

MTK

15.

MŰSZAKI  
TUDOMÁNYOS  
KÖZLEMÉNYEK



2021

**MTK 15.**

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

Balázs Gergely György (Budapest)  
Bitay Enikő (Kolozsvár/Marosvásárhely)  
Czigány Tibor (Budapest)  
Dávid László (Marosvásárhely)  
Diószegi Attila (Jönköping, Sweden)  
Diós Szabolcs (Debrecen)  
Dobránszky János (Budapest)  
Domokos József (Marosvásárhely)  
Dusza János (Kassa)  
Egyed-Faluvégi Erzsébet (Marosvásárhely)  
Erdei Timotei István (Debrecen)  
Forgó Zoltán (Marosvásárhely)  
Gobesz Ferdinánd-Zsongor (Kolozsvár)  
Keczáné Üveges Andrea (Debrecen)  
Kiss Zoltán (Budapest)  
Kovács Tünde (Budapest)  
Kovács Zsolt Ferenc (Budapest)  
Kővári Attila (Dunaújváros)  
Máté Márton (Marosvásárhely)  
Nagy Tibor (Budapest)  
Orbán György (Kolozsvár)  
Pokorádi László (Budapest)  
Réger Mihály (Budapest)  
Réti Tamás (Budapest)  
Rigó Petra Renáta (Budapest)  
Roósz András (Budapest)  
Szántó Attila (Debrecen)  
Talpas János (Kolozsvár)  
Tolvaly-Rosca Ferenc (Marosvásárhely)  
Truzsi Alexandra (Debrecen)

**ISSN 2393 – 1280**

# MŰSZAKI TUDOMÁNYOS KÖZLEMÉNYEK

15.

Szerkesztette / Edited by  
BITAY ENIKŐ – MÁTÉ MÁRTON



ERDÉLYI MÚZEUM-EGYESÜLET  
Kolozsvár  
2021

A kötet megjelenését támogatta a Magyar Tudományos Akadémia,  
a Bethlen Gábor Alapkezelő Zrt., a Communitas Alapítvány,  
az EME Műszaki Tudományok Szakosztálya

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



Copyright © a szerzők/the authors, EME/TMS 2021

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

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

Kiadó/Publisher: Erdélyi Múzeum-Egyesület  
Felelős kiadó/Responsible Publisher: Biró Annamária  
Szerkesztette/Edited by: Bitay Enikő, Máté Márton  
Olvasószerkesztő/Proofreader: András Zselyke (magyar), David Speight (english)  
Műszaki szerkesztő/DTP: Szilágyi Júlia  
Borítóterv/Cover: Könczey Elemér

Nyomdai munkálatok/Printing-work  
F&F International Kft. Kiadó és Nyomda, Gyergyószentmiklós  
Ügyvezető igazgató/Manager: Ambrus Enikő  
Tel./Fax: +40-266-364171

online elérhető/online available at:  
<https://eme.ro/publication-hu/mtk/mtk-main.html>  
DOI: 10.33895/mtk-2021.15

## TARTALOM

<b>Bekő Bálint, Gáti József, Némethy Krisztina</b> <i>Hegesztőrobotok telepítésének biztonsági kérdései</i> .....	1
<b>Bitay Enikő, Bagyinszki Gyula</b> <i>Oktatási anyagok és didaktikai eszközök a mérnökképzési gyakorlatokban</i> .....	7
<b>Darvay Zsolt, Füstös Ágnes</b> <i>Prediktor-korrektor belső pontos algoritmus az általános lineáris komplementaritási feladatra</i> .....	11
<b>Darvay Zsolt, Orbán Attila-Szabolcs</b> <i>Súlyozott lineáris komplementaritási feladatok teljes Newton-lépéses algoritmusának implementációja</i> .....	15
<b>Györkovács István, Forgó Zoltán</b> <i>Bemutató céljára épített mechatronikai rendszer fejlesztése</i> .....	19
<b>Hodgyai Norbert, Tolvaly-Roşca Ferenc, Máté Márton</b> <i>Klasszikus és módosított fogtőgörbe összehasonlító vizsgálata</i> .....	25
<b>Ilyés Szilárd, Pásztor Judit</b> <i>A szorítóújjas burgonyaültető gép adagolórendszerén a burgonyára ható erővektorok vizsgálata</i> .....	33
<b>Józsa Roland Osszián, Erdei Timotei István, Kapusi Tibor Péter, Tóth Szabolcs, Husi Géza</b> <i>MP-9S ipari manipulátor anyagmozgatási és selejtezési feladatok ellátása ipari környezetben</i> .....	38
<b>Katona Mihály, Kiss Péter</b> <i>Állandó mágneses szikrongép szabályozó körének vizsgálata Simulink-környezetben</i> .....	43
<b>Kelemen Orsolya, Bodnár Ildikó, Izbékiné Szabolcsik Andrea</b> <i>Komplex kezelési eljárás kidolgozása háztartási mosóvizék újrahatszósításához</i> .....	48
<b>Korsoveczki Gyula, Bencsik Balázs, Husi Géza</b> <i>CPVC-könyökidomok optikai ellenőrzése és a gyártási folyamat hibadiagnosztikája</i> .....	56

**Kovács Márk, Johanyák Zsolt Csaba**

*Összehasonlító elemzés a natív iOS- és Cross-Platform iOS-alkalmazás-fejlesztésről ...* 61

**Kun Krisztián, Sárkány Tamás**

*Aktív aerodinamikai rendszer fejlesztése verseny-motorkerékpárhoz .....* 65

**Máté Péter, Szekrényes András**

*Vékony lemez görbületének mérése digitális képfeldolgozás segítségével .....* 71

**Meisel Ádám, Tóth K. Brigitta, Lakatos Éva**

*Csirkeér mechanikai vizsgálata egyedi építésű kísérleti berendezéssel .....* 76

**Nemes-Károly István, Kocsis György, Szabó Gábor**

*Újszerű fém-polimer válllüzületi implantátum fejlesztése .....* 80

**Pál Krisztina, Izbékiné Szabolcsik Andrea, Bodnár Ildikó, Bellér Gábor**

*Szintetikus fürdővizek kezelésének és csíranövényekre gyakorolt hatásának elemzése .....* 87

**Saadah Alaa, Husi Géza**

*Hat szabadságfokos robotkarprototípus-modellezés Matlab által .....* 94

**Szántó Attila, Décsei Roland, Kujbus Márton, Fejes Levente, Papcsák Nóra, Sziki Gusztáv Áron**

*Elektromos motorok elektromágneses és dinamikai jellemzőinek mérésére alkalmas mérőrendszer tervezése .....* 99

**Tóth András József, Schmidt Szilvia**

*Oldószeranyag hatékony regenerálásának módja: extraktív heteroazeotróp desztilláció .....* 103

**Kisfaludi-Bak Zsombor**

*Folyón történő olajszenyezések és aktuális megoldási módszer vizsgálata .....* 108

**SZERZŐK JEGYZÉKE .....** 112

## CONTENT

<b>Bálint BEKŐ, József Gáti, Krisztina Némethy</b> <i>Safety Issues Concerning Installation of Welding Robots</i> .....	1
<b>Enikő Bitay, Gyula Bagyinszki</b> <i>Educational Materials and Didactic Tools in Engineering Training Practices</i> .....	7
<b>Zsolt Darvay, Ágnes Füstös</b> <i>Predictor-Corrector Interior-Point Algorithm for the General Linear Complementarity Problem</i> .....	11
<b>Zsolt Darvay, Attila-Szabolcs Orbán</b> <i>Implementation of the Full-Newton Step Algorithm for Weighted Linear Complementarity Problems</i> .....	15
<b>István Györkovács, Zoltán Forgó</b> <i>Development of a Mechatronic System for Demonstration Purposes</i> .....	19
<b>Norbert Hodgyai, Ferenc Tolvaly-Roşca, Márton Máté</b> <i>A Comparison between a Classical and a Modified Root Fillet</i> .....	25
<b>Szilárd Ilyés, Judit Pásztor</b> <i>Investigation of the Force Vectors Acting on the Potato in the Clamping Finger Type Dosing System of a Potato Planter</i> .....	33
<b>Roland Osszián Józsa, Timotei István Erdei, Tibor Péter Kapusi, Szabolcs Tóth, Géza Husi</b> <i>MP-9S Industrial Manipulator Handling and Scrapping Tasks in Industrial Environments</i> .....	38
<b>Mihály Katona, Péter Kiss</b> <i>Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor in Simulink</i> .....	43
<b>Orsolya Kelemen, Ildikó Bodnár, Andrea Izbékiné Szabolcsik</b> <i>Development of a Complex Treatment Process for Recycling Household Laundry Water</i> .....	48
<b>Gyula Korsoveczki, Balázs Bencsik, Géza Husi</b> <i>Optical Inspection of CPVC Fitting Elbows and Fault Diagnosis of the Production Process</i> .....	56



**Márk Kovács, Zsolt Csaba Johanyák***Comparative Analysis of Native and Cross-Platform iOS Application Development* ..... 61**Krisztián Kun, Tamás Sárkány***Development of an Active Aerodynamic System for a Racing Motorcycle* ..... 65**Péter Máté, András Szekrényes***Curvature Measurement of Thin Plates with the Help of Digital Image Processing* ..... 71**Ádám Meisel, K. Brigitta Tóth, Éva Lakatos***Mechanical Examination of Chicken Vessel with Custom-Built Experimental Equipment* ..... 76**István Nemes-Károly, György Kocsis, Gábor Szabó***The Development of a New Shoulder Joint Prosthesis System* ..... 80**Krisztina Pál, Andrea Izbékiné Szabolcsik, Ildikó Bodnár, Gábor Bellér***Analysis of the Treatment of Synthetic Bathing Waters and Their Effects on Seedlings* ..... 87**Alaa Saadah, Géza Husi***Six DOF Robotic Arm Prototype Modelling By Matlab* ..... 94**Attila Szántó, Roland Décsei, Márton Kujbus, Levente Fejes, Nóra Papcsák, Gusztáv Áron Sziki***Design of a Measuring System Suitable for Measuring the Electromagnetic and Dynamic Characteristics of Electric Motors* ..... 99**András József Tóth, Szilvia Schmidt***Method for Efficient Regeneration of Solvent Mixture: Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation* ..... 103**Zsombor Kisfaludi-Bak***Analyses of River Oil-Spills and Actual Solving Methods* ..... 108**LIST OF AUTHORS** ..... 112

# Hegesztőrobotok telepítésének biztonsági kérdései

## Safety Issues Concerning Installation of Welding Robots

Bekő Bálint,<sup>1</sup> Gáti József,<sup>2</sup> Némethy Krisztina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, [bekob.main@gmail.com](mailto:bekob.main@gmail.com)

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Anyag- és Gyártástudományi Intézet Budapest, Magyarország, [gati@uni-obuda.hu](mailto:gati@uni-obuda.hu)

<sup>3</sup> IBS, Budapest, Magyarország, [knemethy@ibs-b.hu](mailto:knemethy@ibs-b.hu)

### Abstract

The aim of this research is to summarize the safety measures related to the application of welding robots, as well as to apply them in the ÓE-Cloos Robot Welding Laboratory of Bánki Faculty at Óbuda University. This article describes the safety requirements for welding robot systems, the requirements for commissioning and safe operation. The concluding part of the dissertation presents the preparation and implementation of the installation of a new robot cell in the laboratory.

**Keywords:** *welding, welding robot, welding robot operation, welding robot installation.*

### Összefoglalás

A tudományos munka célja a hegesztőrobotok alkalmazásához köthető biztonsági intézkedések összegzése, valamint mindezek alkalmazása az Óbudai Egyetem Bánki Karának ÓE-Cloos robothegesztő laboratóriumában. A cikk bemutatja a hegesztő robotrendszerekkel szemben támasztott biztonsági követelményeket, az üzembe helyezés, valamint a biztonságos üzemeltetés követelményeit. A dolgozat befejező része a laboratóriumba új robotcella telepítésének előkészítését és megvalósítását mutatja be.

**Kulcsszavak:** *hegesztés, hegesztőrobot, robot-üzemeltetés, telepítés.*

## 1. A hegesztőrobotok alkalmazása

Az összes robotalkalmazási terület között a hegesztés igen jelentős arányt képvisel: 2010-ben a világon üzemelő több, mint egymillió ipari robot 30%-a hegesztőrobot, a 2010-es robotértékesítéseknek pedig 26%-a volt hegesztőrobot. A hegesztőrobot-alkalmazáson belül a két meghatározó területet az ellenállás-ponthegesztés és a huzalelektrodás, védőgázos ívhegesztés jelenti. A két eljárás nagyjából fele-fele arányban oszlik meg, az utóbbi években az arány kismértékben az ívhegesztés felé helyeződik át [1]. Napjainkban egyre több vállalatnak nyílik lehetősége hegesztőrobot alkalmazására. Beszerzésük legfőbb indokát a tömeggyártásban kell keresnünk: a termékeknek az egyre növekvő igényeknek kell megfelelniük, mind darabszámot, mind a minőséget illetően.

A tömeggyártást gazdaságosabbá teszi a hegesztőrobot alkalmazása. A robot megfelelő alkalmazásához elengedhetetlen, hogy a munkafolyamatra könnyen lehessen programozni: pontról pontra kell betanítani azokat a kitüntetett pontokat, melyeken keresztül kell majd a robotnak az egyes pontokban megadott – pontvezérlésű vagy valamilyen pályavezérlésű – pályán haladni.

A robotprogramozás két nagy csoportra osztható.

- Az online programozás során magát a robotot programozzák, ami megköveteli a robot jelenlétét: a robotot, vagy annak modelljét mozgatva tanítják be a hegesztőfej által bejárando útvonalat.
- Az offline programozás alatt a gyártási folyamatot nem kell megszakítani, a programozás számítógéppel történik, ily módon azt a többlet gyártási időt lehet megtakarítani, amit a betanítás jelentene.

## 2. A hegesztőrobotok telepítésének kritériumai

Általános rendelkezésként a gépekkel összefüggő követelményeket „Az Európai Parlament és a Tanács 2006/42/EK irányelve a gépekről” fogalmazza meg [2]. A gépi berendezések, így a hegesztőrobotok telepítésére, üzemeltetésére nemzetközi előírások, szabványok és hazai rendeletek vonatkoznak, melyeket a munkavédelmi üzembe helyezés kritériumainál összesítettünk.

### 2.1. A robot elhelyezése

A megfelelő robot kiválasztását követően a specifikációk ismeretében szükséges felmérni a robot telepítésének lehetséges helyét. A telepített hegesztőmunkahely alapterülete legalább 4 m<sup>2</sup> az előírás szerint [3]. A telepítési hely kiválasztását nagymértékben befolyásolja a robot mozgástartománya, a munkaterülete. Napjaink korszerű programozási módszerei lehetővé teszik, hogy a robotok alapkonfigurációjának tartalmát korlátozzák, akár különböző komponensek letiltásával, így a munkaterület is testre szabható szoftveres biztonsági alkalmazással. A robot miatt közvetlen veszélyben lévő terület nagyságát a gyári katalógusok megadják, a gépkönyvek tartalmazzák.

### 2.2. Helyiség

Miután a kiválasztott helyszín megfelel a területi alapkövetelménynek, további szempontokat kell megvizsgálnunk, nem csak munka- és munkaegészségügyi, hanem ergonómiai elvek alapján is. A helyiség megvilágításának az adott munkához szükségszerűen meg kell felelnie, de minden esetben meg kell haladja a 300 luxot. Ez az alsó határa a megfelelő megvilágításnak, mely még nem károsítja az emberi szem egészségét. Amennyiben természetes megvilágítása is van a helyiségnek, úgy kötelező az ablaküveget védőfóliával kell ellátni [4]. Megvizsgálandó a födém teherbíró képessége is, ugyanis a robot és a vele együtt telepítendő perifériák, kiszolgáló egységek, a munkadarabok tömege, valamint az azokat kiszolgálókkal együttesen jelentős terhelést képviselnek. Amennyiben kielégítő állapotú a födém, a következő elem a burkolat vizsgálata, melynek csúszásmentes, nem éghető anyagból kell készülnie; egyenletes padozat kialakítása az előírás. Amennyiben a robot üzemeltetésével együtt járó zajhatás a munkavégzés közben nem haladja meg a 85 dB értéket, úgy nem szükséges külön hangszigetelést biztosítani, viszont minden más esetben gondoskodni kell róla.

### 2.3. Elhatárolás

A telepítendő robotrendszer egyes elemeinek specifikációja ismeretében kell meghatározni a mechanikai biztonság összetevőit. Ezek egyik meghatározó eleme a robotrendszer működési határainak meghatározása, amit nagymértékben befolyásol a rendszer egyes elemeinek elrendezése, a robot mozgástartománya, a munkaterülete. A hegesztőrobotok, robotállomások telepítése során megfelelő elkerítésről kell gondoskodni, hogy a berendezést üzemeltető, illetve bármely személy véletlen vagy szándékosan a robot munkaterébe kerülve, ne szenvedjen sérülést. Ennek egyik lehetséges módja a mechanikai biztonsági elkerítés kialakítása. A kerítés lehet rácsos vagy telifalás kivitelű, mely kialakítás egyben biztosíthatja az ívfény elleni védelmet. A térelhatároló elem, illetve a padló között az előírások szerint 150 mm-es légrést szükséges biztosítani [3]. A hegesztéssel óhatatlanul együtt járó fröcskölés veszélyezteti a robot perifériákat és a hegesztőkészüléket is. Emellett a hegesztés során keletkezett salak, illetve izzó fémrészecske a munkaterületen tüzet okozhat. Elengedhetetlen a munkaterületen használt, a munkaterülethez tartozó eszközök biztonságos elhelyezése, a robot energiaellátását biztosító kábelek, vezetékek megfelelő elhatárolása, takarása. Érintésvédelmi vizsgálat elvégzése is szükséges, melyet csak szakember végezhet.

### 2.4. Ívfény elleni védelem

Az elhatárolás című alfejezetben már szóba került az ívfény elleni védelem szükségessége, valamint annak fontossága. A hegesztéskor keletkező ívfény energiája három összetevőből áll: ultraibolya sugárzás, látható fény, valamint az infravörös sugárzás. Az ibolyántúli sugárzás a szem szaruhártyájának gyulladást okozhatja. A látható sugárzás hőhatása révén károsítja a retinát, és fotokémiai folyamatok elindításával látáskárosodást okozhat. A veszélyt fokozza, hogy a káros hatás a szemben halmozódik. Az infravörös sugárzás szemet károsító hatása szintén a sugárzó hőhatás következménye. A munkavédelmi eszközök nem megfelelő, vagy használatának hiányában – szürkehályog, szaruállomány-, retina-, illetve szemlencse károsodás, sárgatest sorvadás, részleges vakság, szélső, súlyos esetben a látás teljes elvesztése – fordulhat elő. A hegesztéssel együtt járó fénysugárzás biológiai hatásának megszüntetése, illetve csökkentése érdekében a bőrfelület takarással, a szemet védőszűrő használatával óvni kell. Az alkalmazandó védőszűrő fokozatát

meghatározza a hegesztési eljárás, az áramerősség, illetve az energiaforrás intenzitása, a hozag, az alap-, és a segédanyag, valamint a környezeti megvilágítás. Általánosan elfogadott szabály, hogy nagyobb teljesítményű hőforrás, illetve kedvezőtlenebb környezeti megvilágítás esetén erősebb fokozatú szűrőt kell használni. Az ívfény elleni védelmet telilemezelt vagy olyan biztonsági védőrács kialakítása biztosíthatja, amely ívhegesztési célra alkalmas védőfüggönnyel fel van szerelve. A robotállomás kiszolgáló oldalán mobil ívfényvédelem alkalmazható, mely lehet

- pozicionálóberendezésre szerelt fényvédő fal, amely együtt fordul el a kétmunkahelyes pozicionálóberendezéssel, és a kiszolgálási oldalt munkapozícióban elválasztja a belső tértől, ahol a robot hegeszt;
- biztonsági ajtó, amely az ívfény elleni védelmet is szolgálja;
- automata fényvédő függöny, kézzel elhúzzható fényvédő függöny [5].

## 2.5. Légszűrés

A szellőztetést, a hegesztés során keletkező károsanyag elszívását biztosítani kell az ergonomikus munkavégzéshez. A hegesztőrobotoknál is megfelelő elszívó-, szűrőrendszerek alkalmazásáról kell gondoskodni, melyek kiválasztása függ a hegesztési eljárástól és a robotállomástól. Az elszívó-szűrő berendezés lehet központi elszívó-szűrő berendezés, a hegesztőfejre vagy közvetlenül mellé elhelyezett mobil elszívó, vagy a robot fölé szerelt szívóernyő. A szívóernyő elhelyezése, nagysága és kialakítása az egyedi robot vagy az adott üzemben alkalmazott robotrendszer elrendezésétől, felépítésétől függ. Az elszívó indítása és leállítás általában automatikus; kedvező, ha a robotrendszer vezérlésébe integrált [5].

## 2.6. Tűzvédelem

A helyiségben folyó munkához természetesen tűzvédelmi előírások is tartoznak. Ezeket az előírások a mindenkori hatályos jogszabályok és belső szabályzatok tartalmazzák. A kábeleket, ahol lehetséges, kábelcsatornával kell lefedni, mely megakadályozza a kábelek meggyulladását, valamint karbantartás közben, esetleg a szükséges vészleállítást követően az ellenőrző személy vagy dolgozó elesését. Amennyiben a helyiségben védőgázos hegesztést végeznek, úgy különböző gázpalackok is kerülhetnek a munkaállomás közelébe, legyen szó akár argonról vagy szén-dioxidról; a palackokat rögzíteni szükséges.

A gázokon kívül potenciális veszélyforrást jelentenek még a korábban említett izzó fémrészecskék. Ellenük a kábelek kábelcsatornával való lefedésével védekezünk. A biztonság érdekében mindenképp szükséges szén-dioxiddal oltó készüléket a helyszínen készenlében tartani. A menekülési tervet is ki kell helyezni, az útvonalat kijelölni, a kijáratot megfelelően jelezni, nyitva tartásukról, vagy nyithatóságukról gondoskodni.

## 3. A hegesztőrobot üzembe helyezése

A robot telepítését követően a munka csak úgy kezdődhet meg, hogyha a munkavédelmi üzembe helyezés megtörtént. Az eljárás során a munkavédelmi, tűzvédelmi szakember megvizsgálja, hogy a robot megfelelősége igazolt-e, valamint azt, hogy a korábban kifejtett szempontoknak eleget tett-e a munkáltató. A munkáltatónak kötelező egy működési és üzemi szabályzatot létrehoznia. A hegesztőrobot kezeléséhez szükséges egy hegesztőrobot-programozói jogosítvány megszerzése, ami tanfolyam keretein belül zajlik. Az üzembe helyezési jegyzőkönyvnek tartalmaznia kell

- az üzembe helyezés időpontját;
- a robot gyártási számot;
- a műszaki, biztonsági feltételeket tételesen;
- a hatósági engedélyeket;
- a beruházott eszközzel kapcsolatos összes anyagi kötelezettségvállalást (pl. logisztikai díjak);
- a várható élettartamot;
- az átvevő gyár, gyár részleg nevét, felelősségvállaló személyét;
- az átvétel időpontját [6].

A robot programozási-, az alkalmazott a munkadarab pozicionáló szerelési útmutatója tartalmazza a biztonsági utasításokat, a karbantartással kapcsolatos információkat, emellett meghatározza az egyes alkatrészek várható élettartamát, valamint az időszakos csere idejét.

A karbantartást, javítást csak szakirányú képzéssel rendelkező, valamint erre felhatalmazott személy végezheti a gyártó által kibocsátott használati utasítás alapján [4]. Ettől függetlenül a felhasználótól elvárható, hogy ne legyen teljesen laikus a robotokkal kapcsolatos előírások tekintetében, hiszen a belső képzéseknél vagy fellépő problémák esetén ismernie kell a protokollokat. Az időszakos ellenőrzés során vizsgálni kell,

- a robot felületét, sérülések keresése céljából;
- a villamos kábeleket;
- a védőgázos hegesztés során az ellátó vezeték;
- az áramellátó berendezést;

- a vészleállítót;
- a programozó felület megfelelő működését;
- a munkadarab-befogók, a célberendezések állapotát [4].

A karbantartást vagy javítást követően az üzembe helyező nem vonható felelősségre hiba esetén, ugyanis a karbantartással vagy javítással megbízott személynek hivatalos, dokumentált formában kell nyilatkoznia az általa végzett tevékenységről. A karbantartási jegyzőkönyv hitelessége teljes mértékben a hitelesítő felelőssége.

### 3.1. A munkavédelmi üzembe helyezés kritériumai

Egy hegesztő robotrendszer használatára vonatkozó követelményeket a munkavédelemre vonatkozó törvény előírásából, valamint a Hegesztési és Biztonsági Szabályzatból lehet levezetni [7]. A munkavédelmi törvény 18. §. (3) bekezdése szerint: „Munkaeszközt üzembe helyezni, valamint használatba venni csak abban az esetben szabad, ha az egészséget nem veszélyeztető, és biztonságos munkavégzés követelményeit kielégíti, és rendelkezik az adott munkaeszközhöz, mint termékre vonatkozó, külön jogszabályokban meghatározott EK megfelelőségi nyilatkozattal, illetve megfelelőséget tanúsító egyéb dokumentummal (pl. tanúsítvány).” [7] E tekintetben az Európai Parlament és a Tanács 2006/42/EK irányelve [2] tartalmazza a meghatározó követelményeket, összhangban a vonatkozó MSZ EN ISO szabványokkal, melyek a következők

- MSZ EN ISO 12100:2011 Gépek biztonsága. A kialakítás általános elvei. Kockázatértékelés és kockázatcsökkentés;
- MSZ EN ISO 10218-1:2011 Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 1. rész: Robotok;
- MSZ EN ISO 10218-2:2011 Robotok és robotszerkezetek. Ipari robotok biztonsági követelményei. 2. rész: Robotrendszerek és összehangolásuk;
- MSZ EN ISO 13857:2020 Gépek biztonsága. Biztonsági távolságok a veszélyes terek felső és alsó végtaggal való elérésének megakadályozására/megelőzésére;
- MSZ EN ISO 13850:2016 Gépek biztonsága. Vészleállítás. Tervezési alapelvek.
- Hegesztő robotrendszerek munkavédelmi üzembe helyezése során a megfelelőség értékelése ki kell, hogy terjedjen a hegesztéssel járó veszélyek kockázatának kezelésére is [5]. Ez azt jelenti, hogy a hegesztés során a robotrendszer

minimum két, alkalmazás szempontjából elkülönülő egységből épül fel, úgymint

- a hegesztőpisztoly és/vagy a munkadarab összehangolt mozgására szolgáló gépi berendezésből (robot, illetve manipulátor), melynek ki kell elégítenie a gépekről szóló 2006/42/EK irányelvet és az ennek megfelelő harmonizált magyarországi jogszabályt, a 16/2008. (VIII. 30. NFGM) rendelet követelményeit;
- ívhegesztő berendezésből, melynek meg kell felelnie a kifeszültségtől villamos termékekre (LVD) és az elektromágneses kompatibilitásra (EMC) vonatkozó direktívának, a vonatkozó harmonizált szabványok követelményeinek, illetve a hegesztő munkaeszközökre vonatkozó követelményeknek, így a Hegesztési Biztonsági Szabályzatnak (HBSZ) [7].

