó mechanizmusának megértését.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Erdman, A., Sandor, G., Mechanism design: analysis and synthesis, Prentice-Hall, New Jersey, 1984, p. 49-64;
- [2] Láng, Z.: A zöldség-, dísznövény- és szaporítóanyag – termesztés berendezései és gépei, Mezőgazda Kiadó, Budapest, 1999;
- [3] Loghini, Fl., Acționarea intermitentă a aparatelor de distribuție ale mașinilor de semănat universale, INMATEH III, București, 2006, p.231-237;

- [4] Loghin, Fl., Rus, Fl.: Theoretical modeling through virtual prototyping of transmission of sowing machines, Research People And Actual Tasks On Multidisciplinary Sciences 8 – 10 June 2011, Lozenec, Bulgaria, p.52-57;
- [5] Loghin, Fl.: Contribuții privind cinematica și dinamica transmisiilor cu mișcare intermitentă ale mașinilor de semănat universale, Contributions regarding the kinematics and the dynamics of transmissions with intermittent motion of universal seed drills, Summary of PhD Thesis, Universitatea Transilvania Brasov, 2010, p.35-58;
- [6] Manea, D., Voicu, Gh., Paraschiv, G., Marin, E.: Theoretical researches on kinematics of cam - rocker mechanisms from seed drills transmission, U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 78, Iss. 2, 2016, p.199-210;
- [7] Máté, M.: Műszaki mechanika – kinematika, EME Kiadó, Kolozsvár, 2010;
- [8] Naghiu, Al.: Mașini și instalații agricole, vol. I, Risoprint Kiadó, Kolozsvár, 2004, p. 369-371;
- [9] Marin, E., Cherciu, D., Păun, A., et.a. Parametric modeling of the impulse gearbox in oil bath from the grasslands regeneration machine / Modelarea parametrică a cutiei de viteze cu impulsuri în baie de ulei de la mașina de regenerat pajiști, INMATEH, Bucuresti, 2015, p.67-72;
- [10] Pelecudi, Chr, Maros, D., e.a.: Mecanisme, Ed.Didactica si Pedagogica, Bucuresti, 1985, p. 71-109.

## KORTIKÁLIS MEGTÁMASZTÁSÚ EGYÉNI IMPLANTÁTUM KORSZERŰSÍTÉSE

### MODERIZATION OF CORTICALLY SUPPORTED INDIVIDUAL IMPLANTS

Kulcsár Klaudia<sup>1</sup>, Kónya János<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Dent-Art-Technik Kft. Magyarország 9024 Győr, Csokonai u. 10. +36-30-2244622  
 kulcsar.klaudia@dentarttechnik.hu*

<sup>2</sup>*Dent-Art-Technik Kft. Magyarország 9024 Győr, Csokonai u. 10.  
 labor@dentarttechnik.hu*

#### Abstract

Digital product processing, 3D and finite element analysis techniques, modern, tissue-friendly implants with adequate surface treatment, and proper screw-fixing make it possible for a good idea to bring success for patients who do not have a sufficient amount of bone tissue for the implantation of conventional cylindrical-shape dental implants. The duration of the surgical procedure of a complete, toothless jawbone becomes much shorter. Complicated measurements and risky techniques that require substantial expertise become unnecessary. The implant can be placed precisely to its position with a simple surgical procedure. Then, it can be fixed to the bone tissue with the help of pre-designed fixation points. After this, only the professional closing of the wound has to be carried out. We designed and manufactured a titanium cortical implant that is novel both in the view of chemical composition and surgical procedure. The final connection shaping of the sleeve and abutment system of the personalized cortical-backup implants was designed with the help of finite element analysis methods after healing process.

**Keywords:** *Finite Element Analysis, Titanium, Subperiostealis Implant, Dental Implants, Patient-specific Implants*

#### Összefoglalás

A digitális termékfeldolgozás, a 3D-s technikák és a végelem analízis technikák előretörése, új, korszerű, szövetbarát alkalmazása a megfelelő felületkezeléssel és a primer stabilitást nyújtó csavaros rögzítéssel lehetővé teszi, hogy a jó ötlet sikert hozzon azon páciensek számára, akiknek nincs kellő csonttömege a hagyományos értelemben vett körszimmetrikus implantátumok beültetéséhez. Egy teljes fogatlan állcsont műtéti ellátásának ideje jelentősen lerövidül, nem kell bonyolult méréseket végezni, vagy nagy tapasztalatot igénylő, kockázatos technikát alkalmazni, az implantátum egyszerű műtéti eljárással, pontosan a helyére illeszthető és az előre megtervezett csavarozási pontokon rögzíthető a csontozathoz. Ezután már csak a seb szakszerű zárására van szükség. Az általunk megtervezett és gyártott titán kortikális implantátum újdonságértékű az anyagösszetétele valamint a műtéti eljárás tekintetében is. A gyógyulást követően a kortikális megtámasztású egyéni implantátumokhoz tervezett persely és abutment rendszer kapcsolódása végelem analízis kísérletek következtében nyerte el a végső formáját.

**Kulcsszavak:** *Finite Element Analysis, Titanium, Subperiostealis Implant, Dental Implants, Patient-specific Implants*

## Bevezetés

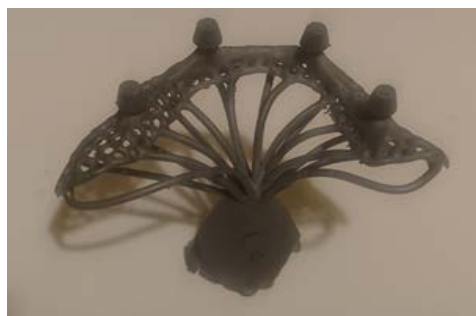
A subperiostealis implantátumot Dahl mutatta be elsőnek az 1940-es évek elején, melyet az állcsontra helyeztek rögzítés nélkül [1]. Az eljárás lényege: a fogatlan betegknél felvágják az ínyt, feltárták a csontot, melyről steril lenyomatanyaggal lenyomatot vettek, majd a beteg sebeit bezárták. A lenyomat alapján gipszmintát készítettek. A gipszminta segítségével megtervezték és nikkel-kobalt króm ötvözetből elkészítették a csontra illeszkedő vázat, melyet szükség esetén csavar rögzítést lehetővé tevő furatokkal is elláttak. A vázból meghatározott helyeken, az ínyen keresztül függőleges illeszkedési felület (rögzítési pont) nyúlt ki, ami rögzítette a fogművet. A precíziós eljárással készített fémváz (Vitallium) sterilizálása után a beteg ínyét újból feltárták, a fémvázat a csontra fektették, esetleg csavarral rögzítették, majd a sebet újból bezárták.[2]

A Dahl-féle eljárás hátránya az volt, hogy a váz soha nem épült be a csontba, csak kötőszövet tartotta. A többszöri nehézkes műtéti eljárás, a bizonytalan sikeresség miatt fokozatosan elhagyták ezt a módszert. Azonban egy új megközelítésben, a subperiostealis implantátum állcsontra helyezése az implantátumok csontba fúrása helyett egyszerű és innovatív technikának bizonyulhatott. [3]

Általánosan elmondható, hogy az axiális implantátum terhelés valamint az axiális implantátum – abutment (felépítmény) kapcsolat előnyben részesített a fogtechnikában. Ezek hozzájárulnak a hosszútávú implantátum beültetéssel kapcsolatos protetikai sikerhez. A nem megfelelő helyzete, tisztíthatósága, biomechanikai pozíciója nagyobb valószínűséggel vezet „peri implantitis”-hez (a fogászati implantátumokat körülvevő szöveteket érintő destruktív gyulladásos folyamat), csontvesztéshez és implantátum elvesztéséhez vezethet.

Az innovatív megközelítésünk mögötti ötlet személyre szabott fogpótlás, amely elkerüli a „peri implantitis” rizikófaktorokat az extra kemény vagy lágy szövetrel rendelkező páciensek esetében. Ezeket a pácienseket eddig időigényes és drága, többlépcsős eljárásokkal kezelték. [4] [5].

Teljes egészében átgondolva a módszert, azaz a subperiostealis implantátum módszerét, gyökeresen megváltoztattuk azt: digitálisan képünk lenyomatot a csontról (3D-CBCT), virtuális térben modellezzük és végezzük el a szükséges statikai analíziseket, a végeredményt titánból gyártjuk le (osseointegratív, tehát beépül a csontba), felületkezeljük valamint a legmodernebb technológiai lehetőségeket használjuk a késztermék szerkezeti analízisére. Az ábrán látható az első subperiostealis implantátum, amit kifejlesztettünk, mely az 1. ábrán látható. A subperiostealis implantátumok többszöri átgondolása, gyártásának változtatásával új megnevezéssel láttuk el, melynek a kortikális megtámasztású egyéni implantátum nevet adtuk.



1. ábra. Subperiostealis implantátum

## 2. Alapanyagok és módszerek a kortikális megtámasztású egyéni implantátum beültetési eljárásnál

### 2.1. Használhatóságának feltételei

Kortikális megtámasztású egyéni implantátum bármely foghiánynál alkalmazható, melynél implantátumra van szükség és csontot kellene pótolni. A csontra felfekvő

térhalósított titán váz szerkezet azért jó, mert a köréje helyezett csontgraftot megóvjaa a nyálkahártya nyomásával szemben illetve az egyéb mechanikai ingerektől is védi. Ugyanakkor lyukacsos kialakítása folytán a csontszövet körbenövi és magába foglalja, mert a titán anyaga összeintegrálódik eredményez. Ehhez speciális felületkezelési eljárást alkalmazunk.

Az eljárás feltételei közé sorolható a 3D-CBCT felvétel – az arccsont kinyomtatása 3D-s nyomtatóval műanyagból, valamint a precíziós fogszorító lenyomat és harapási minta – a műanyag arccsont és a hagyományos gipszminta valamint maradó fogszorító pozíciójának beállításához.

## 2.2. Munkafolyamat a fogtechnikai laborban

### 2.2.1. Előkészítő munka a fogtechnikai laborban

A lenyomat alapján készített, Wax-uppal ellátott gipszminta felhasználásával manuálisan megtervezik a beteg leendő foghelyzetét, illetve a fogak formáját, állását. Ezután javaslatot tesznek a virtuális tervezéshez. A beteg fogai alá szükséges megtámasztás formáját, kiterjedését, megnyitását illetően.

### 2.2.2. 3D-s tervezés

A tervezés számítógéppel történik, amelyhez szükséges kiinduló geometriai adatokat a páciensről készített Digitális Volume Tomográfia módszerrel (népszerűbb nevén CB-CT – Cone Beam CT) gyűjtjük be. Az adatokat ilyen esetben DICOM formában lehet kinyerni a fogászati célra gyártott CB-CT berendezésekből. A DICOM formátumú adatokat átkonvertáljuk STL fájlformátummá, amely 3D-s számítógépes adatot már többféle szoftverrel lehet kezelni, ez segíti a csontra illeszkedő subperiostalis implantátum tervezését. A számítógépes tervezés eredményeként létrejön az a geometria, amely orvosi és

protetikai szempontból is teljes mértékben kielégíti a vele szemben támasztott igényeket. A viaszból vagy önkötő műanyagból készített, pótlást szimuláló sablont beszkenyeljük, majd a digitális adatokat átalakítjuk a 3D-nyomtatáshoz. A 3D-s nyomtatóval műanyagból kinyomtatjuk a tervezett kortikális megtámasztású egyéni implantátumot az erre a célra alkalmas, titánöntéshez pozitív mintaként szolgáló, salakmentesen kiégethető fotopolimerből.

### 2.2.3. Kortikális megtámasztású egyéni implantátum gyártása

A nyomtatott műanyag hálógéometriát precíziós öntési eljárással, vákumnyomással öntőgép segítségével titánból megöntjük. A kész titán öntvényt CT röntgen analízissel megvizsgáljuk, a belső zárványok és diszlokációk kiszűrése érdekében, amelyek befolyásolhatják a tervezett mechanikai szilárdságot. A vizsgálat csak olyan öntvényt enged további munkálatra, amely homogenitásánál fogva alkalmas a további felhasználásra. A csapozás eltávolítása után a munkadarabot felületkezeljük, ami azt jelenti, hogy pásztázó lézersugárral átvastgátjuk. A homogén felület után dorzális (a csont felőli oldali), mikrokerámias felületkezelést végzünk rajta, ami az összeintegrációt segíti elő.

## 2.3. Műtét

Műtét előtt a rendelőben sterilizálják a fém és műanyag elemeket. Helyi érzéstelenítéssel, a gerincélen ejtett metszéssel az állcsontot a megfelelő helyen feltárják oly mértékben, hogy a titánháló még éppen beleférjen. A csont felületét több helyen perforáljuk, hogy a csont kérgi részén keresztül az erek könnyebben törjenek át a térkitöltő csontpótló anyaghoz, annak saját csonttá átalakítása céljából. A perforált felületre ráhelyezzük a hálót, így ellenőrizve pontosságát, és ha kell, igazítunk a csonton a pontosabb felfekvésért. Ezután feltöltjük a megfelelő csontpótló és saját csont keve-

rékével és azzal együtt a helyére illesztik, a megfelelő helyeken csavarral rögzítik. A nyálkahártyalebenyt a csonthátya behasításával a kellő mértékig megnyújtják és feszülésmentesen összezárják a titánháló felett. Ezután vagy 3 hónapig várunk a csontosodásra, utána kerül sor az első kontrollra. Ekkor az implantátumokra elhelyezik a megfelelő fejeket és azokra felrögzítik az előre elkészített ideiglenes fogművet.

## 2.4. Előnyök

Egyetlen műtéttel egyszerre pótolják a pácienseknek a csontot, az implantátumot és a fogat tartó felépítményt, minden egyszerre gyógyul. A beteg, bár korlátozottan, de használhatja új fogait. 6 hónap után kaphatja meg végleges fogművét. A titánhálót az orvosoknak nem kell műtét közben beszabnia, hajlíthatnia, mint hagyományos esetben, hanem tökéletesen a beteg csontjához van formailag adaptálva, ami sokkal egyszerűbb, gyorsabb műtétet jelent, vagyis csökken a műteti idő, komplikációk és szövődmények lehetősége. A beteg szempontjából ez kevesebb műtétet, kevesebb fájdalmat és stresszt jelent, azonnali fogpótlást eredményez, vagyis az esztétikum még olcsóbb is, mint az egyéb implantátumokkal megvalósítható eljárásoknál. Nagy csonthiányok esetén az átlagos kezelési idő a hagyományos eljárásokkal 1-2 évig terjed, míg ezzel a módszerrel 3-6 hónapra csökkenthető.

## 3. Kutatási előzmények: titán, mint implantátum anyag és mechanikai vizsgálatok a fogtechnikában

Napjainkra a végeselemes szimuláció és analízis a tervezési folyamatok elengedhetetlen részévé vált a legtöbb iparágban, így az orvostechikában és fogtechnikában is egyre inkább teret hódít. Számos tanulmány foglalkozott már a szájüregben, fogakban, implantátumokban ébredő feszültségeloszlások és deformációk mértékének vizsgálá-

tával, különböző anyagokra nézve, adott terhelések hatására.

A fogászati implantológiában bizonyított hosszútávú megbízhatósága miatt a titán a legdominánsabb alkalmazott implantátum anyag. [6] Az első sikeres összeintegrációs szájsebészeti titánimplantátum beültetést 1977-ben dokumentálták Branemark tapasztalatai alapján, azóta folyamatosak a követési eredmények pozitív visszajelzései. [7]

Meg kell jegyezni, hogy a titánnak van néhány feljegyzett, problémát okozó hátránya, pl. érzékenysége, áramvezető képessége, korrozív tulajdonságai, a fémionok felhalmozódása a nyirokcsomóknál, a gingivális szöveten áttetsző, szürke színe. E tényezők a kutatókat alternatív megoldások kifejlesztésének irányába terelték. [6] Ennek eredményeképp a titán általában egy vékony oxidréteggel van bevonva, ami nagymértékben meghatározza az implantátum felületi tulajdonságait: kémiai összetételét tekintve főleg  $\text{TiO}_2$ -ből áll, nem kristályos szerkezetű, felületi érdessége 0,53 és 0,67  $\mu\text{m}$  között van. Feltehetően ez a titánréteg felelős a titán implantátumok kiváló biokompatibilitásáért: az implantátumok alacsony szintű elektromos vezetőképességgel, magas korrozó ellenállással, termodinamikai stabilitással rendelkeznek, kismértékű ion-képződést tanúsítanak vizenyős közegben. [7]

Egy tanulmányban három különböző anyagból készült, 5 implantátumos mandibuláris protézis modellen fellépő feszültségeloszlást értékelték 3D-s végeselemes analízis által. A vizsgált anyagok: akrilgyanta, fém-akril, metál-kerámia. A vizsgálat eredménye, hogy az akrilgyanta modell mutatta a legmagasabb feszültségértéket az implantátumban ez az akrilban lévő fémes erősítés szükségességét igazolja a fogsor alján. [8]

Egy másik tanulmány, szintén végeselemes szimuláció segítségével, a gyenge minőségű csontszöveteket és abba

történő implantátum elhelyezést vizsgálta. Kutatások alapján elmondható, hogy a gyenge minőségű csontszövetekben magasabb a feszültségkoncentráció és a deformáció mértéke. Megállapították, hogy a biokortikális technikák alkalmazása hosszabb implantátumok elhelyezésével csökkenti a feszültségeloszlást a csontszövetben az implantátum körülötte területen és a deformáció tendenciája is alacsonyabb. [9]

A von Mises feszültségek analizisének és számításának bemutatására előszeretettel alkalmazott szoftver az ANSYS végelelem szoftver. A végelelemes analízis a gyógyulás hatékonyságát növeli, mivel a csontban lévő feszültségkoncentrációkat el kellene kerülni ahhoz, hogy stabilan fenntartsuk az implantátum behelyezést követő összeintegrációt. [10]

## 4. Kétfázisú kortikális megtámasztású implantátumok numerikus analizise

### 4.1 Kétfázisú kortikális megtámasztású implantátumok előnyei

A közelmúltban végzett korszerűsítési törekvések egyfázisú subperiostalis implantátumokra irányultak.

Az általunk alkalmazott kétfázisú kortikális megtámasztású egyéni implantátum gyógyulása praktikusabb, a seb, a varrat szennyeződésétől és felülfertőződésétől védettebb. Ez annak köszönhető, hogy a gyógyulás zárt seb alatt történik, nincs nyitott hegyszakasz a pillérnek kihagyva. A kortikális megtámasztású egyéni implantátumhoz tervezve lett egy persely és egy abutment, melyet numerikus analízissel terveztünk, ellenőriztünk.



2. ábra. Kortikális megtámasztású egyéni implantátum

## 4.2. Numerikus analízis

### 4.2.1. Fogászati implantátumok numerikus analizise

A kétfázisú implantátum rendszereknél az egyik legnagyobb problémát a csavar kilazulása és/vagy törése okozza. Kilazulást okozhat a csavar kifáradása a szájbán fellépő erők miatt, vagy a nem egytengelyű illeszkedés a terhelés következtében. A kilazulás problémáját tengelyszimmetrikus modelként vizsgáltuk, az eredményeket figyelembe véve a kilazulás elkerülésére előfeszítjük a csavart. Az aszimmetrikus terhelések olyan helyi feszültségeloszláshoz vezetnek, amely túllépi az összeszorító erőt. Különböző tanulmányokban kimutatták, hogy a gyártó által ajánlott nyomaték az implantátum megfeszítéséhez jóval a folyáshatár alatt marad. A rezgések és csillapítások viselkedése egy újabb lehetséges faktor, ami lazuláshoz vezethet. Arra viszont nem voltak jelentések, hogy ez a dinamikus viselkedés az állkapocs környékén is kritikus faktor lenne. [11]



#### 4.2.2. A kúpos szilárd illesztés mechanizmusa a fogorvosi implantátumokban

Csavarkötéses rendszereknél az implantátum – abutment közötti kapcsolatot a csavar előfeszítés határozza meg, ami előre definiált nyomatékot okoz. A kúpos illeszkedés kontakt nyomáshoz vezet, mely a felületek között súrlódási ellenállást eredményez. Az implantátum felszínén megfigyelhetők a tengelyirányú eredő erők, melyek harapás következtében lépnek fel. A harapásból származó erő segíti az abutment irányában a csatlakozást, vagyis a harapás az implantátumot jobban rá-, összeszorítja.

Csavar kialakításánál a csavarban lévő feszültséget csökkenti a harapási erő. A kúpos csatlakozású mechanizmus lazábbá válik a húzóerő valamint a lazító nyomaték hatására. A húzó axiális terhelés javítja a többfázisú implantátumok helyreállítását. Ezáltal elmondható, hogy a kúpos illeszkedéssel megoldott eljárás megfelelő kapcsolatot biztosít egy harmadik tag (például kulcs, csapszeg és retesz) nélkül. Gyógyászatban a csipőprotéziseknél is alkalmazzák. A hengeres szilárd illesztés mechanikája már jól megértett, különböző tanulmányokban megtalálhatók az összefüggései, viszont a kúpos szilárd illesztésre még nincs ismert megoldás. Ennek az illeszkedésfajtának a karakterisztikája függ a kúpszögtől, az érintkezési hosszától, a külső és belső erőktől, az összeillesztés mértékétől, az anyagi tulajdonságoktól és a súrlódási együtthatótól. A kúpos felületeken fellépő nyomást függvényekkel jósoltatják meg, a kúpos elemek közötti rugalmas síkfeszültségre alapozva. [12,13]

A gyakorlatban az implantátum kresztális területe körbe van véve csontkéreggel és a megmaradó trabecularis csonttal. Klinikai vizsgálatokkal kimutatták, hogy az implantátum körül ritkul a csont. A következőkben azt feltételezzük, hogy a

csont anyagi tulajdonságaira nézve izotróp és nincs csontritkulás. [14]

## 5. Tervezés, megvalósítás

### 5.1. A kétfázisú kortikális megtámasztású implantátumokhoz tervezett persely és felépítmény (abutment) tervezése

A feladatunk az volt, hogy az ábrán látható egyedi térszerkezetes kortikális megtámasztású implantátumhoz tervezzünk egy beleilleszkedő perselyt és ahhoz egy abutment-et, melyre a korona kerül.