Az ívhegesztő berendezésekre vonatkozó hatályos EU-s irányelvek:

- 2014/35/EU – LVD Kifeszültségtől villamos termékek;
- 2014/30/EU EMC Elektromágneses zavart okozó berendezés.

A vonatkozó szabványok:

- MSZ EN 60204-1:2006 Gépi berendezések biztonsága. Gépek villamos szerkezetei. 1. rész: Általános követelmények;
- MSZ EN IEC 61000-6-2:2019 Elektromágneses összeférhetőség (EMC). 6-2. rész: Általános szabványok. Az ipari környezet zavartűrése;
- MSZ EN 61000-6-4:2007/A1:2011 Elektromágneses összeférhetőség (EMC). 6-4. rész: Általános szabványok. Az ipari környezetek zavarkibocsátási szabványa;
- MSZ EN IEC 60974-1:2019 Ívhegesztő berendezések. 1. rész: Hegesztő áramforrások;
- MSZ EN 60974-10:2008 Ívhegesztő berendezések. 10. rész: Elektromágneses összeférhetőségi (EMC) követelmények.

Annak érdekében, hogy a hegesztő robotrendszer forgalomba hozható legyen, a gyártónak el kell látnia CE-jelöléssel, mely igazolja, hogy a robotrendszer (az előzőekben jelzett mindkét elkülönült egysége) megfelel a vonatkozó valamennyi előírásnak.

## 4. Óbudai Egyetem – Cloos robothelesztő állomás kialakítása

### 4.1. Előzmények

2009. október 26-án az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kara a Crown International Kft. CLOOS-képviselével való eredményes együttműködést követő-

en robothegesztő laboratóriummal gazdagodott. A megfogalmazott cél, a modern ipari eszközök bemutatása az oktatásban, valamint a kutatások elősegítése volt. A Népszínház utcai épületben kialakított és üzemelő robothegesztő állomás működtetéséhez a Crown International Kft. az elmúlt 10 évben folyamatosan rendelkezésre bocsájtott új, komplett robothegesztő cellát és gondoskodott azok üzemeltetéséről.

## 4.2. Új robotrendszer telepítése

2019-ben a korábbi korszerűsítési folyamatok folytatásaként a CROWN International Kft. új hegesztő robotrendszer adományozását irányozta elő, melynek telepítési feladatait előkészítettük. Az új telepítéssel további lehetőség nyílik a képzési és kutatási potenciál erősítésére, annak érdekében, hogy a kar meg tudja felelni a gazdaság elvárásainak, az Ipar 4.0, a digitalizáció kihívásainak. A kar képzési programjában, a gépészmérnöki, a mechatronikai mérnöki szak tananyagában fontos szerepet kapnak a robotrendszerek, a robotizált gyártás, a robottechnikai alkalmazások. Az új hegesztőrobot és perifériái átvételével a robotállomás felügyeletét ellátó Anyag- és Gyártástudományi Intézet Anyagtechnológiai Intézeti Tanszék közreműködésünkkel megkezdte az előkészületeket a telepítési terv elkészítésére, a robotállomás kialakítására, a biztonságos üzemeltetési feltételek megteremtésére. Funkcióját tekintve a robotrendszer bemutató laboratóriumi célokra szolgál a gépészmérnöki, a mechatronikai mérnöki szakos, valamint a nemzetközi hegesztőmérnök és hegesztőtechnológus hallgatók részére, emellett ellát kutatási feladatokat, eszközrendszerével kapcsolódik a TDK-, valamint a diplomafeladatok kutatási feladataiba. Ezen túlmenően a CLOOS magyarországi képviselője oktatásokat is szervez a partnerek, alkalmazottak és a Kar hallgatói számára. A helyiség a kar „A” épületrészéből nyílik, nagy belmagasságú, mindkét ablaka az udvarra néz. A padlózata a munkavégzéshez megfelelő, elegendő fényt biztosított az ergonomikus munkavégzéshez. A CROWN International Kft. az alábbi berendezéseket biztosította az új robotállomás kialakításához:

- QRC-290 robotkar;
- Quineo Next 452 DC áramforrás;
- QC9 Basic Quriox Controller;
- WP-TS forgatható és billenthető manipulátor.

A berendezések átvételét követően az 2. fejezetben leírt szabályozások és szempontok figyelembevételével történt a telepítés előkészítése és megvalósítása.

A robot elhelyezése során figyelembe kellett vennünk munkaterületét, valamint azt is, hogy 360 fokban képes a mozgásra. A hely mérete és adottságai miatt a falhoz közel kellett telepíteni, így mindenképpen indokolttá vált a robot munkaterének szoftveres lehatárolása. A laboratórium bemutató funkciója miatt is kiemelten fontos szempont volt a robot megfelelő elhatárolása. Praktikus okokból egy rácsos elkerítés tolókapuval kerül kialakításra. Az elkerítés tervezése során az alábbi kritériumokat határoztuk meg a rendelkezésre álló szűk terület miatt

- a tolókaput úgy kell megtervezni, hogy mindkét szárnya betolható legyen a 600 mm méretű fallem mögé, mellyel az anyagvastagságot és az ütközők méretét leszámítva 1100–1200 mm-es nyílás biztosítható legyen;
- a vezérlőszekrénynél sarkos letérés kialakítása a vezérlőszekrény tetejére, melynek mérete 1350 mm magasságú (a keret magasságával egyező) és 1000 mm szélességű legyen.

Az ívfény elleni védelem kialakítása során lehetőség lett volna a teli falú kerítésnél és a tolókapuknál munkaablak elhelyezésére, de a mun-



1. ábra. A telepített robotrendszer részlete a hegesztőrobottal, az áramforrással

kafolyamat alatti jobb megfigyelési lehetőség biztosítása érdekében a rácsos kivitel mellett döntöttünk. A megfelelő védelmet automatikus sötétedésű fejpajzs alkalmazásával biztosítjuk.

A laboratórium egyidejűleg egyedi kísérleti vagy kiscsoportos foglalkozások lebonyolítására alkalmas. Az ívfény elleni védelem biztosítása érdekében szükségessé vált az udvarra nyíló, földszinti helyiség ablakai megfelelő fokozatú sötétítőfóliával történő bevonása is. A keletkező hegesztési füstök elszívásához a már korábban beszerzett KEMPER, 1700 m<sup>3</sup>/h teljesítményű légelszívó berendezés áll rendelkezésre állt, melynek használata előtt felvettük a kapcsolatot a gyártó céggel, kérve a berendezés hitelesítését, valamint a készülék üzembe helyezését.

A falra szerelhető, szívóernyős berendezés biztosítja a nemkívánatos gázok, gőzök és a szálló elemi részecskék eltávolítását és szűrését. A robotrendszer használata szabályozott, jogosultsághoz kötött, így biztosítható, hogy illetéktelen személyek ne juthassak be a laboratórium területére, a berendezéseket ne üzemeltethessék.

## 5. Összefoglalás

Dolgozatunkban egy robotrendszer telepítésének jogi szabályozását, európai és hazai jogszabályrendszerének bemutatását követően áttekintettük a hegesztőrobotok üzemi telepítésének

számos kritériumát, a biztonsági szabályozás lehetőségét. Az áttekintett feltételek alkalmazását az Óbudai Egyetem Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Karának Cloos Robothegeztő Laboratóriumára vonatkoztatva ismertettük. A tevékenység további célja az üzembe helyezési eljárást követően egy szabályozás létrehozása, mely összegzi a biztonságos munkavégzés kritériumait, valamint a teendőket vészhelyzet esetén.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] International Federation of Robotics Statistical Department: *World Robotics 2011 Industrial Robots*. ISBN 978-3-8163-0615-3. 13.
- [2] Az Európai Parlament és a Tanács 2006/42/EK irányelve a gépekről és a 95/16/EK irányelv módosításáról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja 2006. 06. 09.
- [3] 143/2004. (XII. 22.) GKM rendelet a *Hegesztési Biztonsági Szabályzat kiadásáról. Melléklet. 4. oldal 5.2.1.*
- [4] *Hegesztési zsebkönyv.* (szerk.: Gáti J.) Cokom Mérnökiroda Kft., Miskolc, 2003.
- [5] Farkas A.: *Hegesztőrobot-rendszerek biztonságtechnikája.* 25. Jubileumi Hegesztési Konferencia, Budapest, 2010. május 19–21.
- [6] Barabás P., Farkas A., Kérdy Á., Uzonyi S.: *Hegesztőrobotok alkalmazási határainak kibővítése korszerű módszerekkel.* XXX. Jubileumi Nemzetközi Hegesztési Konferencia, 2021. január 28–30.
- [7] 1993. évi XCIII. törvény a munkavédelemről.

# Oktatási anyagok és didaktikai eszközök a mérnökképzési gyakorlatokban

## Educational Materials and Didactic Tools in Engineering Training Practices

Bitay Enikő,<sup>1</sup> Bagyinszki Gyula<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sapiientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Marosvásárhely, Románia, [ebitay@ms.sapiientia.ro](mailto:ebitay@ms.sapiientia.ro)

<sup>2</sup> Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, Budapest, Magyarország, [bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu](mailto:bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu)

### Abstract

Educational materials are closely related to educational (didactic) tools, as they allow their preparation and presentation. The production of technical higher education (engineering training) materials or preparation can be approached from many perspectives. This article deals with some aspects of this.

**Keywords:** *education, training, didactics, materials, tools.*

### Összefoglalás

Az oktatási anyagok szoros összefüggésben vannak az oktatástechnikai (didaktikai) eszközökkel, hiszen ezen eszközök teszik lehetővé elkészítésüket, bemutatásukat. A műszaki felsőoktatási (mérnökképzési) anyagok előállítását, ill. előkészítését sokféle szempontból lehet megközelíteni. Jelen cikk ennek néhány aspektusával foglalkozik.

**Kulcsszavak:** *oktatás, képzés, didaktika, anyagok, eszközök.*

## 1. Bevezetés

Az [1]-ben foglalkoztunk a mérnökképzés oktatási módszereivel, a [2]-ben a műszaki felsőoktatás tananyag- és oktatásszervezési szempontjaira hívtuk fel a figyelmet, míg a [3]-ban a mérnökképzés gyakorlatainak szerepét, funkcióit és formáit tekintettük át. A [4]-ben pedig egy konkrét szakterületi példát választva mutattuk be a módszertani szempontokat.

A mérnökképzés tanterveiben előírt gyakorlati foglalkozások oktatási anyagai szempontjából egyik fontos tényező a helyszín, ill. a tárgyi környezet, ahol ezen anyagok felhasználásra kerülnek. Ha a gyakorlati foglalkozást olyan helyen szervezik meg, ahol az adott téma üzemi körülmények közötti bemutatása lehetséges, akkor egyszerűbb anyagok készítésével is hatékonyra tehető a bemutatás, mivel a vonatkozó dolgok „egyből élesben” szemléltethetők.

Meghatározó tényező a felhasznált eszközök, anyagok korszerűsége a képzés minősége, de az illetékes tanszék vagy intézet megítélése szempontjából is. Ehhez meg kell teremteni az anyagi feltételeket és a befogadó műszaki környezet általános és szakmai színvonalát.

Törekedni kell arra is, hogy az így elkészített oktatási anyag ne csak egyedi eseteket, hanem az adott feladat kapcsán felmerülő variánsokat is tartalmazó, univerzális taneszköz legyen. Természetesen nem elhanyagolandó szempont az esztétikus kivitel és a precíz kidolgozás sem.

Számítási, tervezési, anyagválasztási feladatok megoldását hatékonyabbá teszi, a hallgatók jobb hozzáállását elősegíti, ha az adott feladat fontosabb szakirodalma, kézikönyvei, szabvány(kivonat)ai és egyéb segédletei „könyvtárazva”, lehetőleg széleskörűen rendelkezésre állnak a foglalkozás helyszínén.



A rajzos, fényképes tablónál vagy vetített képeknél sokkal hatásosabbak lehetnek a konkrét, valódi tárgyakból (pl. egy termék közbeni gyártási állapotából) összeállított anyagok, amelyek életszerűbben (kézzel foghatóan) mutathatnak be akár folyamatokat is, nemcsak objektumokat.

## 2. Többcélú oktatási anyagok

Vannak olyan oktatásban felhasznált anyagok, amelyeket több vonatkozásban, többféle megjelenési formában is fel lehet használni. Például ilyen lehet egy anyagvizsgálati próbatest, amelyet csiszolatkészítés után fényképfelvételekhez (makroszkopikus és mikroszkopikus változatban), vagy az alkalmazott technológia (pl. felületkezelés) hatásának bemutatáshoz egyaránt fel lehet használni. Ez nem csak oktatástechnológiai kérdés, hanem gazdaságossági szempont is. Az **1. ábra** példaképpen felületkezelési technológia minősítésére szolgáló sémát mutat, melyhez az anyagvizsgálati próbatesten végezhető:

- fénymikroszkópiszövet szerkezet- és szemcseméret-vizsgálat,
- elektronmikroszkópi fázis- és ötvözőanalízis,
- mélységirányú keménységmérés.

További próbatestsorozattal – keménységmérések révén – pedig a megeresztésállóság (meleg-kopásállóság) is jellemezhető. Az **1. ábrán** bemutatott példa egyfajta kísérlettervezési ajánlasként is funkcionálhat a hallgatók részére, ha ilyen témában tudományos diákköri dolgozatot, szakdolgozatot, diplomamunkát készítenek.

Nehezen vagy túl költségesen megvalósítható folyamatoknál pedig célszerű egyidejűleg többféle dokumentálási formát alkalmazni:

- fotósorozat-készítés,
- videófilm-rögzítés,
- számítógépes adatgyűjtés,
- egyéb (az alkalmazott módszerre, ill. berendezésre speciálisan jellemző) papíron és/vagy elektronikusan rögzíthető regisztrátumok készítése.

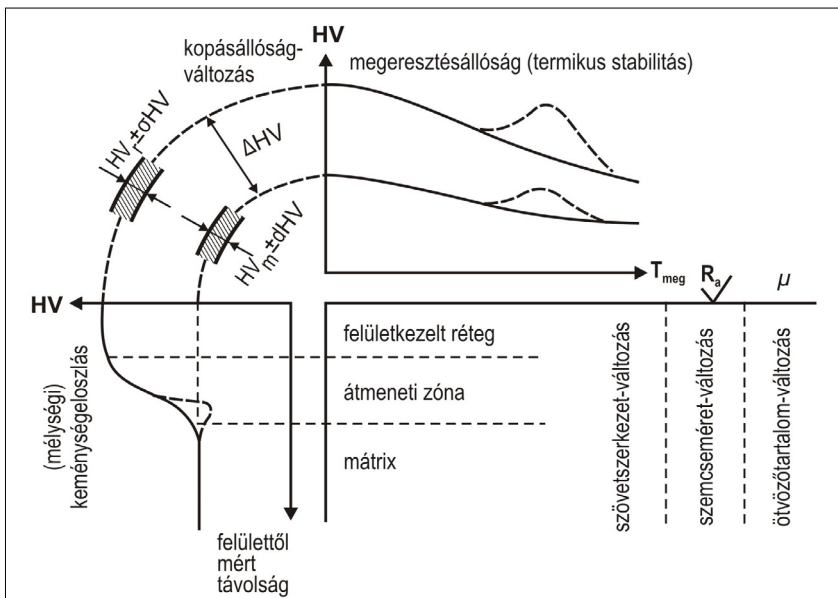
Ezt megfelelő oktatói-laboránsi kooperációval lehet megvalósítani, akik tisztában vannak azzal, hogy a folyamat mely mozzanatait kell feltétlenül rögzíteni a megfelelő kiértékeltség érdekében.

Számolási, tervezési vagy mérési kiértékelési feladatokhoz egyaránt készíthetők programok, applikációk az oktatók, a hallgatók, külső szakember vagy akár demonstrátorok által. Ilyen jellegű alkalmazásoknál a fő szempont ne a program „kidiszítése” legyen, hanem a praktikusság és a hibamentes futás.

## 3. Didaktikai eszközök és funkciók

Az oktatástechnikai (didaktikai) eszközök szempontjából a funkciókat rendszerezve, négyre szűkíthetjük a számukat. A didaktikai eszközök ugyanis fokozzák a képzési folyamat hatékonyságát, mivel megkönnyítik a tanulóknak:

- a valóság megismerését,
- a valóságra vonatkozó ismeretek elsajátítását,
- a valósághoz fűződő érzelmi viszonyok alakítását,
- a valóságot átalakító tevékenység fejlesztését.



1. ábra. Felületkezelési réteginősítés sémája

A didaktikai eszközök osztályozásainak többsége nem veszi figyelembe mind a négy funkciót. Általában a valóság megismerésére helyezik a hangsúlyt, még hozzá a látás és a hallás segítségével, amit a közismert „audiovizuális eszközök” kifejezés is tükröz. Az igazán jó didaktikai eszközök valamennyi érzékszervet igénybe veszik. A három utóbbi funkció azonban rendszerint figyelmen kívül marad, pedig megkönnyítik a hallgatók számára a valóságban való tájékozódást, ill. a valóság formálását (2. ábra) [5, 6]:

Oktatástechnikai (didaktikai) eszközök általános felosztása hat kategóriát különböztet meg:

1. Verbális eszközök (nyomatott taneszközök):

- Tanári segédletek: kézikönyvek, szakkönyvek, feladatgyűjtemények, (szak)folyóiratok, táblai szövegek és vázlatok, tantárgytesztek, bibliográfiák;
- Hallgatói segédletek, tankönyvek: kötelező és ajánlott szakirodalom, munkafüzetek, munkalapok, feladatlapok, tevékenységre vonatkozó nyomatott útmutatók, kézikönyvek, szótárak, szöveggyűjtemények, tervezési segédletek, példatárak, (szak)folyóiratok, gyakorlati (mérési) útmutatók és jegyzőkönyvi űrlapok.

2. Egyszerű vizuális eszközök:

- Tanári demonstrációs eszközök: természetes tárgyak, anyagminta-gyűjtemények, preparátumok, munkatermékek, tablók, poszterek, kísérleti eszközök, utánzatok, applikációs eszközök, taktilis (megfogható) eszközök, mérőeszközök, metszetek, próbatestek;
- Hallgatói kísérleti eszközök: manipulációs eszközök, vizsgálati eszközök, laboratóriumi készletek, modellek, applikációs eszközök, mérőeszközök.

3. Képek regisztrálását, tárolását és átadását lehetővé tevő vizuáltechnikai eszközök: fényképezőgép, mikroszkóp, endoszkóp, számítógép, adathordozó.

4. Hangok és zajok átadását lehetővé tevő auditív technikai eszközök: médialejátszók.

5. Hangot és képet egyesítő audiovizuális eszközök: kamera, médialejátszó, televízió, monitor; hangosfilmet (8, 16 és 35 mm-es) digitalizáló és archiváló eszközök.

6. Az oktatási folyamatot automatizáló eszközök: nyelvi laboratórium, számítógép, regisztráló- és sokszorosítóeszközök.

Az oktatástechnikai eszközöket (médiumokat) az alábbiak szerint rendszerezhetjük [7]:

1. Nyomatott taneszközök (könyvek, segédletek, feladatlapok).
2. Auditív információhordozók (médiafelvevők és lejátszók; hanglemezt, hangszalagot, hangkassettát digitalizálók és archiválók).
3. Információhordozók (kamerák és médialejátszók; diafilmet, keretezett diát, transzparens átvethető modellt, hangos- és némafilmet digitalizálók, ill. archiválók).
4. Audiovizuális információhordozók (internetes videócsatornák és hordozható médialejátszók, webkonferencia-platformok; hangosfilmet, hangosított diát, videólemezt, videókassettát, videómagnetofon-szalagot digitalizálók és archiválók).
5. Tanulókísérleti eszközök.
6. Tanári demonstrációs eszközök.
7. Oktatástechnikai eszközök.
8. Oktatócsomagok, távoktatási tananyagok.
9. Számítógépek és tanulást segítő szoftverek.

Didaktikai funkciók		Eszközök (példák)
A valóság megismerése	<ul style="list-style-type: none"> <li>• természetes formában</li> <li>• helyettesítő formában</li> <li>• általánosított formában</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• természetes tárgyak, képek</li> <li>• helyettesítő tárgyak, képek</li> <li>• modellek, makettek, tervrajzok</li> </ul>
A valóságra vonatkozó ismeretek elsajátítása	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ismeretek közlése</li> <li>• ismeretek közlése technikai eszközök segítségével</li> <li>• ismeretek közlése önálló munkával egybekötve</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nyomatott szövegek</li> <li>• tablók, vetített képek és prezentációk</li> <li>• tankönyvek, szakkönyvek és feladatlapok</li> </ul>
A valósághoz fűződő érzelmi viszonyok alakítása	<ul style="list-style-type: none"> <li>• közösségi nevelés</li> <li>• zenei nevelés</li> <li>• képzőművészeti nevelés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nyomatott szövegek, elektronikus média</li> <li>• zenelejátszó eszközök</li> <li>• képzőművészeti alkotások, másolatok, elektronikus média</li> </ul>
A valóságot átalakító tevékenység fejlesztése	<ul style="list-style-type: none"> <li>• nyelvi és szimbolikus készségek</li> <li>• kutatási készségek</li> <li>• műszaki készségek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• oktatástechnikai eszközök, nyelvi laboratóriumok</li> <li>• laboratóriumi anyagok, eszközök, berendezések, szimulátorok</li> <li>• munkaeszközök, gépek, műszerek, makettek</li> </ul>

2. ábra. Didaktikai funkciók és eszközök

A felsorolásban szerepelnek „elavult”-nak tekintett információhordozók nevei is, viszont fontos feladat, hogy a még „megmenthető” (esetenként pótolhatatlan) és egyébként a képzésben jól használható anyagokat digitalizáljuk, archiváljuk és természetesen használjuk is.

### 3. A videotechnika és informatika szerepe

A videotechnika – mint leginkább érdeklődéskeltő és figyelmet (talán) jobban lekötő eszköz, ill. média – alkalmazásának fontosabb felsőoktatási funkciói az alábbiakban foglalhatók össze:

– Az önismeret (énkép) fejlesztése, személyiség- és képességfejlesztés. A visszajátszható videófelvétel bemutatja a hallgatóknak, miként viselkedtek egy adott tanítási, beavatkozási vagy kísérleti szituációban.

– Kísérletek, nagyon gyors vagy igen lassú fizikai események, mikroszkopikus méretű történések bemutatása. Videóval „kimerevithetjük” a képet, újra és újra egyszerűen visszajátszhatjuk a felvételt, ill. annak egyes mozzanatait.

– Élő közvetítés. Online oktatási platform segítségével „élő adásban” mutathatunk be tanórát, bonyolult kísérletet stb.

– Dokumentációs felvétel. Egy hosszabb eseményt, történést teljes egészében rögzítünk, és szerkesztve vagy szerkesztés nélkül, részleteiben vagy egészében vetíthetünk.

– Mikrotanítás. Olyan egyszerűsített, de valósághű helyzet, amely kedvező feltételeket biztosít (különösen a kezdő) oktató számára ahhoz, hogy új tanítási készségeket sajátítson el, vagy a már korábban megismerteket tökéletesítse.

Az informatika (számítástechnika) pedagógiai alkalmazásában két alapvető területet kell figyelembe venni: a hardver- és szoftverfejlesztéseket. A hardverfejlesztést a pedagógia vonatkozásában adottan tekinthetjük abban az értelemben, hogy ezt a folyamatot alapvetően a „globális” gazdasági és tudományos igények határozzák meg [8].

A számítógépes programok (szoftverek) fejlesztési szempontjai:

– a program alapvető pedagógiai célja: oktatási, szakképzési, pályaorientációs;

– a program tartalma: jellemző legyen a tervszerűség és szervezethez, ill. a jó illeszkedés a nevelő-oktató, képző munka folyamatába;

– fő didaktikai feladatai: oktatás, képzés egyes területeinek segítése:

– motivációs, demonstrációs, szimuláló, modellező, gyakorló, rendszerező, alkalmazó, problémamegoldó, mérési kultúrát fejlesztő, ellenőrző, önellenőrző, teljesítményértékelő, a tanítási-

si-tanulási folyamatot diagnosztizáló, oktatási hatékonyságot vizsgáló programok [8, 9];

– a megcélzott felhasználók:

– az intézmény nevelői-tanulmányi és/vagy adminisztrációs és gazdasági vezetése, tanárok, oktatók, hallgatói nagycsoportok, hallgatói kiscsoportok, egyes hallgatók.

Természetesen a hallgatói kiscsoportoknak, ill. az egyes hallgatóknak szánt programok felhasználásához biztosítani kell a megfelelő hardverhátteret is. Lehetőleg minél kedvezőbb körülmények álljanak rendelkezésre az ilyen számítógéppark hozzáférésehez és használatához.

### 4. Következtetés

Az oktató maga a legfőbb információs forrás, ő szervezi és irányítja a médiumokat, visszajelzéseket kap a hallgatóktól, melyek alapján beavatkozhat, korrigálhatja az oktatási folyamatot. Az oktatástechnikai (didaktikai) eszközök elősegítik a foglalkozások szemléletessé tételét, információkat nyújtanak, lehetővé teszik, hogy a hallgatók jártasságaikat tökéletesítsék, és gyakorlatot szerezzenek, fejlesszék szellemi képességeiket, elsajátítsák a tudományos kutatás gyakorlatát.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Mérnök képzés oktatási módszerei*. Műszaki Tudományos Közlemények, 13. (2020) 19–23.  
<https://doi.org/10.33895/mtk-2020.13.02>
- [2] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Tananyag- és oktatás szervezés a műszaki képzésekben*. Műszaki Tudományos Közlemények, 11. (2019) 23–26.  
<https://doi.org/10.33895/mtk-2019.11.02>
- [3] Bagyinszki Gy., Bitay E.: *Anyagtudományi gyakorlat-modulok a gépész- és mechatronikai mérnök képzésben*. Műszaki Tudományos Füzetek, 16. (2011) 5–16.  
<https://doi.org/10.36243/fmtu-2011.04>
- [4] Bitay E., Bagyinszki Gy.: *Hegesztőrobotokra vonatkozó ismeretek oktatásának módszertani szempontjai*. Műszaki Tudományos Füzetek, 19. (2014) 73–76.  
<https://doi.org/10.36243/fmtu-2014.011>
- [5] Okoń W.: *Felsőoktatási didaktika*. Felsőoktatási Pedagógiai Kutatóközpont, Budapest, 1973.
- [6] Kietlińska Z.: *A műszaki felsőoktatás pedagógiája*. Felsőoktatási Pedagógiai Kutatóközpont, Budapest, 1974.
- [7] Szűcs P.: *Video kézikönyv*. OMIKK, Budapest, 1985.
- [8] Varga L., Pék A.: *Pedagógia a számítógépek korában*. LSI Alkalmazástechnikai Tanácsadó Szolgálat, Budapest, 1988.
- [9] Kovács M.: *A számítógép hasznosítása a felsőoktatásban*. Felsőoktatási Szemle, 36/7–8. (1987) 464–471.

# Prediktor-korrektor belsőpontos algoritmus az általános lineáris komplementaritási feladatra

## Predictor-Corrector Interior-Point Algorithm for the General Linear Complementarity Problem

Darvay Zsolt,<sup>1</sup> Füstös Ágnes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Matematika és Informatika Kar, Kolozsvár, Románia, darvay@cs.ubbcluj.ro; Erdélyi Múzeum-Egyesület, Matematikai és Informatikai Szakosztály

<sup>2</sup> Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Matematika és Informatika Kar, Kolozsvár, Románia, fustosagi@yahoo.com

### Abstract

We study a predictor-corrector interior-point algorithm for solving general linear complementarity problems from the implementation point of view. We analyze the method proposed by Illés, Nagy and Terlaky [1] that extends the algorithm published by Potra and Liu [2] to general linear complementarity problems. A new method for determining the step size of the corrector direction is presented. Using the code implemented in the C++ programming language, we can solve large-scale problems based on sufficient matrices.

**Keywords:** interior-point algorithm, general linear complementarity problem, predictor-corrector algorithm, numerical results, sufficient matrix, object-oriented programming.

### Összefoglalás

Prediktor-korrektor általános lineáris komplementaritási feladatra vonatkozó belsőpontos algoritmust vizsgálunk az implementáció szempontjából nézve. Az Illés, Nagy és Terlaky [1] által megadott módszert elemezzük, amely általános lineáris komplementaritási feladatra terjeszti ki a Potra és Liu [2] által közölt algoritmust. A korrekciórány lépéshosszának meghatározására egy új módszert vezetünk be. A C++ programozási nyelvben implementált kód nagy méretű elégséges mátrixokra alapozott feladatok megoldására is alkalmas.

**Kulcsszavak:** belsőpontos algoritmus, általános lineáris komplementaritási feladat, prediktor-korrektor módszer, numerikus eredmények, elégséges mátrix, objektumorientált programozás.

## 1. Bevezetés

Lineáris komplementaritási feladatokkal (LCP) a gyakorlatban különböző műszaki vagy gazdasági problémák megoldása során találkozhatunk. A feladatot egy  $M$  mátrix határozza meg, amely egy lineáris összefüggésben szerepel, de ezenkívül teljesülnie kell egy komplementaritási feltételnek is.

Az LCP NP-teljes feladat, ezért nagyon bonyolult egy hatékony általános megoldást adni rá. Léteznek algoritmusok, amelyek polinom időn belül oldják meg az LCP-t, ha az  $M$  mátrix pozitív szemidefinit. Ennek kiterjesztéseként bevezették

az elégséges mátrix fogalmát, és bebizonyították, hogy ilyen tulajdonságú bemeneti  $M$  mátrix esetén is megoldható a feladat polinom időben.

Az általános LCP (General Linear Complementarity Problem, GLCP) keretében bevezetett algoritmusok el tudják dönteni, hogy a GLCP mátrixa  $P_*(\kappa)$  tulajdonságú vagy sem (az elégségességgel egyenértékű tulajdonság).

Az Illés Tibor, Nagy Marianna és Terlaky Tamás által bevezetett módszer [1, 3, 4] alapján a különböző belsőpontos algoritmusok beépített ellenőrzések segítségével oldják meg a GLCP-t polinom időben.

Korábban már implementáltunk egy rövid lépéses belsőpontos algoritmust a *GLCP* megoldására [5]. Mivel a prediktor-korrektor módszer általában hatékonyabb, a továbbiakban egy ilyen jellegű algoritmus megvalósítását vizsgáljuk.

## 2. A lineáris komplementaritási feladat bemutatása

Az *LCP* esetén azokat az  $x, s \in \mathbb{R}^n$  vektorokat keressük, amelyekre:

$$\begin{cases} Mx + q = s, \\ xs = 0, \\ x \geq 0, s \geq 0, \end{cases} \quad (1)$$

ahol  $q \in \mathbb{R}^n, M \in \mathbb{R}^{n \times n}$  és  $xs$  a vektorok komponensenkénti szorzatát jelöli.

## 3. A $P_*(\kappa)$ tulajdonság

Kojima és társai [6] meghatározásában egy  $M \in \mathbb{R}^{n \times n}$  mátrix  $P_*(\kappa)$  tulajdonságú ( $\kappa \geq 0$ ), ha bármely  $x \in \mathbb{R}^n$  esetén teljesül a következő:

$$(1 + 4\kappa) \sum_{i \in \mathcal{J}_+(x)} x_i (Mx)_i + \sum_{i \in \mathcal{J}_-(x)} x_i (Mx)_i \geq 0, \quad (2)$$

ahol  $\mathcal{J}_+(x) = \{1 \leq i \leq n : x_i (Mx)_i > 0\}$  és  $\mathcal{J}_-(x) = \{1 \leq i \leq n : x_i (Mx)_i < 0\}$ .

Egy  $M \in \mathbb{R}^{n \times n}$  mátrix  $P_*$  tulajdonságú, ha  $P_*(\kappa)$  tulajdonságú valamely  $\kappa \geq 0$  értékre. Megjegyezzük, hogy  $\kappa = 0$  esetén a pozitív szemidefinit mátrixok osztályát kapjuk vissza.

## 4. Lokális $\kappa$ értékek

Az egyes iterációk prediktor-, illetve korrektorlépéseiben az alábbi függvény segítségével kiszámolunk egy lokális  $\kappa$ -t [1, 4], majd az összes ilyen érték közül kiválasztva a maximumot egy alsó korlátot határozunk meg az  $M$  mátrixot jellemző  $\kappa$ -ra:

$$\kappa(\Delta x) = -\frac{1}{4} \frac{\Delta x^T M \Delta x}{\sum_{i \in \mathcal{J}_+(\Delta x)} \Delta x_i (M \Delta x)_i}. \quad (3)$$

## 5. A környezet fogalma

Legyen  $\gamma \in (0, 1)$  és

$$\mathcal{F}^0 := \{(x, s) \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n : -Mx + s = q, x, s > 0\}.$$

Potra és Liu [2] a környezetet a következőképpen definiálta:

$$D(\gamma) := \left\{ (x, s) \in \mathcal{F}^0 : xs \geq \gamma \frac{x^T s}{n} e \right\}, \quad (4)$$

ahol  $e$  az 1-esekből álló  $n$  dimenziós vektor.

## 6. A Newton-módszer

Az algoritmus egy kezdeti  $(x_0, s_0)$  pontból indul, és a prediktor-, illetve korrektorirányok kiszámolása érdekében az alábbi Newton-rendszert oldjuk meg:

$$\begin{cases} -M\Delta x + \Delta s = -r_q, \\ s\Delta x + x\Delta s = a, \end{cases} \quad (5)$$

ahol  $r_q = Mx + q - s$  a megengedettség megőrzése érdekében került bevezetésre.

Megjegyezzük, hogy a prediktorlépésben  $a = -xs$ , illetve a korrektorlépésben  $a = \mu e - xs$  lesz. Ugyanakkor az algoritmus folyamán az alábbi jelöléseket is használjuk:

$x(\alpha) = x + \alpha \Delta x$ ,  $s(\alpha) = s + \alpha \Delta s$ , ahol  $\alpha > 0$  a lépéshosszt adja meg.

## 7. Az algoritmus

Az Illés, Nagy és Terlaky [1] által bevezetett algoritmusból kiindulva a *GLCP*-t megoldó prediktor-korrektor algoritmust a következőképpen adjuk meg:

### Bemeneti paraméterek:

$\tilde{\kappa} > 0$  felső korlát a  $\kappa$  számára;

$\varepsilon > 0$  pontossági paraméter;

$\gamma \in (0, 1)$  környezetre vonatkozó paraméter;

$(x_0, s_0) \in D(\gamma)$  kezdőpont;

$\sigma \in (0, 1)$  a  $\mu$  csökkentését szabályozó paraméter;

$\rho \in (0, 1)$  a lépéshossz csökkentésére vonatkozó paraméter;

$\beta, \beta_{\max} > 0$  a korrektorlépéshossz pontosságára vonatkozó paraméterek;

### Kimenet:

az  $(x, s)$  vektorpár – az *LCP* megoldása – vagy egy üzenet arra vonatkozóan, hogy nem teljesül a  $P_*(\kappa)$  tulajdonság.

### BEGIN

$$x := x_0; s := s_0; \mu := \sigma \frac{(x_0)^T s_0}{n}; \kappa := 0;$$

$$r_q = Mx + q - s; \alpha_p^*(\kappa) = \frac{2\sqrt{(1-\gamma)\gamma}}{(1+4\kappa)n+2};$$

$$\text{while } \frac{x^T s}{1 + x_0^T s_0} > \varepsilon \text{ or } \frac{\|r_q\|}{1 + \|q\|} > \varepsilon \text{ do begin}$$

Prediktor lépés

$a = -xs$ ;

$(\Delta x, \Delta s)$  kiszámítása (5) alapján

if  $M$  szinguláris then

return  $M$  nem  $P_0$  tulajdonságú;

end if

$\alpha = \text{prediktorLepeshossz}(\gamma)$ ;

if  $a < \alpha_p^*(\kappa)$  then

$\kappa(\Delta x)$  kiszámítása a (3) alapján;

**if**  $\kappa(\Delta x)$  nem létezik **then**

**return**  $M$  nem  $P_*$  tulajdonságú;

**end if**

**if**  $\kappa(\Delta x) > \tilde{\kappa}$  **then**

**return**  $M$  nem  $P_*(\tilde{\kappa})$  tulajdonságú;

**end if**

$\kappa = \kappa(\Delta x)$ ;

$$\alpha_c^*(\kappa) = \frac{2\gamma}{(1+4\kappa)n+1};$$

**end if**

$x = x + \rho \alpha \Delta x$ ;

$s = s + \rho \alpha \Delta s$ ;

$\mu = \sigma(x^T s) / n$ ;

$r_q = Mx + q - s$ ;

Korrektor lépés

$a = \mu e - xs$ ;

$(\Delta x, \Delta s)$  kiszámítása (5) alapján;

**if**  $M$  szinguláris **then**

**return**  $M$  nem  $P_0$  tulajdonságú;

**end if**

**if**  $(x(\alpha_c^*(\kappa)), s(\alpha_c^*(\kappa))) \notin D(\gamma)$  **then**

$\kappa(\Delta x)$  kiszámítása a (3) alapján;

**if**  $\kappa(\Delta x)$  nem létezik **then**

**return**  $M$  nem  $P_*$  tulajdonságú;

**end if**

**if**  $\kappa(\Delta x) > \tilde{\kappa}$  **then**

**return**  $M$  nem  $P_*(\tilde{\kappa})$  tulajdonságú;

**end if**

$\kappa = \kappa(\Delta x)$ ;

$$\alpha_p^*(\kappa) = \frac{2\sqrt{(1-\gamma)\gamma}}{(1+4\kappa)n+2};$$

**end if**

$\alpha = \text{korrektorLepeshossz}(\gamma, \beta, \beta_{\max})$ ;

$x = x + \rho \alpha \Delta x$ ;

$s = s + \rho \alpha \Delta s$ ;

$\mu = \sigma(x^T s) / n$ ;

$r_q = Mx + q - s$ ;

**end**

**END**

## 7.1. A lépéshossz meghatározása

Az algoritmus implementációja során a lépéshossz kiszámítására sajátos módszereket adtunk meg.

### 7.1.1. A prediktorlépéshossz kiszámítása

A prediktorlépésben a Potra és Liu [2] által megadott módszerből kiindulva valósítottuk meg az  $\alpha$  lépéshossz meghatározását, de figyelembe vettük azt is, hogy a lépéshossz őrizze meg az  $x > 0, s > 0$  feltételeket. A következő függvény szemlélteti ezt:

**function** *prediktorLepeshossz*( $\gamma$ ):

$$\alpha_1 = \min \left\{ -\frac{x_i}{\Delta x_i} \mid \Delta x_i < 0 \right\};$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ -\frac{s_i}{\Delta s_i} \mid \Delta s_i < 0 \right\};$$

$$\alpha = \min\{\alpha_1, \alpha_2\};$$

$$u = \frac{xs}{\mu}; \quad v = \frac{\Delta x \Delta s}{\mu};$$

$$t = \frac{1-\gamma}{(1+4\kappa)n+1};$$

$$\alpha = \min \left\{ \alpha, \frac{2}{1+\sqrt{1-4e^T v/n}} \right\};$$

**for**  $i = 1$  **to**  $n$  **do begin**

$b = v_i - (1-t)\gamma e^T v/n$ ;

$c = u_i - (1-t)\gamma$ ;

$\Delta = c^2 - 4bc$ ;

**if**  $\Delta > 0$  **and**  $b \neq 0$  **then**

$$\alpha = \min \left\{ \alpha, \frac{2(u_i - (1-t)\gamma)}{u_i - (1-t)\gamma + \sqrt{\Delta}} \right\};$$

**end if**

**end**

**return**  $\alpha$ ;

**end**

### 7.1.2. A korrektorlépéshossz kiszámítása

A korrektorlépés hosszúságának meghatározására a [2] cikkben javasolt módszertől eltérő megoldást adtunk meg. A függvény meghatározza a maximális lehetséges  $\alpha$  lépéshosszt, amely nem sérti az  $x, s > 0$  feltételt. Ezután a  $[0, \alpha]$  intervallumot felosztjuk  $\beta$  egyenlő részre, és vizsgáljuk, hogy a részintervallumok végpontjaiban szereplő értékek esetén vett lépéshossz benne van-e a  $D(\gamma)$  környezetben. Ha igen, akkor kiszámítjuk az adott értékre vett új  $(x, s)$  pont esetén  $\mu(\alpha) = \frac{x(\alpha)^T s(\alpha)}{n}$  értékét, majd az lesz a végleges

lépéshossz, amelyre  $\mu(\alpha)$  minimális.

Ha nem találtunk olyan pontot, amely benne van a környezetben, akkor a  $\beta$  értékét megduplázzuk, és újból elvégezzük a fenti eljárást. A  $\beta$  értékére megadtunk egy  $\beta_{\max}$  felső határt, amelyet ha elérünk, hibával megállunk. A módszert a következő függvény segítségével írhatjuk le:

**function** *korrektorLepeshossz*( $\gamma, \beta, \beta_{\max}$ ):

$$\alpha_1 = \min \left\{ -\frac{x_i}{\Delta x_i} \mid \Delta x_i < 0 \right\};$$

$$\alpha_2 = \min \left\{ -\frac{s_i}{\Delta s_i} \mid \Delta s_i < 0 \right\};$$

$$\alpha = \min\{\alpha_1, \alpha_2\};$$

*notfound* = true;

**while**  $\beta < \beta_{\max}$  **and** *notfound* **do begin**

**for**  $i = 1$  **to**  $n$  **do begin**

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha i}{\beta};$$

if  $(x(\bar{\alpha}), s(\bar{\alpha})) \in D(\gamma)$  and  $\mu(\bar{\alpha}) > \mu(\alpha)$  then

$\alpha = \bar{\alpha}$ ;

notfound = false;

end if

end

$\beta = 2\beta$ ;

end

if  $\beta \geq \beta_{max}$  then return "hiba";

return  $\alpha$ ;

end

## 8. Numerikus eredmények

A megvalósítás C++ programozási nyelvben, Visual Studio környezetben, Windows operációs rendszer alatt történt, egy 1,9 GHz-es processzorral rendelkező számítógépen. A használt paraméterek:  $\rho = 0.95$ ,  $\sigma = 0.1$ ,  $\varepsilon = 10^{-5}$ ,  $\gamma = 0.9$ ,  $\beta = 100$ ,  $\beta_{max} = 1000$ ,  $\tilde{\kappa} = 10^{40}$ . A kezdeti pontoknak az  $x_0 = e$  és  $s_0 = e$  vektorokat választottuk.

### 8.1. Elégséges mátrixok

A [7] cikkben leírt módszerrel generált elégséges mátrixokra alapozott feladatokra az általunk implementált algoritmus legtöbb 6 iteráció alatt megtalálta a megoldást. Az 1. táblázat az átlagos futási időket tartalmazza (másodpercben) azonos méretű feladatok esetén.

Levonhatjuk a következtést, hogy a feladat méretének a növekedésével a futási idő jelentősen megnövekedett.

### 8.2. A Csizmadia-mátrix

A Csizmadia Zsolt által bevezetett mátrixsalád esetén elméleti úton bizonyították [8], hogy a mérettel arányosan a maximális  $\kappa$  exponenciálisan növekszik. Az általunk kapott lokális  $\kappa$  értékek igazolják ezt az elméleti eredményt (lásd a 2. táblázatot).

A kapott  $\kappa$  értékek a [9] cikkbeli eredményhez hasonló változást mutatnak a méret függvényében.

**1. táblázat.** Átlagos futási idők a méret függvényében a [7]-beli feladatokra

n	10	20	50
CPU	0.1209	0.1941	0.5876
n	100	200	500
CPU	2.0456	9.9068	131.9007

**2. táblázat.** A maximális lokális  $\kappa$  értékek változása a méret függvényében

n	10	50	100
$\kappa$	347.53	$4.65 \cdot 10^{16}$	$1.89 \cdot 10^{34}$

## 9. Következtetések

Az [1] publikációban bevezetett prediktor-korrektor GLCP-re mutattuk be saját megvalósításunkat, korrekortörlesztés esetén egy sajátos lépéshosszszámító módszert bevezetve. Ismertettük az algoritmusra kapott numerikus eredményeket elégséges mátrixhoz kapcsolódó bemenetekre. A Csizmadia Zsolt által bevezetett mátrixok esetén a  $\kappa$  változását figyeltük meg a méret függvényében.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek a kutatási munkához nyújtott támogatásért.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Illés T., Nagy M., Terlaky T.: *Polynomial Interior Point Algorithms for General Linear Complementarity Problems*. *Algorithmic Operations Research*, 5/1. (2010) 1–12.
- [2] Potra F. A., Liu X.: *Predictor-Corrector Methods for Sufficient Linear Complementarity Problems in a Wide Neighborhood of the Central Path*. *Optimization Methods and Software*, 20/1. (2005) 145–168. <https://doi.org/10.1080/10556780512331318038>
- [3] Illés T., Nagy M., Terlaky T.: *Ep Theorem for Dual Linear Complementarity Problems*. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 140. (2009) 233–238. <https://doi.org/10.1007/s10957-008-9440-0>
- [4] Illés T., Nagy M., Terlaky T.: *A Polynomial Path-Following Interior Point Algorithm for General Linear Complementarity Problems*. *Journal of Global Optimization*, 47/3. (2010) 329–342. <https://doi.org/10.1007/s10898-008-9348-0>
- [5] Darvay Zs., Füstös Á.: *Numerical Results for the General Linear Complementarity Problem*. *Műszaki Tudományos Közlemények*, 9. (2019) 43–46. <https://doi.org/10.33894/mtk-2019.11.07>
- [6] Kojima M., Megiddo N., Noma T., Yoshise A.: *A Unified Approach to Interior Point Algorithms for Linear Complementarity Problems*. Springer Verlag, Berlin, 1991.
- [7] Illés T., Morapitiye S.: *Generating Sufficient Matrices*. In: *Short Papers of the 8th VOCAL Optimization Conference: Advanced Algorithms held in Esztergom, Hungary*. (Szerk.: Friedler F.) Pázmány Péter Katolikus Egyetem, Budapest, 2018. 56–61.
- [8] de Klerk E., E.-Nagy M.: *On the Complexity of Computing the Handicap of a Sufficient Matrix*. *Mathematical Programming*, 129. (2011) 383–402. <https://doi.org/10.1007/s10107-011-0465-z>
- [9] Darvay Zs., Illés T., Povh J., Rigó P. R.: *Feasible Corrector-Predictor Interior-Point Algorithm for  $P(\kappa)$ -Linear Complementarity Problems Based on a New Search Direction*. *SIAM Journal on Optimization*, 30/3. (2020) 2628–2658. <https://doi.org/10.1137/19M1248972>

# Súlyozott lineáris komplementaritási feladatok teljes Newton-lépéses algoritmusának implementációja

## Implementation of the Full-Newton Step Algorithm for Weighted Linear Complementarity Problems

Darvay Zsolt,<sup>1</sup> Orbán Attila-Szabolcs<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Matematika és Informatika Kar, Kolozsvár, Románia, darvay@cs.ubbcluj.ro; Erdélyi Múzeum Egyesület, Matematikai és Informatikai Szakosztály

<sup>2</sup> Babeş-Bolyai Tudományegyetem, Matematika és Informatika Kar, Kolozsvár, Románia, orban.attila@yahoo.com

### Abstract

We present a path-following interior-point algorithm for solving the weighted linear complementarity problem from the implementation point of view. We studied two variants, which differ only in the method of updating the parameter which characterizes the central path. The implementation was done in the C++ programming language and the obtained numerical results prove the efficiency of the proposed method.

**Keywords:** *weighted linear complementarity problem, path-following interior-point algorithm, full-Newton step method.*

### Összefoglalás

A súlyozott lineáris komplementaritási feladatot megoldó útkövető belsőpontos algoritmust az implementáció szemszögéből nézve mutatjuk be. Két változatot vizsgáltunk, amelyek csak a centrális út pontjait jellemző paraméter változtatási módjában térnek el egymástól. A megvalósítás C++ programozási nyelvben történt, és a kapott numerikus eredmények igazolják az általunk javasolt módszerek hatékonyságát.

**Kulcsszavak:** *súlyozott lineáris komplementaritási feladat, útkövető belsőpontos algoritmus, teljes Newton-lépéses algoritmus.*

## 1. Bevezetés

Sok optimalizálási feladat adható meg lineáris komplementaritási problémaként (*linear complementarity problem*), amelyet az angol elnevezésnek megfelelően LCP-vel jelölhetünk [1, 2]. Bebizonyosodott az is, hogy az LCP különböző gyakorlati feladatok, például mérnöki vagy gazdasági terület-ről származó kérdések megoldására alkalmas.

Az LCP-k egy olyan kiterjesztett változatával foglalkozunk, amely az eddigieken kívül további gyakorlati alkalmazásokkal rendelkezik [3–5]. Ez az úgynevezett súlyozott lineáris komplementaritási feladat (WLCP – *weighted linear complementarity problem*), amelyet 2012-ben Florian Potra vezetett be [6].

A továbbiakban bemutatjuk a feladatot.

## 2. A feladat leírása

A WLCP alakja:

$$\begin{cases} xs = w, \\ -Mx + s = q, \\ x \geq 0, s \geq 0, \end{cases}$$

ahol  $q \in \mathbb{R}^n$ ,  $M \in \mathbb{R}^{n \times n}$ , és a súlyvektor pedig  $w \in \mathbb{R}_+^n = \{x \in \mathbb{R}^n | x \geq 0\}$ . Továbbá feltételezzük, hogy  $M$  egy monoton mátrix, tehát  $x^T Mx \geq 0$  bármely  $x \in \mathbb{R}^n$  esetén. Az  $M$  mátrix és a  $q$  vektor adottak, valamint az  $x$  és az  $s$  ismeretlenek.

A belsőpontos algoritmusok (IPMs), főképp a primál-duál belsőpontos algoritmusok, igen hatékony módszereknek bizonyultak az LCP-k megoldására. Ezen algoritmusok esetén feltételezzük, hogy a WLCP megengedett megoldásainak  $\mathcal{F}$ -el jelölt halmaza nem üres:



$$\mathcal{F} := \{(x, s) \in \mathbb{R}_+^n \times \mathbb{R}_+^n : -Mx + s = q\}.$$

A WLCP optimális megoldásainak halmaza olyan megengedett  $(x, s)$  párokból áll, amelyekre a komplementaritási feltétel is teljesül. Az így kapott halmazt  $\mathcal{F}^*$ -al jelöljük:

$$\mathcal{F}^* := \{(x, s) \in \mathcal{F} : xs = w\}.$$

Végül, amennyiben  $x$  és  $s$  pozitív vektorok, szigorúan megengedett megoldáshalmazról beszélünk, amelyet  $\mathcal{F}^0$ -al jelölünk:

$$\mathcal{F}^0 := \{(x, s) \in \mathcal{F} : x, s > 0\}.$$

A továbbiakban feltételezzük, hogy adott egy szigorúan megengedett  $(x^0, s^0) \in \mathcal{F}^0$  kiindulópont, melyhez hozzárendeljük a  $c$  vektort, illetve a  $\mu^0$  állandót:

$$c = x^0 s^0, \quad \mu^0 = \frac{(x^0)^T s^0}{n}.$$

A  $\mu^0$ -ból kiindulva az algoritmus rendre különböző  $\mu$  értékeket határoz meg, amelyek egy ideális útvonalat, az úgynevezett centrális utat jellemzik. A hagyományos LCP-k esetén a centrális utat az alábbi rendszer segítségével határozzuk meg:

$$\begin{cases} xs = \mu e, \\ -Mx + s = q, \\ x > 0, s > 0, \end{cases}$$

ahol  $e$  az egyesekből álló  $n$  dimenziós vektor.

A WLCP esetén a nemlineáris összefüggés  $(xs = \mu e)$  jobb oldali vektorát az alábbi kifejezéssel helyettesítjük [6, 7]:

$$w(\mu) = \left(1 - \frac{\mu}{\mu^0}\right)w + \frac{\mu}{\mu^0}c, \quad \mu \in [0, \mu^0]. \quad (1)$$

Amennyiben a  $w = 0$  és  $x^0 = s^0 = e$ , akkor visszakapjuk a hagyományos esetet, tehát  $w(\mu) = \mu e$  lesz. A  $w(\mu)$  megválasztását az is indokolja, hogy  $\mu = \mu^0$  esetén a  $c$  vektort, illetve  $\mu = 0$  esetén a  $w$  súlyvektort kapjuk vissza.