3. ábra. Térszerkezetes titánháló

Tervezés megkezdése előtt az implantátumon kialakított furat nagyságát és a megtervezendő persely és abutment nagyságával voltunk tisztában, minden egyéb méret a mi feladatunk volt. A tanulmány során a különböző persely és abutment rendszer kúpszög csatlakozását vizsgáltuk, melyet több előzetes kísérlet előzött meg. Tervezéskor végeelem analízist alkalmaztunk. Továbbiakban bemutatjuk az általunk végzett kutató munkákat.

### 5.2. Implantátum anyagtulajdonságai

A kereskedelmileg tiszta titánt, illetve titánötvözetek kiváló összeintegrációs tulajdonságai, kis sűrűségük, megfelelő korrózióállóságuk, biokompatibilitásuk és mechanikai tulajdonságaik miatt alkalmazzák az orvostechikában. Az implantátum

felületén kialakul egy titán-dioxid réteg, melynek köszönhetően kalcium-foszfátot képez a szervezet és ezáltal képes felgyorsítani a gyógyulási folyamatot. A titán és titán ötvözet nem mágneses így a különböző orvosi vizsgálatokat nem befolyásolja. [15,16]

A táblázatban láthatók az orvostechnikában alkalmazott különböző titán alapanyagok. A kereskedelemben kapható tiszta titánt Grade1-től Grade4-ig osztályozzák, minél magasabb a Grade száma, annál több ötvözőket alkalmaznak, igaz ezek még mindig kismértékben tartalmaznak. Fogászati implantátumok olyan  $\alpha+\beta$  ötvözetből épülnek fel, melyek 6% alumíniumot és 4% vanádiomot tartalmaznak. Kiváló mechanikai teherviselő képességgel rendelkeznek. A Grade-5-ös ötvözet rugalmassági modulusa jelentősen meghaladja az emberi csontét. Osszeintegráció szempontjából a kereskedelmi tisztaságú titán és a Ti-6Al-4V ötvözet között nem tapasztalható számottevő különbség. [17,18]

**1. táblázat.** Titán, titánötvözetek besorolása

Megnevezés	E [GPa]	Folyáshatár [MPa]	Szaktírószilárdság [MPa]	$\epsilon$ [%]	Rácsszerkezet típusa
Cp Ti Grade 1	102	170	240	24	$\alpha$
Cp Ti Grade 2	102	275	345	20	
Cp Ti Grade 3	102	380	450	18	
Cp Ti Grade 4	104	483	550	15	
Ti-6Al-4V (Grade 5)	113	795	860	10	$\alpha+\beta$
Ti-6Al-4V ELI	113	860	930	10	

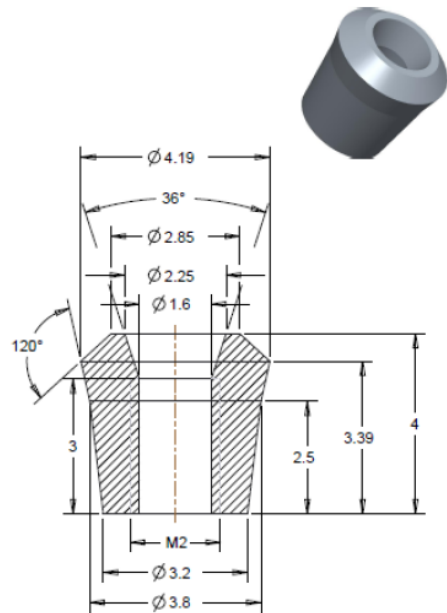
### 5.3. Persely és abutment tervezése

Az egyedi kúpszöggel rendelkező persely és abutment tervezésekor az volt a célunk, hogy olyan nagyságú kúpszöveget hozunk létre, melynél a kúpos illeszkedésű felületek kapcsolódásánál fellépő normál feszültség minél kisebb legyen, a felfekvő felületek figyelembevételével.

Tanulmányukban külön vizsgáltuk a frontális régiót és a laterális régiót. Szólv rendszert vizsgáltuk, hisz az összetett rend-

szerek eredményi teljesen más aspektust eredményeznének az erő megoszlása következtében.

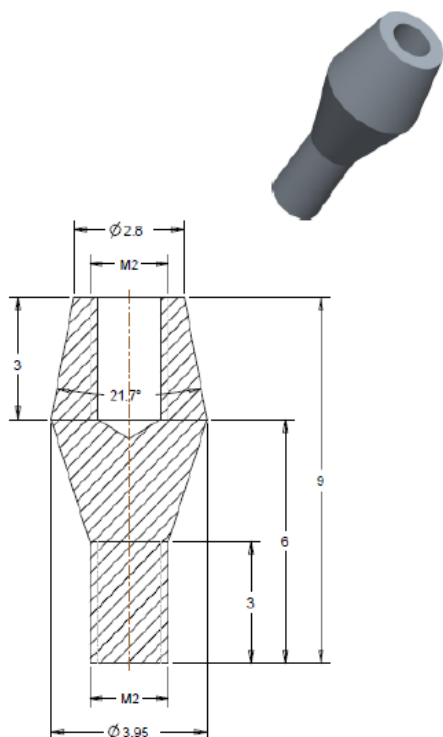
A **4. ábrán** a persely 3D-s ábrája és metszeti képe látható. A külső váll kialakítása azért volt szükséges, hogy a kortikális megtámasztású egyéni implantátumhoz lehessen hegeszteni, ez figyelembe véve választottuk 120°-osra. A fogmű elhelyezkedése végett a persely magassága tervezés előtt adott volt, amit 4 mm-re választottuk. A fogtechnikában az implantátumoknál legelterjedtebben az M2-es csavart alkalmazzák, így ennek tudatában a furat hossz-méretét 3 [mm]-re választottuk meg.



**4. ábra.** Persely metszeti és 3D-s ábrája

A kúpszög nagyságát végeelem analízissel határoztuk meg. Sok mérés eredményeként, amit a következő pontban lesz kifejtve, határoztuk meg a végleges kúpszög nagyságát, mely a 36°-os nagyságra esett. Az abutment tervezését a perselyt követően kezdtük el, ami az ábrán látható.

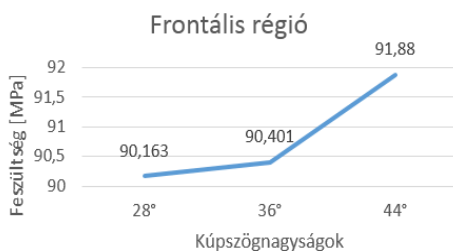
Abutment magassága és a fej részének átmérője adott volt a fogmű és ínymagasság következtében, így ehhez kellett alakítani a többi méretet, amit az alábbi ábra mutat.



5. ábra. Abutment metszeti és 3D-s ábrája

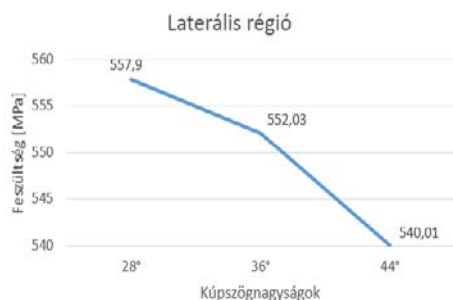
#### 5.4. Numerikus analízis

Következőekben a numerikus analízis eredményei láthatók. Vizsgálatainkat 28°-44°-os kúpszög nagyságokkal végeztük el, melyből láthatóvá válik a szignifikáns feszültség értékek. Az ábrán látható a frontális régió. Ebben az esetben szinte függőleges erővel számoltunk. Észrevehető, hogy a kúpszög nagyságának növekedésével emelkedik a rendszer feszültsége.



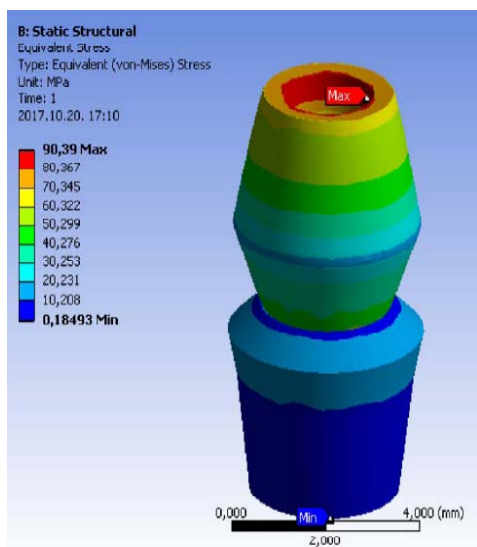
6. ábra. Frontális régióban ébredő feszültségek

A következő ábrán a laterális régióban ébredő feszültségeket mutatjuk be. Látható, hogy a kúpszög nagyságával csökkenő értékeket vesz fel a szerkezet feszültegeloszlása.



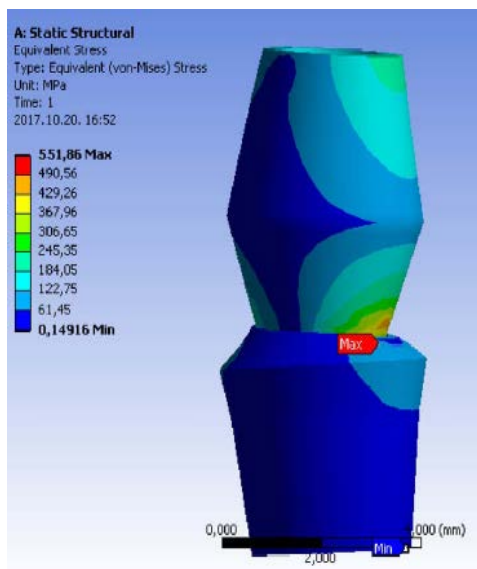
7. ábra. Laterális régióban ébredő feszültségek

A vizsgálataink alapján a 36°-os kúpszöggel rendelkező megoldást választottuk. Figyelembe kellett vennünk a felfekvő felületek nagyságát, mivel csak a kúpszög nagyságát variáltuk, a többi külső mértet nem alakítottuk. A szűkülő felfekvő felület mechanikailag problémát okozhat, mely töréshez, szakadáshoz vezethet. Ahogy említettük, a frontális régióban az erő szinte függőleges a szerkezetre. Az erő hatására ébredő feszültség ezáltal az abutment felső részére koncentrálódik, így azon a területen ébred a legnagyobb feszültségérték.



8. ábra. Frontális régióban ébredő feszültségek

A laterális területen ébredő feszültségek ferde irányúak, a szakirodalomból véve a beeső szöget  $20^\circ$ -asra vettük. A feszültség maximális értéke a kúpos csatlakozásnál ébred, mely látható a feszültségeloszlási ábrán.



9. ábra. Laterális régióban ébredő

## 6. Következtetések

Nem új eljárás, hanem egy régi eljárás átgondolása és korszerűsítése az eddig megszerzett tudás alkalmazásával. Az eredeti alkalmazásához képest végzett változtatások kiküszöbölik a subperiostealis implantátum korábbi hátrányait és megtartják előnyeit.

Az új digitális technikák (3D-CBCT, 3D-s nyomtatók, tervező szoftverek) alkalmazása pontosabb, stabilabb, jobban rögzíthető kortikális megtámasztású egyéni implantátumot hoznak létre az eredetinél. A titán anyaga miatt csontfelépülés alakul ki a pótlandó csont helyén, illetve a térszerkezetes váz a kezdeti csavarok által létrehozott (primer stabilitás mellett) a csont benövése következtében másodlagosan a teljes felületen fog a csontozatba integrálódni.

Ez a felület a hagyományos implantátumok felületének tízszerese is lehet, ráadásul nem gyengébb szivacsos állományban, hanem a kemény kérgi részben kapaszkodik. Azoknál a pácienseknél alkalmazható leginkább, akiknek a legnagyobb szükségük van rá és sokszor már más módszer nem alkalmazható.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dahl G: *Om mojligheten for implantation i kaken av metallskelett som bas eller retention for fasta eller avtagbara proteser* Tidskrift 51, 1943, 440-449.
- [2] Vajdovich István: *Dentális implantológia - gyakorló fogorvosok részére*. Budapest: Semmelweis Kiadó. 2008.
- [3] Lin G-H, Chan H-L, Wang H-L: *The significance of keratinized mucosa on implant health: a systematic review*. J Periodontol 84, 2013, 1755-1767.
- [4] Chang YM, Chan SP, Shen YF, Wei FC: *Soft tissue management using palatal mucosa around endosteal implants in vascularized composite grafts in the mandible*. Int J Oral Maxillofac Surg 28, 1999, 341-343.
- [5] Anne-Gaelle B, Samuel S, Julie B, Renaud L, Pierre B: *Dental implant placement after mandibular reconstruction by microvascular*

- free fibula flap: current knowledge and remaining questions.* Oral Oncol 47, 2011, 1099-1104.
- [6] Hong-Kyun K., Kyung M-W, Won-Jun S., Jin-Soo A, Seunghye CHA, Young-Seok P.: *Comparison of peri.implant bone formation around injection-molded and machined surface zirconia implants in rabbit tibiae*, Dental Materials Journal 2015, 34 (4): 508-515.
- [7] Young-taeg S., Carina B.J., Sarunas P., Anatol K., Yongsoo J., Ann W., Tomas A.: *Characteristics of the surface oxides on turned and electrochemically oxidized pure titanium implants up to dielectric breakdown: the oxide thickness, micropore configurations, surface roughness, crystal structure and chemical composition*, Biomaterials 23, 2002, 491-501.
- [8] Luiz F.B.C., Evandro A.S., Tomás G., Rosemary S.A.S.: *Stress Distribution Study Using the Finite Element Method in Three Different Implant-Supported Fixed Complete-Arch Mandibular Prostheses*, The International Journal of Prosthodontics, 2016, 299-302.
- [9] Fellippo R.V, Joel S.J., Daniel A. de F. A., Ana C.G.V., Victor E. de S.B., Cleidiel A.A.L., Pedro .N., Eduardo P.P.: *Three-dimensional Finite Element Analysis of Anterior Single Implant – Supported Prostheses with Different Bone Anchorages*, The Scientific World Journal, 2015, 10 pages
- [10] Joji M., S Suresh, Shruthi E, K Rekha, Vipin J., Supriya M.: *Comparison of Platform Switched and Sloping Shoulder Implants on Stress Reduction in various Bone Densities: Dinite Element Analysis*, The journal of Contemporary Dental Dental Practice, 2017, 1-6.
- [11] Geng, J., Tan, K.B.C., Liu, G., 2001. *Application of finite element analysis in implant dentistry: a review of the literature*. The Journal of Prosthetic Dentistry 85, 585–598.
- [12] Brunski, J.B., 1999. *In vivo bone response to biomechanical loading at the bone/dental-implant interface*. Advanced Dental Research 13, 99–119.
- [13] Sutter, F., Weber, H.P., Sorensen, J., Belser, U., 1993. *The new restorative concept of the ITI dental implant system: design and engineering*. International Journal of Periodonties Restorative Dentistry 13, 409–431.
- [14] Dincer B., Sinan M.: *Mechanics of the tapered interference fit in dental implants*. Journal of Biomechanics 36 (2003). 1649-1658.oldal
- [15] J R Davis, (szerk.), (2003). *Handbook of Materials for Medical Devices*. ASM International.
- [16] Divinyi Tamás. *Orális implantológia*. Semmelweis Kiadó, Budapest, 2007.
- [17] Bhola, Rhaul & Bhola, Shaily M. (2011). *Corrosion in Titanium Dental Implants/Prostheses (Requirements)*. Trends in Biomat. and Artif. Organs, 34-46.
- [18] Park, Joon B. & Bronzino, Joseph D.: *Biomaterials - Principles and Applications*. Boca Raton: CRC Kiadó. 2003.

## TEXTILBETON SZERKEZETI ELEMÉK

## TEXTILE-REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL ELEMENTS

Libotean Dan Alexandru<sup>1</sup>, Chira Alexandru<sup>2</sup>, Gobesz Ferdinánd-Zsongor<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu u. 15, II. em., 204, Tel. +40-264-401313, liboteandanalexandru@yahoo.com

<sup>2</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu u. 15, II. em., 204, Tel. +40-264-401313, alexandru.chira@mecon.utcluj.ro

<sup>3</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetmechanikai Tanszék, 400020, Románia, Kolozsvár, C. Daicoviciu u. 15, III. em., 305, Tel. +40-264-401351, go@mecon.utcluj.ro

### Abstract

The textile reinforced concrete is a material with increased mechanical properties that can allow the production of lighter structural elements. The alkali-resistant textile reinforcement is not affected by corrosion. A structural facade panel and a light pole were modelled in order to study their behavior in case of wind pressure. The developed numerical simulations were calibrated upon the available data from the literature. These simulations revealed some information that may worth to be taken into consideration in order to plan further experimental tests.

**Keywords:** textile reinforced concrete, alkali-resistant glass-fibers, finite element method, numerical simulations.

### Összefoglalás

A textilbeton olyan lúgálló hálóval megerősített beton, amely ellenáll a korróziónak. Mechanikai tulajdonságainak köszönhetően könnyebb szerkezeti elemek megvalósítására is alkalmazható. Egy homlokzati lemez meg egy lámpaoszlop szélnyomás alatti viselkedése lett modellezve és tanulmányozva. A szakirodalombeli adatok alapján kalibrált numerikus szimulációk olyan információkat nyújtottak, melyeket a további gyakorlati kísérletek tervezésekor lehet, hogy érdemes figyelembe venni.

**Kulcsszavak:** textilbeton, lúgálló üvegszálak, végelem módszer, numerikus szimulációk.

### 1. Bevezetés

A nagyszilárdságú (HPC) és ultra nagy szilárdságú (UHPC) betonok megjelenésével párhuzamosan felmerült a vasbeton szerkezetek fenntartható fejlődését elősegítő technológiák kifejlesztésének a szükség-

essége és alkalmazása. Az utóbbi években az építészek és a szerkezettervezők részéről egyre nagyobb érdeklődés nyilvánult meg az innovatív és a nagyszilárdságú anyagok alkalmazása iránt, s ez az építőanyagok meg a kompozit elemek folyamatos fejlődéséhez vezetett. A tűzvédelmi előírások és a



korrozíóvédelem miatt a hagyományos acél vasalások kivitelezéséhez minimálisan 5 cm vastagság szükséges bármely szerkezeti vasbeton elemnél. A nagyszilárdságú betonok szálerősítésekkel és hálókkel (lúgálló polimer bevonatú üveg-, bazalt-, szénszá-lakból) kombinálva akár tízszeresen vékonyabb elemek gyártását is lehetővé tehetik, nagyobb mechanikai szilárdsággal a hagyományos rendszerekhez képest. A fenntarthatósági követelmények szempontjából a textilbeton (TRC) alkalmazása előnyös lehet, a csekélyebb anyagszükséglet és a kisebb ökológiai lábnyom miatt. Számos tanulmányt végeztek e téren a szerkezeti megfelelőség, időtállóság, gyártás, alkalmazási lehetőségek vagy formatervezés szempontjából.

A TRC elemek előállításához általában finomszemcsés betont használnak, olyan adalékanyaggal melynek a szemmagysága nem haladja meg a 2 mm-t. Ez az apró szemmagyság nemcsak a beton szilárdságát növeli (egyébként is HPC és UHPC beton-féléket alkalmaznak), hanem a szövet-szálak jobb rögzítését is biztosítja a cement mátrixban [1]. A TRC elemek megerősítéséhez általában olyan sík vagy térbeli hálót alkalmaznak, melyeknek a rostjait lúgálló üveg- (ARG), szén-, bazalt-, polipropilén szálak, polivinil-klorid (PVC) bevonatú polivinil-alkohol (PVAc) vagy ezek hibrid változatai alkotják [2].

A TRC egy olyan kompozit anyag, mely nagyon széles körben alkalmazható, akár szerkezeti rehabilitációknál [3-7], könnyű teherhordó szerkezetekhez [8, 9], vagy homlokzati lemezekhez [10-14]. A TRC elemek geometriájától függően többféle formázási módszert alkalmaznak: zsaluzást, szórást vagy laminálást [15].

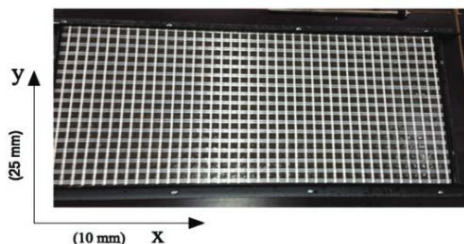
A jelen tanulmány célja olyan információk gyűjtése volt, amelyek néhány széltelhernek kitett TRC szerkezeti elem (esetünkben teherbíró homlokzati lapok és lámpa-oszlopok) viselkedésére vonatkoznak. E célból néhány numerikus szimulációt vé-

geztünk el ezekre az elemfajtákra, az Abaqus [16] végeelem programcsomag használatával. Ezek a vizsgálatok ugyanakkor egy kezdeti, a későbbi gyakorlati kísérleteket megelőző fázist is képviselnek.

## 2. Anyagok és eljárások

### 2.1. Anyagmodellek

A textilerősítésekhez olyan sík üveg-szálalás háló alkalmazását modelleztük, amilyen az **1. ábrán** látható. A hálót képző rostok egyenként körülbelül 1500-2000 szálból vannak fonva és epoxigyanta alapú polimer bevonattal vannak borítva. A csomópontok láncszemként vannak kialakítva és a hálószemek méretei 10x25 mm. A rostok keresztmetszeti felülete 3,80 mm<sup>2</sup> és a számításokhoz 33250 MPa értékű rugalmassági modulust, illetve 475 MPa értékű szakítószilárdságot vettünk figyelembe.



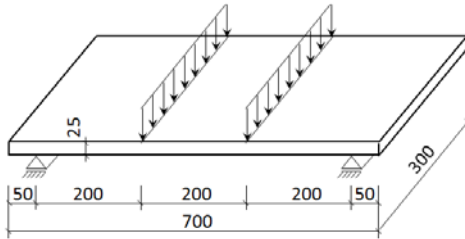
**1. ábra.** „2D AR-Glass” textilerősítés [11].

Többféle típusú beton volt a numerikus modellezés során figyelembe véve, így, a hagyományosnak számító közönséges C25/30 és C20/25 osztályú betonok mellett az alábbi textilbetonok jellemzőivel készültek a modellek:

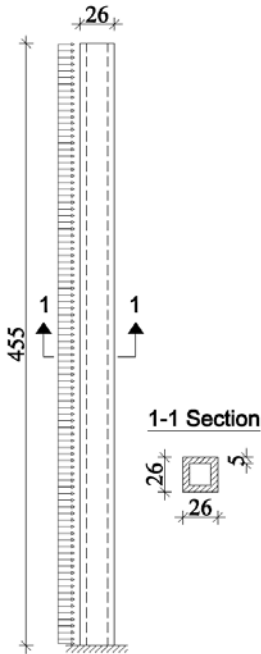
- TRC106 / C106 (nyomószilárdság: 106 MPa, E = 49 GPa);
- TRC90 (nyomószilárdság 90 MPa, E = 40 GPa);
- TRC70 (nyomószilárdság 70 MPa, E = 35 GPa).