A továbbiakban azt feltételezzük, hogy a  $w(\mu)$  értékét az (1) összefüggés határozza meg. Ezért ebben az esetben a centrális utat a következő rendszer írja le:

$$\begin{cases} xs = w(\mu), \\ -Mx + s = q, \\ x > 0, s > 0. \end{cases}$$

A nemlineáris összefüggés miatt a centrális útpontjait nem fogjuk tudni pontosan meghatározni, de ennek a követését a Newton-módszer segítségével valósíthatjuk meg:

$$\begin{cases} s\Delta x + x\Delta s = w(\mu) - xs, \\ -M\Delta x + \Delta s = 0. \end{cases}$$

A  $\Delta x$  és  $\Delta s$  vektorok úgynevezett keresési irányokat adnak meg, amelyek lehetőséget teremtenek a következő iteráció  $x$  és  $s$  vektorainak a meghatározására. A teljes Newton-lépéses algoritmusok

esetén az új pontokat az alábbi összefüggések adják meg:

$$x^+ = x + \Delta x, \quad s^+ = s + \Delta s.$$

Egy adott pontnak a centrális úttól való távolságát, az alábbi közelségi mérték (*proximity measure*) segítségével becsülhetjük meg:

$$\delta(x, s; \mu) = \left\| \frac{w(\mu) - xs}{\mu} \right\|.$$

Fontos kiemelni, hogy az  $X$  és  $S$  az  $x$ , illetve  $s$  komponenseiből alkotott diagonálmátrix:

$$X = \text{diag}(x), \quad S = \text{diag}(s).$$

A [7] cikkben bevezetett teljes Newton-lépéses algoritmust a továbbiakban az implementáció szemszögéből nézve változtatjuk meg.

### 3. Az algoritmus implementálása

Az implementáció szemszögéből nézve az algoritmusnak két módosított változatát vezettük be. Ezek a  $\mu$  paraméter változtatási módjában térnek el egymástól, amely az alábbi algoritmus *updateOfMu()* műveletével lesz kifejezve.

#### Bemeneti paraméterek:

- hibaküszöb (*threshold*)  $\tau \in (0, 1)$ ;
- kívánt pontosság (*accuracy*)  $\epsilon > 0$ ;
- a  $\mu$  értékét módosító paraméter  $\theta \in (0, 1)$  az első változat, illetve  $\sigma \in (0, 1]$  a második változat esetén;
- a lépéshosszt csökkentő paraméter  $\rho \in (0, 1)$ ;
- az  $M$  mátrix és a  $q$  vektor;
- a  $w$  súlyvektor;

#### Kimenet: $x, s$

Legyen  $(x^0, s^0) \in \mathcal{F}^0$  és  $\mu^0 = \frac{(x^0)^T s^0}{n}$  úgy, hogy  $\delta(x^0, s^0; \mu^0) \leq \tau$ ;  
 $x := x^0$ ;  $s := s^0$ ;  $\mu := \mu^0$ ;

**while**  $\left( \frac{\|xs - w\|}{1 + \|c\|} > \epsilon \right)$  **or**  $\left( \frac{\|Mx + q - s\|}{1 + \|q\|} > \epsilon \right)$  **do**

*updateOfMu()*;

$$w(\mu) = \left(1 - \frac{\mu}{\mu^0}\right)w + \frac{\mu}{\mu^0}c;$$

$$r_q = Mx + q - s;$$

$$rhs = w(\mu) - xs;$$

$$\Delta x = (M + X^{-1}S)^{-1}(X^{-1}rhs - r_q);$$

$$\Delta s = X^{-1}(rhs - S\Delta x);$$

$$\alpha_x = \min \left\{ -\frac{x_i}{\Delta x_i} \mid 1 \leq i \leq n, \Delta x_i < 0 \right\};$$

$$\alpha_s = \min \left\{ -\frac{s_i}{\Delta s_i} \mid 1 \leq i \leq n, \Delta s_i < 0 \right\};$$

$$\alpha = \min\{\alpha_x, \alpha_s, 1\};$$

**end while**

Az első változatban az elméleti algoritmushoz hasonlóan a  $\mu$  paraméter értékét mindig egy állandó szorzóval csökkentjük, amely a  $\theta$  paraméter által lesz meghatározva.

```

procedure updateOfMu()
begin
     $\mu := (1 - \theta) \mu;$ 
end
    
```

A belsőpontos algoritmusok implementálása esetén viszont általában úgy szoktunk eljárni, hogy az aktuális  $x$  és  $s$  vektorok alapján határozzuk meg a  $\mu$  következő értékét. Ennek érdekében egy olyan  $\mu$  értéket keresünk, amelyre  $xs = w(\mu)$  fennáll. Kifejezve a  $\mu$  értékét az alábbi egyenlőséget kapjuk:

$$\mu = \frac{\mu_0(x^T s - e^T w)}{e^T c - e^T w}. \tag{2}$$

Figyeljük meg, hogy ebben az esetben feltételeznünk kell azt, hogy  $e^T c \neq e^T w$ . Abban az esetben, ha ez a feltétel nem teljesül, más  $x^0$  és  $s^0$  kezdeti pontokat kell választanunk.

Megjegyezzük, hogy a  $w = 0$  esetben a (2) összefüggés a  $\mu = \frac{x^T s}{n}$  alakra hozható, amely számos nem súlyozott LCP megoldása esetén használható.

Az `updateOfMu()` eljárás második változatában a fenti módon kiszámolt  $\mu$  értéket egy  $\sigma \in (0, 1]$  szorzóval csökkentjük:

```

procedure updateOfMu()
begin
     $\mu := \sigma \frac{\mu_0(x^T s - e^T w)}{e^T c - e^T w};$ 
end
    
```

Az implementálás C++ programozási nyelvben történt, Visual Studio fejlesztői környezetben, a [8] dolgozatban bevezetett kódra alapozva.

### 4. Numerikus eredmények

Az algoritmust pozitív szemidefinit bemeneti mátrixokra teszteltük, amelyeket mi állítottuk elő a következő módszer segítségével:

$$M = LL^T,$$

ahol  $L$  egy alsó háromszögmátrix. Az első esetben legyen:

$$L = \begin{pmatrix} 5 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 3 & 0 & 0 \\ 9 & -4 & 1 & 0 \\ -2 & 1 & 7 & 3 \end{pmatrix}.$$

Ennek a 4x4-es bemenetnek megfelelő  $M$  mátrix,  $q$  vektor és  $w$  súlyvektor:

$$M = \begin{pmatrix} 25 & 5 & 45 & -10 \\ 5 & 10 & -3 & 1 \\ 45 & -3 & 98 & -15 \\ -10 & 1 & -15 & 63 \end{pmatrix},$$

$$q = -Me + e, \\ w = [0.5 \ 1 \ 15 \ 0.3]^T.$$

A fent leírt feladaton kívül még három esetet vizsgáltunk, amelyek megtalálhatóak a [9] weboldalon és 50x50, 100x100, illetve 700x700 méretű mátrixokra vonatkoznak. Ezen mátrixokat és a feladatokhoz rendelt súlyvektorokat véletlenszerűen generáltuk és a  $q$  értékét mindig a  $q = -Me + e$  képlet alapján határozzuk meg.

Az eredményeinket az 1. és 2. táblázat tartalmazza az algoritmus két változatának megfelelően. A táblázatok fejlécében a szám a mátrix méretét jelöli. Minden esetben a  $\rho = 0.95$  és  $\epsilon = 10^{-5}$  értékekkel dolgoztunk.

Megállapítható, hogy a  $\theta$  növelése, illetve a  $\sigma$  csökkentése minden esetben kevesebb iterációt eredményez.

1. táblázat. Eredmények a  $\theta$ -ra vonatkozóan

$\theta$	4	50	100	700
0.1	124	128	129	129
0.2	59	61	61	61
0.3	37	38	38	38
0.4	26	27	27	27
0.5	19	20	20	20
0.6	15	15	15	15
0.7	11	12	12	12
0.8	9	9	9	9
0.9	6	7	8	8

2. táblázat. Eredmények a  $\sigma$ -ra vonatkozóan

$\sigma$	4	50	100	700
0.1	8	8	9	10
0.2	10	11	12	12
0.3	13	13	14	15
0.4	17	17	18	18
0.5	21	22	23	23
0.6	28	29	30	30
0.7	40	40	41	41
0.8	62	64	64	65
0.9	131	135	135	136

## 5. Következtetések

A cikkben a WLCP-t vizsgáltuk meg az implementáció szemszögéből nézve. Ennek érdekében az algoritmus két változatát határoztuk meg.

A C++ programozási nyelvben implementált kód segítségével igazoltuk az algoritmus hatékonyságát. Különböző pozitív szemidefinit bemeneti mátrixok esetén vizsgáltuk az iterációs szám változását a  $\theta$ , illetve a  $\sigma$  paraméter függvényében.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki az Erdélyi Múzeum-Egyesületnek a kutatási munkához nyújtott támogatásért.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Cottle R. W., Pang J.-S., Stone R. E.: *The Linear Complementarity Problem*. Computer Science and Scientific Computing. Academic Press, Boston, 1992.
- [2] Kojima M., Megiddo N., Noma T., Yoshise A.: *A Unified Approach to Interior Point Algorithms for Linear Complementarity Problems*. Springer Verlag, Berlin, Germany, 1991.
- [3] Ye Y.: *A Path to the Arrow-Debreu Competitive Market Equilibrium*. Mathematical Programming volume 111/1–2. (2008) 315–348.  
<https://doi.org/10.1007/s10107-006-0065-5>
- [4] Anstreicher K. M.: *Interior-Point Algorithms for a Generalization of Linear Programming and Weighted Centring, Optimization Methods and Software*. Optimization Methods and Software, 27/4–5. (2012) 605–612.  
<https://doi.org/10.1080/10556788.2011.644791>
- [5] Jian Z.: *A Smoothing Newton Algorithm for Weighted Linear Complementarity Problem*. Optim Letters, 10. (2016) 499–509.  
<https://doi.org/10.1007/s11590-015-0877-4>
- [6] Potra F. A.: *Weighted Complementarity Problems – a new paradigm for computing equilibria*. SIAM Journal on Optimization, 22/4. (2012) 1634–1654.  
<https://doi.org/10.1137/110837310>
- [7] Asadi S., Darvay Zs., Lesaja G., Mahdavi-Amiri N., Potra F. A.: *A Full-Newton Step Interior-Point Method for Monotone Weighted Linear Complementarity Problems*. Journal of Optimization Theory and Applications, 186/3. (2020) 864–878.  
<https://doi.org/10.1007/s10957-020-01728-4>
- [8] Darvay Zs., Takó I.: *Computational comparison of primal-dual algorithms based on a new software*. unpublished manuscript, 2012.
- [9] Darvay Zs., Orbán A. Sz.: *Pozitív szemidefinit mátrixok és súlyvektorok generálása* (letöltve: 2021.03.06).  
<http://cs.ubbcluj.ro/~darvay/semidefinite/>

# Bemutató céljára épített mechatronikai rendszer fejlesztése

## Development of a Mechatronic System for Demonstration Purpose

Györkovács István,<sup>1</sup> Forgó Zoltán<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, gyorkovacs12@gmail.com

<sup>2</sup> Sapientia EMTE, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék. Marosvásárhely, Románia, zforgo@ms.sapientia.ro

---

### Abstract

The aim of the paper is to present a modular system, with the help of which it is possible to reveal the structure and analysis of a mechatronic system, taking into account several disciplines that contribute to the structure of the system. The planned system will include devices from different disciplines, the operation and coordination of which will be observable. The designed system is a two-degree-of-freedom mechanism with a translational and a rotary joint. The movement of the joints are obtained by different types of energy converters (pneumatic, electric). The replacement of the different types of drives can be performed quickly and easily without drastically changing the system setup. The simulations are implemented using the MATLAB Simscape software package.

**Keywords:** *mechatronic system, energy converters, joints, mechanism, simulation.*

### Összefoglalás

A dolgozat célja egy moduláris rendszer bemutatása, mely segítségével lehetőség nyílik egy mechatronikai rendszer felépítését és elemzését felfedni, figyelembe véve több tudományterületet, mely hozzájárul a rendszer felépítéséhez. A tervezett rendszerben különböző tudományterületekről érkező eszközök lesznek megtalálhatóak, amelyek működése és összehangolása lesz megfigyelhető és tanulmányozható. A tervezett rendszer egy két szabadságfokú mechanizmus, amely egy translációs és egy rotációs csuklóval rendelkezik. A csuklók a mozgásukat különböző típusú energiaátalakítókba nyerik (pneumatikus, villamos energia). A különböző hajtások cseréje egyszerűen és gyorsan végrehajtható, a rendszer alakjának és összetételének erőteljes megváltoztatása nélkül. A szimulációk a MATLAB Simscape szoftvercsomag felületén keresztül valósulnak meg.

**Kulcsszavak:** *mechatronikai rendszer, energiaátalakítók, csuklók, mechanizmus, szimuláció.*

---

## 1. Bevezetés

Napjainkban a mechatronikai rendszerek anyyira elterjedtek, hogy majdnem mindenhol megtalálhatók körülöttünk: találkozhatunk velük a munkahelyeken, de az otthonainkban is. Az ipar különböző területein is nélkülözhetetlen szerepet töltenek be [1]. Az elektronika, a gépészet és az intelligens számítógépes vezérlés egymást erősítő

integrációja figyelhető meg ezekben a rendszerekben [2, 3].

Az indulásnál felmerült egy olyan kérdés, hogy hogyan lehetne egy olyan rendszert tervezni, amelyen bemutatható lesz, hogy mi is áll az a szó mögött, hogy mechatronika, hogy milyen tudományterületek alkotják. Tehát egy olyan rendszer szükséges, amelyben mind a gépészet, mind

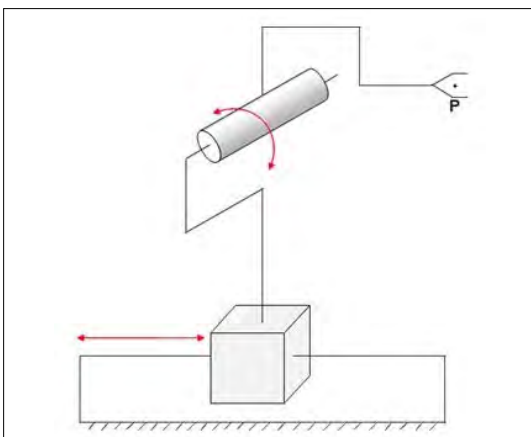
a villamosság és mind a vezérlés-programozás területéről érkező eszközök, alkatrészek helyet kapnak [1–3]. A legegyszerűbben megvalósíthatónak ezen elképzelések mellett egy két szabadságfokú, soros robotkar, melynek egy translációs csuklója és egy rotációs csuklója lesz. Ezek a csuklók különböző energiaátalakítók, és mechanizmusok hajtják, így biztosítva minél több eszköz működésének, alkatrészeinek bemutathatóságát. A csuklók több meghajtó energia-átalakítóval/mechanizmussal való felszerelhetősége egy új követelményt is behozott a tervezés kapcsán: ezek gyors és egyszerű cserélhetőségét. Tehát a csuklókat meghajtó eszközök gyorsan és egyszerűen leválaszthatóak és felszerelhetőek kell, hogy legyenek anélkül, hogy a berendezés fő részét szét kelljen szerelni.

## 2. A berendezés tervezése

A tervezett moduláris rendszer egy szemléltetőeszközként kell, hogy működjön, melyen jól láthatóak és tanulmányozhatóak a különböző alkatrészek, mechanizmusok, energiaátalakítók, amelyek a rendszert alkotják.

A tervezés első fázisában a tervezendő moduláris rendszer típusa, illetve maximális geometriai méretei lettek meghatározva. Ebből kiindulva egy rotációs és egy translációs csuklót tartalmaz, és ezáltal is minél többfajta hajtás bemutatására lesz alkalmas.

A berendezés bázisához az első kar egy translációs csuklóval kapcsolódik, majd ezt követi egy rotációs csukló. Ezek helyzete látható a 1. ábrán, amely a kinematikai vázlatot tartalmazza. Ezek alapján a bemutató berendezés testmodellje az Autodesk Inventor tervezőprogram segítségével készült el.



1. ábra. A berendezés kinematikai vázlata

## 2.1. A translációs rész tervezése

A tervezett berendezés translációs részének alapja egy lineáris golyós vezetősin, amely a 2. ábrán látható, és 8 darab M10-es süllyesztett fejű csavar segítségével van rögzítve az asztallaphoz (1).

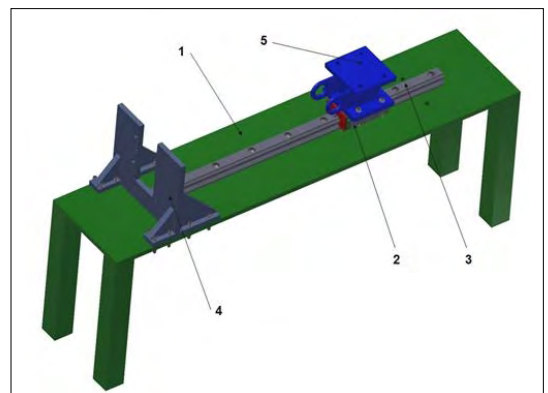
A translációs mozgást a sínen lévő csúszka (2) valósítja meg. A sín (3) hossza 650 mm, így biztosítva, hogy minden típusú hajtás esetén megvalósuljon az 500 mm-es mozgási táv.

A 2. ábrán még látható egy állvány (4) a sín egyik végén, ennek az állványnak a feladata a különböző energiaátalakítóknak a rögzítése. A mechanizmus többi részének az alátámasztása érdekében a csúszkára egy állvány (5) került, amely alsó és felső lapjának mérete megegyezik a csúszka méreteivel.

A translációs rész mozgatása négytípusú energiaátalakítóval valósítható meg:

- pneumatikus hajtás;
- golyósoros hajtás;
- fogasléces hajtás;
- forgókaros hajtás.

Hely hiányában, a felsorolt hajtástípusok közül csak a golyósoros hajtás lesz bemutatva, illetve a szimuláció is ezzel a hajtástípussal készült el. A pneumatikus hajtás esetében a csúszka mozgását egy 500 mm-es lökethosszú, kétszeres működtetésű munkahenger biztosítja. A fogasléces hajtás esetében a léptetőmotor forgó mozgását egy fogaskerék-fogasléc páros alakítja át translációs mozgássá. A forgókaros hajtásnál a léptetőmotor forgó mozgásának átalakításáért egy hajtó és egy hajtott kar felel.

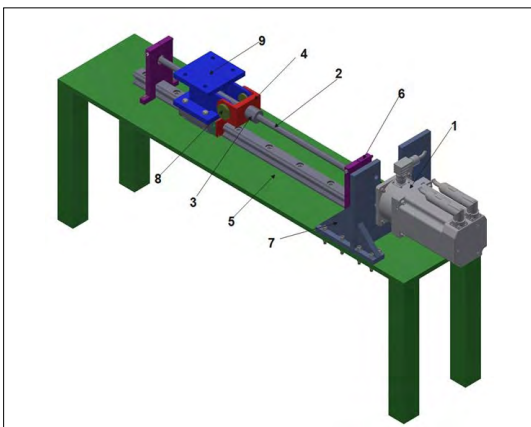


2. ábra. A translációs rész felépítése: 1-asztallap, 2-csúszka, 3-sín, 4-hajtásrögzítő állvány, 5- csúszkán lévő állvány.

### A golyósorsós hajtás leírása:

A második típusú hajtásnál (3. ábra) a villamos energiát alkalmazzuk egy léptetőmotor (1) segítségével. A motor forgómozgását egy golyósorsó-golyóánya páros alakítja át translációs mozgássá. A választott golyósorsó (2) egy 600 mm hosszú (melyből a menetes rész 513 mm), 12 mm névleges átmérőjű, 2 mm golyóátmérőjű, C7-es precíziós osztályba tartozó, jobb menetes, hengerelt golyósorsó. A golyósanya (3) RSH-típusú, menetes felfogatási lehetőséggel.

A golyósorsó-golyóánya páros a 3. ábrán látható módon van beszerelve a rendszerbe. A golyósanya (3) egy M10-es csavarkötésen keresztül kapcsolódik a piros összekötő alkatrészsel (4), a csúszkán lévő állványhoz (9) pedig két, 20 mm hosszú, 25 mm átmérőjű acélszeggel (8) csatlakozik. A golyósorsó (2) a csúszkán található állvány (9) közepén halad át, ebből a célból az állványon található egy 28 mm átmérőjű furat. Az orsón (2) a menetes rész két vége csapágyazva van, a csapágybefogók (6) két-két M5-ös süllyesztett fejű csavarral vannak rögzítve az asztallaphoz (5). A csapágyak beszorítása egy-egy M5-ös csavarral történik, lineáris mozgásukat pedig a csapágybefogón (6) és a golyósorsón (2) kialakított vállak akadályozzák. A léptetőmotor (1) tengelye egy Oldham-tengelykapcsolón (10) keresztül kapcsolódik a golyósorsóhoz. Az említett tengelykapcsoló megenged egy kis sugárirányú eltérést a motor tengelye és a golyósorsó között, és kisebb helyet foglal el, mint a más típusú tengelykapcsolók.



**3. ábra.** A golyósorsós hajtással felszerelt translációs rész modellje: 1- léptetőmotor, 2- golyósorsó, 3- golyósanya, 4- összekötő alkatrész, 5- asztallap, 6- csapágybefogó, 7- hajtásrögzítő állvány, 8- acélszeg, 9- a csúszkán lévő állvány.

### 2.2. A rotációs rész tervezése

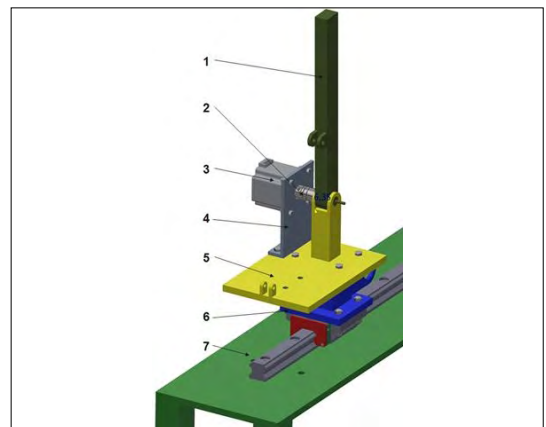
Az általam tervezett berendezés rotációs része a 4. ábrán látható, két fő alkotóelemből áll: az alaptól (5) és a karból (1).

A sárga alap (2) egy 210 mm hosszú, 140 mm széles és 10 mm vastag alumíniumlemezből és egy 100 mm hosszú, 30 × 30 mm-es alumíniumtömbből van kialakítva. A 30 × 30-as alumíniumtömb helye az alumíniumlemezen úgy van meghatározva, hogy amikor a talpat (5) és a kart (1) felszerelik a csúszkán lévő állványra (6), akkor a kar (1) függőleges helyzetében a csúszkán lévő állvány felületének közepén legyen. Amint a 4. ábrán is megfigyelhető, a talp (5) felülete nagyobb, mint a csúszkán lévő állvány (6) felülete, ennek az az oka, hogy a rotációs rész meghajtását segítő energia-átalakítókat lehessen rögzíteni. A kar (1) két 15 mm belsőátmérőjű golyóscsapágyon keresztül kapcsolódik a talphoz, itt alakul ki a rotációs csukló. A kar (1) egy 300 mm hosszú, 20 × 30 mm-es alumínium zártszelvényből készül.

A rotációs rész meghajtása háromtípusú energiaátalakítóval vagy mechanizmussal történik:

- munkahengerrel történő pneumatikus hajtás;
- léptetőmotoros hajtás;
- léptetőmotoros hajtás fogasszíjjal.

A rotációs hajtástípusok közül csak a léptetőmotoros hajtás lesz továbbá bemutatva, mivel a szimulálás során ez a hajtástípus volt felszerelve a berendezésre. A pneumatikus hajtás esetén a rotációs kar elfordulását egy 150 mm-es löket-hosszú, kétszeres működtetésű munkahenger



**4. ábra.** A berendezés rotációs része a léptetőmotoros meghajtással felszerelve: 1- kar, 2- tengelykapcsoló, 3- léptetőmotor, 4- motortartó, 5- rotációs csukló-alap, 6- csúszkán lévő állvány, 7- asztallap.

biztosítja. A fogasszíjhajtás esetén a léptetőmotor forgó mozgása egy fogasszíjtáttelen keresztül adódik át a rotációs csuklónak.

**A léptetőmotoros hajtás leírása:**

Ennél a meghajtástípusnál (4. ábra) a motor (3) forgása egy tengelykapcsoló segítségével a rotációs csukló tengelyére kerül át, tehát a kar (1) forgási sebessége megegyezik a léptetőmotor (3) rotorjának forgási sebességével.

A motortartó állvány (4) két M8-as csavarral van felfogatva a rotációs csukló-alapra (5), úgy, hogy a léptetőmotor (3) rotorja és a rotációs csukló tengelye egytengelyű legyen. Az állvány (4) egy 5 mm vastag alumíniumlemezből készül. A léptetőmotor (3) tengelye és a rotációs csukló tengelye egy 6 mm-es belső átmérőjű csőmembrános tengelykapcsoló (2) segítségével kapcsolódik, azért választottam ezt a típusú tengelykapcsolót, mert elnyeli a két tengely közötti szög-, párhuzamossági hibákat.

**3. A berendezés szimulációja**

A berendezés szimulálása a MATLAB Simulink felületén keresztül történt, így megteremthetőek azok a körülmények a berendezés számára, amelyekkel a valós környezetben találkozna a működése során.

A szimuláció során a bemutatott mechanizmus karakterisztikus pontját (P) egy függőleges egyenes mentén mozgatjuk (5. ábra).

**3.1. A szimulációhoz szükséges számítások**

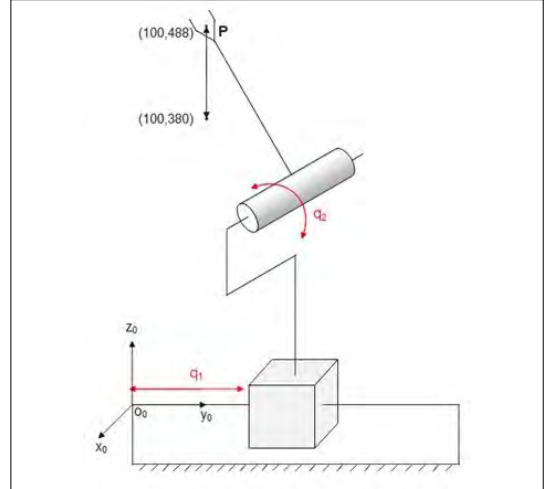
Ahhoz, hogy a karakterisztikus pont a 5. ábrán látható függőleges egyenesen haladjon végig, a berendezés mindkét csuklója mozgásba kell, hogy jöjjön, tehát a  $q_1$  és a  $q_2$  csuklóparaméterek állandó változásban lesznek. A változásukat pedig egy-egy egyenlet fogja leírni, amelyek a mechanizmus inverz geometriai feladatának segítségével határozhatóak meg.

Az inverz geometriai feladat megoldásához, a Denavit–Hartenberg-konvenciót alkalmazva, az 1. táblázatban látható paraméterek lesznek használva a modellezés során.

Az (1), (2), (3), (4) képletekbe behelyettesítve a paramétereket, és a szorzásokat elvégezve, majd az egyenletekből a  $q_1$  és  $q_2$  csuklóváltozókat kifejezve, meghatározhatók ezek értékei (5) a karakterisztikus pont koordinátájának és a mechanizmus geometriájának függvényében. Behelyettesítve a rendszer méreteit ( $l_1 = 209$  mm,  $l_2 = 290$  mm,  $l_3 = 0$  mm), a csuklóváltozók parametrikus egyenletei lettek kiszámítva (6), melyek alapját képezik

**1. táblázat.** A Denavit–Hartenberg-paraméterek táblázata

DH	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$	$\theta_i$	$d_i$
1	$-\pi/2$	0	$-\pi/2$	$l_3 + q_1$
2	$\pi/2$	$l_1$	$0 + q_2$	0



**5. ábra.** A berendezés vázlatja a függőleges a karakterisztikus pont (P) útvonalával, illetve a mechanizmus csuklóparamétereivel.

a Simulink modellben a rotációs és a translációs csuklók vezérlésének.

$$[T] = T_R \left( x_0, -\frac{\pi}{2} \right) \cdot T_T (x_0, 0) \cdot T_R \left( z_1, -\frac{\pi}{2} \right) \cdot T_T (z_1, (l_3 + q_1)) \tag{1}$$

$$[T] = T_R \left( x_1, \frac{\pi}{2} \right) \cdot T_T (x_1, l_1) \cdot T_R (z_2, q_2) \cdot T_T (z_2, 0) \tag{2}$$

$${}^0_2[T] = {}^0_1[T] \cdot {}^1_2[T] \tag{3}$$

$${}^0_{rP} = {}^0_2[T] \cdot {}^2_{rP} \tag{4}$$

$$\begin{cases} q_1 = y_P - l_3 - l_2 \cdot \sin \left( \arccos \left( \frac{z_P - l_1}{l_2} \right) \right) \\ q_2 = \arccos \left( \frac{z_P - l_1}{l_2} \right) \end{cases} \tag{5}$$

$$\begin{cases} q_1 = y_P - 290,488 \cdot \sin \left( \arccos \left( \frac{z_P - 209,512}{290,488} \right) \right) \\ q_2 = \arccos \left( \frac{z_P - 209,512}{290,488} \right) \end{cases} \tag{6}$$

**3.2. A szimuláció menete**

Az Autodesk Inventor szoftverben megtervezett háromdimenziós modellt a Simscape Multibody

Link szoftvercsomag segítségével a MATLAB Simulink környezetbe lehet áttölteni, ahol megfigyelhető és tanulmányozhatóvá válnak a különböző alkatrészek, alszerelések közti kapcsolatok, és lehetőség nyílik a berendezés működésének szimulálására is.

A szimulálás során a berendezés translációs csuklójának hajtásaként a golyósoros megoldás van beszerelve, a rotációs csuklón pedig a léptetőmotoros hajtás kapott helyet. Ennek a rendszernek a Simscape MultiBody modellje látható az **6. ábrán**. A szimulálás a rotációs (R-csukló) és a translációs (T-csukló) csuklóra az egyenletek szerinti mozgás bevitelével történt. Ebből adódóan a mozgás geometriai vezérlése a bemenetről van biztosítva, míg a mozgás megvalósításához szükséges dinamikus erőt és nyomatékot a rendszer számolja ki.

A középső, *Mechanizmus* nevű kék keretben található meg a rendszer alapja, és az ahhoz tartozó alkatrészek tömbjei (a tömbök azokat az alkatrészeket tartalmazzák, amelyek egymáshoz képest nem mozdulnak el):

- a tömb, amely magában foglalja az asztalt, a sánt, és a sán végén lévő állványt;
- a translációs csukló, amely a sánt és a csúszkát kapcsolja össze, ezt kell működtetni a  $q_1$  paraméter (6) egyenletével;
- a csúszkaszerelés tömb, amely magában foglalja a csúszkát, a csúszkán lévő állványt és a rotációs rész alapját;

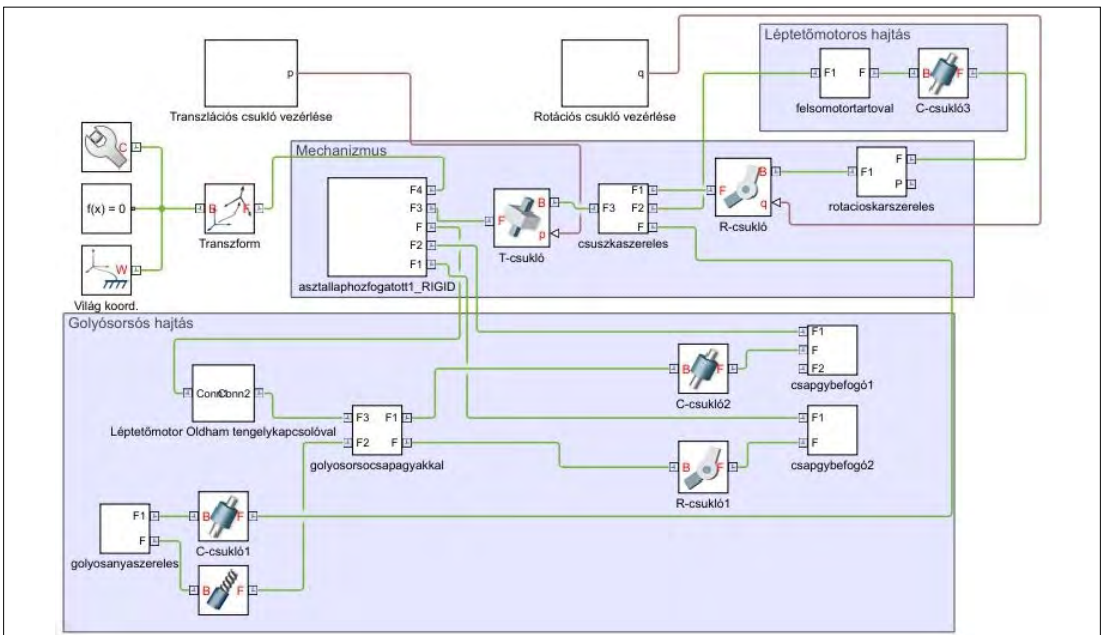
- a rotációs csukló, amely a rotációs rész alapja és a rotációs kar közé van beépítve, ennek a hajtása történik a  $q_2$  paraméter (6) egyenletével;
- a végső kar tömbje.

A felső keretben található a rotációs rész hajtásának modellje, amely jelen esetben a léptetőmotoros hajtás, itt is megfigyelhetők a hajtást alkotó alkatrészek és azok kapcsolódása:

- a léptetőmotor-tartó tömb, amely tartalmazza a léptetőmotor, a léptetőmotor-állvány és a csőmembrános tengelykapcsoló modelljét;
- egy hengeres csukló rögzíti a rotációs csukló tengelyét és a léptetőmotor tengelyére szerelt csőmembrános tengelykapcsolót.

Az alsó keretben található a translációs rész hajtása, amely ebben az esetben a golyósoros hajtás, itt is szintén megfigyelhetők a hajtás összetevői:

- a tömb, melyben a léptetőmotor és az Oldham-tengelykapcsoló kapott helyet;
- a csapágybefogó 1 és csapágybefogó 2 tömbökben a két csapágybefogó található, és a hozzájuk tartozó csapágyak;
- a golyósanya-szerelés tömbben a golyóánya és a köztes alkatrész kapott helyet, ezzel kapcsolódik a csúszkához;
- a golyósoróscsapágyakkal tömbben a golyósoró található meg;



**6. ábra.** A szimulálás során használt Simscape MultiBody-modell



–egy csavarcsuklón keresztül kapcsolódik össze a golyósorsó és a golyósánya.

Meg kell még említeni, hogy a szimuláció során csak a golyósorsós hajtást és a léptetőmotoros hajtást lett vizsgálva, viszont a Simscape-modell esetében is lehetőség van a translációs és a rotációs rész meghajtásainak típusának a cseréjére, mivel a modell is modulárisan készült.

Amint a **6. ábrán** megfigyelhető, a rotációs csuklóba (R-csukló) a  $q$  bemeneten keresztül van bekötve a mozgást megadó Rotációs csukló vezérlése nevű alrendszer. A translációs csuklóba (T-csukló) pedig a  $p$  bemeneten keresztül van bekötve a mozgását meghatározó Transzlációs csukló vezérlése nevű alrendszer. Ebben a két alrendszerben vannak implementálva a (6) egyenletben meghatározott  $q_1$  és  $q_2$  csuklóváltozók egyenletei.

### 3.3. A szimuláció kiértékelése

A szimuláció végeztével lehetőségünk van a megjeleníteni különböző kinematikai és dinamikai paramétereket, melyek meghatározzák a rendszer működését. Például, ábrázolni lehet a karakterisztikus pont elmozdulását, sebességét, gyorsulását, a derékszögű viszonyítási rendszerhez képest, a szimuláció teljes idejére, vagy akár a csuklók elmozdulását, sebességét, gyorsulását, a rendszer működéséhez szükséges nyomatékokat/erőket is lehetőség van meghatározni, majd számmértékként vagy grafikusan megjeleníteni a szimuláció eredményeképpen.

## 4. Következtetések

Következtetésként összefoglalható, hogy sikerült megtervezni és szimulálni egy olyan moduláris rendszert, amelynek a segítségével lehetőség nyílik bemutatni és tanulmányozni egy mechatronikai rendszer felépítését, összetételét. A tervezés során előírt követelményeket sikerült teljesíteni: több energiaátalakítóval, mechanizmussal történő meghajtását a csuklóknak, a hajtások gyors és viszonylag egyszerű cserélhetőségét.

A berendezés tervezése és szimulálása során beigazolódtak a szakirodalomban is leírt előnyök és hátrányok a különböző meghajtástípusoknak.

A pneumatikus hajtás esetében az előnyök: egyenes vonalú mozgások egyszerű megvalósítása, zavaró hatásokra kevésbé érzékeny, rugalmas (mechanikaisokk-elnyelő képesség). Hátrányai: viszonylag nagy energiaköltségek, egyenletes, állandó sebességű mozgások, a terheléstől függetlenül nem állíthatók elő.

A fogasléces hajtás előnyei a mechanikai egyszerűség, nagy terhelhetőség, míg hátránynak az esetleges holtjáték miatt pontatlan vezérlését és a gyengébb hatásfokot említhetjük.

A golyósorsós hajtás esetében a nagy pontosság, merevség, jó hatásfok, kicsi súrlódás a gördülő elemek között előnynek számít, míg a nagyobb beszerzési költség hátrányt jelenthet.

A forgókaros hajtás előnye az egyszerű felépítés, majd a nagy terhelés a motorra indításnál, illetve hátrány lehet, hogy a csúszka lineáris állandó sebességéhez a forgótengelyű motor megfelelő vezérlése szükséges.

Rotációs mozgás esetében a pneumatikus hajtás előnyei az egyszerű forgásirányváltás, az egyszerű vezérlőrendszer felépítése, károsodás nélkül viselik az esetleges túlterhelést, míg hátrányai a forgómozgás nehézkes megvalósítása, állandó sebességű mozgás terhelés függvényében nehezen előállítható, illetve nagy energiaköltségek.

A léptetőmotoros hajtás esetében a legjobb hatásfok, legkisebb energiaköltségek, pontos pozícionálhatóság kedvező megoldást jelent. Hátrányai között az alacsony fordulatszám, nem számítógépes környezetben bonyolultabb vezérlés, azonos teljesítmény mellett nagyobb tömeg jelenik meg, mely a rendszer dinamikáját befolyásolja kedvezőtlenül.

A fogasszíjhajtás előnyei: könnyen gyártható és szerelhető energiaátvitelt biztosít, jó hatásfokkal dolgozik (90–98%), pontos szinkronhajtást tesz lehetővé. Fő hátrányának a gyengébb pozícionálhatóság említhető meg.

Mindezek által egy olyan mechanikai rendszert és modellezési, szimulációs eljárást valósítottunk meg, mely modularitásának segítségével a különböző megoldások kinematikai és dinamikai, leginkább oktatási célra történő összehasonlítását teszi lehetővé.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Forgó Z.: *Bevezetés a Mechatronikába*. Erdélyi Műzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2009. <https://doi.org/10.36242/mtf-06>
- [2] Antal H., Aradi P., Czmerk A., Lakatos B., Chován T. és Varga T.: *Mechatronikai berendezések tervezése*. Kiadó BME MOGI, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0042 projekt keretében készült, 2014.
- [3] Bencsik A.: *Mechatronika alapjai*. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, TÁMOP-4.1.2.A/1-11/1-2011-0054 projekt keretében készült, Budapest, 2014.

# Klasszikus és módosított fogtőgörbe összehasonlító vizsgálata

## A Comparison between a Classical and a Modified Root Fillet

Hodgyai Norbert,<sup>1</sup> Tolvaly-Roşca Ferenc,<sup>2</sup> Máté Márton<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup> [hodgyai@ms.sapientia.ro](mailto:hodgyai@ms.sapientia.ro)

<sup>2</sup> [tferi@ms.sapientia.ro](mailto:tferi@ms.sapientia.ro)

<sup>3</sup> [mmate@ms.sapientia.ro](mailto:mmate@ms.sapientia.ro)

### Abstract

The main purpose of this paper consists in improving the rigidity of the gear tooth by applying various root fillet forms that differ from the classical 0.38m radius circle arc. During the research the necessity of the re-formulation of the undercut appeared. It appears much later in case of applying rounded addendum edge planing comb as in case of using a classic generating profile tool. Therefore, the limits of the profile shifting can be significantly extended without weakening the tooth dedendum.

The paper presents the stress repartitions under equal load, which occur on classic teeth, and on teeth having a modified root fillet. In this last case, the modified root fillet is the envelope of the curve family constituted by the rounded edge curves, in the relative motion of the comb related to the cut gear.

**Keywords:** *gear, root fillet, stress analysis, deformation, rigidity.*

### Összefoglalás

A kutatásunk célja, hogy a szabványos 0,38m sugarú körívvel közelített foglábgörbétől eltérő foglábgörbékét használva javítsuk a fog merevségét. A kutatás során fény derült az alámetszési probléma újra értelmezésének szükségére, mivel a lekerekített fejű fésűskéssel sokkal kisebb fajlagos profíleltolás-értékekre jelenik meg az alámetszés, mint a hegyes elméleti szerszám esetében, így jóval nagyobb profíleltolásokat alkalmazhatunk, mint korábban, a fog radikális gyengítését elkerülve. A dolgozatban azt tárgyaljuk, hogy a lefejtő fogasléc lekerekített fejének burkológörbéjét használva foglábgörbéként, a deformációk különböznek-e a hagyományos szerszámmal generált fogaskerekék deformációitól a terhelésekor.

**Kulcsszavak:** *fogaskerek, foglábgörbe, terhelésanalízis, deformáció, merevség.*

### 1. Bevezetés

Az evolvensgörbe generálása szempontjából a hengeres kerekék lefejtő szerszámait két csoportba sorolhatók:

- az álló egyenes módszerével generáló szerszámok – ezek a fésűskések;
- a mozgó egyenes módszerével generáló szerszámok – a csigamaró, a metszőkerék és a hámozókerék [1].

Az evolvens fogprofilú fogaskerek gyártása fogasléc alakú szerszámmal a legpontosabb, mivel a lécskerék kinematikai kapcsolat egyenértékű a körön legördített egyenes mozgásával, az egyenes élalak pedig mindig pontosabban előállítható, mint a görbült felületekről származó él. Tehát, ha a gyártandó kerék osztókörén a szerszám osztóvonalát csúszásmentesen legördítjük, akkor a fogasléc fogprofil-merőleges mindig az alapkörön

gördül le, és a különböző helyzetekbe kerülő élnyomok seregét burkoló görbe a lefejtett kerék fogprofilja lesz. Ebben az esetben a fogasléc fogai egyszerű trapéz alakúak. Többek között emiatt terjedt el az evolvens fog használata, mivel a fogasléc alakú fogazószerszámokat egyszerűen és nagy pontossággal lehet gyártani, ezzel ellentétben a szerszám gép kinematikája a lehető legbonyolultabb.

Az evolvens profilú hengeres kerek lefejtő fogaslécének alprofilja, a DIN 867-1986 szerint, az 1. ábrán látható.

A kutatási célnak megfelelően, a lehető legpontosabban generáló szerszámot választjuk alapul, majd a szerszám fejének lekerekítését módosítjuk. A módosított fogfejű szerszámmal generált profil és a szabványos profil azonos körülmények közt terheljük (anyagminőség, terhelési erő, a virtuális térben azonos rögzítési bázisfelület). Terhelési analízist alkalmazunk, hogy vizsgáljuk az általunk javasolt fogprofilal gyártott fog viselkedését, a gyakorlatban alkalmazott, kisebb lekerekítésű szerszámmal előállított fogazathoz viszonyítva.

## 2. A matematikai modell

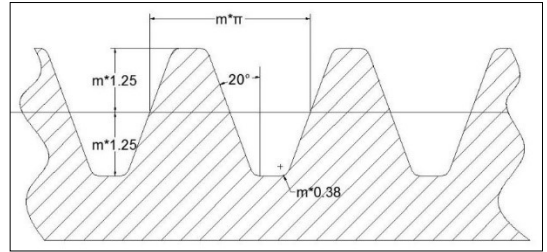
### 2.1. A fogláb görbe egyenletei

A fogazási eljárás matematikai modelljének felépítéséhez szükséges geometriai alapmodell a 2. ábrán látható.

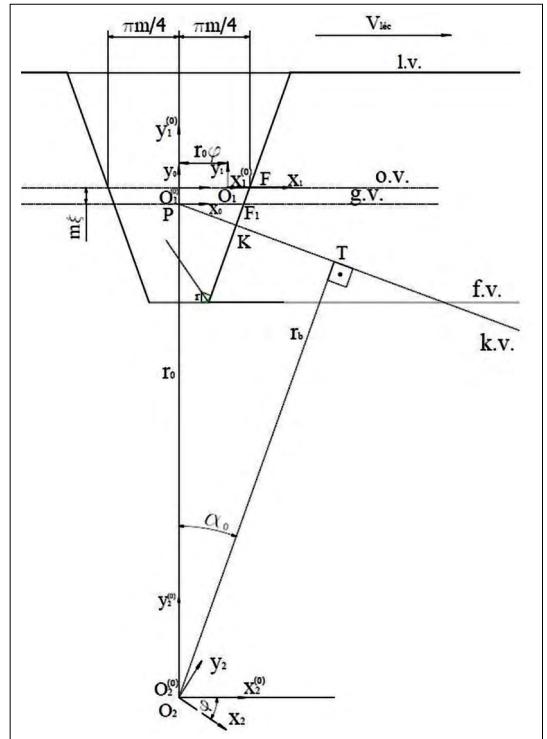
A fogazószerszám fogprofilja a tengelytárvonalhoz viszonyítva szimmetrikus alaphelyzetben található. Az ábrán a következő 5 koordináta-rendszer tüntettük fel:

- $X_0PY_0$  – a rögzített koordináta-rendszer, amelynek P origója a lécs-kerék virtuális hajtás pontjában található, így a  $PX_0$  tengely érinti a gördülő kört;
- $X_1^{(0)}O_1^{(0)}Y_1^{(0)}$  – a léchez rögzített koordináta-rendszer, alaphelyzetben;
- $X_1O_1Y_1$  – a léchez rögzített koordináta-rendszer, miután a fogazandó kerék  $\varphi$  szöggel elfordult a fogazás során;
- $X_2^{(0)}O_2^{(0)}Y_2^{(0)}$  – a fogazandó kerékhez rögzített koordináta-rendszer, alaphelyzetben;
- $X_2O_2Y_2$  – a fogazandó kerékhez rögzített koordináta-rendszer, miután a kerék  $\varphi$  szöggel elfordult a fogazás során.

A fogazási eljárás alatt a fogazószerszám eltávolítja a szerszámprofil körvonalán belül található anyagot. Ezt a modellezés során úgy értelmezzük, hogy a profil, amely kialakul az előgyártmányon, az a fogazószerszám élének burkológörbéje.



1. ábra. A lefejtő fogasléc



2. ábra. A lefejtés geometriája

A fogprofil egyenleteinek kiszámításához a fogaskerék rendszerében kell dolgoznunk a továbbiakban.

A lefejtő lécs profilját a saját rendszerében tudjuk a legkönnyebben felírni, majd a fogaskerék rendszerébe transzformáljuk az alábbi módon:

$$\mathbf{r}_2 = \mathbf{M}_{21} \mathbf{r}_1 \tag{1}$$

A számítások elvégzése után a transzformációs mátrix alakja a következő lesz:

$$\mathbf{M}_{21} = \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 & a_{14} \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 & a_{24} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \tag{2}$$

$$a_{14} = r_0 \varphi \cos \varphi - (r_0 + m\xi) \sin \varphi$$

$$a_{24} = r_0 \varphi \sin \varphi + (r_0 + m\xi) \cos \varphi$$

A kapcsolódási egyenletet [2] a gyártóléc koordinátarendszerében írjuk fel és oldjuk meg:

$$\mathbf{v}_1^{(12)} \times \mathbf{n}_1 = 0 \tag{3}$$

A (3) egyenletben szereplő mennyiségek kifejezése sorban a következők,  $\omega = -1$ -re:

$$\mathbf{v}^{(12)} = \mathbf{v}^{(1)} - \mathbf{v}^{(2)} \tag{4}$$

$$\mathbf{v}_1^{(1)} = (r_0 \omega \ 0 \ 0)^T = (r_0 \ 0 \ 0)^T \tag{5}$$

$$\mathbf{v}_1^{(2)} = \begin{bmatrix} y_1 + r_0 + m\xi \\ -x_1 - r_0\varphi \\ 0 \end{bmatrix} \tag{6}$$

A normális vektor  $(n_x \ n_y \ 0)$  összetevőivel a léccerék kapcsolódási egyenlet általános alakja a következő:

$$(y_1 + m\xi)n_x + (x_1 + r_0\varphi)n_y = 0 \tag{7}$$

A kapcsolódási egyenletet a fogláb görbe analitikus felírására használjuk fel. A koordinátarendszerek helyzete a 3. ábrán látható. A gyártóléc lekerekített profiljának egyenletei, a léccerékben a következők:

$$\begin{cases} x_1(u) = x_c + r \cos(\alpha_0 + u) \\ y_1(u) = y_c - r \sin(\alpha_0 + u) \end{cases} \tag{8}$$

A körív normálvektorának koordinátái:

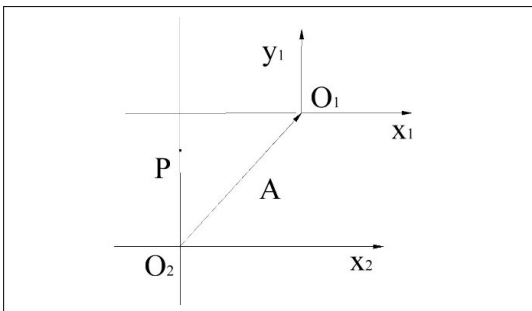
$$\mathbf{n}(u) = (\cos(\alpha_0 + u) \ \sin(\alpha_0 + u) \ 0)^T \tag{9}$$

A körív alakú lekerekítés határainak számítása részletesen megtalálható a [3]-ban. A lekerekítési sugár legnagyobb lehetséges értékét abból a feltételből számítjuk ki, hogy ennek fogmagasság-irányú terjedelme ne lépje túl a  $c = 0,25$  m szabványos foglábhözagértéket. Ennek alapján a legnagyobb lehetséges fajlagos sugár értéke

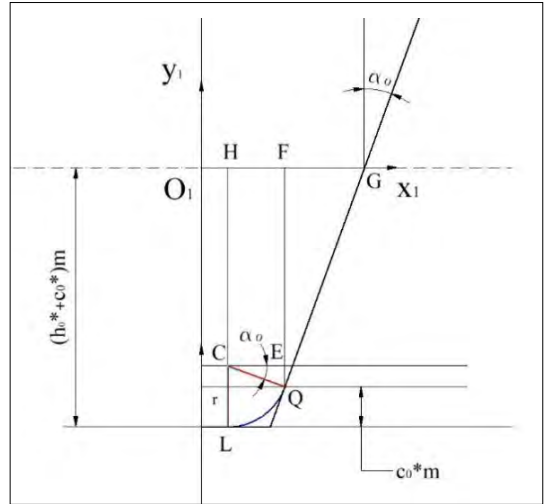
$$r_{max}^* = \frac{c_0}{\cos \alpha_0} \operatorname{tg} \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha_0}{2} \right) \tag{10}$$

A fentiek alapján, a lefejtő léccerék lekerekítési sugarát az

$$r = m\psi r_{max}, \psi \in (0,1) \tag{11}$$



3. ábra. A koordinátarendszerek helyzete



4. ábra. A C-középpont koordinátáinak számítása

képlettel számoljuk. A kerékíves ív középpontjának koordinátái [3] pedig (4. ábra):

$$\begin{cases} x_1^C = m \left( \frac{\pi}{4} - (h_0^* + c_0^*) \operatorname{tg} \alpha_0 - \frac{\psi r^*}{\cos \alpha_0} \right) \\ y_1^C = (\psi r^* - (h_0^* + c_0^*))m \end{cases} \tag{12}$$

A fogláb görbét kialakító burkolt görbesereg egyenleteit az (1), (2) és (8) képletekből számítjuk. A műveletek elvégzése után ezek a következők lesznek:

$$\begin{cases} x_2(u, \varphi) = A \cos \varphi + B \sin \varphi - r_0(\sin \varphi - \varphi \cos \varphi) - m\xi \sin \varphi \\ y_2(u, \varphi) = A \sin \varphi + B \cos \varphi + r_0(\cos \varphi + \varphi \sin \varphi) + m\xi \cos \varphi \\ A = x_c + r \cos(\alpha_0 + u) \\ B = y_c - r \sin(\alpha_0 + u) \end{cases} \tag{13}$$

A (7) kapcsolódási egyenlet a (9) normálvektor-koordinátákkal homogén trigonometriai egyenletté egyszerűsödik, melynek megoldása [3]

$$u(\varphi) = \begin{cases} -\operatorname{arctg}(g(\varphi)) - \alpha_0 + \pi, \varphi \leq \varphi_{kr} \\ -\operatorname{arctg}(g(\varphi)) - \alpha_0, \varphi > \varphi_{kr}, \\ g(\varphi) = (y_1^C + m\xi)/(x_1^C + r_0\varphi) \end{cases} \tag{14}$$

### 2.2. A fogláb görbe és az evolvens szakasz érintkezési pontjának vizsgálata

A fogláb görbe parametrikus egyenletei, a kapcsolódási egyenlet megoldásának alakja miatt, meglehetősen bonyolultak és nem egyszerűen alkalmazhatók. A testmodell előkészítése céljából szükséges meghatározni az elméleti evolvens fog-

profil és a valós foglábgörbe érintkezési pontját, amely a talpkörön illeszkedik. A lekerekített generáló fogasléc esetében is lehet a [4]-ben alkalmazott geometriai szerkesztést alkalmazni. Jelen tanulmányban csak azon esetek elemzésére összpontosítunk, amelyek az alámetszés határa fölött vannak, tehát a fogláb és az evolvensgörbe érintők, nem pedig metszők.