## 2.2. A szerkezeti elemek

A 25x300x700 mm-es homlokzati lemezek a **2. ábrán** látható feltámasztással és terhelési móddal lettek modellezve (az öt említett betontípussal, külön-külön, 6 mm-es betonfedéssel). Ez a terhelési mód meg egyezik a majdani gyakorlati kísérletekben alkalmazandóval.



**2. ábra.** Homlokzati lemezmodell, fektetve (a méretek mm-ben vannak feltüntetve).



**3. ábra.** Lámpaoszlop modell (a méretek cm-ben vannak feltüntetve).

A 260x260x4550 mm-es TRC lámpaoszlop 10x10 mm-es hálószem méretű meg-

erősítéssel lett modellezve (ugyanazokat a mechanikai jellemzőket alkalmazva, mint a már említett „2D AR-Glass” hálónál). A hosszanti erősítések a keresztmetszeti fal közepébe voltak elhelyezve. A homlokzati lemezektől eltérően, itt csak három eset volt tanulmányozva: C106-os textilbeton, C106-os beton (erősítés nélkül), illetve C20/25-ös osztályú közönséges beton szintén erősítés nélkül. E modellek rögzítési és terhelési módja a **3. ábrán** látható.

## 2.3. Számszerű vizsgálati módszer

Az erősítések modellezéséhez rúd alakú, két csomóponttal rendelkező végelemek (T3D2) lettek alkalmazva, míg a betonfajtákhoz téglaszerű, 8 csomópontos tömör végelemek (C3D8R), 8 mm-es diszkrétizálással. A beton és az erősítés között tökéletes tapadás (*Perfect Bond*) volt elképzelve. A betonfajták viselkedése CDM (*Concrete Damage Plasticity*) alapján történt, az erősítésekhez pedig olyan anyagviselkedési mód lett rendelve, mely szintén megengedte a nem-lineáris válaszokat (*Material Pasticity*).

Öt összehasonlító vizsgálat lett elvégezve a homlokzati lemezek esetében és három a lámpaoszlop modellre, a betontípusok anyagának a függvényében. Mindegyik esetben egy olyan nem-lineáris *Riks*-féle eljárás lett alkalmazva, mely fokozatosan növeli a terhelést addig, amíg a szerkezeti elemek ki nem merítik a teherbírásukat, vagy el nem veszítik a stabilitásukat.

## 3. Eredmények

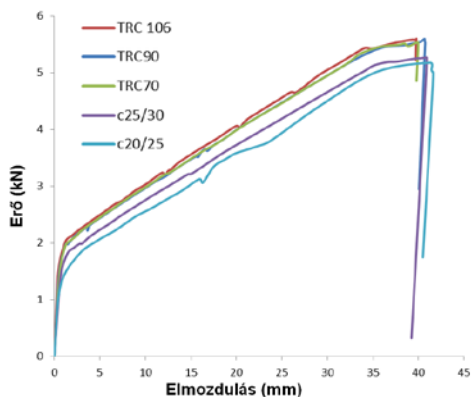
### 3.1. Homlokzati lemezek

A numerikus szimulációkból származó eredményeket grafikus formában ábrázoltuk mind a két szerkezeti elem esetében. A homlokzati lemezek esetében megfigyelhető, hogy az alacsonyabb nyomószilárdságú osztályoknál az első képlékeny alakváltozások kisebb erőknél jelennek meg, de a teherbírási tartalékok hasonlóak a maga-



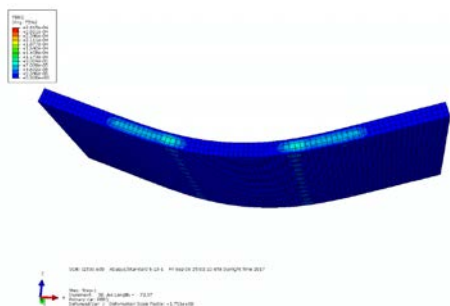
sabb osztályú betonból modellezett lemezekéhez (4. ábra).

Az 5. ábrán a nyomásra, illetve a 6. ábrán a feszítésre jellemző maradandó alakváltozások kialakulását lehet követni.

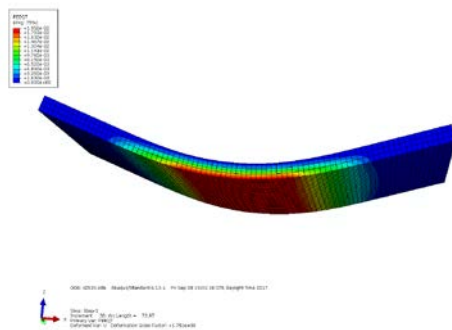


4. ábra. Erő-út diagramok a homlokzati lemezek esetében (az anyag-modellek jelölései a görbék sorrendjét követik).

Az alacsonyabb osztályú betonból készült modellek gazdasági megfontolásokból voltak számításba véve. Bár, elvileg lehetséges lenne ilyen alacsonyabb osztályú betonokat használni a TRC lemezeknél, a műszaki követelmények miatt (melyek finom szemcsés adalékot írnak elő, a szálak közti hatékonyabb behatolás miatt) az alkalmazott beton recept magasabb osztályú anyagot kell eredményezzen a nyomószilárdság szempontjából [17].



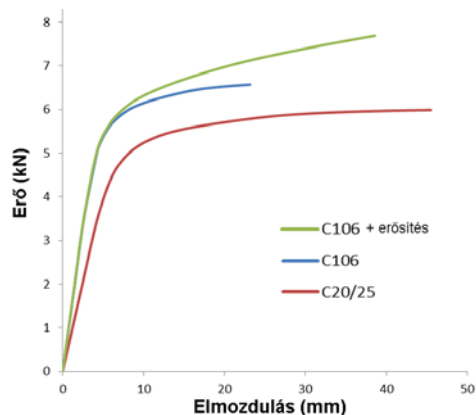
5. ábra. A nyomott részekre jellemző képlékeny alakváltozások kialakulása.



6. ábra. A feszülő részekre jellemző képlékeny alakváltozások kialakulása.

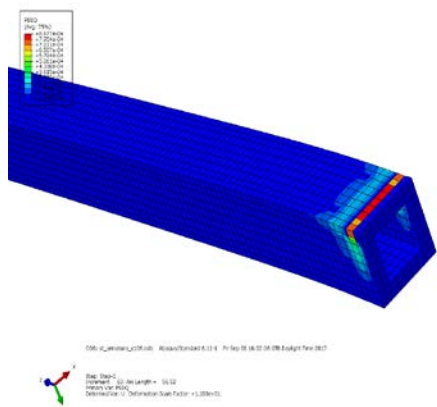
### 3.2. Lámpaoszlopok

A lámpaoszlopok viselkedésének a tanulmányozásánál, a modellezésénél merev befogás volt alkalmazva az alapnál, a terhelés pedig az oszlop magasságára kiterjedő egyenletesen eloszló volt (mint a már említett szélteher esetében).

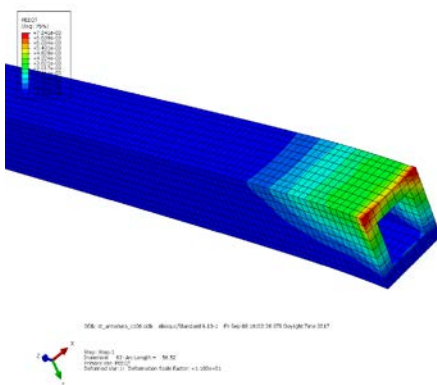


7. ábra. Erő-út diagramok a lámpaoszlopok esetében (az anyag-modellek jelölései a görbék sorrendjét követik).

A 7. ábrán látható, hogy az erősítés hatása aránylag csekély a TRC lámpaoszlopoknál. A textil erősítés az első képlékeny zónák kialakulásakor fejt ki igazán a hatását (az oszlop alján, a merev befogásnál), így a szerepe inkább abban nyilvánul meg, hogy teherbírasi tartalékot biztosítson.



8. ábra. A nyomott részre jellemző képlékeny alakváltozások a lámpaoszlop tövében.



9. ábra. A feszülő részre jellemző képlékeny alakváltozások a lámpaoszlop tövében.

#### 4. Következtetések

A bemutatott számszerű vizsgálatok egyik célja az volt, hogy előzetes adatokkal szolgáljanak a későbbi gyakorlati kísérletek tervezéséhez (például a kísérletek számának az optimalizálásához, meg, hogy előre sugallják a vizsgálandó szerkezeti elemfajták viselkedését olyan életúti vizsgálatoknál, ahol minden nem-linearitási forrást figyelembe lehet venni.

Műszaki feltételek miatt nem lehetséges 4 mm-nél nagyobb szemcseméretű adalékanyag alkalmazása a textilbeton elemeknél,

s ez nagyobb nyomószilárdsághoz vezet. Karcsú szerkezeti elemek gyártásához olyan erősítéseket kell alkalmazni, melyek korrózióállóak (így a hagyományos acél vasalás használata kizárt).

Az elvégzett számszerű vizsgálatok alapján a következőket lehet megállapítani:

- Alacsonyabb osztályú (kisebb nyomószilárdságú) textilbeton alkalmazása homlokzati lemezekben nem okoz lényeges merevségi és teherbírási eltéréseket;
- Úgy a homlokzati lemezek, mint a lámpaoszlopok esetében, a nagyobb nyomószilárdságú beton alkalmazása növeli az üzemelési teherbírást (a TRC homlokzati lemezeknél körülbelül 40%-kal, a TRC lámpaoszlopoknál körülbelül 15%-kal);
- A textil-erősítés szerepe a teherbírási tartalék olcsó és egyszerű biztosítása, hogy a szerkezeti elem tönkremenetele előre észlelhető (jelzett) lehessen.

Fontos célkitűzés a fenntarthatósági feltételek teljesítési mértéke is (a megvalósításhoz szükséges anyagmennyiség, meg a bevitt energia csökkentése, az élettartam növelése mellett), illetve a gazdaságosság. A textilbeton alkalmazása nem feltétlenül olcsóbb, de előnyösebb, lehet.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bramehuber, W. (ed.): *Report 36: Textile Reinforced Concrete - State-of-the-Art Report of RILEM TC 201-TRC*. Vol. 36. RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, Franciaország, 2006.
- [2] Williams Portal, N.: *Usability of Textile Reinforced Concrete: Structural Performance, Durability and Sustainability*. PhD thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Svédország, 2015.
- [3] Contamine, R., Si Larbi, A., Hamelin, P.: *Identifying the contributing mechanisms of textile reinforced concrete (TRC) in the case of shear repairing damaged and reinforced concrete beams*. Engineering Structures, vol. 46, nr. 1/2013, Elsevier (DOI: 10.1016/j.engstruct.2012.07.024), 2013, 447-458. oldal.
- [4] Brückner, A., Ortlepp, R., Curbach, M.: *Anchoring of shear strengthening for T-beams*

- made of textile reinforced concrete (TRC)*. Materials and Structures, vol. 41, no. 2/2008, Springer (DOI: 10.1617/s11527-007-9254-9), 2008, 407-418. oldal.
- [5] Papanicolaou, C. G., Triantafillou, Th. C., Papathanasiou M., Karlos, K.: *Textile reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: out-of-plane cyclic loading*. Materials and Structures, vol. 41, no. 1/2008, Springer (DOI: 10.1617/s11527-007-9226-0), 2008, 143-157. oldal.
- [6] Bernat-Maso, E., Gil, L., Roca, P.: *Numerical analysis of the load-bearing capacity of brick masonry walls strengthened with textile reinforced mortar and subjected to eccentric compressive loading*. Engineering Structures, vol. 91, Elsevier (DOI: 10.1016/j.engstruct.2015.02.032), 2015, 96-111. oldal.
- [7] Verbruggen, S., Aggelis, D. G., Tysmans, T., Wastiels, J.: *Bending of beams externally reinforced with TRC and CFRP monitored by DIC and AE*. Composite Structures, vol. 112, Elsevier (DOI: 10.1016/j.compstruct.2014.02.006), 2014, 113-121. oldal.
- [8] Hegger, J., Kulas, Ch., Horstmann, M.: *Spatial textile reinforcement structures for ventilated and sandwich façade elements*. Advances in Structural Engineering, vol. 15, Issue 4, SAGE Publications (DOI: 10.1260/1369-4332.15.4.665), 2012, 665-675. oldal.
- [9] Schneider, H. N., Schätzke, Ch., Feger, Ch., Horstmann, M., Pak, D.: *Modulare Bausysteme aus Textilbeton- sandwichelementen*, Textilbeton - Theorie und Praxis: Tagungsband zum 4. Kolloquium zu textilbewehrten Tragwerken (CTRS4) und zur 1. Anwendertagung, T. U. Dresden, Németsország, 2009, 565-576. oldal.
- [10] Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblová, L., Škapin, A. S., Hájek, P.: *Property improvements of alkali resistant glass fibres/epoxy composite with nanosilica for textile reinforced concrete applications*. Materials & Design, vol. 89, 2016, Elsevier (DOI: 10.1016/j.matdes.2015.09.122), 2016, 146-155. oldal.
- [11] Chira, A., Kumar, A., Vlach, T., Laiblová, L., Hájek, P.: (2016). *Textile-reinforced concrete facade panels with rigid foam core prisms*. Journal of Sandwich Structures & Materials, vol. 18, Issue 2/2016, SAGE Publications (DOI: 10.1177/1099636215613488), 2016, 200-214. oldal.
- [12] Gopinath, S, Kumar, V. R., Sheth, H., Murthy, A. R., Iyer, N. R.: *Pre-fabricated sandwich panels using cold-formed steel and textile reinforced concrete*. Construction and Building Materials, vol. 64, Elsevier (DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.068), 2014, 54-59. oldal.
- [13] Shams, A., Hegger, J., Horstmann, M.: *An analytical model for sandwich panels made of textile-reinforced concrete*. Construction and Building Materials, vol. 64, Elsevier (DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2014.04.025), 2014, 451-459. oldal.
- [14] Dey, V., Zani, G., Colombo, M., Di Prisco, M., Mobasher, B.: *Flexural impact response of textile-reinforced aerated concrete sandwich panels*. Materials & Design, vol. 86, 12/2015, Elsevier (DOI: 10.1016/j.matdes.2015.07.004), 187-197. oldal.
- [15] Hegger, J., Voss, S.: *Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete*. Engineering Structures, Vol. 30, no. 7/2008, Elsevier (DOI: 10.1016/j.engstruct.2008.01.006), 2008, 2050-2056. oldal.
- [16] ABAQUS, Finite element software, Hibbitt, Karlsson & Sorensen Inc., USA.
- [17] Kausay, T.: *Beton. A betonszabvány néhány fejezetének értelmezése*, Mérnöki Kamara Nonprofit Kft, Budapest, Magyarország, 2013.

## A BALÁNBÁNYAI RÉZÉRC (KALKOPIRIT) FELHASZNÁLHATÓSÁGÁNAK KÉRDÉSEI A BRONZKORI ESZKÖZÖK ELŐÁLLÍTÁSÁBAN

### ISSUES OF THE USABILITY OF COPPER ORE (CHALCOPYRITE) FROM BĂLAN FOR USTENSILES PRODUCTION IN THE BRONZE AGE

Márton László<sup>1</sup>, Talpas János<sup>2</sup>, Bitay Enikő<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, 400009 Cluj-Napoca, str. Napoca nr. 2–4, [martonlb@yahoo.com](mailto:martonlb@yahoo.com)

<sup>2</sup>Babeş–Bolyai Tudományegyetem, Kolozsvár, 400006 Cluj-Napoca, str. Clinicilor nr. 5–7. [talpasjanos@gmail.com](mailto:talpasjanos@gmail.com)

<sup>3</sup>Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, 540485 Romania, Marosvásárhely/Târgu-Mureş, OP 9, CP 4, Tel.+40-751-016063, [ebitay@ms.sapientia.ro](mailto:ebitay@ms.sapientia.ro)

#### Abstract

Archaeological publications connect the raw material used for the production of the copper and bronze artifacts discovered during the excavations carried on in Szeklerland to the use of the chalcopirite from the Bălan copper ore deposit. For now, this assumption is not confirmed by concrete evidence. Men of the Bronze Age can't possibly have had knowledge on the metallurgy of sulphide-type copper ores like chalcopirite. Applying investigations based on spectroscopy, the Bronze Age use of the chalcopirite from Bălan could be either confirmed or infirmed, the new data throwing more light on the provenance of the bronze artifacts discovered in the Szeklerland.

**Keywords:** copper ore from Bălan, chalcopirite, ancient artifacts, copper ore composition, trace element content of copper ore and bronze, scientific methods in archaeology.

#### Összefoglalás

A székelyföldi régészeti ásatások réz és bronz tárgyainak előállításában felhasznált nyersanyagot, a rézércet, a balánbányai kalkopirit felhasználásához kapcsolja a szakirodalom. Ez csupán a feltételezés kategóriájába sorolható, nincs erre kézzelfogható bizonyíték. A bronzkor embere nem tudhatta a szulfid típusú rézércet, mint amilyen a kalkopirit, kohászati feldolgozásának technológiáját. Természettudományos módszerek alkalmazásával, a spektroszkópia lehetőségeinek felhasználásával bizonyítani, vagy cáfolni lehet a balánbányai kalkopirit bronzkori felhasználását, ami új adatokkal, új megvilágításba helyezné a székelyföldi bronzleletek nyersanyagának eredetét.

**Kulcsszavak:** balánbányai rézérc, kalkopirit, ásatag bronztárgyak, rézérc összetétele, nyom-  
 elemek a rézércben és az ötvözetben, természettudományos módszerek a régészetben

## 1. Bevezető

A székelyföldi régészeti ásatások számos rézkori és bronzkori lelettel gazdagították a múzeumok kiállítási anyagát, segítve a szakembereket a történelmi korok helyhez szabott behatárolásában.

A feltárt leletek között a helyi réz és bronzkor fémből készült tárgyai, eszközei szerszámai, ékszerei is megjelennek a nagy mennyiségű kerámia töredékek társaságában. Ezek tipológiai beazonosítása a régészeti feladata, de egy meghatározott történelmi korszakon belül is lehetnek helyi jellegzetességek. Ritkább az a szerencsés eset, amelyben az ásatag réz, vagy bronztárgy környezetében ezek gyártására utaló olvasztókemence maradványok, kohászati salak, netán öntőforma töredékek is fellelhetők. Ezek is jellemzik a kort, amelyben készültek, segítik a keltezés lehetőségét.

A természettudományos módszerek alkalmazása a régészeti leletek tanulmányozásában nem újdonság a régmúlt időköt kutató tudományok művelőinek. A vegyi elemzések, mikroszkópia, spektroszkópia, a 14-es szén izotópia adta lehetőségek alkalmazása jelentős többletinformációval segítik a kiértékelő régészeti munkát.

## 2. A réz- és bronzművesség kezdetei Székelyföldön

A rézművesség kezdetei a rezet tartalmazó érc természetes lelőhelyeihez kapcsolhatók. Jó néhány elmélet érvel arról, hogy a rézművesség (rézöntés) kifejlődése több helyszínen, egymástól függetlenül is létre jöhetett. "Érckutatók kellett, hogy bevezessék az olvasztás és öntés tudnivalóit, de úgy tűnik, hogy az erdélyi termékek helyi rézből készültek." (C. Renfrew) [1] Az erdélyi rézkor rézművessége részeként kell értékelnünk a székelyföldi rézművességet.

A székelyföldi rézművesség nyersanyag bázisa nem tisztázott, de nem kizárt, hogy a

Csíkszentdomokos – Balánbánya határában található komplex rézérc is lehetett. Részletes helyszíni feltárások hiányában a székelyföldi rézkori leletek nem nyújtanak átfogó és reális képet a kor rézművességéről, különösképpen arról nem, hogy a leletek valóban a csíkszentdomokos – balánbányai vonulat rézércéből készültek. Ennek tisztázása, pontosítása lehetséges természettudományos módszerekkel. A réztárgy anyagának elemi összetételét meg lehet határozni például spektroszkópos vizsgálatokkal. A tellúr vagy más elemek jelenléte, koncentrációja a réztárgy anyagában fontos információ lehet a rézérc balánbányai, esetleg más erdélyi rézérc lelőhelyről való eredetéről. Ismeretes, hogy bizonyos rézércek, ide tartozik a balánbányai kalkopirit is, színképelemzés útján meghatározható koncentrációban tartalmaznak tellúrt. A tellúr egyedivé tesz minden olyan rézércet, amely ezt az elemet is tartalmazza. [2]

A tellúr jelenlétének, koncentrációjának meghatározásával, valamint más, szennyező összetevőként jelen lévő elemek kimutatásával értékelhető pontossággal meghatározható az illető bronztárgy alapanyagának eredete. Ehhez előzetesen ismerni kell a feltételezett eredetű rézérc összetételét. Ezt napjainkban a metallográfia tudománya rutinelemzésként kezeli. A természettudományos módszerek minél szélesebb körű alkalmazása a régészetben új utakat nyithat a letűnt évszázadok fémművességének megismeréséhez.

Az **1. táblázat** néhány székelyföldi régészeti ásatás rézből készült leleteit, ezek lelőhelyét foglalja össze, a teljesség igénye nélkül. A leletek az i.e. 4. évezred utolsó századaiból származó réztárgyak.

Az **1. ábra** a sepsiszentgyörgyi Székely Nemzeti Múzeum gyűjteményének néhány ásatag bronztárgyát mutatja be.

Az, hogy e leletek nyersanyaga a csíkszentdomokosi–balánbányai rézérc lelőhelyekhez is kapcsolható, egyelőre csupán feltételezés, ugyanis az itt végzett régészeti kutatások nem bizonyították a rézérc bányászatának őskori nyomait, netán a rézérc kohósítását. Azt is meg kell jegyeznünk, hogy az említett terület archeológiai feltárása sem teljes. Colin Renfrew leszögezi: "Afelől kétségünk sem lehet, hogy a felhasznált réz helyi eredetű volt." [1] További kutatásokra van szükség, természettudományos módszerek bevonásával kell azonban tisztázni, hogy ezt a rézlelőhelyet egyáltalán felhasználta-e az őskor rézművese.



**1. ábra.** Ásatag bronztárgyak. A Székely Nemzeti Múzeum (Sepsiszentgyörgy) tulajdona

**1. táblázat.** Néhány székelyföldi régészeti ásatás rézkori, rézből készült lelete

RÉZKOR		
Lelőhely	Lelet	Megjegyzések
Erősd (CV)	vörös rézhuzal töredékek, kéthegyű vékony rézár, huzalból készült kis karikák	Több ásatási rétegből származnak más hasonló lelettel, kerámia töredékkel.
	kettős, ellentétes élű rézsákány	A kőkorszak és a bronzkorszak közötti átmeneti időkből.
Gyergyószentmiklós (HR)	egyélű rézsákány, más kilenc darabbal együtt	A Lázár grófok birtokán lelték, pontos helye ismeretlen.
Árkos (CV)	két fejszéből álló lelet	
Sáromberke (MS)	nyéllyuk-nyúlványos balta	Hasonló baltákat lelték Nyárádgálfalván, Altorján, Kovásznán, Sepsibesenyőn, Székelyzsomboron.
Várhegy (HR) Albis (CV) Bodok (CV) Csernáton (CV) Székelyudvarhely (HR)	kettős ellentétes élű rézsákányok	Ezek már a kezdeti bronzkor időszakából származnak.
Csíkdánfalva (HR)	rézsákány	Magángyűjteményben, különleges kiképzésű fokkal.
Sepsibesenyő (CV)	rézfokos	Az egyetlen székelyföldi példány.

Első réztárgyait a kor embere, természetből [3] készítette. Tetszetős színe értékessé tette az addig csupán bőrből, csontból, fából készült, főleg dísz tárgyakkal, egyszerű ékszerekkel szemben.

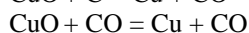
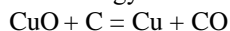
A kalapálásos hidegalakítás volt az első technológiai művelete a termésvéz feldolgozásának. Az őskor rézművese megtanulta, hogy a vörös színű fém könnyen alakítható kalapálással, ugyanakkor az ütések hatására keménnyé, rideggé válik, ami megnehezíti a

további alakváltoztatást. Azt is kitalálta, hogy felmelegítéssel a rideg, törékeny réztárgy ismét meglágyul, további alakításra is alkalmassá válik

Hosszú századoknak kellett eltelniük, amíg a mesterségbeli tudás gyarapodása meghozta eredményét, a rézércben található fém kinyerését olvasztással.

A kezdetekkor erre csak bizonyos rézércek mutatkoztak alkalmasoknak. Ma már világos, hogy ezek az ércek rézoxidok, réz-karbonátok voltak, amelyek könnyebben redukálhatók [4], mint például a szulfid típusú rézércek.

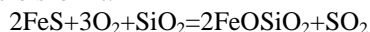
Az oxidos, karbonátos rézércek: a kuprit,  $\text{Cu}_2\text{O}$ , azurit,  $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ , malachit,  $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$  a tüzelőanyaggal való hevítéskor aránylag könnyen redukálódó ércek. Égése közben a faszén a szükséges hőt és a redukáló közeget is biztosítja. A  $700^\circ\text{C}$  körüli hőmérsékleten a következő vegyi reakció megy végbe:



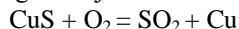
A folyamatban még nem keletkezik vörösréz, mert a réz olvadási hőmérséklete  $1084^\circ\text{C}$ . A rézművesség megjelenésének kezdetén fontos szerepe volt a fazekasságnak. A kerámiagyártásban használatos kemencék hőmérséklete  $600\text{--}700^\circ\text{C}$ -ot érhetett el, ami már a rézérc-olvasztás előcsarnoka lehetett. A fűjtató, a többletlevegő befűtésével létrehozott hőmérséklet-emelés szerepe valóságos ugrást jelentett általában az ércek feldolgozásában, nem csak a rézércek esetében.

A balánbányai rézérc, a kalkopirit ( $\text{CuFeS}_2$ ) szulfid típusú érc, amelynek pirotechnikai feldolgozása őskori módszerekkel szinte lehetetlen volt. A kalkopirit feldolgozásának alapja szintén redukációs folyamat. A folyamat részeredményeként az égést tápláló oxigén egy részének kénnel való reakciójában a végtermék a kéndioxid, ami az égési gázok összetevőjeként távozik a kemencéből. A megmaradt részből a vasnak szintén az oxigénnel való reakciója követ-

kezében vasoxid keletkezik, ami a salaknak egyik összetevője lesz. De ez a folyamat nem ilyen egyszerű, mert a kvarchomok folyamatos adagolásával, a vasszulfiddal vegyi reakcióba lép a következő vegyi reakció szerint:



Tulajdonképpen ez az első salakképző folyamat. Mivel a salak könnyebb a rézben dúsult olvadéknál, a felszínen összegyűl, és el lehet távolítani az olvadékról. A megmaradt rézszulfid ( $\text{CuS}$ ) olvadék a további levegő befűtés következtében redukálódik:



Ez a vegyi reakció két lépésben megy végbe. Először a rézoxid és a rézszulfid szenved részleges redukciót. A maradék rézszulfidnak rézoxiddal való reakciójából keletkezik a fémes réz.



A vas olvadáspontja ( $1535^\circ\text{C}$ ) jóval magasabb a réz olvadáspontjánál, ezért az érc vastartalma a salak összetevője marad. Ezért tartalmaznak a szulfid típusú rézércek salakjai vasoxidot.

Hogyan találta ki az őskor embere a réz kinyerését érceiből i.e. 4500 évvel?

Mint előbb megjegyeztük, a rézművésesség az újkőkor második felében, a festett kerámiával egy korban keletkezett. A kerámiagyártásnak (az agyag feldolgozásának) akkor már évezredes múltja volt, viszonylag jól kidolgozott technológiájával. A kor fazekasműhelyei jó néhány típusú égetőkemencét üzemeltettek.

A kőből épült, agyaggal kitapasztott égetőkemence lehetett a réz ércéből való kinyerésének kiinduló pontja. Feltehetőleg az égetőkemence építésekor falazatába rezet tartalmazó kő is bekerülhetett, olyan rézérc, aminek fém tartalma az őskor embere számára a kezdetekkor ismeretlen volt, hiszen maga a fém is ismeretlen volt abban a korban.

Az edényégető kemence többszöri használatára a falazat többszöri felhevülésével járt, így a réztartalmú kőben végbementek



azok a folyamatok, amelyek a későbbiekben az érc pörkölését, olvasztását, a fém-réz (színréz) kinyerésének folyamatát jelentették a rézérc kohósításában. Ezt nevezhetjük a rézművesség igazi kezdetének, amikor a kor emberének meg kellett találnia azt a követ, amelyik rezet tartalmaz, de nem csupán natív rezet. Ez után a kemény sziklából, kőből készített szerszámaival ki kellett fejtenie azt a réteget, amelyik színével, netán természetes natív réz tartalmával kivált környezetéből. Iszonyú nehéz munka lehetett. Az egész folyamat a bányásztól az olvasztáson át a kinyert réz feldolgozásának elsajátításáig hosszú évszázadokon át tökéletesedett és lassan terjedt az őskorban. És ha a kor embere már tudatosan kereste a felszínen található termésrezt is tartalmazó követ, tapasztalatot is szerzett azzal kapcsolatban, hogy a megolvadt fém az égetőkemence falában található rézérc terméke. Bele is folytathatott valamelyik edényébe. Ez vezethette arra a felfedezésre, hogy egyes, rezet tartalmazó kövek agyagedényben is megolvaszthatók, és hogy a megdermedt, megszilárdult fém felveszi az edény belső formáját. Ez lehetett az a lépés, amely elvezette az embert az öntőforma elkészítéséhez, ami az igazi fém öntészet kezdetét jelentette.



**2. ábra.** Öntőforma. Székely Nemzeti Múzeum, Sepsiszentgyörgy tulajdona

A kétrészes öntőforma használata volt a fémművesség következő állomása, amely már bonyolult alakú végtermékek előállítását is lehetővé tette.

A Székelyföld területén végzett ásatások alkalmával öntőforma maradványai is előkerültek (**2., 3. ábra**).

Az igazi, korszakalkotó ugrást a fémművességben az ötvözés gyakorlata jelentette. I.e. 2500 körül a rézhez egy másik, alacsonyabb olvadási hőmérsékletű fémeket olvasztottak. A két fém keveredéséből, keletkezett az új, korszakalkotó fémötvözet, a bronz. Ennek, az új fémnek az emberi civilizációra és kultúrára gyakorolt hatása egy új, történelmi korszakot is kialakított, a bronzkort.

Az őskor rézművességének története a Közel-Keleten és Dél-Kelet Európában kezdődhetett (kőrézkor, i.e. 3500–4500). Ezt a történetet összegezve megállapítjuk, hogy ebben a korban alakult ki a következő évezredek fémművességének mesterségbeli alaptudása. A fejlődés néhány szakasza véletlenszerű, a folytatás viszont logikus és egyre tudatosabb folyamattá alakult az évezredek folyamán.

"A bronzkor szerves folytatása a már említett aeneolitikus, illetőleg rézkori periódusnak, ennek alapján a fokról-fokra fejlődést, mint általában Erdélyben, a Székelyföldön is nyomon kellene követnünk." (Roska Márton). [5]

A Székelyföld területén végzett ásatások alkalmával előkerült nagyszámú bronz leletből néhányat a **2. táblázat** foglal össze.

A leletek nagy száma a bronzművesség magas szintjéről, öntőműhelyek működéséről tanúskodnak, néhol egykori nyersanyag és késztermék raktárakra utalnak (Felsőcsernáton, Bánkfalva [3]), mindez i.e. 3000–3500-ban.





**3. ábra.** Öntőforma és terméke. Székely Nemzeti Múzeum, Sepsiszentgyörgy

Mit tudtak, milyen technológiai tapasztalat halmozódhatott fel ahhoz, hogy Erdély, és ezen belül a székelyföldi rész híressé váljon bronzművességéről?

Az őskor mestere ismerte a használható, rezet tartalmazó ásványi érceket. Tudott olvasztókemencét építeni, agyag és porrá tört kerámia keverékéből olvasztótégelyt készíteni. Tudott faszenet égetni és a szenet felhasználni olvasztókemencéjének fűtésében. Tudott huzatos égőteret létrehozni, amivel növelhette az olvasztási folyamat hőmérsékletét. Ismerte az ón tulajdonságait, szerepét, jelentőségét abban a keverékben, aminek tudatos előállítású végtermékeként új fémötvözet, a bronz keletkezett. Megtanulta az ötvözőelem részarányának jelentőségét, és a bronz rendeltetésének függvényében elő tudott állítani jellegzetes összetételű, különböző tulajdonságú bronz ötvözeteket ékszerek (fibulák, karkötők), használati tárgyak (balták kések, sarlók), harciaszati eszközök (dárdák, kardok, harci szerkecek, 4. ábra) számára.



**4. ábra.** Bronz dárdahegy. Székely Nemzeti Múzeum, Sepsiszentgyörgy

Meg kell említenünk, hogy a feltárt öntőszerszámok (a Felsőcsernátonban előkerült, agyagból készült öntőkanál töredék, öntőforma töredékek), és a jelentős mennyiségű salakmaradvány a régészek szerint a bronzkort meghatározó összes fejlődési szakasz nyomait magukon viselik, a kezdetektől a kora vaskorba beleolvadva. "A szerszám típusok görögországi és általában balkáni kapcsolatokra utalnak." [3] A kora vaskor B szakaszában már az új fém, a vas is együtt jelentkezik bronztárgyakkal. Ez a bronzkor végét és a kora vaskor kezdetét jelenti. A viszonylag nagyszámú vasrudacska a bronz öntőminták együttesében a vaskor kezdetének a bronzöntés technikájával való együtt fejlődését jelenti, bár a bronztól a vasművességig egy évezrednek kellett eltelnie. Az említett korszakban a vasötvözetek hőkezelésének technikája ismeretlen volt.

A bronzkori bronzművesség csúcstechnológiáját a viaszveszejtéses formázási és öntési eljárás feltalálása és gyakorlata jelentette. Ezzel a formázási, öntési eljárással már bonyolult alakzatú tárgyakat is elő lehetett állítani.

**2. táblázat.** *Néhány székelyföldi régészeti ásatás bronzból készült lelete*

<b>BRONZKOR</b>		
<b>Helység</b>	<b>Lelet</b>	<b>Megjegyzések</b>
Sepsiszentgyörgy (CV)	talpas bronzfejsze	
Bölon (CV)	bronz szárnyas fejszék	Ugyanitt sarló és tokos balta töredékek, bronzkorong, bronzedény.
Kézdivásárhely (CV)	tokos füles balták	Egy félholdasan bevágott szájú baltát a szakirodalom, mint magyar típust ír le.
Zágon (CV)	tokos kalapács	Ritkaság számba menő.
Málnás (CV)	bronzsarló (erdélyi típus) bronzkés	Hasonló példányok kerültek elő Csíkdánfalván (HR).
Fitos martonos (HR)	bronztőr	Hasonló lelet Zaboláról (CV) is ismeretes. Az erdélyi bronzkor legvégén készült.
Maroshévíz (HR)	tőrpenge töredék, fűrész, tőr	
Bardóc (CV)	bronztőr	305 mm hosszúságú, rövid kardnak is megfelel.
Magyaros (MS)	bronzkard	920 mm hosszú hasonló lelet Kovásznán is előkerült.
Bardóc (CV) Marosfalu (MS) Altorja (KV)	bronzkard	Különböző típusú és formájú fegyverek, bronzfejsze, 25 gyűrű nagyságú aranylemez, bronzüst, bronzsarló.
Sáromberke (MS)	bronzkard	Görbe alakú pengéje lapos.
Nyárádszentanna (MS)	harci csákány	Hasonló lelet Sáromberkén is előfordult.
Mezőbánd (MS) Kedezér (MS) Marosfalu (MS)	lándzsacsúcs, balták, karperecek, fibulák, övrészek, kardtöredékek	A lándzsahegy gyakori a székelyföldi kincsletekben. Például Zágonban kilenc darabot találtak. Hasonló leletek Bereck és Nagyalambfalva leleteiben is megtalálhatóak.
Réty (CV)	bronz karperec	Az anyagot csavarással teszik tetszőbbé.
Zágon (CV)	bronz karperec töredék	Hasonló lelet Bölonból, Málnásról, Csíkdánfalváról is előkerült.
Marosfalu (MS)	több példánya a bronz karperecnek	Töredékek is találhatóak ebben a leletben.
Bereck (CV)	bronzbalta, lándzsacsúcsok	
Csíkdánfalva (HR)	15 tokos, füles balta, 10 sarló, 5 karperec, 2 lándzsacsúcs	A lelet öntőműhely maradványaival együtt képezi a bronzkincset. A sarlók nagy része erdélyi típus.
Daróc (HR)	30 bronzbalta, bronzkard	A balták a kard körül szabályos körben voltak elhelyezve.
Erdőszentgyörgy (MS)	12 tokos füles balta, tokos véső, füles kiscsésze, bronztanterka, bogrács, lószerszámdísz	A lelet egyes darabjain vasrozsdafoltok voltak.
Olasztelek (MS)	bronz sarló töredék, karperec, halászhorog	Egy nagyobb lelet részei.
Csikszentkirály (HR)	bogrács, csésze, serpenyő, bronzkarika, i.e. IX század	Ekkor a Székelyföldön is megjelenik a vas használata (csíkbánkfalvi leletek, a marosújfalusi lelet rozsdafoltokat is tartalmaz).

A bronzkori bronzművesség csúcstechnológiáját a viaszveszejtéses formázási és öntési eljárás feltalálása és gyakorlata jelentette. Ezzel a formázási, öntési eljárással már bonyolult alakzatú tárgyakat is elő lehetett állítani. Szobrászkodva, méhviaszból elkészítették annak a tárgynak a viaszból készült mását, modelljét, amelyet bronzba akartak önteni. A viasz modellt tehéntrágya és agyag pépes állagú keverékével többször is bekenték, majd szárították. Ezt a műveletet annyiszor megismételték, amíg a felhordott keverékből elég vastag réteg képződött. Az így nyert, bevonattal ellátott viaszmodellt homokágyba illesztették. A megolvadt fémnek beömlő nyílást, a keletkező gázoknak több apró nyílást fúrtak a kéreg bevonaton.

A folyékony bronz a méhviasz formát megolvasztotta, és az a fém nyomásának és hőmérsékletének hatására a gázkieresztő nyílásokon kifolyt. A viasz helyén maradt üreget a folyékony halmazállapotú bronz kitöltötte, majd megdermedt. A kihűlés után a formát szétörték és a bronztárgy, a viaszforma hű mása készen volt.

### 3. Következtetések

A székelyföldi régészeti ásatásokból előkerült réz és bronz tárgyak előállításához felhasznált fém és az ötvöző elem eredete nem bizonyított. Csupán bizonyításra szoruló feltételezés, hogy a rézérc a balánbányai natív réz vagy kalkopirit lehetett, ugyanis ha a rézkor, vagy a bronzkor embere a felszínre kibújt natív rezet talált, miért nem találnak hasonlót Balánbányán a modern kor geológusai?

Egyrészt ismeretes, hogy a kalkopiritből csak bonyolult, több fázisú technológiai eljárással lehet kivonni a rezet, amit a Kr.e. 3000 - 2500 körül nem tudhattak. Ennek ellenére nem kizárt, hogy a nagy koncentrációjú, szabad szemmel is látható rézércet többszöri hevítéssel és kalapálással rézzé dúsították. Ezt is bizonyítani kell, és lehet is

a korszerű természettudományos kutatási módszerek alkalmazásával. Mindaddig, amíg ez nem tisztázódik, fennáll az a lehetőség is, hogy a nyersanyagot (rezet, ónt, ólmot) máshonnan hozták. Ezt is lehet bizonyítani a bronz eszközök pl. a Csernáton határában találtak elemzésével, az eredményt összehasonlítva a balánbányai rézérc összetételével. Az ásatag tárgyaknak ugyanazokat az alkotó elemeket kell tartalmazniuk (nyomokban tellúrt, nikkelt, aranyat, ezüstöt), mint a balánbányai rézérc.

Másrészt az őskori rézművesség szempontjából fontos lenne a Székelyföldön gyakori olvasztókemencék eddig feltárt maradványainak, és a környezetükben fellelhető kohászati salaknak vegyi és spektroszkópiás elemzéssel való azonosítása, annak ellenére is, hogy a feltárt kemence maradványok és a salak is vas tartalmú ércetek feldolgozására utalnak, még a balánbányai körzetben is.

Mindez azt bizonyítja, hogy ma, amikor az anyag szerkezetének kutatását elősegítő műszerek, berendezések sokasága ismeretes, alkalmazásuk a régészetben is kötelező. Egy régészeti lelet csak akkor válik igazán értékke, ha keletkezésének, felhasználásának körülményeit is feltárja a tudomány és a kultúra számára.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Renfrew, C.: *A civilizáció előtt*, Osiris Kiadó, Budapest, 1995, 177 - 204.
- [2] Kövári, L.: *Erdélyország statisztikája*. Első kötet, Kolozsvár 1847, 78 - 94.
- [3] Székely, Zs.: *Csernáton község régészeti monográfiája*, Státus Kiadó, Csíkszereda, 2007, 70 -79.
- [4] Dumitrescu, I., Paștiu, I.: *Metallurgia metalelor neferoase*, Editura Didactică și Pedagogică, București 1969, 117 - 118.
- [5] Roska, M.: *A Székelyföld őskora*. Emlékkönyv a Székely Nemzeti Múzeum 50 éves Jubileumára, Székely Nemzeti Múzeum Kiadása, Sepsiszentgyörgy, 1929, 258 - 326.

## A CSIGAMARÓ SZÁRMAZTATÓ FELÜLETÉNEK TORZULÁSA AZ UTÁNÉLEZÉSEKKEL

## THE DEFORMATION OF THE GEAR HOB'S GENERATING SURFACES DUE TO THE RE-SHARPENING

Máté Márton<sup>1</sup>, Hollanda Dénes<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 540485 Marosvásárhely, O.p.9, C.P 4, Telefon / Fax: +40-265-206210 / +40-265-206211, mmate@ms.sapientia.ro*

<sup>2</sup>*Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, 540485 Marosvásárhely, O.p.9, C.P 4, Telefon / Fax: +40-265-206210 / +40-265-206211, holland@ms.sapientia.ro*

### Abstract

The side relief faces of the monolithic involute gear hob are machined through relieving. The resulting surfaces are bevel helical surfaces where the side cutting edges result by intersecting these with the helical rake face. Theoretically the gear hob is derived from an involute worm. The re-sharpening decreases the diameters of the hob, thus the edges became closer to the axis, and as a consequence they will be situated on a smaller worm than the original. The present paper analyses the deviation of the re-sharpened gear hob's carrying worm from the theoretically perfect involute worm whose characteristic dimensions were adjusted considering the re-sharpened gear hob's characteristic diameters. It was proven that the evolution of the errors is firmly different from that described in the literature. Thus it is unnecessary the increasing of the new gear hob diameters in comparison with the calculated dimensions while the error cannot be reduced to half with this procedure. The mathematical model was built up accepting that the edges result as the intersection of an involute worm with a helical rake face and the side relief faces result by the rototranslation of the edges on a bevel helix leading curve dressed by the relieving parameter.

**Keywords:** gear-hob, involute worm, relieving, re-sharpening, error.

### Összefoglalás

A monolit felépítésű csigamaró fogainak oldal-hátfelületét hátramunkálással hozzák létre. Ezek kúpos csavarfelületek, melyeken a csavar-homlokfelülettel való metszés következtében keletkeznek a burkolásban részt vevő oldalélek. Elméletileg a csigamarót evolvens csigából származtatják. Az utánélezések során az élek egyre közelebb kerülnek a tengelyhez, így egyre kisebb csigán illeszkednek, mint az új csigamaró élei. Ezek a csigák viszont már nem kongruensek az eredeti származtató evolvens csigával. Jelen dolgozat az utánélezett csigamaró származtató csigájának eltéréseit tanulmányozza attól az elméletileg tökéletes evolvens csigától, melynek karakterisztikus átmérőit az utánélezett csigamaróhoz igazítottuk. Kimutattuk ezáltal, hogy a szakirodalomból ismert állásponttól különböző a torzulás és az utánélezési állapot közötti összefüggés. A csigamarót fölösleges megnövelni a tervezetthez viszonyított mérethez képest, mert ez nem vezet a hibák felezéséhez. A matematikai modell feltétele, hogy a csigamaró élei az evolvens csiga oldalfelületeinek és a csavar-homlokfelületnek a metszésvonalai, a hátfelület pedig az előbb említett metszésvonalak kúpos csavarvonalon való elmozdításával jönnek létre.