**2.2.1. Az evolvens geometriai felírása**

Az „A<sub>1</sub>” pontot a lefejtő szerszám „A” pontja generálja, az „A<sub>2</sub>” pontot pedig az egyenes élszakasz első pontja generálja (5. ábra). Mivel az egyenes szakasz végpontja és a körívszakasz kezdőpontja egybeesnek, valamint a két görbe csatlakoztatott, az adott pontban van közös érintőjük, tehát közös normálisuk is. Ez azt jelenti, hogy a burkolóprofilon a két görbe egy időben hozza létre a megfelelő pontot.

**2.2.2. A talpkör kiszámítása a kapcsolóvonal alapján**

Az 6 ábrán a PBE-tengelyvonal és a kapcsolóvonalra ennek T pontjából emelt merőleges a kerék O<sub>2</sub>-középpontjában metszik egymást, tehát OP = r<sub>0</sub> és OT = r<sub>b</sub>.

Az 6. ábrán felismerhető geometriai összefüggésekből:

$$PB = m(h_0 + c_0 - \xi) - m\psi r^*(1 - \sin \alpha_0)$$

$$AA_1 = BA_1 - BA = m(h_0 + c_0 - \xi - \psi r^*) \operatorname{ctg} \alpha_0 \quad (15)$$

Innen az A pont kapcsolásának megfelelő legördülési szög értéke

$$\varphi_A = \frac{AA_1}{r_0} = \frac{2(h_0 + c_0 - \xi - \psi r^*) \operatorname{ctg} \alpha_0}{z} \quad (16)$$

A talpkör sugarát a [4] alapján és a 6. ábrán használt jelölésekkel az OTA<sub>1</sub> háromszögből számítottuk ki. A számítás részletezésétől eltekintünk.

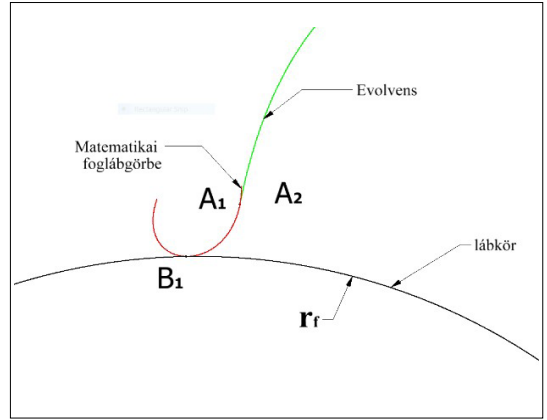
Az elméleti evolvens matematikai generálásából (7. ábra) származtatott egyenletek a következők

$$\begin{cases} x(v) = r_b(\sin(\varepsilon + v) - v \cos(\varepsilon + v)) \\ y(v) = r_b(\cos(\varepsilon + v) + v \sin(\varepsilon + v)) \end{cases} \quad (17)$$

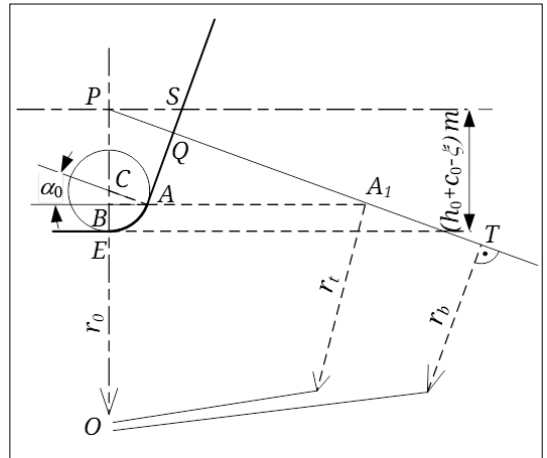
Az ε szög az alapköri fogárokív felszögét jelzi:

$$\varepsilon = \frac{\pi}{2z} - 2\frac{\xi}{z} \operatorname{tg} \alpha_0 - \operatorname{inv} \alpha_0 \quad (18)$$

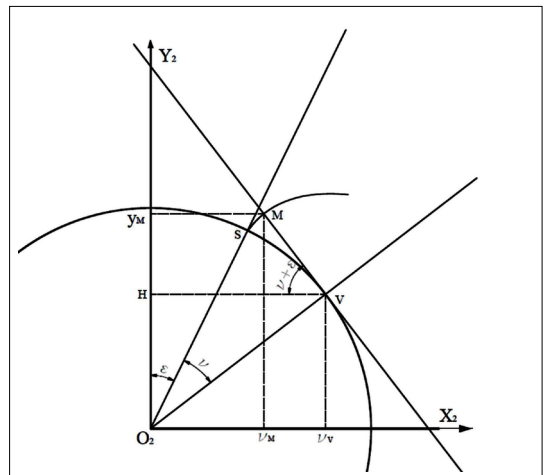
Ismervén az r<sub>t</sub>-alapkör sugarát, a (17) egyenletekből kiszámítjuk a v paraméter intervallumát:



5. ábra. A körív által generált foglábgörbe csatlakozása az evolvenshez és a lábkörhöz



6. ábra. A talpkör sugarát értelmezése a lekerekített szerszám esetében



7. ábra. Az evolvens matematikai generálásához használt ábra

$$r_t \leq r_x \leq r_a \Leftrightarrow \sqrt{\frac{r_t^2}{r_b^2} - 1} \leq \varepsilon \leq \sqrt{\frac{r_a^2}{r_b^2} - 1} \quad (19)$$

Szintén a **6. ábra** alapján kijelenthetjük, hogy a mozgásparaméter nulla értékének megfelelő alaphelyzetben nemcsak az egyenes profil  $Q$  pontja kapcsol, hanem az  $AE$  körív  $A$  pontja is.

Az ábráról ki lehet következtetni, hogy a fogláb görbe burkolása és az evolvens fogoldal burkolása egyidejűleg történik: míg az evolvens profil a kisebb polársugarú pontok irányában alakul ki, a fogláb görbe a lábkörtől, a talpkör tehát a polársugarak növekedésének irányában.

Innen következtetünk, hogy a fogláb görbét a burkoló (14) és (16) egyenleteiből írjuk fel, úgy, hogy a  $\varphi$  paramétert a  $[0, \varphi_A]$  intervallumban futtatjuk.

### 2.3. A generált görbék bemutatása

A **8. ábrán** látható görbe felrajzolását a megadott egyenletek alapján a Mathcad 15 szoftverben végeztük, ahol első lépésben definiáltuk a kezdeti paramétereket. A fogaskerék választott paramétereire a következők voltak:

- modul: 50 mm,
- alapprofilszög:  $20^\circ$ ,
- fejmagasság – tényező: 1,
- lábhézag tényező: 0.25,
- fogsám: 18,
- profileltolási tényező: 0.

Bevezettük a fajlagos maximum sugárértéket (0.38). A fajlagos maximum sugárérték az 1 mm modulú fésűskés maximális lekerekítési sugara, amit „rcs”-vel jelöltünk.

Bevezettük a lekerekítés sugar-szabályzó tényezőt: amelyet  $\Psi_r$ -vel jelöltünk. A  $\Psi_r$  értéktartománya 0.1 közötti érték. Jelen esetben 0,79-et használtunk.

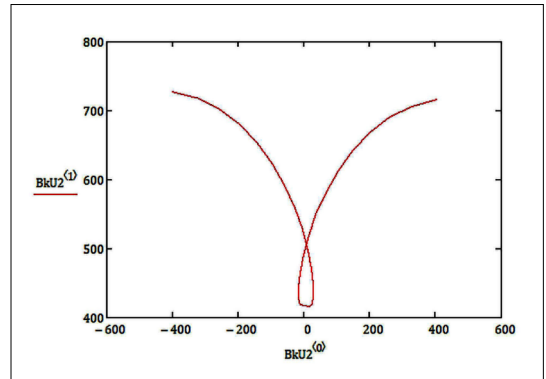
Az ábrázolás során észleltük, hogy a  $\varphi$  futóparaméter eléri a  $90^\circ$  értéket, emiatt az egyenletben megjelenő  $tg(\varphi)$  értelmét veszíti, ezért a fogláb görbét 3 részből állítottuk össze. Első esetben a  $\varphi < 90^\circ$  értékekre, ezt követően a értékekre, majd a  $\varphi = 90^\circ$ -ra kiszámolt értékekre határoztuk meg a görbe  $x, y$ -koordinátáit.

A talpkör pontját analitikusan is meg lehet találni, bár kissé bonyolultabb számítások árán: a geometriai evolvens poláregyenletét összevetjük a burkológörbe poláregyenletével:

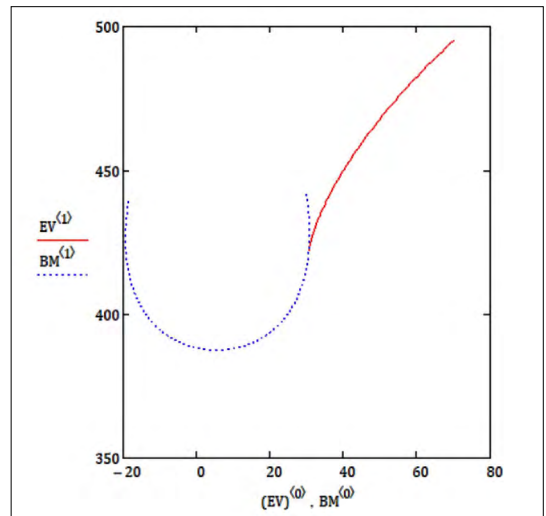
$$x^2 + y^2 = \rho^2 = r_b^2 \cdot (1 + \varphi^2) \quad (20)$$

$$x^2(\varphi, u(\varphi)) + y^2(\varphi, u(\varphi)) = r_b^2 \cdot (1 + \varphi^2) \quad (21)$$

$$\varphi \in [\varphi_1, \varphi_2] \quad (22)$$



**8. ábra.** A helyes, szakadásmentes burkolási görbe ábrája

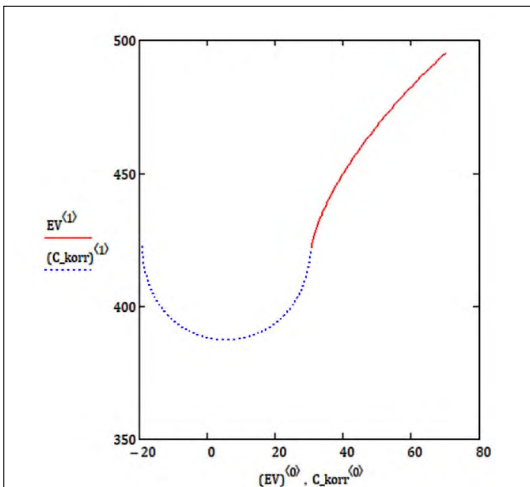


**9. ábra.** A burkoló evolvens szakasz és a fogláb görbe

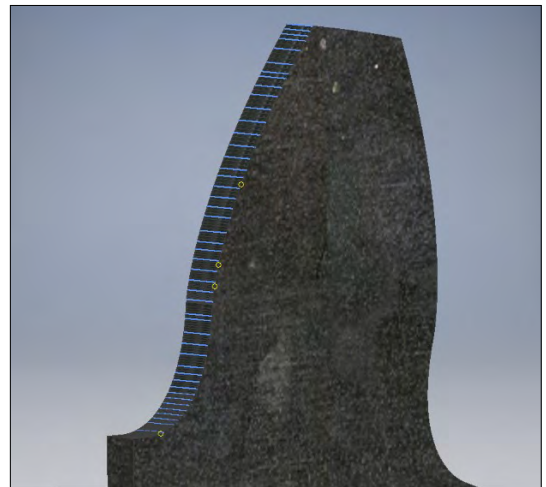
Mivel a **9. ábrán** látható fogláb görbe kezdeti végpontja a szükséges szakaszon túlhalad, ezt a programban javítjuk. Eredményként a **10. ábrán** látható görbeszakaszokat kapjuk.

A Mathcad-programmal előállított koordinátákat Excel-állományba mentettük, majd beolvastuk az AutoCad-programba. A szükséges körök megrajzolása után a fogprofil az osztóköri fogvastagság felére és az origóra nézve tükröztük, majd a fölösleges vonalrészeket eltávolítottuk, így megkaptunk egy teljes fogat és a lábkört amelyet a **11. ábrán** láthatunk.

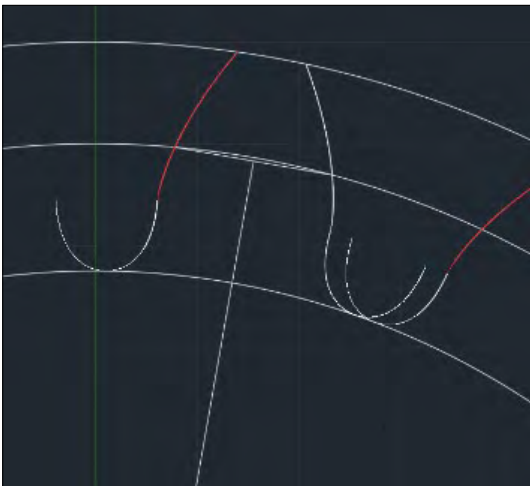
A lábkör és a fogláb görbe csatlakoztatásakor észlelt  $1 \cdot 10^{-6}$  nagyságrendű hibát a lábkör megnövelésével kompenzáltuk. A terhelésanalízisnél ez a hiba elhanyagolható különbséget jelent.



10. ábra. A végső evolvens és lábörbe profil



12. ábra. A fogfelület több apró felületből áll



11. ábra. Az AutoCad-programmal generált profil



13. ábra. Folytonos fogfelület spline görbével közelítve

A rajzmodell az AutodeskInventor programban testmodellé alakítottuk. A két programcsomag közötti kommunikációs hiba miatt az Autocadból átvett profilt az Inventor program nem folytonos felületként értelmezte, ezért a profilt simítanunk kellett. Ezt az Inventor programban nem sikerült elvégeznünk.

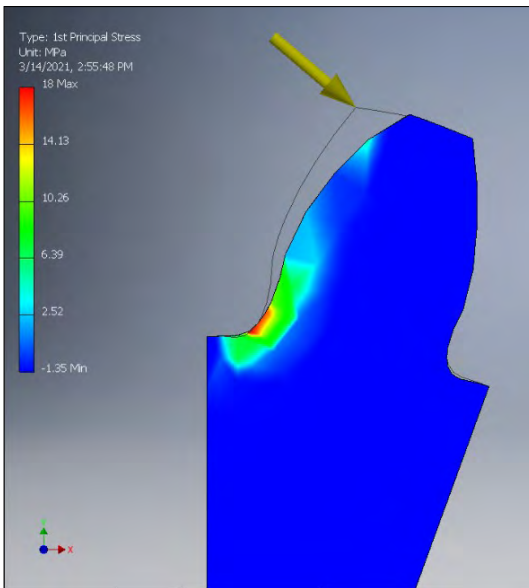
Ezt a lépést a SolidWorks program segítségével végeztük el; ami a profilt  $1 \cdot 10^{-6}$  pontossággal simította, és összefüggő felületet készített belőle (13. ábra).

### 3. A szabványoknak megfelelő fog terhelési analízise

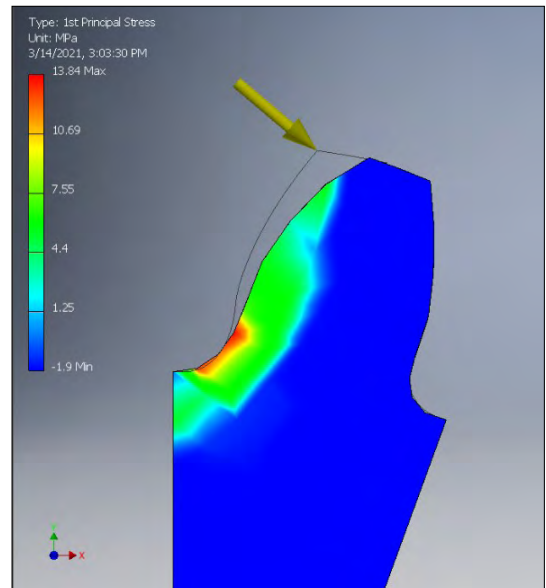
A gyakorlatban a lefejtő szerszám fogoldal és fejszalag találkozásánál megjelenik egy kis leke-

rejtés, amit 0,02 mm sugarú körívnek vettünk a modellezés során. Az előbbiekből felhasznált matematikai modellt alkalmazva elkészítettük a Mathcad programban a profilt, majd az Inventor környezetben elkészítettük a testmodellt, Solidworks környezetben simítottuk a profilt, amit 0,000456 mm eltéréssel készített a program. Ezt követően az Inventor környezetben elkészítettük a terhelésvizsgálatot, a fogaskerékszeletet a körből kimetszett V alak két oldalán mereven befogott oldalként definiáltuk, majd a legkedvezőtlenebb esetet feltételezve, azaz az erőt a profil csúcspontjába helyezve terheljük.

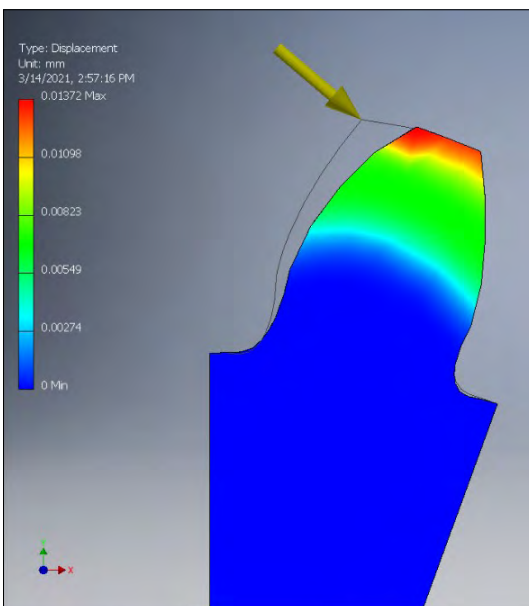
A vizsgálati eredmények a 14. és 15. ábrán láthatók.



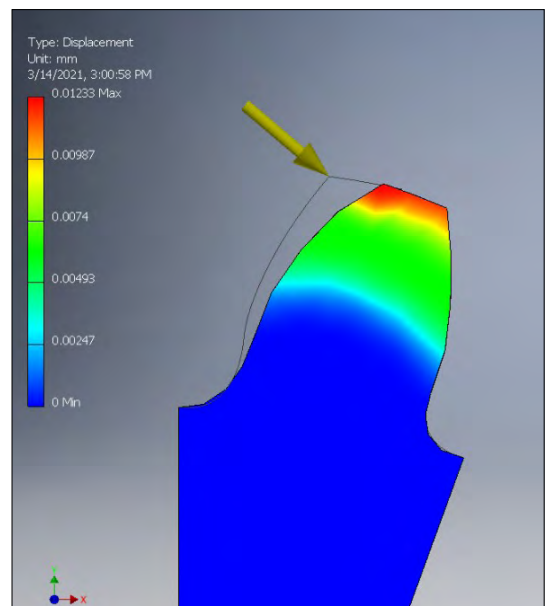
14. ábra. Az első főfeszültség eloszlása



16. ábra. Az első főfeszültség eloszlás



15. ábra. A legnagyobb elmozdulások ábrázolása



17. ábra. A legnagyobb elmozdulások ábrázolása

#### 4. A javasolt lekerekítéssel generált fog terhelési analízise

A javasolt, nagyobb lekerekítésű szerszámmal kapott fogláb görbével épített fogmodellt azonos körülmények között terheltek. A terhelésvizsgálat eredményeit a 16. és 17. ábrán szemléltettük.

#### 5. Következtetések

A feszültségeloszlás és az elmozdulások megfelelő ábráit összehasonlítva megfigyelhetjük, hogy adott irányú és nagyságú terhelőerő mellett, azonos rögzítési bázisfelületeket használva, a fog legnagyobb elmozdulása 10%-kal csökkent. Jelen esetben a fogazás során általános és egyszerű,



profileltolás nélküli kerekeket elemeztünk, de vélhetően a maximális profileltolást alkalmazva még ennél is jelentősebb mértékű különbségeket figyelhetünk meg.

Az első főfeszültségeket ábrázoló **14.**, illetve **16. ábrán** megfigyelhetjük, hogy a szabványos profil esetében a maximális feszültség értéke a fogtőben 18 MPa, míg a javasolt görbével 13,84 MPa. A fogoldalon a feszültség eloszlása sokkal egyenletesebb a javasolt görbét alkalmazva.

A maximális elmozdulásokat ábrázoló **15.**, illetve **17. ábrán** láthatjuk, hogy a szabványos profil esetében a maximális elmozdulás 0,01372 mm, míg a javasolt foglábgörbével, csak 0,01233 mm, tehát az elmozdulás értékét 10%-kal csökkentette a javasolt görbe.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Máté M.: *Hengeres fogaskerekek gyártószerszámai*. Erdélyi Múzeum-Egyesület, Kolozsvár, 2016. 110–111.  
<https://doi.org/10.36242/mtf-12>
- [2] Litvin F. L.: *A fogaskerékkapcsolás elmélete*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [3] Hodgyai N, Tolvaly-Roşca F., Máté M.: *Az alámetezés körülményei lekerekített gyártó fogasléc esetében*. Műszaki Tudományos Közlemények, 14. (2020) 30–36.  
<https://doi.org/10.33895/mtk-2021.14.05>
- [4] Szeniczei L.: *Az általános fogazás*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1955.
- [5] Tolvaly-Roşca F., Máté M., Forgó Z., Kakucs A.: *Development of Helical Teethed Involute Gear Meshed with a Multi-Edge Cutting Tool Using a Mixed Gear Teeth Modeling Method*. Procedia Engineering, 181. (2017) 153–158.  
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.421>.

# A szorítóujjas burgonyaültető gép adagolórendszerén a burgonyára ható erővektorok vizsgálata

## Investigation of the Force Vectors Acting on the Potato in the Clamping Finger Type Dosing System of a Potato Planter

Ilyés Szilárd,<sup>1</sup> Pásztor Judit<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, [ilyes.szilard@ms.sapientia.ro](mailto:ilyes.szilard@ms.sapientia.ro)

<sup>2</sup> Sapientia Erdélyi Magyar Tudományegyetem, Marosvásárhelyi Kar, Gépészmérnöki Tanszék, Marosvásárhely, Románia, [pjudit@ms.sapientia.ro](mailto:pjudit@ms.sapientia.ro)

### Abstract

The operational accuracy of the dosing system of the potato planting machine influences the planting plant spacing, and indirectly the crop yield. The operating accuracy depends on the design of the dosing system, its kinematics and the forces acting on the planting tubers. This dissertation presents the force vectors acting on the potato in the dosing system of the guided clamping finger type potato planting machine and their spatial motion during the dosing process. Examination of the vectors reveals the improved possibilities of tuber fixation.

**Keywords:** potato planter, clamping-fingers, guide rail, dosing device, vector.

### Összefoglalás

A burgonyaültető gép adagolórendszerének működési pontossága befolyásolja az ültetési tőtávolságot és egyben a lehetséges terméshozamot. A működési pontosság az adagolórendszer konstrukciójától, annak kinematikájától és az ültetési gumókra ható erőktől függ. A dolgozat bemutatja a vezérpályás szorítóujjas burgonyaültető gép adagolórendszerében a burgonyára ható erővektorokat és azoknak a termozgását az adagolási folyamat során. A vektorok vizsgálata feltárja a gumó rögzítésének fejlesztési lehetőségeit.

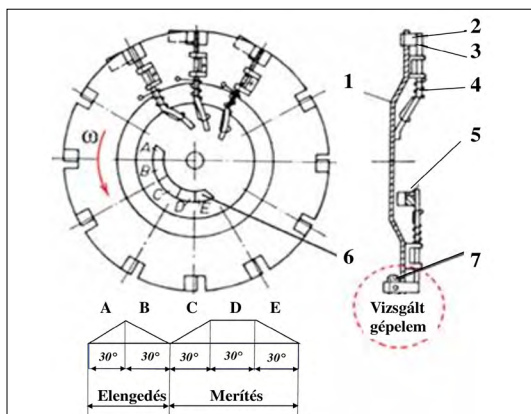
**Kulcsszavak:** burgonyaültető gép, vezérpálya, szorítóujj, adagolószerkezet, vektor.

## 1. Bevezetés

Az agrártudományokat kiszolgáló mezőgazdasági gépészet a gyakran egyszerűnek tűnő műszaki megoldások fejlesztésével egyértelműen hozzájárul a már létező munkagépek munkaminőségi paraméteri javításához.

A vezérpályás szorítóujjas adagolórendszerű burgonyaültető-gép Kelet-Európában terjedt el, a néhai csehszlovák iparnak köszönhetően.

A gép adagolószerkezetét és működését az **1. ábra** szemlélteti [1, 2]. Az 1-es ültetőtárcsa körmozgást végez, láncátteteleken és egy Norton-sebességváltón keresztül kapja a hajtását a talajhajtású meghajtókerékről. Az ültetőtárcsára



**1. ábra.** Szorítóujjas adagolórendszer [1]

általában 12 darab 2-es szorítóujj van rögzítve. A szorítóujjak a 3-as tengelyeik körül elfordulnak a 4-es torziós rugó ellenében. Az elfordulást az 5-ös büttyök vezérlí, így a szorítóujj rögzíti a 7-es gumót. A vezérlést a 6-os vezérlőpálya végzi.

A vezérlőpálya a szorítóujjakat a gumótartályba merüléskor csukja, felfelé haladva nyitja, majd a gumót megszorítva kiemeli, körbeszállítja, és az ejtőcsatorna fölött újra nyitva, a gumókat elengedi. Ez a folyamat az 1. ábrán követhető. A gumó a csoroszlya által nyitott barázdába kerül.