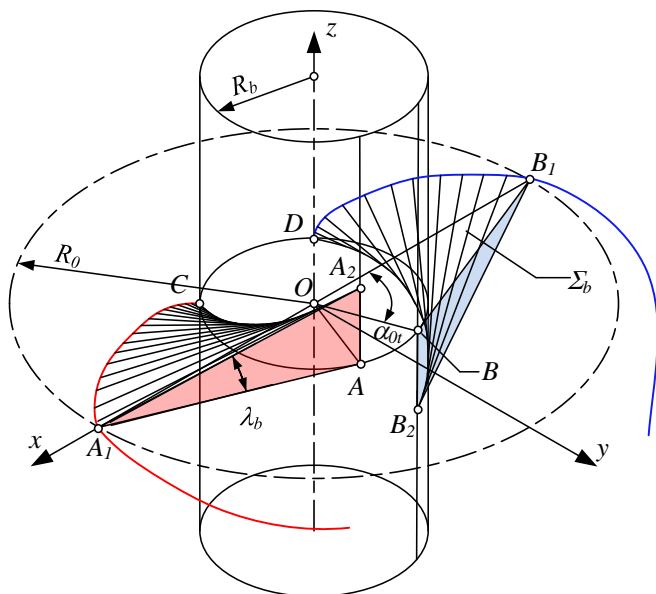
**Kulcsszavak:** csigamaró, evolvens csiga, hátramunkálás, újraélezés, hiba.

## 1. A csigamaró származtató csigájának modellje

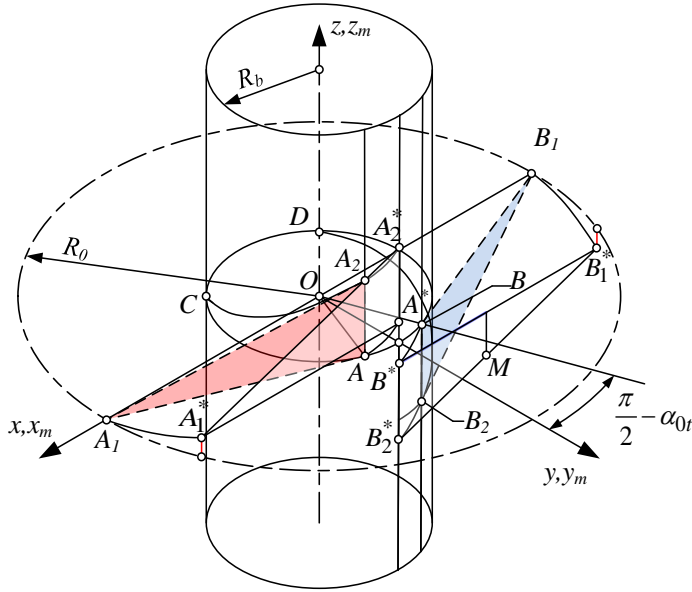
Az evolvens hengeres fogaskerék lefejtő csigamarójának származtató csigáját jelen tanulmányban evolvens csigának tekintjük, a szakirodalom túlnyomó részében elfogadott nézettel egyetértésben [1...8]. Az evolvens csiga generálását matematikai szempontból kétféleképpen írhatjuk le [1, 3, 4, 5, 6, 8]: a generáló egyenesek, vagy pedig a homlokszelvénybeli evolvensnek csavarvonalon történő elmozdításával. Jelen modellben az alkotó egyeneseket használjuk fel, de ezeket, az egyenletek minél nagyobb fokú egyszerűsítése miatt, sajátos helyzetből indítjuk, mely különbözik a gyártástechnológiában használatos helyzet-től [1,3,4,5]. Az evolvens csiga alaphengerre illesztett evolvensgörbék és a megfelelő generáló egyenesek az 1. ábrán láthatók. A csigamaró  $z$  forgástengelyének balról-jobbra való irányításának megfelelően, a  $CA_1$  evolvens-ívet leképező  $A_1A_2$  egyenes

a jobb oldali, míg a  $DB_1$  evolvens-ívhez tartozó  $B_1B_2$  egyenes a bal oldali csavarfelületet fogja generálni. A jobb, illetve bal-oldal meghatározást a csiga fogára értelmeztük. Az egyenesek  $\lambda_b$  dőlésszöge az alaphengeri csavarvonal dőlésszögével megegyező. Az  $\alpha_{ot}$  kapcsolószöget a  $\lambda_0$  osztóhengeri vezércsavarvonal dőlésszögéből, az  $m_n$  normálmodul-értékből és a csiga bekezdéseinek  $i$  számából számoljuk, az evolvensgeometria segítségével [9]. Jelen tanulmányban egyetlen bekezdésű csigát tekintünk.

A csigához csatolt  $xyz$  koordináta-rendszert úgy választjuk meg, hogy az  $y$  tengely a homlokszelvény szimmetria-tengelye legyen. A generáló egyeneseket elméletileg bármilyen helyzetbe el lehet csavarni az 1. ábrán feltüntetett helyzethez viszonyítva, azzal a feltétellel, hogy az alaphengeri pontjaik az alaphengeri csavarvonalakat kövessék.



1. ábra. Az evolvens csiga tengelyszelvényére illesztett generáló egyenesek.



2. ábra. Az evolvens csiga generáló egyenesei elforgatása az alaphelyzetbe.

Ezt a tulajdonságot kihasználva, a számítás lényegesen egyszerűsödik, ha az alaphengereket érintő, a generáló egyeneseket tartalmazó  $(AA_1A_2)$  illetve  $(BB_1B_2)$  síkokat egymással párhuzamos, és az  $y$  tengelyre merőleges helyzetbe csavarjuk el. Ezáltal az  $A_1A_2$  egyenes az  $A_1^*A_2^*$ , a  $B_1B_2$  pedig a  $B_1^*B_2^*$  helyzetbe kerül. Az elcsavarás paraméterei a  $p_{ax} = \frac{\pi m_n}{\cos \lambda_0}$  menetemelkedés, illetve a  $\frac{\pi}{2} - \alpha_{0t}$  elforgatási szög.

A 2. ábra alapján, egyszerűen felírhatók az alkotó egyenesek egyenletei:

$$\begin{cases} x(u) = R_b \\ y(u) = -ju \\ z(u) = j(h_b - u \operatorname{tg} l_b) \end{cases}, \quad j \in \{-1; 1\} \\ h_b = \frac{m_n}{2 \cos \lambda_0} \left( \frac{\pi}{2} + \operatorname{inv} \alpha_{0t} \right) \quad (1)$$

Az (1) képletben szereplő  $j$  paraméter -1 értéke a bal, +1 pedig a jobb oldalra vonatkozik.

A csiga fogfelületeit a [8]-ban leírt módon kapjuk azáltal, hogy az éleket a mozgó  $x_m y_m z_m$  koordináta-rendszerhez csatoljuk, majd ezt az álló  $xyz$  rendszerhez képest a csiga paramétereinek megfelelően csavarjuk el. Célszerű az elforgatás  $v$  paraméterét pozitív értékeken tartani, így a transzformáció mátrixa a következő lesz:

$$\mathbf{M}(v; j) = \begin{pmatrix} \cos jv & -\sin jv & 0 & 0 \\ \sin jv & \cos jv & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{p_{ax}}{2\pi} v \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Az (1) és (2) felhasználásával a származtató csiga felületeinek egyenleteit a [3,4] -ben felírt mátrixegyenletből kapjuk:

$$\begin{cases} x(u, v) = R_b \cos v + u \sin v \\ y(u, v) = j(R_b \sin v - u \cos v) \\ z(u, v) = j(h_b - u \operatorname{tg} \lambda_b + \frac{p_{ax}}{2\pi} v) \end{cases} \quad (3)$$

A  $z$  koordináta kifejezésében szereplő  $h_b$  paraméter az  $A_2^*$  és  $B_2^*$  pontok ( $xy$ ) síktól mért távolságát jelenti (2. ábra). Értékét a következő képlettel számoljuk:

$$h_b = \frac{m_n}{2 \cos \lambda_0} \left( \frac{\pi}{2} + \operatorname{inv} \alpha_{0t} \right) \quad (4)$$

Megfigyelhető a (3) egyenletekben az  $u$  és a  $v$  paraméterek elválasztása, ami igen előnyös a homlokfelülettel való elmetszés számításakor.

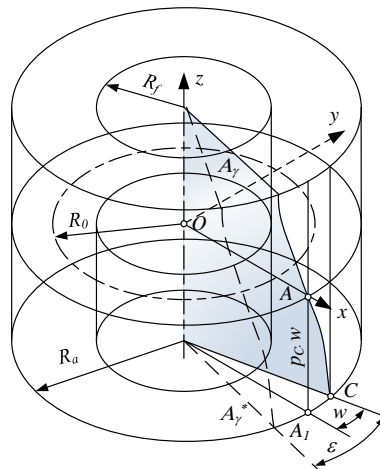
## 2. Az evolvens csigamaró oldal-hátfelületei

### 2.1. A hátfelület-generáló élek

A hátfelület-generáló élek a tervezett evolvens csiga és a homlokfelület metszészonalai. A homlokfelület a csigával ellentétes irányú csavarfelület, melynek osztóhengeri csavarvonala merőleges a csiga osztóhengeri csavarvonalára, tehát érintője a  $z$  tengellyel a  $\lambda_0$  szöget zárja. A parametrikus egyenletek felírásakor feltételezzük, hogy a generáló egyenes, alaphelyzetben az  $x$  tengellyel  $-\varepsilon$  szöget zárja. Ezzel általánosítjuk a homlokfelület helyzetét a csigamaró fogához viszonyítva. Az  $\varepsilon = 0$  érték a homlokfelület alaphelyzetét adja. A 3. ábra alapján, a homlokfelület parametrikus egyenletei a következők:

$$\begin{cases} x(t, w; \varepsilon) = t \cos(w - \varepsilon) \\ y(t, w; \varepsilon) = t \sin(w - \varepsilon) \\ z(t, w; \varepsilon) = -\frac{p_C}{2\pi} w \end{cases} \quad (5)$$

A  $p_C$  homlokfelület- csavaremelkedést a vezérvonalak merőlegességéből számítják ki [8].



3. ábra. A csigamaró homlokfelülete

Az elkövetkező számításokban ennek implicit alakját használjuk:

$$\arctg \frac{y}{x} + \frac{2\pi}{p_C} z + \varepsilon = 0 \quad (6)$$

A hátfelület-generáló élek, a csigamaró elméleti vagy tervezési élei, a homlokfelület és a csiga felületeinek metszészonalai. A (3) és (6) egyenletek együttes vizsgálatából,  $\varepsilon = 0$ -ra kapjuk a keresett éleket meghatározó,  $u$  és  $v$  paraméterek közötti kapcsolatot:

$$\begin{aligned} v(u) = & \frac{p_C}{p_{ax} + p_C} \left( \arctg \frac{u}{R_b} - j\varepsilon \right) + \\ & + \frac{2\pi}{p_{ax} + p_C} (u \operatorname{tg} \lambda_b - h_b) \end{aligned} \quad (7)$$

Az élek parametrikus egyenleteit a (3) képletek adják, ha a  $v$  paramétert a (7) függvénnyel helyettesítjük.

### 2.2. Az oldalhátfelületek egyenletei

Az oldalhátfelületeket úgy generáljuk, hogy az elméleti éleket a hátramunkálás  $k$  paraméterének és a menetemelkedés  $p_{ax}$  értékének megfelelő kúpos csavarvonalon mozdítjuk el. A generálás geometriai mo-

dellje részletesen megtalálható a [3,4,8] publikációkban. A [8]-ban megadott koordináta-transzformáció alkalmazásával, a parametrikus hátfelület-egyenletek a következők lesznek:

$$\begin{cases} x(u, \varphi; j) = R_b \cos E(u, \varphi) + u \sin E(u, \varphi) - \\ \quad - a \varphi \cos \varphi \\ y(u, \varphi; j) = j(R_b \sin E(u, \varphi) - u \cos E(u, \varphi)) + \\ \quad + a \varphi \sin \varphi \\ z(u, \varphi; j) = j(h_b - u \operatorname{tg} \lambda_b + \frac{p_{ax}}{2\pi} E(u, \varphi)) \\ E(u, \varphi) = v(u) - j\varphi \end{cases} \quad (8)$$

### 3. Az utánélezett csigamaró burkoló csigája

Ha az elméleti éleket egy  $p_{ax}$  emelkedésű vezércsavarvonalon elmozdítjuk, ezek visszagenerálják azt az evolvens csigát, amelyből származnak. A csigamaró utánélezése a homlokfelület  $z$  tengely körüli,  $\varepsilon$  szöggel történő elfordításának felel meg, így az új élek  $\delta_\varepsilon = \frac{k z_m}{2\pi} \varepsilon$  értékkel közelednek a csigamaró tengelyéhez, és ennek következtében ezek már egy  $2\delta_\varepsilon$  értékkel csökkentett átmérőjű csigára illeszkednek. A csökkentett osztókör-átmérő az állandó  $p_{ax}$  emelkedés mellett nagyobb dőlésszögű csigát határoz meg.

Az új élek burkoló csigájának kiszámításához a (8) hátfelület-egyenleteket a (6) homlokfelület-egyenletbe helyettesítjük. Implicit egyenletet kapunk,  $u, \varphi$  ismeretlenekben, amely a következő alakra hozható:

$$\begin{aligned} & \varphi + j \xi(u, \varphi) - \\ & - j \frac{2\pi(h_b - u \operatorname{tg} \lambda_b) + p_{ax}(v(u) - j\varphi)}{p_c} - \varepsilon = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

A (9) egyenletben a következő függvények szerepelnek:

$$E_1(u) = v(u) - \operatorname{arctg} \frac{u}{R_b}$$

$$Q(u) = \frac{k z_m}{R_b} \varphi \cos \left( \operatorname{arctg} \frac{u}{R_b} \right) - \cos E_1(u)$$

$$\xi(u, \varphi) = \operatorname{arctg} \frac{\sin E_1(u)}{Q(u)} \quad (10)$$

Belátható, hogy a kapott egyenlet transzcendens  $\varphi$ -ben, következésképpen csak numerikusan oldható meg. A numerikus megoldást az  $u$  paraméter  $N$  diszkrét értékére végezzük el. Figyelembe véve a származtató evolvens csiga (3) parametrikus egyenleteit, az első kettőből következik, hogy a tetszőleges felületpont  $z$  forgástengelytől való távolságát a

$$\rho = \sqrt{R_b^2 + u^2} \quad (11)$$

összefüggés adja meg. A csiga felületét a lábhenger és a fejhenger között értelmezzük. Ez alapján a (11) felhasználásával kapjuk, hogy

$$\sqrt{R_f^2 - R_b^2} \leq u \leq \sqrt{R_a^2 - R_b^2} \quad (12)$$

Az  $[R_f, R_a]$  intervallumon egyenletes felosztást definiálunk:

$$\begin{aligned} \rho_l &= R_f + l \Delta_\rho, \Delta_\rho = (R_a - R_f)/(N - 1), \\ l &= 0, 1, \dots, N - 1 \end{aligned} \quad (13)$$

A (11) képlettel a (13) egyenletes sugárfelosztásnak megfelelő  $u$ - felosztást képezzük. Az  $N$  darab  $u_l, l = 0..N - 1$  értékre megoldjuk a (9) egyenletet, és ezáltal  $N$  darab  $(u_l, \varphi_l), l = 0..N - 1$  rendezett párt kapunk. Ezeket behelyettesítve a hátfelület (8) parametrikus egyenleteibe,  $3N$  darab koordinátát kapunk. Ezekre és az  $u_l$  értékekre három köbös spline függvényt illeszt-



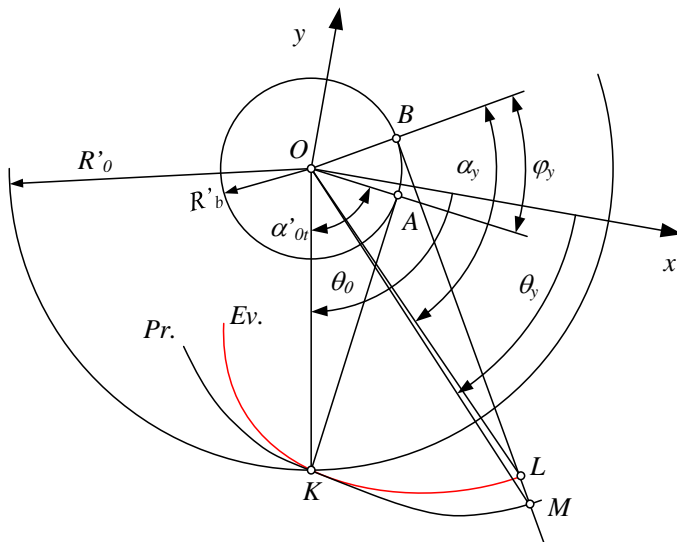
tünk, melyek segítségével az új éleket kizárólag az  $u$  függvényében írjuk fel:

$$\begin{cases} x(u) = S_x(u) \\ y(u) = S_y(u) \\ z(u) = S_z(u) \end{cases} \quad (14)$$

Az új éleket burkoló csiga felületei lesznek a fogaskerék származató felületei.

Ezeket a következő mátrixegyenletből kapjuk:

$$\underline{\mathbf{r}}(u, w) = \begin{pmatrix} \cos w & -\sin w & 0 & 0 \\ \sin w & \cos w & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{p_{ax}}{2\pi} w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_x(u) \\ S_y(u) \\ S_z(u) \\ 1 \end{pmatrix} \quad (15)$$



4. ábra. A származatófelület-hiba definíciója

#### 4. Az utánélezett állapotnak megfelelő ideális evolvens csiga

Az utánélezés következtében az osztókörsugár az

$$R'_0 = R_0 - \delta_e \quad (16)$$

értékre csökken. A normálmodul értéke meg kell maradjon (elméletileg ez is változik [4]), így az osztóhengeri csavarvonal dőlésszöge

$$\lambda'_0 = \arcsin \frac{\pi m_n}{2\pi R_0} \quad (17)$$

Ezek ismeretében ki lehet számítani az evolvens csiga további paramétereit:

$$\alpha'_{0r} = \arctg \frac{\tg \alpha_{0n}}{\sin \lambda'_0} \quad (18)$$

$$R'_b = R'_0 \cos \alpha'_{0r} \quad (19)$$

#### 5. A hiba számítása

A származató csiga hibáját az utánélezés során csökkent méretű osztóhenger-sugárra definiált tökéletes evolvens csiga és az új élek által burkolt csiga radiálszelvényei közötti különbségként definiáljuk. A definíció geometriai megfo-

galmazását a 4. ábra szemlélteti. A hiba az ideális evolvens ív és a származtató csiga szelvénye közötti távolság, az osztóköri szelvényponton áthaladó evolvensre merőlegesen mérve.

A burkoló csiga tengelyszelvényét a (15) egyenlet kifejtésével, és a  $z$ - koordináta nullává tételéből kapjuk:

$$z(u, w) = 0 \Leftrightarrow S_z(u) + \frac{P_{ax}}{2\pi} w = 0 \quad (20)$$

$$w(u) = -\frac{2\pi}{P_{ax}} S_z(u)$$

$$\begin{cases} x(u) = S_x(u) \cos w(u) - S_y(u) \sin w(u) \\ y(u) = S_x(u) \sin w(u) + S_y(u) \cos w(u) \end{cases} \quad (21)$$

A (21) kifejezésekbe behelyettesítjük az  $u$  paraméter osztókörre vonatkozó értékét. Ezt a (21) koordináta-függvényekből származtatott

$$(R_0')^2 - S_x^2(u) - S_y^2(u) = 0 \quad (22)$$

egyenletből nyerjük, jelöljük gyökét  $u_0$ -val. A  $K$  pont koordinátáit a (21) kifejezésekből kapjuk.

Az  $OK$  helyvektor az  $x$  tengellyel a

$$\theta_0 = \arctg \frac{y(u_0)}{z(u_0)} \quad (23)$$

szöget zárja. Meg kell jegyezni, hogy a  $\theta_0$  szög számításakor az arkusz tangens-függvény értékeit a  $[-\pi, \pi] \setminus \{-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\}$  intervallumban tekintjük: ha az osztóköri  $K$  profilpont a III. illetve a IV. negyedben van, akkor a polárszög negatív, ellenkező esetben pozitív – ez utóbbi a baloldali profilra vonatkozik.

A tetszőleges  $M$  profilpontból az  $MB$  érintőt húzzuk az alapkörhöz, mely a  $K$  ponton áthaladó ideális evolvenst  $L$ -ben metszi. Az  $OM$  helyvektor polárszögét a (23)-hoz hasonló képlettel számítjuk ki:

$$\theta_y = \arctg \frac{y(u_M)}{z(u_M)} \quad (24)$$

Az evolvens elméleti lefejtéséből következik, hogy a  $KA$  és  $LB$  érintő szakaszok hosszának különbsége az  $AB$  alapköri ívhossz, melynek a  $\angle BOA = \varphi_y$  központi szög felel meg. A 4 ábrából leolvasható a szögek közötti alábbi összefüggés:

$$\varphi_y = \arccos \frac{R_b'}{OM} + \theta_y - (\theta_0 + \alpha_{0r}') \quad (25)$$

Az  $\alpha_y$  szöget a  $BOM$  derékszögű háromszögből számítjuk ki. A (23.. 25) összefüggésekkel a hibát a következőképpen fejezzük ki:

$$\Delta = R_b' (\tg \alpha_y - \tg \alpha_{0r}' - \varphi_y) \quad (26)$$

A hiba előjele az elméleti evolvens csiga és az élék burkoló csigájának relatív helyzetére utal. Ha a hiba pozitív, akkor az evolvens csiga homlokszelvénye a burkoló csiga homlokszelvényén belül esik, aminek következtében a szerszám a szükségesnél több anyagot távolít el a fogárokból, így az elméleti evolvens fogfelületen belül eső felületet alakít ki. Negatív hiba esetében a szerszám hatástérfogata kisebb, így az elméleti evolvens fogfelületet nem takarja ki.

## 5. Numerikus kiértékelés

A modellt  $\alpha_{0n} = 20^\circ$ -os normál lécpofil-szögű,  $m_n = 5$  mm modulú, egyetlen bekezdésű csigamarókra alkalmaztuk. A csigamarók referencia vezércsavarvonal-dőlésszögét  $\lambda_{01} = 2^\circ$ , illetve  $\lambda_{02} = 3^\circ$ -ra választottuk meg. Első esetben a maró fogszáma  $z_{m1} = 12$ , második esetben pedig  $z_{m2} = 10$ . A hátramunkálási paraméter értékének kiszámításához  $\alpha_v = 8^\circ$ -os csúcshátszög-értéket feltételeztünk. Elfogadjuk a szakirodalom ajánlását, miszerint az új csigamarót, az újraélezés következté-

ben előálló hibanövekedés megfelezése miatt, a tervezettnél az élezési tartálék felének megfelelő értékkel növelik. Az élezési tartálékot a maró fél fogosztásával tekintik egyenlőnek, így a karakterisztikus sugarak növelése  $\frac{1}{2} \frac{\pi}{z_m}$  központi szögnek megfelelő

Arkhimédész-féle spirális polársugárnövekedésnek, azaz

$$\frac{1}{2} \frac{\pi}{z_m} \frac{k}{2\pi} \frac{z_m}{4} = \frac{k}{4} \quad (27)$$

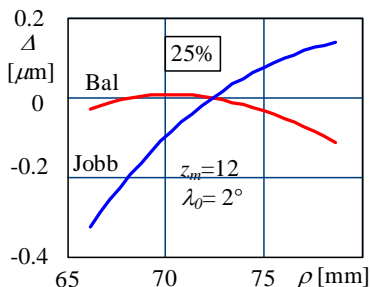
értéknek felel meg. Az új csigamaró éleinek egyenleteit, illetve a burkoló csigát úgy számítjuk ki, hogy a (9) egyenletben az  $\varepsilon$

szög értékét  $-\frac{\pi}{2z_m}$ -nek vesszük.

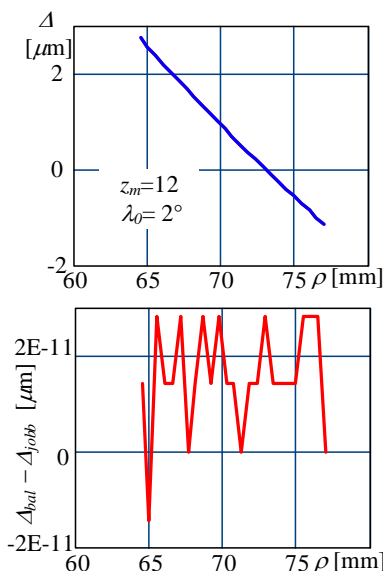
A hibaszámítást a csigamaró százalékban kifejezett feltételezett kopási állapotára vonatkoztattuk, és négy, a 0, 25, 75, illetve 100%-os kopásnak megfelelő esetet tekintünk, melyeknek értelemszerűen a következő  $\varepsilon$  értékek felelnek meg:

$$\varepsilon \in \left\{ -\frac{\pi}{2z_m}; -\frac{\pi}{4z_m}; \frac{\pi}{4z_m}; \frac{\pi}{2z_m} \right\}$$

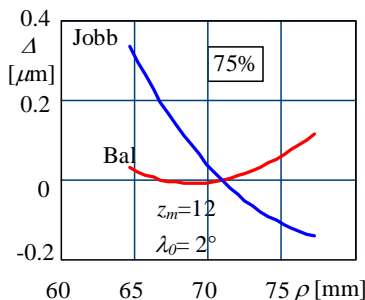
A nulla értéket nem vesszük figyelembe, mert erre az élék evolvens csigát burkolnak, tehát az elméleti profilhiba nulla. A hibák eloszlását az 5–12 ábrák szemléltetik.



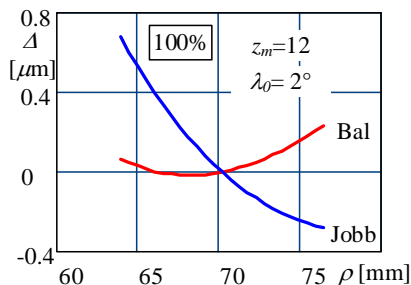
6. ábra. Hiba eloszlás 25%-ban kopott csigamaró esetében



5. ábra. Hiba eloszlás új csigamaró esetében



7. ábra. Hiba eloszlás 78%-ban kopott csigamaró esetében



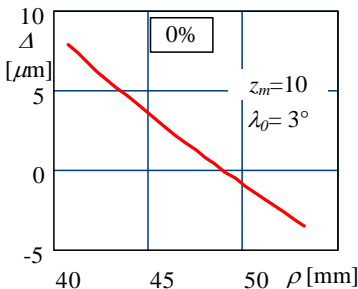
8. ábra. Hiba eloszlás 100%-ban kopott csigamaró esetében

Az 5-8 ábrák együttes vizsgálatából megállapítható, hogy a hibáknak az eloszlása mind illeszkedésben, mind pedig értékben összefügg az élezési állapottal, illetve a maró kopásának mértékével. Az új csigamaró élei – érdekes módon – ugyanazt a hibaeloszlást mutatják. Ez derül ki az 5. ábrából, melynek alsó grafikonja a két élen ébredő hiba közötti különbséget mutatja. A különbség nagyságrendje numerikus közelítési hibára utal.

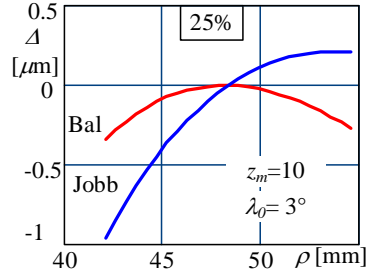
A 6. és 7. ábra két, az ideális élezési állapot ellentétes oldalain elhelyezkedő élezési állapotot, éspedig a 15%-os, illetve a 75%-os kopásnak megfelelőt mutatja. Észre lehet venni, hogy a hibafüggvények görbületi iránya megváltozik. A jobb oldali élen jelentősen nagyobb a hiba, mint a bal oldalin, bár ezek értéke elhanyagolható. A hiba elhelyezkedése is ellentétes: 25%-os kopás esetében a jobb oldali élen az osztóhenger-sugárnál kisebb sugarak esetében negatív, ezenfelül pozitív, míg a 75%-os kopás esetében a változás fordított.

A 75%-os kopástól a teljes kopásig tartó intervallumban a hibák eloszlásfüggvényei megőrzik jellegüket, de az értékek közelítőleg megkétszereződnek.

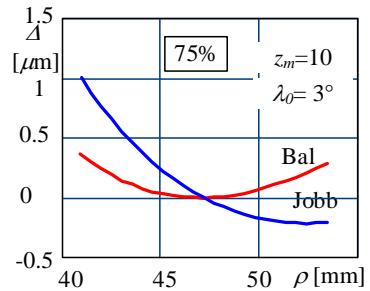
A 9–12 ábrák a 3°-os vezérsavarvonal- dőlésszögű csigamaróra vonatkoznak. Észre lehet venni, hogy a hibák jelleggörbéi azonosak azokkal, amelyeket a 2°-os vezérsavarvonal- dőlésszögű csigamaróra állítottunk fel.



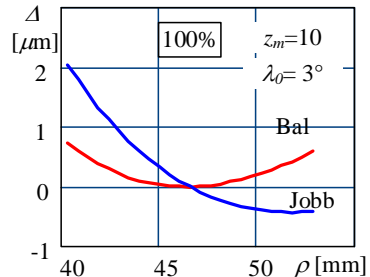
9. ábra. Hiba eloszlás új csigamaró esetében



10. ábra. Hiba eloszlás 25%-ban kopott csigamaró esetében



11. ábra. Hiba eloszlás 75%-ban kopott csigamaró esetében



12. ábra. Hiba eloszlás 100%-ban kopott csigamaró esetében

Az értékek összehasonlító vizsgálata során észre kell vennünk, hogy az új csigamaró esetében a maximális hiba értéke közel 10 μm, ami megengedhetetlen. Ezzel szemben, a 100%-ban kopott csigamaró hibaértéke nem nagyobb 3 mikronnál, ami elfogadható.

## 6. Következtetések

A csigamaró matematikai modelljének numerikus kiértékelése alapján megfogalmazhatóvá válnak a felépítésre és a tervezésre vonatkozó következtetések.

A csigamaró új állapota és a 100%-os mértékben kopott állapota közötti ideális állapot az újraélezési tartalék felénél illeszkedik, ennek ellenére a hibák jóval nagyobbak az ideális állapot előtt, mint azt követően. Ez derül ki a **6–8.**, illetve a **10–12. ábrák** összehasonlító vizsgálatából. A 25%-ra kopott, újraélezett csigamaró hibája közel 6-szor kisebb,  $2^\circ$ -os vezércsavarvonal-dőlésszögű csigamaró esetében, mint az új csigamaróé. A  $3^\circ$ -os csigamaró esetében ez az arány közel 20, ami jelentős!

A 25-75%-os kopástartományban a hibák, mindkét vizsgált esetben, a mikron körül szóródnak, így ezeknek csupán elméleti jelentőségük van.

A 100%-os elhasználódású, újraélezett csigamaróknak is elfogadható az állapotnak megfelelő etalon-evolvens csigától való eltérése.

A fenti következtetések alapján elképzelhető, hogy a tervezett ideális csigamaró méreteihez viszonyítva az újraélezési tartálékot nem kell szimmetrikusan elosztani, hanem, a megválasztott csavarvonal-dőlésszög függvényében, így eltolni, hogy optimális legyen az eltérés-változás.

Meg kell jegyezni, hogy amennyiben a köszörült hátfelület eltér a jelen tanulmányban elméleti felület-származtatással előállított hátfelülettől, a torzulás evolúciója változhat.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Radzevich, P. S.: *Dudley's Handbook of Practical Gear Design*. CRC-Press, London, 2016, 368–379.
- [2] Litvin, F.L.: *A fogaskerékkapcsolás elmélete*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972, 187–190.
- [3] Hollanda, D.: *Bazele aşchierii şi generării suprafeţelor*, Petru Maior Egyetem, Marosvásárhely, 1994.
- [4] Máté, M.: *Hengeres fogaskerek gyártószerszámai*, Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016, 187–206.
- [5] Dudás, I. *The Theory and Practice of Gear Worm Drives*, Penton Press, London, 2000.
- [6] Radzevich, P. S.: *Gear Cutting Tools. Fundamentals of design and computation*, CRC-Press, London, 2010.
- [7] Gyenge, Cs.: *Lefejtőmarók oldalhátszögének pontos meghatározása és optimalása*, Gép, 48. évf. (1996), 10 sz, 38–40.
- [8] Máté, M. a hengeres fogaskerek-lefejtő csigamaró működő élgeometriájának vizsgálata. A XVII. Műszaki tudományos ülés szak előadásai, <http://eda.eme.ro/handle/10598/29847>, ISBN 978-963-449-054-8, 137-147.
- [9] Szeniczai, L. Általános fogazás. Nehézipari Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1957.

## A VASÚTI SÍN FELÜLETI REPEDÉSTERJEDÉSÉNEK FELÜGYELETE

### MONITORING SYSTEM OF RAIL SURFACE CRACK PROPAGATION

Nyikes Zoltán<sup>1</sup>, Tokody Dániel<sup>2</sup>, Kovács Tünde<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola, 1081 Budapest Népszínház u. 8., [nyikes.zoltan@phd.uni-obuda.hu](mailto:nyikes.zoltan@phd.uni-obuda.hu), [tokody.daniel@mav.hu](mailto:tokody.daniel@mav.hu)

<sup>3</sup>Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 1081 Budapest Népszínház u. 8., [kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu](mailto:kovacs.tunde@bgk.uni-obuda.hu)

#### Abstract

The industrial produced rails can include some failures without damaging. Even that if the rupture propagation reaches a critical size, it become of the breaking. The fracture mechanics suggest many different theories to determinate the fracture. The continuous monitoring of the rails surface state is necessary to assure the uninterrupted and safe transportation.

**Keywords:** crack, fracture toughness, monitoring system.

#### Összefoglalás

A nagy tömegben gyártott sín anyagok tartalmazhatnak hibákat, melyek még nem okoznak károsodást. Amennyiben azonban a keletkezett repedés növekedni kezd, elérheti azt a kritikus méretet mely már törést okoz. A törésmechanika számos elméletet dolgozott ki, mely méretezés során alapul szolgálhat. A repedések folyamatos ellenőrzése a sínpálya állapotfelügyelet tehát elengedhetetlen a folyamatos és biztonságos szállítás, közlekedés biztosításához.

**Kulcsszavak:** repedés, törési szívósság, felügyeleti rendszer.

#### 1. Bevezetés

A vasút nagyon fontos infrastrukturális eleme egy országnak. A tömegközlekedés és az anyagmozgatás egyik igen hatékony eszköze. Ahogyan az már szinte a vasút születése óta ismert a sín és a vasúti kerék kapcsolata kulcskérdés. A sín-kerék kapcsolatban különböző károsodási formákkal találkozunk. A kopás és a sín felületének kifáradása, repedések keletkezése folyamatos a felület terhelése miatt. Ma már különböző minőségű síneket gyártanak, előfordul, hogy a felület szilárdságát hőkezeléssel

javítják. A sínfelületen meglévő, vagy kialakuló repedések a folyamatos terhelés következtében növekedhetnek, majd törést okozhatnak. Ezek folyamatos ellenőrzése szükséges.

Jelenleg a vasúti sínek állapotfelügyeletét szemrevételezéssel végzik, mely igen lassú. A szemrevételezéssel felfedezett hibákat kézzel regisztrálják, majd ezeket az adatokat továbbítják. Az adatfeldolgozást szintén kézzel végzik.

Az Ipar 4.0 elvárásainak a digitális világ eszközeivel lehet megfelelni. Az anyagvizsgálat támogatására is ezeket az eszközö-

zőket kell alkalmazni az adatok gyors és pontos feldolgozására és továbbítására.

## 2. Repedések, anyagfolytonossági hibák

Tökéletes, teljesen hibamentes anyagot az ipar nem tud gyártani tömegtermelésben. A sínek gyártása során is előfordulnak kis-méretű hibák, repedések, melyek a terhelés hatására megindulhatnak és törést okozhatnak. Ezen kívül a sínek használata során nem csak a sín-kerék kapcsolat, de a nyílt terepen való alkalmazás miatt a felületet körfelverődések és más mechanikus hatások is terhelhetik, melyek méretük és alakjuk szerint lehetnek repedések kiinduló helyei.

A törésmechanika méretezési alapot adhat a repedés méret és a terhelés közötti összefüggések megvilágításával. A kritikus repedés méret meghatározásának egyik módja a törésiszívósság összefüggés alkalmazásával lehetséges. A törési szívósság értéke függ az adott sín anyagától. Az (1) összefüggésből kiszámítható a veszélyes repedés mérete. A törési szívósság összefüggése, ahol a (m) repedés félméret,  $\sigma$  (MPa) terhelő feszültség.

$$K_{IC} = \sigma \cdot \sqrt{\pi \cdot a} [MPa\sqrt{m}] \quad (1)$$

A feszültség az érintkező felület nagyságából és a terhelő erőből számítható. A maximális feszültség a vasúti kerék-sín érintkezés esetén a Hertz összefüggés alapján számítható [1]. Az összefüggés módosított alakja, az érintkezési felület a repedés méretével csökkentve (2) [2], ahol  $F$  a terhelés (N), az érintkezési felület (ellipszis) ( $mm^2$ ),  $2a_e$  az érintkező felület ellipszis nagy tengelye (mm),  $2b_e$  érintkező felület ellipszis kis tengelye (mm),  $e$  sínen mérhető repedés felülete [ $mm^2$ ]:

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{F}{(\pi a_e b_e) - e} \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (2)$$

A repedés ellipszis alakkal közelíthető. A kapcsolódó felület nagyságát a repedés felületének méretével kell csökkenteni, hogy

a fellépő feszültséghez közelítő értéket kapjunk.  $K_{IC} = 41 [MPa\sqrt{m}]$  értéke perlitessínacélra kísérleti úton meghatározott érték (irodalom alapján) [3].

Sín és a kerék érintkezési felülete ellipszis alakú, ennek nagy tengelye  $2a_e = 13$  mm, kis tengelye  $2b_e = 10$  mm területe  $T$  ( $mm^2$ ):

$$T = \pi a_e b_e = 102,5 [mm^2] \quad (4)$$

Amennyiben nincs repedés a sín felületen akkor  $e = 0$  mm a terhelő feszültség (2) számítható, ha a terhelő erő 100 kN.

$$\sigma = \frac{3}{2} \frac{F}{(\pi a_e b_e) - e} = 1469,86 \left[ \frac{N}{mm^2} \right] \quad (5)$$

A törési szívósság összefüggést (1) átrendezve kapjuk a megengedhető repedés méretet  $2a$ -t:

$$2a = 2 \cdot \frac{\left( \frac{K_{IC}}{\sigma} \right)^2}{\pi} = 0,4955 [mm] \quad (6)$$

Az adott terhelés mellett a repedés mérete nem lehet nagyobb  $2a$  értéknél. A repedést szintén ellipszis geometriával lehet közelíteni, ennek a nagy tengelye  $2a$  (mm). A repedés méretétől függően a Hertz feszültség növekedik és a károsodás mértéke is ezzel arányos. A vizuális vizsgálat során tehát olyan kamera szükséges, mely felbonthatást tekintve lehetővé teszi a hiba felismerését a számított mérettel összevethető tartományban.

## 3. Adatok gyűjtése és elemzése

Az alábbi részben a vasúti sín felületvizsgálatának informatikai biztosítása és annak vizsgálata kerül bemutatásra

### 3.1. Primer adatok

Az anyagvizsgálat esetén, a nagy mennyiségű, de „nyers” adatok keletkeznek. Ezeket a továbbiakban nevezzük primer adatoknak. [4] Ezeket az adatokat gyűjteni, tárolni és megfelelő csatornán továbbítani kell a további kiértékelés céljából. [5]

### 3.2. Szekunder adatok

A vasúti sín állapotadatai mellett, a helykoordináták beazonosítása a primer adatokkal együtt kell tárolni és továbbítani. [6] Ezeket az adatokat a továbbiakban nevezzük szekunder adatoknak. Az adatok **adatfúzió** (data fusion) segítségével kerülnek tárolásra és továbbításra.

### 3.3. Az adatok osztályozása és továbbítása

A vasúti pálya és az elemzése során keletkező adatok eltérőek. Annak fontossága és a hibák súlyossága okán három osztályba soroljuk, hogy annak prioritásának megfelelően kerüljön továbbításra és feldolgozásra.

#### Kritikus adatok

Ezek azok az adatok, amelyek olyan mérési adatok előzetesen feldolgozott eredményei, ami az előre meghatározott küszöbérték esetében a kiemelten kockázatos kategóriába esnek. A kritikus adatok azonnali továbbítása elengedhetetlenül szükséges, a valós idejű (real time) adatfel-

dolgozás és a többi, az adott pályán közlekedő szerelvények biztonságos haladásához.

#### Fontos adatok

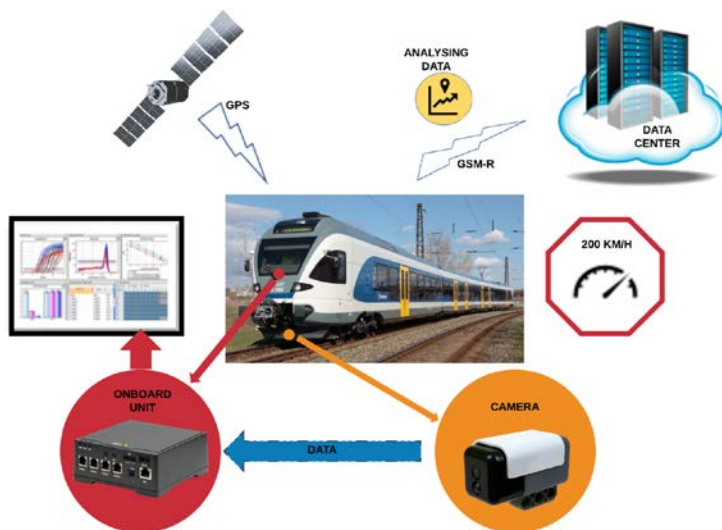
Ezek azok az adatok, amelyek olyan mérési adatok előzetesen feldolgozott eredményei, ami az előre meghatározott küszöbérték esetében a kockázatos kategóriába esnek. A fontos adatok azonnali továbbítása szükséges az adatfeldolgozás és a többi, az adott pályán közlekedő szerelvények biztonságos haladásához.

#### Általános adatok

Ezek azok az adatok, amelyek olyan diagnosztikai adatok, amelyek az előre meghatározott küszöbérték esetében az nem kockázatos kategóriába esnek. Ezeknek az adatoknak a kiértékelése a karbantartások tervezéshez szükségesek.

### 4. Anyagvizsgálat eszközszükséglete

Ahhoz, 200 Km/h sebesség esetén a vizsgáló berendezés el tudja végezni a vizs-



1. ábra. Az anyagvizsgálat adatelemzése és adattovábbítása



gálatot, azaz folyamatos, kiváló minőségű és nagyfelbontású képet tudjon készíteni, ahhoz olyan kamerára van szükség, amely ezeket a kritériumokkal rendelkezik. Továbbá az adott kamera olyan gyorsaságú, azaz kép/másodperc rögzítési sebességgel kell, hogy rendelkezzen, amely esetében a folyamatos anyagvizsgálat biztosított.

Az adatok továbbításához nagy sebességű CAN BUS rendszerre van szükség, amely a gyors adattovábbításra képes adatvesztés nélkül, továbbá redundanciával is rendelkezik egy esetleges üzemzavar, vagy meghibásodás esetén.

Az adatok előzetes kiértékeléséhez gyors, nagy számítási kapacitással rendelkező fedélzeti számítógépre van szükség, amely a vasúti szerelvény felépítményébe integrálható. Zavarvédett a nagyfeszültségű elektromos hálózat elektromágneses sugárzásával és ellenáll a mechanikus hatásokkal szemben. Az adattárolási kapacitása a puffertárolás tekintetében magas.