## 2. Gumókra ható erővektorok helyzetének elemzése a körforgás során

A  $C_M$ -tömegközponú gumókra ható erővektorok a 2. ábrán követhetők. Az 1-es pozícióban a szorítóujj rögzíti a gumót, a 1–2–3. pozíciókban a gumó szállítása történik. A 3-as pozícióban az ujj elengedi a gumót. A 4-es pozícióban zár az ujj.

A vizsgálat során az alábbi egyszerűsítéseket alkalmazzuk [3]:

- A gumó teljes kört ír le a tárcsával, de a valóságban elmarad a 3–4. szakasz (1. ábra).
- Elhanyagoljuk a tárcsaöböllyük geometriáját a tárcsán [4] és a légellenállást.
- A gumókat gömb formájúnak tekintjük.

Az  $O_dXYZ$  derékszögű koordinátarendszerben  $r$  sugarú,  $\phi = \phi(t)$  [rad] elfordulási szöggel jellemzett,  $C_M$ -pontba koncentrált  $R$  eredő erővektor a  $G$  súlyerő, az  $F_c$  centrifugális erő, az  $F_p$  szorítóujj nyomóerejének vektoriális összege:

$$R = G + F_c + F_p \quad [N], \tag{1}$$

$$G = m \cdot g \quad [N], \tag{2}$$

$$F_c = m \omega^2 r \quad [N], \tag{3}$$

$$F_p = k \cdot \theta / l \quad [N], \tag{4}$$

ahol:  $m$  a gumó tömege [kg];

$g$  a gravitációs gyorsulás [m/s<sup>2</sup>];

$\omega$  a szögsebesség [rad/s];

$r$  a  $C_M$ -pontok távolsága a forgásponttól, [m];

$k$  a torziós rugó karakterisztikája [m/rad];

$\theta$  a szorítóujj nyitási szöge [°][5];

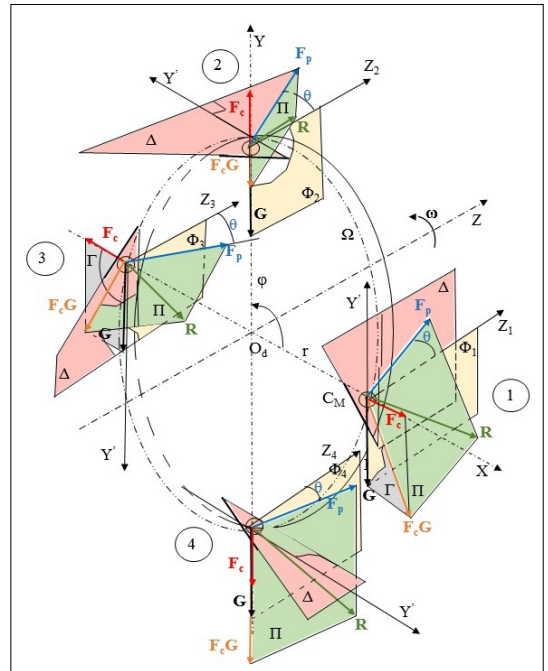
$l$  a szorítóujj hossza a forgási tengely és a burgonyát támasztó pont között [m].

A  $G$  súlyerő közvetve függ a gumó  $m(dt)$  tömegétől.

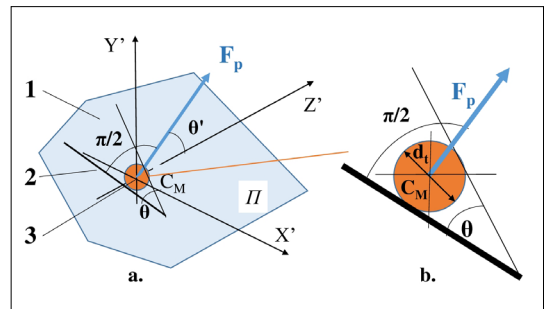
Az  $F_c$  centrifugális erő függ a gumó  $m(dt)$  tömegétől, és a szögsebességtől.

Az  $F_p$  nyomóerő 3. ábrán követhető, a 2-es ujjal rászorítja a 3-as gumót az 1-es tárcsa síkjára.

A (1–4)-es összefüggések mindegyikében a gumó  $d_t$  átmérője (2. ábra) befolyással van a szorítóujj



2. ábra. A  $C_M$ -pontban ható erők síkok szerinti ábrázolása



3. ábra. A szorítóujj hatása a  $C_M$ -pontban

jak  $\theta$  nyitási szögére, amely egy teljes körbefordulás alatt állandónak tekinthető. Tehát az  $F_p$  vektor  $\theta'$  merőleges szárú szöge is állandó, értéke  $0 < \theta' < \pi/2$  között van. A gyakorlatban a szorítóujj  $\theta$  nyitási szöge kisebbnek tekinthető a  $\pi/2$  maximális elméleti értéknel.

A  $C_M$  bármely  $i = 1, 4$  pozíciójában (pl.  $i = 2$ , ha  $\phi = \pi/2$ ), a  $G$  vektor és a  $C_MZ_i$  változó tengelyek meghatározzák a  $\Phi_i$  (sárga) párhuzamos síkokat (2. ábra) [6]. A 2-es szorítóujj (3. ábra) és annak az 1-es tárcsára eső vetülete meghatározza a  $\Delta$  (piros) forgássíkot (2. ábra). Az  $F_c$  és  $G$  erők a  $\Gamma$  (szürke) síkot határozzák meg, amely párhuzamos az  $O_dXY$  tárcsasíkkal. Az  $F_c$  és  $G$  erők eredője

az  $F_c G$  erő. Az  $F_c G$  és  $F_p$  vektorok meghatározzák a  $\Pi$  (zöld) síkot, eredőjük az  $R$  vektor. Az  $R$  vektor irányítása a szorítóujjtól a tárcsa felé történik, nagysága és iránya függ a másik három vektor tényezőitől.

Az  $F_c G$  eredőt az (5)-es összefüggés adja:

$$F_{CG} = \sqrt{F_c^2 + G^2 + 2F_c G \cos(\varphi + \frac{\pi}{2})}. \quad (5)$$

A szorítóujj  $F_p$  nyomóerővektorja benne van a  $\Delta$  (piros) síkban, értéke állandó, iránya merőleges a  $\Gamma$  (szürke) síkra.

Az  $F_p$  nyomóerőnek az  $F_p \sin\theta$  vetülete a tárcsa síkjára bármely  $C_M$  pontban merőleges a sugárra (4. ábra). A vetületvektor a  $C_M$ -ponthoz tartozó sugárral egy állandó  $\alpha$  szöget zár be (6):

$$\alpha = \arctg \frac{F_p \sin\theta}{r} \quad (6)$$

Mivel az  $F_c G$  és az  $F_p$  iránya és irányítása is változik a  $\phi$  függvényében (2. ábra), az  $R$  eredő is a  $\phi$  függvénye.

Vizsgálva az  $OZ$ -forgástengely szerint a  $C_M$  pontokba ható  $G$ ,  $F_c$ ,  $F_p$  erőket, körmozgás esetén a következő forgástesteket kapjuk:

–  $O$  és  $G$  vastagság között változó síkgyűrűt (5a. ábra); ,

– állandó  $F_c$  vastagságú síkgyűrűt (5b. ábra);

–  $\rho$  görbe alkotójú homorú palástú gyűrűs forgástestet (5c. ábra), amelynek a sugarai  $r$  és  $O_d'A_p$ , magassága  $F_p \cos\theta$ , (4. ábra). A sugarak közti összefüggés:

$$O_d'A_1 = \sqrt{r^2 + (F_p \sin\theta)^2} \quad (7)$$

A  $\theta$  szög nyitása nem éri el a határeseteket a szorítóujj konstrukciója és a minimális gumóátmérő miatt.

Az  $R$  vektor forgásteste egy komplex térbeli alakzat, hiszen mind a mérete, mind a  $\Pi$  (zöld) síkjának a tárcsával bezárt szöge változó a  $F_c G$  erővektorok változása miatt (3. ábra).

### 3. Gumókra ható erővektorok helyzetének elemzése egy pontba vetítve

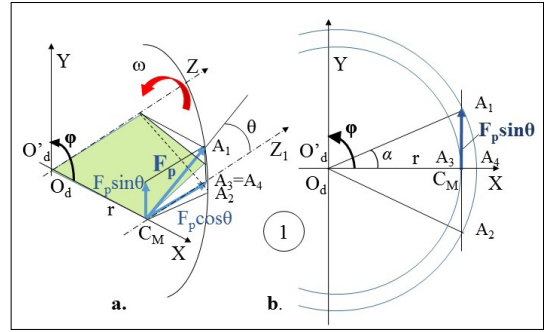
A  $C_M$ -tömegközponú gumókra ható  $G$ ,  $F_c$ ,  $F_p$  erővektorok helyzetét a 6. és 7. ábra mutatja be.

Az  $F_p$  erővektorok egy  $O_d Z$ -vel párhuzamos  $C_M Z'$ -tengely körüli,  $F_p \sin\theta$ -sugarú kúppalástot (6. ábra) hoznak létre.

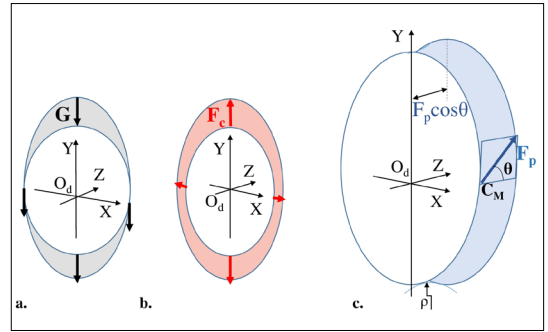
A  $G$  vektor mindig függőleges.

Az  $F_c$  vektorok egy  $F_c$  sugarú tömör (piros) kört alkotnak (7. ábra).

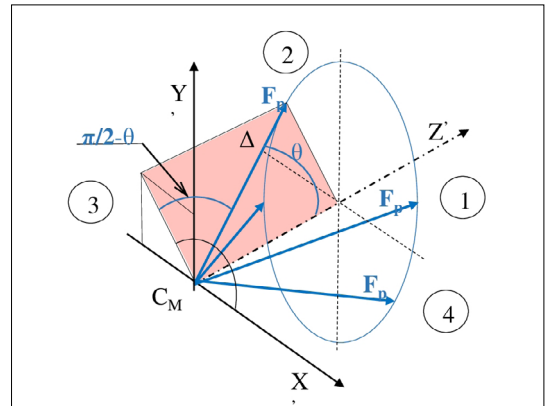
Állandó  $d_t$  gumóátmérő esetén az  $F_p$  erővektorok helyzetét a 6. ábra mutatja be.



4. ábra. Az  $F_p$  számítása a 1-es pozícióban



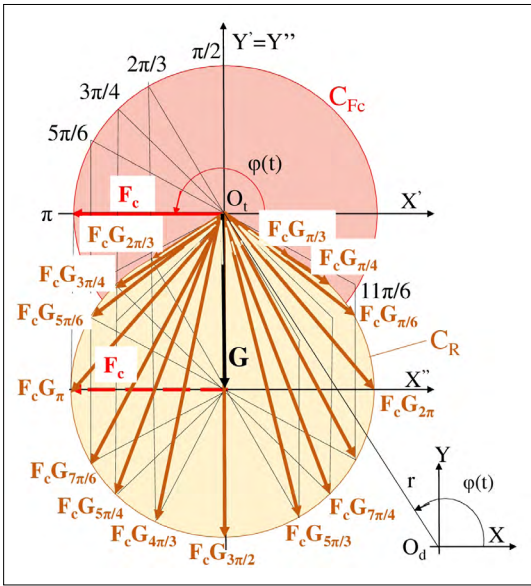
5. ábra.  $G$ ,  $F_c$ ,  $F_p$  forgástestei



6. ábra. Az  $F_p$  palást formája a  $C_M$ -re vetítve

Észrevehető, hogy az eredő  $F_c G$  vektorok hegyei egy szintén  $F_c$  sugarú  $C_R$  kört írnak le, amelynek a középpontja a  $G$  vektor végpontjánál van (7. ábra).

Az  $O_i G F_c G_r \pi$  paralelogrammának az  $O_i G$  oldala köré az  $F_c$  hegyének körbeforgásával az  $O_i G$  oldalal párhuzamos eltolások jönnek létre. A  $G$  nagysága szerint a  $C_F$  és  $C_R$  körök kölcsönös helyzete határozza meg az  $F_c G$  eredő erő kiterített felületét.



7. ábra. A  $C_M$  pontban ható  $F_c$  és  $G$  ábrázolása

Az erővektorok sík- és térbeli grafikai formáit elemezve észrevehető, hogy bármely  $C_M$ -pontba koncentrált változó vektorok értékein és irányításán nem lehet tetszés szerint változtatni a gumó jobb megtartása érdekében.

A gumó jobb megtartásán az  $F_p$  nyomóerő  $\theta'$  szögének a csökkentése tud segíteni. Erre lehetőség a támasztó elemek geometriai formái, a támasztóujj  $l$  hossza és a  $k$  rugókarakterisztika tökéletesítése. Ívelt ujj esetében a  $\theta = m(Z' C_M F_p)$  a nyitási

szög (3. ábra) folyamatosan csökken az ujj hossza mentén. Így bármely gumóval való érintkezési pontban az  $F_p$  nyomóerő  $\theta'$  eltérési szöge kisebb lesz a szorítóujj eredeti  $\theta$  nyitási szögéhez képest.

Tovább gondolva a lehetőségeket a gumómegtartás érdekében: az ívelt szorítóujj kanál alakúra készítésével figyelembe vehető a  $C_M$  pontba ható  $R$  eredő vektor változása.

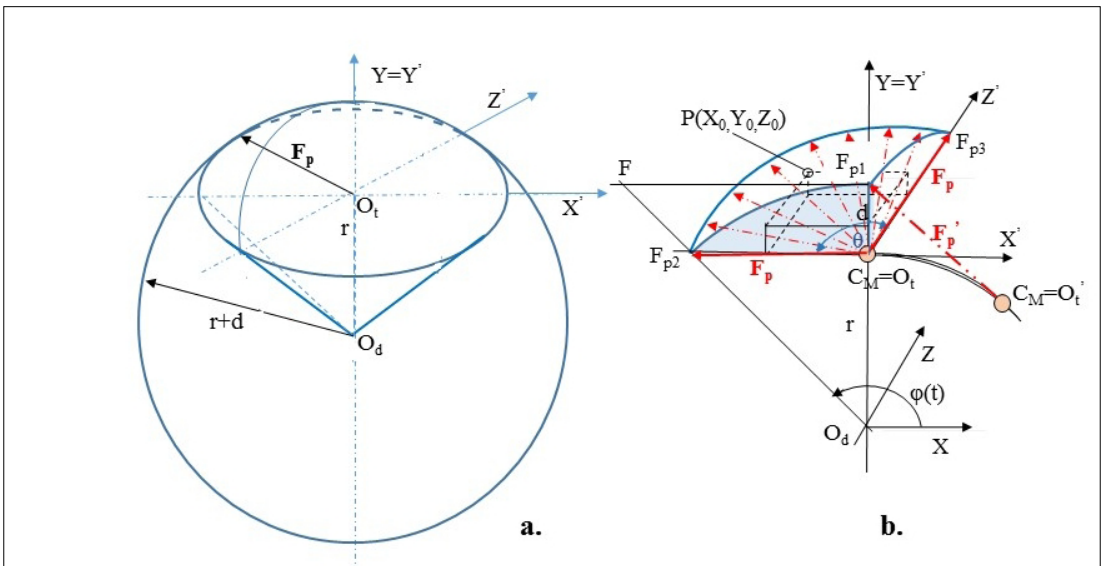
#### 4. Erővektorok helyzetének elemzése a körforgás során különböző gumóátmérő esetén

A munkagép működése során a kijuttatott gumók  $d_t$  átmérője különböző. A szorító ujj  $\theta$  nyitási szögének maximális értéke  $\pi/2$ . Minimális értékét a legkisebb  $d_t$  gumóátmérő határozza meg. Ebben az esetben az  $F_p$  erővektorok kiterítése az  $X'O_tZ'$  síkban az  $F_{p2}O_tF_{p3}$  körcikk területet írja le (8.b. ábra). Az  $F_p'$  vektor  $O_dZ$  körüli rotációja során az  $O_t'$ -pont az  $O_t$  pozícióba, az  $F_{p1}$ -pont az  $F_{p2}$  pozícióba kerül, az  $F_{p3}$  vektor pedig translációt végez, meghatározva az  $T(F_{p1}O_tF_{p3})$  keresztmetszetű gyűrűs forgástestet.

Az  $F_{p2}O_tO_d$  és  $FF_{p1}O_d$  háromszögekből meghatározható a forgástest maximális  $d$  vastagsága:

$$d = \sqrt{r^2 + F_p^2} - r \tag{8}$$

Az  $F_p$  sugarú  $C_{Fp}(F_{p2}, O_t, F_{p3})$  körív az  $X'O_tZ'$  síkban egy teljes  $C_{Fp}(O_t, F_p)$  körnek a negyede. Ennek a körnek a síkja az  $O_t$  pontban  $r$  távolságra van az  $O_d$  középpontú  $r+d$  sugarú gömbben (8.a. ábra).



8. ábra.  $F_p$  által alkotott forgástest változó  $d_t$  esetén

Ennek a gömbnek a részei az  $(F_{p1}F_{p2})$ ,  $(F_{p1}F_{p3})$  és  $(F_{p2}F_{p3})$  negyedkörívek, amelyek egyben a  $d$  magasságú gömbsüveg részei is. Tehát a három görbe az  $F_c$  sugarú negyed gömbsüveget határozza meg (8.b. ábra). Az alkotó gömbsüveg középpontja  $O_d$ , sugara  $r + d$ , metsző körének sugara  $F_c$ , magassága  $d$ . Tehát az  $F_c$  vektor forgásteste egy olyan gyűrű, amelyet az  $r + d$  sugarú gömbsüveg negyedrésze határoz meg. Az alkotók az  $F_{p1}F_{p2}$  körív, az  $O_dF_{p1} = d$  maximális vastagság, és az  $O_dF_{p3}$  magasság. Az alkotók az  $O_dZ$  tengely körül  $r$  sugárral forognak.

Az alkotó görbe egyenlete az  $O_d$ -ből húzott  $r + d$  sugarú körív egyenlete (9), amelynek hosszát a  $F_{p1}$  és  $F_{p3}$  határozza meg (10):

$$Y^2 + Z^2 = (r + d)^2, \quad (9)$$

ahol:

$$X = 0, \quad r < Y < r + d, \quad 0 < z < F_{p3}. \quad (10)$$

## 5. Következtetés

A szorítóujjas ültetőszervezetre ható erővektorok grafikai tanulmányozása képet ad az erővektorok sík- vagy térbeli változásairól, és szemlélteti az adagolószerkezet működési határait.

A gumóra ható erővektorok nagysága függ a gumó tömegétől, közvetve gumó átmérőjétől. Az eredő erő nagysága függ az ültetőtárcsa elfordulási szögétől is.

Az  $F_p$  erővektorok a gumó  $C_M$ -tömegközéppontjába vetítve  $\theta'$  szögnyílású, egyenes kúp forgástestet alkotnak.

Az  $R$  eredő vektor a teljes körforgás alatt egy komplex forgástestet alkot, a változó irány és nagyság miatt. Az ábrázolása számítógépes grafikai módszer nélkül nehezen lehetséges.

A szorítóujjtárcsa közötti gumómegtartás függ a gumómérettől, a tárcsa szögsebességétől, a szorítószervezet geometriájától és az  $F_p$  nyomóerőtől. A szorítóujj geometriájának jó kialakításával, a állandónak tekintett nyomóerőnagyság mellett, a vektor irányát változtatva, a gumó jobb rögzítését lehetne elérni. Tehát a gumómegtartás javítására a szorítóujj fokozottabb hajlítása, ívelése javasolt.

Az eredő  $R$  vektor változó iránya és nagysága indokoltá teszi a szorítóujj kanalasítását, öblösítését is a biztosabb gumómegtartás érdekében.

A dolgozat rámutat a vezérpályás szorítóujjas burgonyaadagoló-rendszer gumórögzítésének fejlesztési lehetőségeire.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Căproiu Ș., Sripnic V., Ciubotaru C., Babiciu P., Roș V.: *Mașini agricole de lucrat solul, semănat și întreținerea culturilor*. Editura Didactică și Pedagogică, București, 1982.
- [2] Zheng Z., Zhao H., Liu Z., He J., Liu W.: *Research Progress and Development of Mechanized Potato Planters: A Review*. Agriculture, 11/6. (2011) 521. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060521>
- [3] Rus F.: *Mașini agricole pentru lucrările solului, semănat și întreținerea culturilor*. Editura Universitatea Transilvania Brașov, Brassó, 1975.
- [4] Ilyés Sz.: *A szorítóujjas rögzítés geometriai és dinamikai elemzése a burgonyaultető gép esetében*. XXVIII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia, Székelyudvarhely-online, Románia, OGÉT 2020, 2020. 105–108. <https://ojs.emt.ro/index.php/oget/article/view/207>
- [5] Jula A., Lateș M.: *Organe de mașini*. Universitatea Transilvania Brașov Kiadó, Brassó, 2004.
- [6] Máté M.: *Műszaki mechanika – kinematika*. EME Kiadó, Kolozsvár, 2010. <https://doi.org/10.36242/mtf-10>

## MP-9S ipari manipulátor anyagmozgatási és selejtezési feladatok ellátása ipari környezetben

### MP-9S Industrial Manipulator Handling and Scrapping Tasks in Industrial Environments

Józsa Roland Osszián,<sup>1</sup> Erdei Timotei István,<sup>2</sup> Kapusi Tibor Péter,<sup>3</sup> Tóth Szabolcs,<sup>4</sup> Husi Géza<sup>5</sup>

*Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, Magyarország,*

<sup>1</sup> *immortalskeleton01@gmail.com*

<sup>2</sup> *timoteierdei@eng.unideb.hu*

<sup>3</sup> *kapu-si.tibor@zimbra.inf.unideb.hu*

<sup>4</sup> *szabolcs978@gmail.com*

<sup>5</sup> *husigeza@eng.unideb.hu*

---

#### Abstract

The main goal of the project was to carry out a handling task using a color sensor and thermal sensor, as well as an industrial robotic unit. The selection by color made it possible to represent the sub-process of the production of a sample, where each color can be matched to the corresponding or rejected product. The function of the thermal sensor is to show the delay function for the process, which occurs when the product does not reach a point in the process at the wrong temperature and needs cooling between the two workflows. The thermal sensor and color sensor were programmed using the ATmega microprocessor, while the manipulator was controlled with industrial PLC. The completed project will serve educational purposes in training for students.

**Keywords:** *RTT, industrial manipulator, handling, colour sensor, heat sensor, PLC, ATmega328P, MP-9S.*

#### Összefoglalás

A projekt során anyagmozgatási feladat elvégzése volt a fő cél, ami színérzékelő és hőérzékelő szenzor segítségével történt, valamint egy ipari robotegységgel. A szín szerinti válogatás lehetővé tette egy mintagyártás folyamatának reprezentálását, ahol az egyes színek a megfelelő, illetve selejt termékek feleltethetők meg. A hőérzékelő szenzor feladata, hogy bemutatásra kerüljön a késleltetési funkció a folyamat számára, ami akkor lép fel, ha az adott termék nem a megfelelő hőmérsékleten éri el a folyamat egy pontját, és hűlésre van szüksége a két munkafolyamat között. A hőérzékelő és a színérzékelő programozása ATmega mikroprocesszor alkalmazásával történt, míg a manipulátor vezérlése ipari PLC-vel. A megvalósult projekt oktatási célokat fog szolgálni a képzésben a hallgatók számára.

**Kulcsszavak:** *RTT, ipari manipulátor, anyagmozgatás, színérzékelő, hőérzékelő, PLC, ATmega328P, MP-9.*

---

#### 1. Bevezetés

Az anyagmozgatási feladatok a mindennapi életünk részévé váltak, így érdemes foglalkozni a tömeggyártás során fellépő hibákkal. Ennek reprezentálása komplex, így a problémát mind-

enképp ipari környezetben kellett megvalósítani, amihez a Debreceni Egyetem Mechatronikai Tanszék, Cyber-Physical & Intelligent Robot Systems Laboratory szolgált [1]

## 2. A megfelelő technológia kiválasztása

A projekt során egy PLC és Atmega mikrokontroller, illetve színérzékelő és hőérzékelő szenzor került bevonásra. A feladat fő részét képező MP-9S gépegységet eredetileg autóiipari gyárakban alkalmazták [2]. Az MP-9S az Ipar 4.0 elvárásainak megfelelően felújításra került, és lehetségessé vált, PLC-, illetve mikrokontroller-alapú vezérlés is, valamint alkalmazása HMI-hálózaton keresztüli vezérlés céljából [3].

## 3. MP-9S manipulátor működésének ismertetése

Az MP-9S manipulátor (1. ábra) pneumatikus működtetésű és 3 szabadságfokkal rendelkezik. Fémházának első részében a megfogó fej mozgását biztosító kar helyezkedik el. Hátsó részében 8 darab elektropneumatikus szelep a vezetékeket összegyűjtő 2 darab csatlakozóval. Az MP-9S robot kinematikai



1. ábra. Az MP-9S manipulátor

kai lánc (amely a 2. ábrán látható), egyértelműen reprezentálja, hogy ez egy háromtengelyes RTT-típusú gépegység. A tengelyek mindegyikét pneumatikus segédenergiával működtetjük.

## 4. Alkalmazott érzékelők és programozásuk

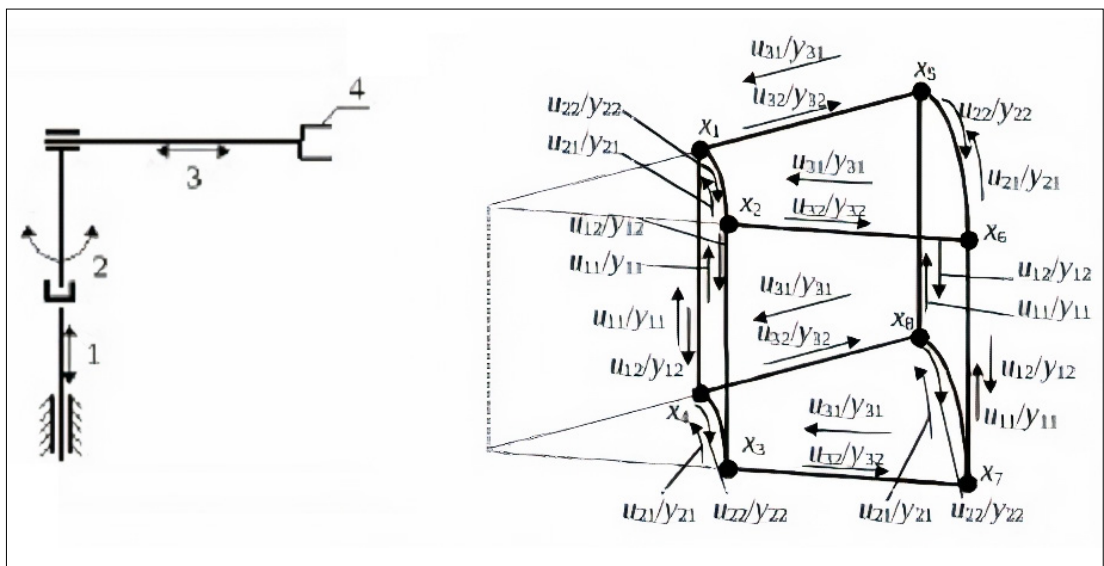
### 4.1. TCS230-M Színérzékelő modul

A 4 fehér LED segítségével megvilágított terület színmérését végzi el a TCS230-típusú szenzor. (3. ábra) A fényszensor RGBW-színeket képes mérni, melyeket frekvenciává alakít.