## 5. Az infrastruktúra védelme

Az elektronikus információvédelem biztosítása érdekében az átviteli út biztonsága, valamint a végpont és hálózatbiztonsági feltételek megteremtése elengedhetetlen annak érdekében, hogy a detektált és feldolgozott adatok a keletkezési helyükről az adatközpontba, majd onnan az érintett szerelvények részére továbbításra kerüljenek. A fenti biztonsági szempontok figyelembevétele elengedhetetlenül szükséges, mivel kritikus infrastruktúráról beszélünk a vasút esetében. A jelenleg sorozatosan előforduló kritikus infrastruktúrák elleni kibertámadások rávilágítottak arra a tényre, hogy a kritikus infrastruktúrákat a kibertámadásokkal szemben is védelmezni kell. Ehhez olyan technikai és eljárásrendek alkalmazása szükséges, amelyek biztosítják az információk védelmét garantáló alapelveket.

## 6. Következtetések

A törési szívósság értékéből a kritikus repedés mérete meghatározható. A repedés mérete a számított értéket eléri vagy meghaladja, akkor várható, hogy a sín károsodik, mivel a Hertz feszültség extrém nagy értéket is elérhet. A repedések folyamatos felügyeletével elérhető, hogy megelőzhető legyen a katasztrofális károsodás.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] L. Kazinczy: Wheel rail Hertzian contact investigation in case of vehicular train structure, BME 2017. Budapest, [www.epa.uz.ua/00000/00028/00005/pdf/2.pdf](http://www.epa.uz.ua/00000/00028/00005/pdf/2.pdf)
- [2] Z. Nyikes, D. Tokody, T. Kovács: In situ testing of rail damages in accordance with Industry 4.0 3<sup>rd</sup> International Conference On Rheology and Modeling of Materials in Miskolc-Lillafüred, Hungary, 2-6 October, 2017. (megjelenés alatt)
- [3] H. A. Aglan, M. Fateh: *Fracture and Fatigue Crack Growth Analysis of Rail Steels*, Journal of Mechanics of Materials and Structures Vol.2. N2, 2007. pp 336-346
- [4] Mester, Gy., és mások: *Adaptive Control of Robot Manipulators with Fuzzy Supervisor, Using Genetic Algorithms*, Proceedings of International Conference on Recent Advances in Mechatronics, ICRAM'95, O. Kaynak (ed.), Vol. 2, pp. 661–666, ISBN 975-518-063-X, Istanbul, 1995.
- [5] Mester, Gy., és mások: *Flexible Planetary Gear Drives in Robotics*, Proceedings of the 1992 International Conference on Industrial Electronics, Control, Instrumentation and Automation - Robotics, CIM and Automation, Emerging Technologies, IEEE IECON '92, Vol. 2, pp. 646-649, ISBN 0-7803-0582-5, DOI: 10.1109/IECON.1992.254556, San Diego, 1992.
- [6] Iantovics, L.B.: *A New Intelligent Mobile Multiagent System*, in Proc. of the IEEE Int. W. on Soft Computing Applications (SOFA). Szeged-Hungary and Arad-Romania, IEEE Computer Society Press, IEEE Hungarian Section, 2005, pp.153-159.

## FRÖCCSÖNTŐ SZERSZÁMOK AKTÍV RÉSZEINEK KORSZERŰ TECHNOLÓGIÁJÁNAK TANULMÁNYOZÁSA

### STUDY OF ADVANCED MANUFACTURING TECHNOLOGIES FOR ACTIVE PARTS OF INJECTION MOLDS

Soós Noémi Rita<sup>1</sup>, Soós Ödön János<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Gépgyártástechnológia tanszék, 400641, Románia, Kolozsvár, B-dul Muncii, 103-105; Telefon: +40-745-858894, levelezési cím: noemi\_soos@yahoo.com

<sup>2</sup>Kolozsvári Műszaki Egyetem, Gépgyártástechnológia tanszék, 400641, Románia, Kolozsvár, B-dul Muncii, 103-105; Telefon: +40-742-700763, levelezési cím: soosodon@yahoo.com

#### Abstract

The main objective of this paper is to show the advantages of advanced manufacturing, such as high speed machining (HSM), for the active plates of injection molds. The goal of the experiment is to push the machine and the tools to the limit without reducing the surface quality of the manufactured part. The parts that are machined in this experiment are the active components of bucket injection mold. The mold core and nest is composed from several plates that have to form a whole when mounted together.

**Keywords:** CNC, injection mold, HSM

#### Összefoglalás

A dolgozat célja, hogy bemutassa a korszerű gyártástechnológia előnyeit, mint például a nagy sebességű megmunkálást (High Speed Machining- HSM) a fröccsöntő öntőformák aktív elemei számára. A kísérlet célja, hogy a megmunkálásnál használt gép és szerszámok kapacitását teljesen kihasználjuk anélkül, hogy csökkentené a gyártott rész felületi minőségét. A kísérletben megmunkált alkatrészek egy vödör fröccsöntő szerszám aktív összetevői. A fröccsöntő szerszám aktív részei, a mag és a fészek, több olyan részből áll, amelyek összeszerelt állapotban egészet alkotnak.

**Kulcsszavak:** CNC, fröccsöntő szerszám, HSM

#### 1. Bevezetés

A fejlett gyártási technológiákat egyre gyakrabban használják a CAM szoftverek előnyei miatt. Ezzel az eszközzel a gyártók hihetetlen eredményeket érhetnek el a megmunkálási folyamatban. A szerszám élettartama meghosszabbítható és a gyártási idő jelentősen csökkenthető. Ez a fejlett

technológia a nagysebességű megmunkálás (HSM). A nagysebességű megmunkálás egy olyan fejlett gyártási technológia, amely nagy hatással van a feldolgozóiparra. Ennek a megmunkálási technológiának több definíciója is van a szakirodalomban. Az egyik meghatározás az, hogy ez az eljárás „megmunkálást tesz lehetővé, jelentősen nagyobb vágási sebességgel és előtolással,

mint a hagyományos megmunkálásnál” [1]. A nagysebességű megmunkálás folyamata széles körben alkalmazható, mint például a fröccsöntő szerszámgyártásnál, a repülőgépiparban, és így tovább. Ezen technológia jelentősége a termelésben az új gépek és szerszámfejlesztés óta nőtt. A szerszámok és gépek evolúciója lehetővé teszi számunkra, hogy ezt a technológiát alkalmazzuk, egyrészt a folyamatidő csökkentésére, másrészt a gyártott termékek felületminőségének javítására. A felületi minőség fő jellemzője a felületi érdesség, amely a méretszabályozással együtt a legmeghatározóbb követelmények.

## 2. Kísérleti adatok és beállítások

A kísérlethez használt gép egy Haas VF-3 CNC függőleges megmunkáló központ, amelynek az X tengelyen a mozgása 1016 mm, az Y tengelyen 508 mm, a Z tengelyen pedig 635 mm. A megmunkáló központ 22,4 kW-os főorsóval van ellátva, beépített meghajtással és egy  $\frac{3}{4}$ -es lóerős hűtőrendszerrel. Ráadásul egy vezeték nélküli intuitív próbarendszerrel (ezzel méreteket mérhetünk és beállíthatjuk a gyártási részt), valamint egy nagysebességű megmunkálási integrált szoftver opcióval is rendelkezik, amely lehetővé teszi a gép számára, hogy előre olvassa a G-kódot és optimalizálja a gyorsulást és lassulást a programozott ívszegmenseken, így jobb felületminőséget eredményeznek.

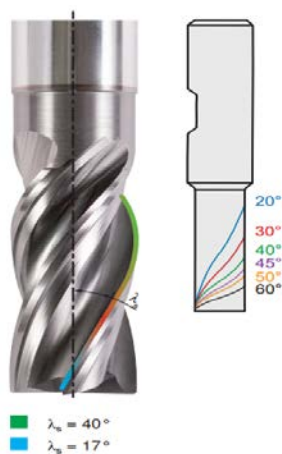


1. ábra. HAAS VF-3 CNC gép

A kísérlethez használt szerszámok kemény anyagok eltávolítására és a 3D felületek finom vágására a Ceratizit és a Widea cégtől származnak. A gyártási folyamat során egy 10 mm-es szabálytalan csavart vágóéllal rendelkező ujjmarót használtunk a lap nagyolásához, mely elősegítette a megnövelt anyageltávolítást és egy gömbvégű marót a fröccsöntő szerszám 3D-s felületeinek simításához. A csavart horonyos maró biztosítja a sima vágást és ugyanakkor az alacsony rezgést és zajt, még akkor is, ha jelentős vágási mélységet használunk. A fokozatosan növekvő csavarvonal emelkedési szögnek köszönhetően a maró magjának átmérője alkalmas a forgácseltávolítás optimalizálására.



2. ábra. A kísérletben használt maróeszközök [2]



3. ábra. A megmunkálásnál használt maró [2]

– a 10 mm-es ujjmaró kezdeti paraméterei:  
 $v_c = 100 \sim 130$  [m/perc] és  $f_z = 0.05$  [mm/fog]

$$a_{e \max} = 1 \cdot d \text{ [mm]}$$

$$a_{p \max} = 2 \cdot d \text{ [mm]}$$

$$n = (v_c \cdot 1000) / (d \cdot \pi) \text{ [fordulat/perc]} \quad (1)$$

$$f = n \cdot f_z \cdot z \text{ [mm/perc]} \quad (2)$$

$$n_{\min} = 100000 / 10 \cdot \pi = 3184 \text{ fordulat/perc} \quad (1)$$

$$n_{\max} = 130000 / 10 \cdot \pi = 4140 \text{ fordulat/perc} \quad (1)$$

$$f_{\min} = 3184 \cdot 0.07 \cdot 4 = 636 \text{ mm/perc} \quad (2)$$

$$f_{\max} = 4140 \cdot 0.05 \cdot 4 = 828 \text{ mm/perc} \quad (2)$$

$$a_e = 10 \text{ mm}$$

$$a_p = 10 \text{ mm}$$

– a 10 mm-es gömbvégű maró kezdeti paraméterei:

$$v_c = 115 \sim 135 \text{ [m/perc]} \text{ és } f_z = 0.03 \text{ [mm/fog]}$$

$$a_{e \max} = 1 \cdot d \text{ [mm]}$$

$$a_{p \max} = 0.5 \cdot d \text{ [mm]}$$

$$n_{\min} = 115000 / 10 \cdot \pi = 3660 \text{ fordulat/perc} \quad (1)$$

$$n_{\max} = 180000 / 10 \cdot \pi = 4297 \text{ fordulat/perc} \quad (1)$$

$$f_{\min} = 3660 \cdot 0.03 \cdot 2 = 219.6 \text{ mm/perc} \quad (2)$$

$$f_{\max} = 4297 \cdot 0.03 \cdot 2 = 343.7 \text{ mm/perc} \quad (2)$$

$$a_e = 10 \text{ mm}$$

$$a_p = 5 \text{ mm}$$

## 2.1. A vödör forma aktív részeinek anyagszerkezete és felépítése

Az említett öntőforma aktív részeihez használt anyag az 1.2311/ 40CrMnMo7-es acél. Ez egy ötvözt acélszerkezet, amely általában előedzett állapotban kapható. Az 1.2311 acél kiváló polírozó tulajdonsággal rendelkezik, ezért gyakran használják műanyag fröccsöntő szerszámok felépítésénél. Kiváló kopásállósággal rendelkezik, amely lehetővé teszi a műanyag alkatrészek nagy előállítását a fröccsöntési folyamat során. Ezt az anyagot szükség esetén lehet edzeni (55~59HRC) vagy nikkelezni (650 HV ami egyenértékű 58 HRC).

**1. táblázat.** A megmunkálásnál használt anyag kémiai összetevői [3]

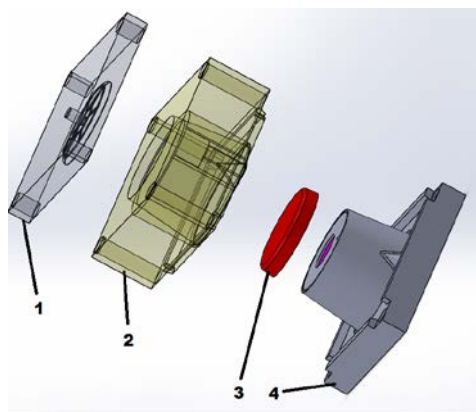
Karbon	0.35-0.45%	Króm	1.80-2.10%
Mangán	1.30-1.60%	Molibdén	0.15-0.25%
Kén	0.03% max	Szilikon	0.20-0.40%
Foszfor	0.03% max		

Az anyag kémiai tulajdonságainak köszönhetően viszonylag könnyű megmunkálni, de ha a gyártásnál használt stratégia nem megfelelő, akkor a szerszám kopása gyorsan növekszik, ami hatással van a megmunkált rész felületi minőségére.



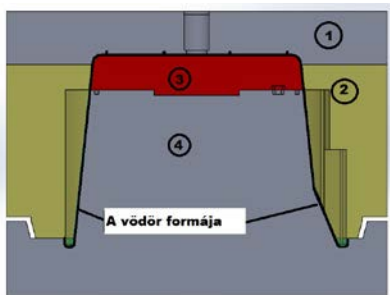
**4. ábra.** A maró kopott része a nem megfelelő stratégia és megmunkálási sebességek használatának következtében

A vödör forma aktív részeinek szerkezete az **5. ábrán** látható.



5. ábra. A vödör forma aktív részei

A vödör formája négy egyedi részből áll. Az 5. ábrán látható 1 és 2 részek az öntőforma fészket és a fröccsöntés után a vödör külső részét képezik. A 3. és 4. részek a szerszám magját képezik, amely a fröccsöntött termék belsejét materializálja. A részek megmunkálását külön-külön végezzük el az öntőforma mérete miatt, míg a simítási műveleteket részben összeszerelt állapotban, az 1. és 2. részeket egyben és a 3., 4. részeket szintén egybeszerelve.



6. ábra. A vödör forma aktív részei összeszerelt állapotban

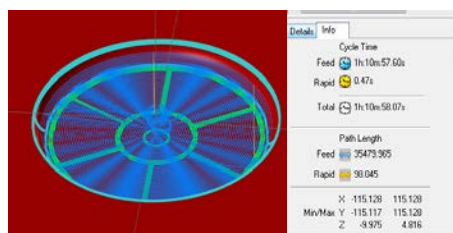
A vödör formájának kialakítása lehetővé teszi a darab evakuálását a meredek szögek és a pneumatikus és hidraulikus hajtásokkal ellátott kidobórendszer miatt. A pneumatikus hajtás levetkőzteti a vödört a fröccsöntő forma felületéről, míg a hidraulikus dugattyú kilöki azt.

### 3. Kísérleti eredmények

A nagysebességű megmunkálási technológia tanulmányozásához egy CAM szoftvert alkalmaztunk, nagysebességű stratégiák és adekvát G-kódot generáló rendszer kapacitásával. Erre a célra a Mastercamot, a globális vezető CAM szoftvert választottuk, amely integrálta a HSM stratégiákat a dinamikus marással kombinálva. Ez lehetővé teszi számunkra, hogy a legkorszerűbb programozást alkalmazzuk és példázzuk a stratégiák előnyeit.

Kezdetben a fröccsöntő forma 3. aktív részét munkáltuk meg (5. és 6. ábra). Az alkalmazott stratégia és paraméterek a következők:

- stratégia (HSM): nagysebességű felületi nagyolás;
- kezdeti orsósebesség: 3200 fordulat/perc;
- előtolás: 600 mm/perc;
- mélység: 10 mm, pályára állási mód spirális interpoláció;
- lépték: 5 mm;
- becsült ciklusidő: 1 óra 10 perc.

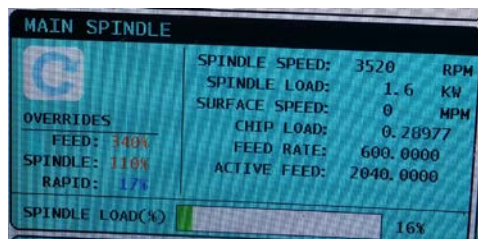


7. ábra. A maró mozgási pályája a használt HSM stratégiánál és a becsült ciklusidő

Az alacsony orsóterhelés miatt a megmunkálás megkezdése után növeltük a marószerszám előtolási sebességét, hogy megfigyeljük milyen hatással lesz a megmunkált felületre és a marószerszámmra. A művelet végső határértékei 3520 fordulat/perc orsó fordulatszám és 2040 mm/perc előtolási sebesség a 8. ábrán láthatók. Ha az előtolási sebességet 340%-al és az orsó fordulatszámát 110%-al növeltük, az orsó terhelése



még mindig alacsony volt, körülbelül 16% tömör anyagban. Ez azért volt lehetséges, mert a HSM szerszám pálya csökkentette az orsóterhelést és növelte a szerszám élettartamát. Ezzel a stratégiával a becsült 70 perces megmunkálási időt 18 percre csökkentettük.



**8. ábra.** A kiindulási marási paraméterek felülírása

A megmunkálási folyamat befejezése után ellenőriztük az ujjmarót és a felület minőségét. Az ujjmaró még újnak látszott, a megmunkált felület pedig kiváló volt a nagyolási stratégia számára.

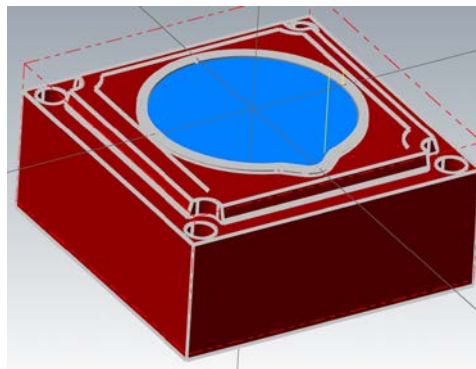
A nagyolás után 2D-s nagysebességű és nagysebességű „flowline” stratégiát alkalmaztunk, amivel nagyon sima felületet értünk el.



**9. ábra.** 3-as aktív formalap simítás után

A megmunkált felület minősége az elvárásoknak megfelelt, ebben az esetben befejezett résznek számított, nem volt szükség későbbi polírozási műveletre. Az elért felületi érdesség 0.4-0.8  $\mu\text{m}$  között volt.

A 4-es aktív formalap esetében ugyanazt a simítási HSM stratégiát alkalmaztuk, 0.5 mm-es vágási szélességgel és 0.3 mm-es vágási mélységgel, hogy finom felületet érjünk el. A marás mélysége spirálmódban készült az anyag folyamatos eltávolításával. Ez csökkentett ciklusidőt és jó minőségű felületet biztosított a megmunkált résznek. Ebben az esetben is a becsült elméleti ciklusidőt 45%-al csökkentettük, miután a határokig növeltük a sebességet és az előtolást. Az alacsony orsóterhelés és a jó forgácsevakuálásnak köszönhetően a marószerszám tökéletes állapotban volt a kész művelet után.



**10. ábra.** „Surface flowline” stratégia Mastercam szoftverben



**10. ábra.** Simított 4-es aktív formalap

Mivel a 4-es formalap vastagsága 245 mm volt, a megmunkálási folyamat során kis rezgések jelentek meg. Még ezen rezgés-

sek esetén is a felületi minőség  $Ra = 1\text{--}1.6$   $\mu\text{m}$  között volt, de  $0.8$   $\mu\text{m}$  alatt kellett lennie ahhoz, hogy a termék megfelelő legyen az ügyfél számára. A megmunkálást egy polírozási művelet követte, speciális csiszolópapírral és finom csiszolópasztával. A kézzel végzett rövid polírozás után a felületi minőség a kívánt paraméterekben volt.



11. ábra. Összeszerelt 3-as és 4-es formalap

Ugyanazokat a nagysebességű megmunkálási stratégiákat alkalmaztuk a vödörforma 1 és 2 aktív részein is. Hasonló eredményeket figyeltünk meg a ciklusidőben, a szerszámterhelés csökkenésében és a jó felületi minőségben.



12. ábra. Összeszerelt 1-es és 2-es formalap

#### 4. Következtetések

A vödörszerszám aktív részeinek az 1.2311 anyagból HSM stratégiákkal végzett megmunkálása után a kísérleti eredmények a következők:

- a HSM stratégiák és megfelelő szerszámok alkalmazásával a marási folyamatban fellépő erők jelentősen csökkennek, ami nagyobb sebességet és előtolást biztosít a folyamat számára;
- ilyen stratégiákkal a ciklusidő jelentősen csökken, ami pozitív hatással van a költségcsökkentésre;
- a felületi minőség lényegesen jobb összehasonlítva a klasszikus gyártási technológiákkal;
- a szerszám élettartama nő és az orsóterhelés csökken a HSM és a dinamikus marási stratégiákkal.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a HSM technológia használatával csökkenthetjük a megmunkálási ciklusidőt és a gyártási költségeket, növeljük a felület minőségét és a szerszám élettartamát. A legnagyobb jelentőséggel bíró hatása a környezetre van, mivel csökken az energiafogyasztás, az elhasznált szerszámok száma és a környezetszennyezés mértéke.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Begic-Hajdarevic, D., Cekic, A., Kulenovic, M.: *Experimental Study on the High Speed Machining of Hardened Steel*, Procedia Engineering 69, 2014, pg. 291-295.
- [2] Cutting solutions by Ceratizit: *Cutting tools*, 2016, 1041-1043; 1067-1068.
- [3] <https://www.westyorksteel.com/steel-specifications/werkstoff-standards/tool-steel-w-nr/1-2311/>

## A MAGYAR NYELVŰ MŰSZAKI TERMINOLÓGIA 1920-TÓL NAPJAINKIG

## THE HUNGARIAN LANGUAGE TECHNICAL TERMINOLOGY FROM 1920 UNTIL TODAY

Zabóné Varga Irén

*Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- és Gyártástudományi Intézet, 1081, Magyarország, Budapest, Népszínház utca, 8.;  
 Telefon / Fax: +361-666-5386, [zabone.iren@bgk.uni-obuda.hu](mailto:zabone.iren@bgk.uni-obuda.hu)*

### Abstract

This study is the last one of a three-part series reviewing the history of Hungarian language technical terminology. In this article we strive to present all the factors that influenced the state of Hungarian technical language and terminology at a particular period of time during the past hundred years. Over a long period of time, the most important part in establishing and disseminating adequate Hungarian terms was played by standards, dictionaries and the publishing of technical literature. Since this situation has dramatically changed by now, after presenting the current state of affairs, we make suggestions on handling terminological problems emerging in the course of technical communication, the instruction of technical language or the translation of technical literature.

**Keywords:** *technical language, terminology, creating terms*

### Összefoglalás

A tanulmány egy három részből álló sorozat utolsó része, amely a magyar nyelvű műszaki terminológia történetét tekinti át. Ebben a cikkben az elmúlt száz évre vonatkozóan minden olyan tényezőt igyekezünk bemutatni, amely az adott korszakban a magyar műszaki szaknyelv és a magyar műszaki terminológia állapotát befolyásolta. A megfelelő magyar nyelvű terminusok létrehozásában és széleskörű terjesztésében hosszú időn keresztül a szabványok, a szótárak és a műszaki szakirodalom megjelentetése volt a legfontosabb. Mivel azonban mára a helyzet jelentősen megváltozott, a jelenlegi állapot bemutatása után javaslatokat teszünk arra, hogyan lehetne a szaknyelvtanítás, a szakmai kommunikáció és a műszaki szakfordítás során felmerülő terminológiai problémákat kezelni.

**Kulcsszavak:** *szaknyelv, terminológia, terminusalkotás*

### 1. Bevezetés

A cikksorozat előző két részében nyelvészeti szempontokat figyelembe véve bemutattuk a magyar műszaki szaknyelv és a magyar nyelvű műszaki terminológia kialakulását és kezdeti fejlődését. A cikksorozat harmadik, egyúttal befejező részében az

elmúlt közel száz évet tekintjük át a korábban már ismertetett nyelvészeti szempontok alapján. Ebben az időszakban több, egymástól nagyon eltérő tendenciát figyelhetünk meg. Míg a két világháború közötti időszakban a korábbiakhoz hasonló folyamatokat látunk, ezt követően sok jelentős változás történik. Egy újabb átalakulás a



90-es évektől figyelhető meg, amelynek hatásai a műszaki szaknyelvre és a terminológiahasználatra vonatkozóan jelenleg is érezhetőek.

## 2. A két világháború közötti időszak

A korábbiakhoz hasonlóan ezekben az években is mérnökökből álló önszerveződő egyesületek tettek a legtöbbet a magyar nyelvű műszaki terminológia fejlesztéséért. Míg korábban az egyes ágazati szervezetek alkották meg a szakterületükre vonatkozó terminusokat, 1921-ben létrejött a *Magyar Ipari Szabványosító Bizottság*, amely az első, az összes szakterületet átfogó szabványosítási testület volt. 1933-ban ezt követte a *Magyar Szabványügyi Intézet*, 1941-től pedig a *Magyar Szabványügyi Intézet Egyesület*. [1] Ezek a szervezetek aktívan részt vettek a nemzetközi szabványosítási munkálatokban is. A *Magyar Mérnök- és Építész- Egylet Közlönyében* megjelent például 1923-ban a Magyar Ipari Szabványosító Bizottság tudósítása arról, hogy svájci társ-szervezetüktől megkeresték őket, hogy mondjanak véleményt egy később összeállítandó *Nemzetközi normália-lexikon* tervezetéről. [2] Nemzetközileg is fontos eseménynek számított, hogy a *Nemzeti Szabványügyi Testületek Nemzetközi Bizottsága (ISA)* által létrehozott ISA 37 „Terminológia” bizottság 1936-ban Budapesten tartotta első ülését. [3]

A korszak egyetlen jelentős műszaki szótárát német-magyar nyelvpárban Pávó Elemér gépészmérnök állította össze Terplán Zénó gépészmérnök segítségével. A szótár 1944-ben jelent meg *Korszerű műszaki szótár* címen két kötetben (német-magyar, magyar-német).

## 3. A 20. század második fele

A második világháborút követően jelentős változások következtek be a műszaki szaknyelv használatában. Korábban csak

tudományos publikációkban, szabványokban, szakkönyvekben, tankönyvekben és oktatási segédanyagokban használták a szaknyelv írott változatát. Az eredeti szövegalkotással vagy fordítással készült szövegek szerzői és olvasói is szakemberek vagy az adott szakterületen tanuló diákok voltak.

Az 1950-es években elkezdődött világszerte a műszaki árucikkek tömeges gyártása. Ezekhez leírásokat és használati utasításokat kellett készíteni, amelyeket gyakran fordítottak idegen nyelvekre is. Tehát nagy számban jöttek létre olyan szövegek, amelyek esetében az olvasók, és sok esetben a fordítók sem voltak szakemberek.

Az 1950-es évek elejétől három olyan területet emelhetünk ki, amelyek a szakmai kommunikációban, az írásos szakmai szövegek és fordítások esetében nagyban hozzájárultak ahhoz, hogy a különböző műszaki szakterületek terminushasználata egységesebbé váljon. Ezek a területek a következők: szabványosítás, szótárkiadás, műszaki szakkönyvek kiadása.

### 3.1. Szabványosítás

A változások először a szabványosítás területén figyelhető meg. 1948-ban államosították a szabványosítást és ezzel egyidejűleg kötelezővé tették a magyar szabványok használatát. [1] Így a kutatás, az oktatás és az ipar bármely területén dolgozó műszaki szakembernek ismernie és alkalmaznia kellett az aktuálisan érvényes szabványokat. A szabványok szövegét az iparban dolgozó és a felsőoktatásban tanító és kutató szakemberek közösen alkották meg, ezért az újonnan létrehozott terminusok széleskörű konszenzuson alapultak. Az érvényes szabványokból a különböző szakterületekre vonatkozóan kivonatos kiadványokat jelentettek meg, amelyeket a felsőoktatásban jól lehetett használni. [4] A hallgatók már tanulmányaik során megismerkedhettek szakterületük legfontosabb szabványaival és ezzel együtt terminusaival is.

A szabványosítás ebben az időszakban álmilag finanszírozott tevékenység volt.

### 3.2. Szótárak

Az 1950-es években a szótárkiadás területén jelentős lépések történtek. A Magyar Tudományos Akadémia 1950-ben alapított könyvkiadója egyik fontos feladatának tartotta a szótárkiadást, többek között két- és többnyelvű szaknyelvi szótárak és szakmai értelmező szótárak kiadását. Ennek eredményeként jelent meg 1953-ban Katona Lóránt *Német–magyar és magyar–német műszaki és tudományos szótár* című egykötetes műve.

A nagyon gyors műszaki fejlődés miatti rohamosan növekvő műszaki szakszókincs és a jobb kezelhetőség a későbbiekben azonban szükségessé tette egy újabb, kétkötetes és már csak a műszaki szakszókincset feldolgozó szótár összeállítását. Ennek munkálatai során az egyik szerző, Klár János villamosmérnök Kovalovszky Miklós nyelvészrel együtt megírta a *Műszaki tudományos terminológiánk alakulása és fejlesztésének főbb kérdései* című művet, amely 1955-ben jelent meg a Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége gondozásában. Az előkészítő munkálatok jól mutatják, hogy ebben az esetben szakmailag és nyelvészetiileg is jól megalapozott szótárkészítői munkáról van szó.

Az új szótár 1959-ben jelent meg két kötetben Klár János villamosmérnök és Nagy Ernő gépészmérnök szerkesztésében. A szótárt az 1970-ben napvilágot látott harmadik kiadás előtt függelékkal látták el, amelyben az első kiadás óta eltelt időszak alatt létrejött új műszaki területek legfontosabb terminusait gyűjtötték össze, pl. információelmélet, irányítástechnika, operációkutatás stb. [5] A szótárnak ezt követően kilenc változatlan kiadása jelent meg.

Ugyancsak 1959-ben látott napvilágot a *Műszaki Értelmező szótár* sorozat első kötete. A sorozat szerkesztője Klár János volt. Az egyes köteteket az adott szakterületek

legkiválóbb szakemberei állították össze. A kötetek feladata az volt, hogy az egyes műszaki szakterületeken összefoglalják és pontos definíciók segítségével bemutassák a már elfogadott, szabványos terminusokat. Szükség esetén a még hiányzó magyar nyelvű terminusok megalkotására is sor került.

### 3.3. Műszaki szakkönyvek

1955-ben megalapították a Műszaki Könyvkiadót, ahol tankönyvek, tudományos és műszaki szakkönyvek mellett a szélesebb olvasóközönségnek szánt műszaki ismeretterjesztő irodalmat is megjelentettek. A Műszaki Könyvkiadó gondozásában nagyon sok műszaki szakterület számára jelent meg átfogó kézikönyv vagy zsebkönyv, amelyeket a műszaki felsőoktatásban is jól lehetett használni. A könyvkiadó két alkalommal is kiadott útmutatót szerzői és fordítói számára azért, hogy a megjelenő könyvek jó minőségét biztosítsák. Az 1982-ben kiadott útmutatóban a következőket olvashatjuk: „A szerző köteles a magyar szabványokat figyelembe venni. A kézirat semmi olyat nem tartalmazhat, ami ellentétben áll vagy eltér az országos szabványtól. A gépelemet, a szerszámot stb. mindig a szabványos nevén nevezzük, és a szabványos jelét használjuk”. [6] A gondos szakmai munkának és a piaci monopol helyzetének köszönhetően a Műszaki Könyvkiadó kiadványaival nagyban hozzájárult a szabványos terminusok használatának elterjesztéséhez.

## 4. Az 1990-es évektől napjainkig

Míg az előző évtizedekben folyamatos és tudatos szabványosítás, terminológiai munka és a szabványosított terminusok széleskörű terjesztése zajlott, az 1990-es években jelentős változások következtek be minden területen.

#### 4.1. Szabványosítás

1995-ben létrehozták a *Magyar Szabványügyi Testületet*, amelynek elsődleges feladata az Európai Unióhoz történő csatlakozás előkészítése volt. Ettől kezdve a szabványok betartása ismét nem kötelező érvényű. [1] A csatlakozás után az európai szabványokat folyamatosan vezette be az MSZT angol nyelven, magyar nyelvű jóváhagyó közleménnyel. Bár az európai szabványok (EN) hivatalos nyelve az angol, sok esetben érzékelhető, hogy a német DIN szabványokból „ültették át” őket. Ezeknél a műszaki tartalom és a terminushasználat is megfelelő. Az újonnan összeállított szabványok esetében azonban gyakori a megfelelő szakmai alaposág és a korrekt terminológia hiánya. Ennek oka lehet az is, hogy a szabványokat a szerzői jogvédelem hatálya alá vonták, így az üzleti szempontok gyakran fontosabbak a minőségnél. 2007. augusztus óta minden uniós szabvány egyúttal hatályos magyar szabvány is. Mivel a szabványosításhoz kapcsolódó tevékenységekre az MSZT jelenleg minimális állami támogatást kap, ezért megfelelő minőségellenőrzéssel csak a legfontosabb szabványokat tudja lefordíttatni. [7] Az ipar néhány területén láthatunk példákat arra, hogy egyes iparágakon belül az ipari szereplők összefogásával és anyagi támogatásával készítették el az angol nyelvű szabványok ellenőrzött magyar fordítását. Ez azonban az iparnak viszonylag kevés területét érinti. Más műszaki szakterületeken gyakran előfordul az a helyzet, hogy sok új terminusnak nincs is magyar nyelven elfogadott változata. Ez részben akadályozhatja a magyar nyelven folytatott szakmai kommunikációt, másrészt pedig az erre épülő kodifikált fordítások hiányának komoly műszaki, gazdasági és jogi következményei lehetnek. [4]

A szabványosítással összefüggő másik problémát a Magyarországon leányvállalatot működtető külföldi cégek szabványosítási tevékenysége okozza. A nemzetközi

szinten is erős gazdasági pozíciókkal rendelkező cégek úgynevezett „de-facto” szabványokat (pl. ipari, ágazati és céges szabványokat) dolgoznak ki a saját tevékenységükre vonatkozóan. Ezek bizonyos esetekben jelentős mértékben eltérhetnek a nemzetközileg érvényes szabványoktól. [8] A céges szabványokat a piaci versenytársaktól való szándékolt és tudatos elhatárolódás eszközeként használják a vállalkozások. Ezekben a szabványokban általában cégspecifikus terminológiát találunk. Ennek következtében a korábban az egységes szabványosítás irányába mutató folyamatok sok iparágan belül nem csak lelassultak vagy leálltak, hanem ellentétes irányt vettek: a szabványosítás és a terminusalkotás területén az egymástól való eltávolodás a cél a cégek számára. Ezek közül az ágazati és céges szabványok közül is csak keveset fordítanak le szakemberek által ellenőrzött módon magyarra, így az ezekben használt terminusoknak sincs magyar ekvivalensük.

#### 4.2. Szótárak

Klár János és Nagy Ernő 12 kiadást megért nagyszótára után 2007-ben jelent meg az Akadémiai Kiadónál Tóth Ákos *Német–magyar műszaki és tudományos nagyszótár* című műve, amely papíralapú szótár volt CD melléklettel. A szótár szóanyaga a kiadó információi szerint korábbi kétnyelvű és német egynyelvű szótárak szóanyagára épült, amelyet a szerkesztő saját gyűjtésével egészített ki. Jelenleg a szótár csak online formában, előfizetéssel használható, a szóanyagot időszakosan fejlesztik. Magyar–német kötet összeállítását a kiadó nem tervezi.

Az utóbbi években jelentek meg nagyobb számban az *online szakszótárak*. Ezek lehetnek egyrészt könyvkiadók által összeállított, folyamatosan fejlesztett és ellenőrzött szótárak, amelyekre elő lehet fizetni. Az online szótárak másik csoportjába tartoznak azok a szótárak, amelyeket többnyire lelkes amatőrök állítanak össze és

bővítenek. Ide tartoznak azok az általános nyelvi szótárak, amelyek szakszókincset is tartalmaznak, illetve azok a szakszótárak, amelyeknek a szóanyaga általában egy szűkebb szakterületre korlátozódik. Ezeknek a szótáraknak a minősége esetenként nem megbízható, bár az utóbbi egy-két évben javulás tapasztalható. Mivel az online szótárak gyorsan és gyakran ingyen elérhetőek, sokan használják őket.

Ugyancsak az elmúlt időszakban hozták létre a sokoldalúan használható, többnyelvű *terminológiai adatbázisokat*, melyeknek fogalomalapú a felépítése. Ezeket az adatbázisokat elsősorban profi fordítók tudják jól használni, külsősök számára ezek nem érhetőek el. Ezek az adatbázisok képesek többek között arra is, hogy korábbi fordításokból eltárolt minták segítségével a keresett terminus adott szöveggörnyezetben aktualizált jelentéséhez találjanak célnyelvi ekvivalenst, illetve a korábban említett különböző céges terminusokat is hozzá lehet rendelni egy adott fogalomhoz a céges forrás megadásával. Német nyelvterületen már ilyen terminológiai adatbázisokból kinyert adatok segítségével készítik el és frissítik a két- vagy többnyelvű szaknyelvi szótárak szókincset.

### **4.3. Műszaki szakkönyvek**

A 20. század vége felé egyre több könyvkiadó kezdett el foglalkozni műszaki tematikájú szakkönyvek kiadásával. Ezeknél az újonnan létrehozott kiadóknál nem mindig állt rendelkezésre megfelelő szakmai háttér a megfelelő szakmai színvonal biztosításához. A gyakran nem szakemberek által fordított könyveket sem szakmai sem nyelvi lektorálásnak nem vetették alá, így a terminushasználat sem volt mindig megfelelő. A műszaki felsőoktatásban jól használható kézikönyvek és zsebkönyvek kiadása is szinte teljesen megszűnt, jelenleg csak néhány szakmának van korszerűsített formában elérhető „összefoglaló” szakirodalma.

## **5. A magyar nyelvű műszaki terminusok használatának jelenlegi helyzete**

Mivel az utóbbi, közel két évtizedben szinte minden olyan tényező szerepe meggyengült, amelyek korábban segítették az egységes és szabványos terminushasználatot, ma több területen is jelentős problémák mutatkoznak.

A szaknyelv és a szakfordítás oktatása nagyon nehéz anélkül, hogy a hallgatók megfelelő szakszótárakat és terminológiai adatbázisokat tudnának használni. Jelenleg a felsőoktatásban a hallgatók egyáltalán nem férhetnek hozzá a magyarra lefordított szabványokhoz vagy az azokból készült kivonatokhoz. A tanulmányaik során használt magyar nyelvű szakirodalomban sem egységes a terminushasználat. Az interneten olvasott egyéb szakszövegekben is gyakran bizonytalan a szakkifejezések használata.

A cégeknél és profi fordítóirodáknál végzett fordítási feladatok esetén a fordítók cégspecifikus terminológiai adatbázist építenek, amihez a műszaki szakemberektől kapnak segítséget. Ezek lehetnek jól felépített adatbázisok, amikhez azonban külső felhasználók nem férhetnek hozzá. Problémát jelenthet az is, hogy ezek a cégspecifikus adatbázisok egy ugyanabban az iparágban tevékenykedő másik cég fordítandó szövegeinél nem mindig használhatóak.

A szakemberek közötti szakmai kommunikációt is megnehezítheti időnként a megfelelő magyar nyelvű terminusok hiánya. Ilyenkor, különösen szóbeli kommunikáció esetén, a beszélgető partnerek a már ismert idegen nyelvű terminust illesztik a magyar mondatba. Ez azonban azt jelenti, hogy a magyar műszaki szaknyelv egy idő után nem képes megfelelően lépést tartani a gyors műszaki fejlődéssel.

Egyfajta sajátos nemzetközi terminológiának tekinthető a többnyire szabványos számjelölések használata az írott és a be-

szélt műszaki nyelvben, pl. anyagok, hegesztési és rokon eljárások, valamint anyagfolytonossági hiányok esetében. A számjelölések használata tömörebbé és egyértelműbbé teszi a szakmai kommunikációt.

## 6. Következtetések

Ha a magyar nyelvű műszaki terminológia jelenlegi rossz helyzete ellen tenni szeretnénk valamit, akkor először a szabványosítás és a műszaki szótárak területén kell nagy lépésekkel előre haladni.

Szükséges lenne minél több szabványt lefordítani magyarra. A fordításokat az adott terület szakembereinek kellene végeznük, az elvégzett fordításokat minden esetben lektorálni kellene. Ennek eredményeként kialakulna az egyes szakterületek szabványos terminológiája. Ebben a munkában fontos szerepet kellene vállalnia a Magyar Mérnöki Kamarának.

Az új szabványfordításokban található szabványos terminusok jelenthetnék a kiindulást egy olyan terminológiai adatbázis összeállításához, amelynek segítségével állandóan fejleszthető és online elérhető műszaki szótárt lehetne szerkeszteni. Ez a műszaki szaknyelv használatának minden területén, de különösen a szaknyelvoktatásban és a szakfordítók képzésében nagy segítséget jelentene.

Amíg azonban ezek a segédeszközök az oktatásban nem állnak rendelkezésre, más módszerekkel is segíteni kell a hallgatók munkáját. Egyik lehetséges módszer a szükséges terminusok kinyerésére a párhuzamos szövegek használata. Ezek olyan, eredetileg magyar nyelven született szövegek, amelyek az adott szakterületen használt magyar nyelvű terminusokat használják. Ilyenkor mindig fel kell hívni a hallgatók figyelmét arra, hogy csak „megbízható” forrásból használjanak szövegeket, pl.

szakkönyveket, egyetemi jegyzeteket vagy egyetemi előadások diáit.

Másik módszerként hasznos lehet német-magyar nyelvpárban, ha a hallgatókat megismertetjük az összetett német műszaki terminusok értelmezési lehetőségeivel, illetve a magyar terminusalkotási hagyományokkal. Ahhoz azonban, hogy ezzel a módszerrel eredményeket lehessen elérni, hosszabb idő szükséges. [9]

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Pónyai Gy.: Szabványosítás és terminológia. *Magyar terminológia*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2010., 3. kötet 1. szám, 4-5.
- [2] <http://dokutar.omikk.bme.hu/collections/mee/fajlok/1923-8-8.pdf>
- [3] <http://dokutar.omikk.bme.hu/collections/mee/fajlok/1937-364-376.pdf>
- [4] Zabóné Varga I.: A műszaki terület terminológia-politikája. In: Híres-László K., Karmacs Z., Márku A. (szerk.): *Nyelvi mítoszok, ideológiák, nyelvpolitika és emberi jogok Közép-Európában elméletben és gyakorlatban*. Tinta Könyvkiadó, II. Rákóczi Ferenc Kárpátaljai Magyar Főiskola Hodinka Antal Intézete, Budapest-Beregszász, 2011, 473-475.
- [5] Nagy E., Klár J.: *Magyar–német műszaki szótár*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1992., VI.
- [6] Horváth J, Makk A. Tartsay V.: *Hogyan írjunk, szerkesszünk műszaki könyvet?*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982., 57. oldal
- [7] Fóris Á.: *Hat terminológia lecke*, Lexikográfia Kiadó, Pécs, 2005., 24. oldal
- [8] Galinski, Ch., Weissinger R.: Terminológiai szabványosítás és fordítási szabványok. *Magyar Terminológia*, Akadémiai Kiadó, Budapest, 2010., 3. kötet 1. szám, 11. oldal
- [9] Zabóné Varga I.: *Műszaki szövegek fordításának terminológiai problémái német–magyar nyelvpárban járműipari szövegek alapján*. Disszertáció, Budapest, 2015., 101-108.

## SZERZŐK JEGYZÉKE

## LIST OF AUTHORS

### A, Á, B

ANDRÁS József 15  
BITAY Enikő 67  
BODNÁR István 21  
BOTOȘ Marius Lucian 31, 39

### C, CS

CHIRA Alexandru 61

### D, E, É, F

FORGÓ Zoltán 45

### G, GY

GOBESZ Ferdinánd-Zsongor 31, 61

### H, I, J

HOLLANDA Dénes 75  
ISKI Patrik 21

### K

KISFALUDI-BAK Zsombor 31, 39  
KÓNYA János 51  
KOVÁCS József 15  
KOVÁCS Tünde 85  
KULCSÁR Klaudia 51

### L, M, N, O

LIBOTEAN Dan Alexandru 61  
MÁRTON László 67  
MÁTÉ Márton 75  
NYIKES Zoltán 85

### P, R

PÁSZTOR Judit 45

### S, SZ

SKRIBANEK Ádám 21  
SOÓS Noémi Rita 89  
SOÓS Ödön János 89

### T

TALPAS János 67  
TOKODY Dániel 85  
TOLVALY-ROȘCA Ferenc 45

### U, V, Z

ZABÓNÉ VARGA Irén 95