A vezérléshez Arduino NANO került felhasználásra. Az Arduino egy nyílt forráskódú fejlesztői platform, mely az ATmega mikrokontroller család tagja [4]. Az Arduino NANO fő része az ATmega328P mikrokontroller, amely 8 bites, és RISC-alapú (1. táblázat).

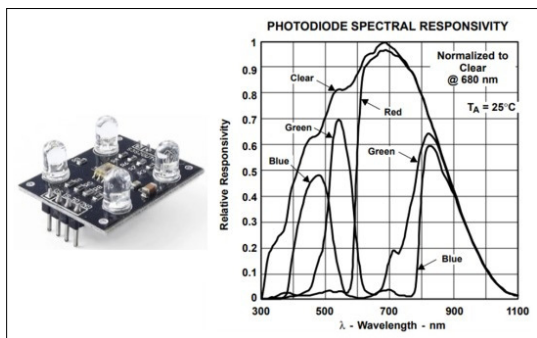
1. táblázat. ATmega328P chip jellemzői [4]

Programmemória-típus	Flash
Programmemória	32 KB
CPU-sebesség	20 MIPS
Digitális PWM-pinek	6 PWM
Hőmérséklet-tartomány	-40 +85 °C
Működési tartomány	1.8 – 5.5V
Lábak száma	32



2. ábra. Kinematikai lánc és a manipulátor munkaterülete [5]





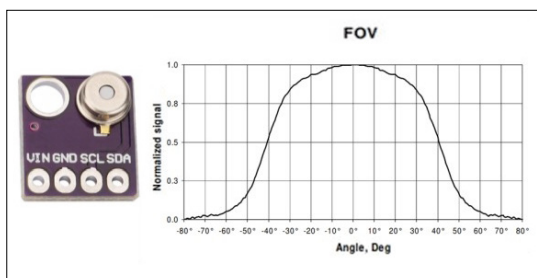
3. ábra. TCS230-M színérzékelő modul és PCB-je [6, 7]

```

if (redFrequency < 400 && greenFrequency > 850 && 150 < blueFrequency) {
  Serial.println(" - Piros kocka észlelve!");
  digitalWrite(dig0, HIGH);
  digitalWrite(dig1, LOW);
  digitalWrite(dig2, LOW);
}
else if (500 < redFrequency && greenFrequency < 500 && blueFrequency < 200) {
  Serial.println(" - Zöld kocka észlelve!");
  digitalWrite(dig0, LOW);
  digitalWrite(dig1, HIGH);
  digitalWrite(dig2, LOW);
}
else if (1100 < redFrequency && 800 < greenFrequency && blueFrequency < 250) {
  Serial.println(" - Kék kocka észlelve!");
  digitalWrite(dig0, LOW);
  digitalWrite(dig1, LOW);
  digitalWrite(dig2, HIGH);
}
else if (redFrequency < 550 && 650 < greenFrequency && blueFrequency < 160) {
  Serial.println(" - Hibás termék!");
  digitalWrite(dig0, HIGH);
  digitalWrite(dig1, HIGH);
  digitalWrite(dig2, HIGH);
}
else {
  Serial.println(" - Nem látható kocka!");
  digitalWrite(dig0, LOW);
  digitalWrite(dig1, LOW);
  digitalWrite(dig2, LOW);
}

```

4. ábra. Programrészlet: Frekvenciák összehasonlítása



5. ábra. MLX90615 infra hőérzékelő és Field of view-értékek [8]

2. táblázat. MLX90615-es hőérzékelő adatai [8]

Hőmérséklet [°C]	Eszközhőfok	-40+85
	Mérendő objektum hőfok	-40+115
Mérési szórás [°C]		0.5 (0+50)
Kiolvasási pontosság [°C]		0.02
Működésfeszültség-tartomány [V]		3.3

A szenzorhoz írt program (részletek a 4. ábrán) első lépéseként deklarálásra kerül a lábkiosztás, majd a PLC-be futó pin. Majd a megfelelő színfrekvenciákat is deklaráljuk.

#### 4.2. MLX90615 infravörös hőérzékelő szenzor

A hőérzékelő szerepét az MLX90614 (5. ábra) infravörös hőmérsékletszenzor tölti be.

10,5 × 13 × 9,6 mm méretekkel rendelkezik. Adatai a 2. táblázatban vannak feltüntetve.

A korábban megírt színérzékelő program került bővítésre (6. ábra), annak érdekében, hogy a MLX90615 hőérzékelő szenzort is alkalmazzunk. Első lépésben maga a kész fájl került beolvasásra, majd a PLC-be futó pinek deklarálása történt meg, legvégül a kimenetek kerültek elnevezésre.

#### 4.3. PLC & ATmega328P szenzorok kapcsolási rajza

A kapcsolási rajz a 7. ábrán látható.

#### 5. Kockatartó

A színérzékelő érzékelési távolsága 10 mm-ig pontos, ezért szükség volt egy kockatartó 3D-s nyomtatására (8. ábra).

#### 6. MP-9S vezérlése ipari modicon M340 PLC-vel

A robotegység vezérlését a Schneider Modicon M340 moduláris PLC használatával programoztuk [9]. A PLC program LD, azaz létradiagramban került megírásra (9. ábra) az MP-9S számára, amelyhez Unity Pro XL fejlesztői környezet került alkalmazásra.

#### 7. Következtetések

A fentebb kitűzött célok elérésre kerültek. Az MP-9S ipari robotegység hő- és színérzékelő bevonásával képes az adott elemek megkülönböztetésére és azok szortírozására, annak megfelelően, hogy a kocka által reprezentált munkadarab hibás-e vagy sem.

#### Köszönetnyilvánítás

Köszönjük mindazoknak, akik részt vettek a projektben, kiváltképp Horváth Patrik Péternek és a Debreceni Egyetem, Műszaki Kar Mechatronikai Tanszékének.

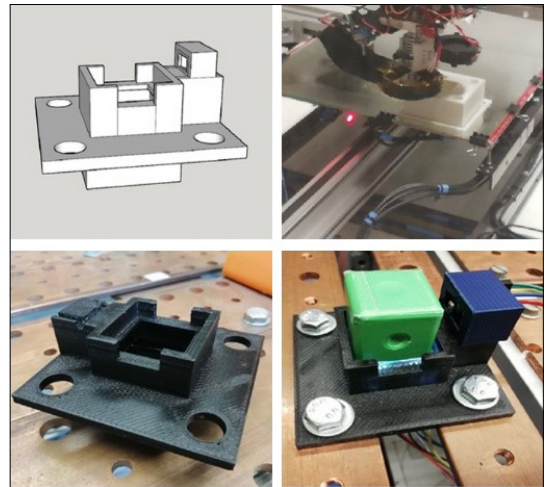
A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

```

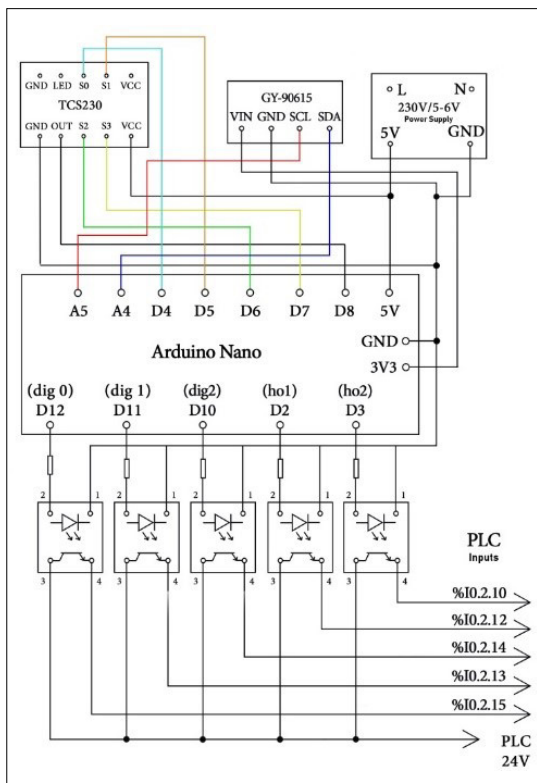
if (mlx.get_object_temp() < 25){
    digitalWrite(ho1, LOW);
    digitalWrite(ho2, HIGH);
    Serial.println("Object Is Too Cold");
}
else if (mlx.get_object_temp() > 30){
    digitalWrite(ho1, HIGH);
    digitalWrite(ho2, LOW);
    Serial.println("Object Is Too Hot");
}
else {
    digitalWrite(ho1, HIGH);
    digitalWrite(ho2, HIGH);
    Serial.println("Adequate Object");
}

Serial.print("Ambient = ");
Serial.print(mlx.get_ambient_temp());
Serial.print(" *C\");
Serial.print("Object = ");
Serial.print(mlx.get_object_temp());
Serial.println(" *C");
    
```

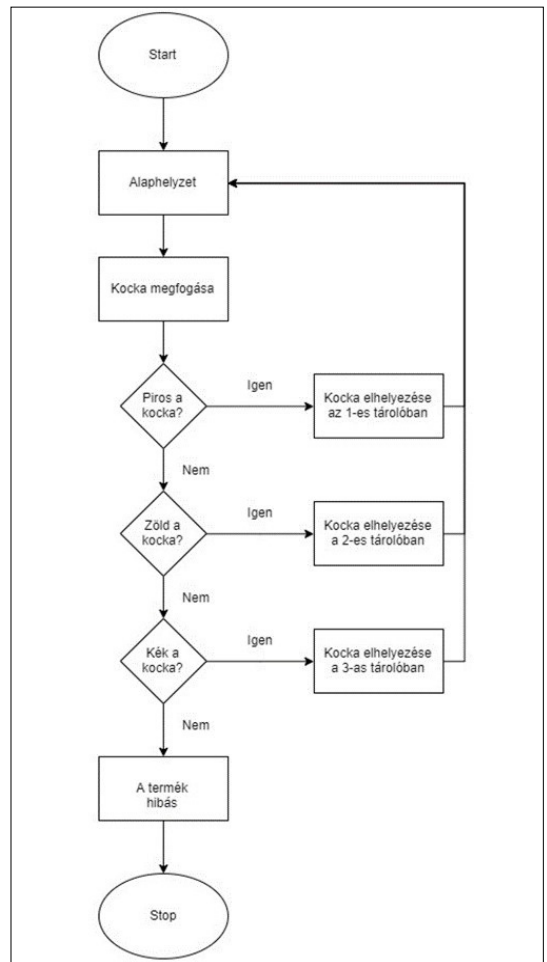
6. ábra. Hőérzékelő programrészlete



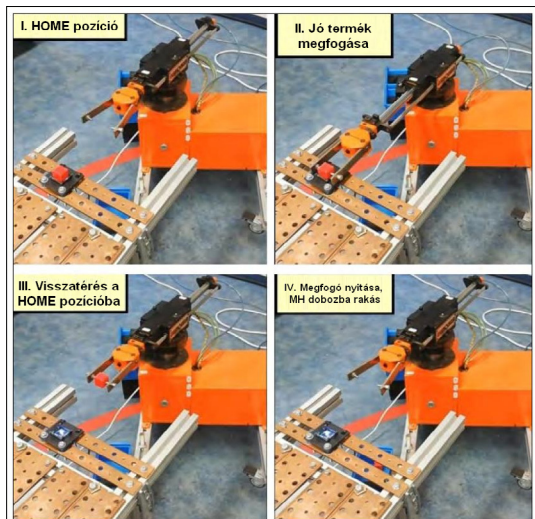
8. ábra. A kockatartó modellje és 3D nyomtatása



7. ábra. Kapcsolási rajz



9. ábra. A PLC-program folyamatábrája



10. ábra. Az MP-9S manipulátor működés közben

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Husi G.: *Introduction to Robot Technology*. (TÁMOP-4.1.2.D-12/1/KONV-2012-0008) 2014.
- [2] Popov A. K. A. : *Az MP-9SZ ipari robot felépítése és programozása*. Moszkva, 2005.
- [3] Horváth P. P. , Erdei T. I., Husi G.: *Restoration and PLC Control of a Material handling MP-9S Industrial Manipulator Platform*. Annals Of The Oradea University. Fascicle of Management and Technological Engineering, XXIX (XIX), 2019/2(2) <https://doi.org/10.15660/AUOFMTE.2019-2.3453>
- [4] Arduino NANO PCB. (accessed on: 01.11.2019) <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>
- [5] V. Novgorod, MP-9S ipari robot programozása, 2005.
- [6] TCS230 Datasheet. (accessed on: 01.10.2019) <https://www.alldatasheet.com/datasheetpdf/pdf/202765/TAOS/TCS230.html>
- [7] Hestore - TCS230-M Single-Supply Operation. (accessed on: 01.11.2019) [https://www.hestore.hu/prod\\_getfile.php?id=8628](https://www.hestore.hu/prod_getfile.php?id=8628)
- [8] MLX90615-Datasheet-Melexis, (accessed on: 01. 11. 2020) <https://www.melexis.com//media/files/documents/datasheets/mlx90615-datasheet-melexis.pdf>
- [9] Schinder Modicon M340, (accessed on: 01. 11. 2020) <https://www.se.com/hu/hu/product-range-presentation/1468-modicon-m340/#tabs-top>
- [10] TCS230-M color light-to-frequency converter. (accessed on: 01.10.2019) <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/96471/ETC/TCS230D.html>
- [11] Industrial PLC Programming. (accessed on: 01. 11. 2019) <http://zeus.nyf.hu/~elat/PLC-k.pdf>
- [12] MLX90614 Non-Contact IR Temperature Sensor, (accessed on: 01.11.2019) <https://components101.com/sensors/melexis-mlx90614-contact-less-ir-temperature-sensor>
- [13] Erdei T. I., Husi G.: *Singularity Measurement in the Cyber-Physical and Intelligent Robot Systems Laboratory*. International Review of Applied Sciences and Engineering, 11/2. (2020) 82–87. <https://doi.org/10.1556/1848.2020.20001>
- [14] Google SketchUP, (accessed on: 01. 11. 2020) <https://www.sketchup.com/>

# Állandó mágneses szikrongép szabályozó körének vizsgálata Simulink-környezetben

## Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor in Simulink

Katona Mihály,<sup>1</sup> Kiss Péter<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, Magyarország, [katona.mihaly@edu.bme.hu](mailto:katona.mihaly@edu.bme.hu)

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, Magyarország, [kiss.peter@vik.bme.hu](mailto:kiss.peter@vik.bme.hu)

---

### Abstract

Nowadays, before the era of modern Steer-by-wire steering systems, the most widely used steering technology is Electric Power Steering (EPS). This paper contains the developing of a Permanent Magnet Synchronous Motor (PMSM) control circuit for EPS systems in Matlab Simulink environment. The mathematical model of the Permanent Magnet Synchronous Motor was created via the four equations that represent the relation between the fluxes, voltages and currents in d-q reference frame and the motor torque equation. Mathematical transformations are required to generate the equivalent input values of the model from analog input waves. In this way, the embedded software is able to communicate with the motor through the analog input and output signals. The control model was also tested in a physically implemented system. The control software is executed on a dSpace AutoBox hardware. The output interface block creates the output phase voltages specified by the control module, and the input interface block allows the phase currents generated by the output voltage to be measured back.

**Keywords:** *synchronous motor, motor control, electric power steering, hardware-in-the-loop.*

### Összefoglalás

Manapság, a modern Steer-by-wire kormányrendszerek korszakát megelőzően, a legszélesebb körben alkalmazott kormányzási technológia az elektromos kormányzás, vagyis az Electric Power Steering (EPS). Jelen publikáció ezen kormányzási technológia szabályozási körének vizsgálatát és az EPS-rendszerekben alkalmazott egyik motortípust, az állandó mágneses szinkron motor (PMSM) Matlab Simulink-környezetben megvalósuló matematikai modellezését tartalmazza. Az állandó mágneses szinkron motor matematikai modellje a négy d-q koordináta-rendszer-beli egyenletet felhasználva került kialakításra, amelyek a fluxusok, feszültségek és áramok összefüggését reprezentálják. A kívánt bemeneti értékek létrehozásához további matematikai transzformációk szükségesek, hogy az analóg bemeneti jeleket a szoftver fel tudja dolgozni. Ilyen módon a beágyazott szoftver képes kommunikálni a motorral, annak analóg bemeneti és kimeneti jelein keresztül. A vezérlés modellje továbbá egy fizikailag megvalósított szabályozó körben is felhasználásra került. A szoftvert egy dSpace AutoBox hardver futtatja. A cél a termékfejlesztési folyamat költségének csökkentése a várható kimeneti paraméterek szimulálásával.

**Kulcsszavak:** *szinkron motor, villamosmotor-szabályozás, elektromos kormányzás, hardware-in-the-loop.*

---

## 1. Bevezetés

A járművekben leggyakrabban alkalmazott motortípus az állandó mágneses szinkron motor. Kormányrendszerek esetén is kedvelt széles fordulatszám- és nyomatéktartománya miatt. A kormányrendszer fontos része a motorvezérlés, mert üzem közben egy jelentéktelennek tűnő esemény, mint például egy bukkanón való áthajtás, jelentős terhelést okozhat, amely tranzienként megjelenik a szabályozórendszerben. Ipari környezetben az ún. hardware-in-the-loop tesztet alkalmazzák a szoftver validálására. Ahhoz, hogy egy vállalat megőrizze piaci előnyét, egy termék fejlesztésének költségeit a lehető legkisebb mértékűre kell szorítani. A modern számítástechnika és a matematikai implementálás lehetőséget kínál arra, hogy a hajtáslánc működése a termék megvalósítása nélkül megközelíthető legyen. Ez jelentős költségektől szabadítja meg a céget, ezáltal elősegítve annak piaci versenyképességét. A modellezés célja az előre definiált kimeneti paraméterek közelítése, elsősorban a motor nyomatékának, hullámosságának szempontjából. A szabályozó áramkör ún. hardware-in-the-loop (HIL) tesztekkel vizsgálható. Ebben a lépésben a programkód egy már kialakított tesztrendszerbe épített vezérlő áramkör mikroprocesszor egységére kerül feltöltésre, ahol működését mérésekkel lehet ellenőrizni. Egy ilyen rendszer megvalósítását Y. Huangfu és W. Liu tanulmánya foglalta össze. [1] Eredményeik alátámasztják a konstrukció sikerét és a folyamat elméleti összefoglalásának szükségességét.

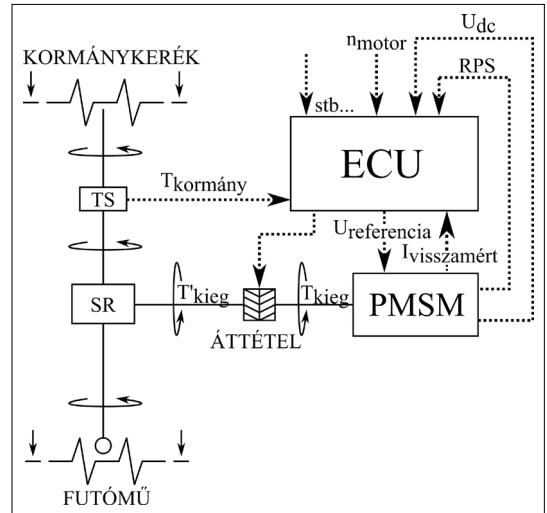
## 2. Elektromos kormányrendszer

Az 1. ábrán bemutatott EPS-rendszer mechanikus, elektromos és vezérlő alrendszereket tartalmaz. Az EPS-rendszer egyik fontos része a vezérlőegység, amely az érzékelők által mért jeleket fogadja. Az összegyűjtött adatok a jármű sebessége, a rotorszög és a nyomaték. Az elektromos vezérlőegység (ECU) vezérli a szervomotort a szükséges kiegészítő nyomaték biztosításához. Annak érdekében, hogy a vezető számára nyújtott kormányzási élmény növekedjen, ennek a szabályozásnak pontosnak és gyorsnak kell lennie. [2]

## 3. Matematikai modell implementálása

### 3.1 Kereszt- és hosszirányú mennyiségek

Az egyenletek felírásánál fontos meghatározni a megfelelő koordináta-rendszert. Kézenfekvő döntés a rotor pólusfluxusával együtt forgó rendszert



1. ábra. Elektromos kormányrendszer felépítése [3]

alkalmazni, ahol a hosszirányú komponens (d) a rotor pólusfluxusvektorához van rögzítve, amelyhez képest a keresztirány (q) 90° villamos szöggel eltér. Ebben az esetben a villamos mennyiségek leírására nem szükséges trigonometrikus egyenleteket használni. Tehát a modellezés során a matematikai egyenletek más rendszerben értelmezettek, mint a HIL-teszt, és a kész termék esetén, ahol a programkód bemeneti paramétereit visszamért mennyiségek jellemzik, így szükséges a mért adatok transzformációja d-q koordináta-rendszerbe.

Clarke-transzformáció esetén a visszamért háromfázisú mennyiségek a-b-c komponensei  $\alpha$ - $\beta$ -0 referenciatartományba kerülnek az (1) és (2) egyenletek alapján. [4]

$$\begin{bmatrix} f_{\alpha} \\ f_{\beta} \\ f_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{1}{\sqrt{3}} & -\frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} f_a \\ f_b \\ f_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_{\alpha} \\ f_{\beta} \\ f_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Park-transzformáció esetén az  $\alpha$ - $\beta$ -0 referenciatartományú álló koordináta-rendszer d-q-0 komponensekből álló együtforgó koordináta-rendszerre kerül átalakításra. [5]

$$\begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_e) & \sin(\varphi_e) & 0 \\ -\sin(\varphi_e) & \cos(\varphi_e) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \\ f_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} f_\alpha \\ f_\beta \\ f_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_e) & -\sin(\varphi_e) & 0 \\ \sin(\varphi_e) & \cos(\varphi_e) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} f_d \\ f_q \\ f_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

ahol a  $\varphi_e$  a rotorpozíció villamosságben [rad].

### 3.2 Villamos és mechanikai tulajdonságok matematikai közelítése

A szinkrongép állandó mágnesei által ideális esetben előidézett mágneses mező szinuszos eloszlása leírható a pólusfluxusvektorral, vagyis elmondható, hogy a rotor fluxusa megegyezik a pólusfluxussal. A sztátor kapocsfeszültsége leírható a pólusfeszültség és a tekercselésen eső feszültség összegeként. [6]

$$U_k = Ri + L \frac{di}{dt} + j\omega_e Li + j\omega_e \Psi_p \quad (5)$$

$$\omega_e = p \omega_m \quad (6)$$

ahol,

$\omega_e$  a rotor villamos szögsebessége [rad/s]

$\omega_m$  a rotor mechanikai szögsebessége [rad/s]

$p$  póluspárok száma [1]

Az (5) egyenlet reális része adja a motor hosszirányú (d), míg az imaginárius része a keresztirányú (q) komponenseket. Az említett egyenletekből érdemes az áramokat kifejezni, hiszen a szimuláció során a vezérlőjel a feszültség lesz, míg a visszacsatolást az áram biztosítja.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_q}{dt} \\ \frac{di_d}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L_d} & \frac{\omega_e L_q}{L_d} \\ \frac{\omega_e L_d}{L_q} & -\frac{R}{L_q} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_d \\ i_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_d} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_q} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{\omega_e \Psi_p}{L_q} \end{bmatrix} \quad (7)$$

ahol,

$i_d, i_q$  motor állórészének árama [A]

$L_d, L_q$  állórész-tekercselés induktivitása [H]

$U_d, U_q$  kapocsfeszültség [V]

$R$  állórész-tekercselés ellenállása [Ω]

A nyomaték függ a pólusfluxus és az áramvektor kölcsönhatásától, amelyet a (8) egyenlet ír le.

$$M = \frac{3}{2} p |\Psi \times i| = \frac{3}{2} p (\Psi_p i_q + (L_q - L_d) i_q i_d) \quad (8)$$

ahol,

$M$  a motor villamosnyomatéka [Nm]

$\Psi_p$  pólusfluxusvektor [Vs]

A fordulatszám egy rugó és egy tömeg párhuzamos kapcsolásának mechanikai egyenletével közelíthető.

$$M(\varphi) = \theta \ddot{\varphi} + D \dot{\varphi} + K \varphi \quad (9)$$

ahol,

$\theta$  tehetetlenségi nyomaték [kgm<sup>2</sup>]

$D$  csillapítási tényező [Nms]

$K$  torziós tényező [Nm/rad]

Az ebben a fejezetben leírt egyenletek implementálásával és a megfelelő transzformációk felhasználásával a motormodell elkészíthető.

### 4. Szinuszzel vezérelt impulzusszélesség-moduláció

„A szinuszzel vezérelt impulzus szélesség moduláció (sPWM) az egyik legegyszerűbb vivőjelen alapuló modulációs módszer. A vezérlés során egy magas frekvenciájú vivőjel kerül összehasonlításra egy szinusz alakú moduláló jellel [...]. A ciklusonkénti impulzusok számát a vivőfrekvencia és a moduláló jel frekvenciájának aránya határozza meg.” [7]

Az inverter felépítéséből adódóan három hídagon, kettő-kettő tranzisztor 8 különböző kapcsolási állapotot határoz meg. A modellezés során két-szintű invertert valósítottam meg, ahol egy hídág vagy a pozitív, vagy a negatív sínre kapcsolható. Eltekintve a csillagpont eltolódásától és a veszteségektől, a motor fázisfeszültsége maximum az inverter egyenfeszültségének a fele lehet.

$$U_e = \frac{U_{dc}}{2} \quad (10)$$

ahol,

$U_{dc}$  inverter kapocsfeszültsége [V]

$U_e$  sínfeszültség [V]

Háromfázisú szimmetrikus motor esetén minden egyes fázistekercs impedanciája azonos,  $|Z_a| = |Z_b| = |Z_c|$ , továbbá a fázisfeszültség-értékek a csillagponthoz vett előjeles összege is zérus  $U_{aY} + U_{bY} + U_{cY} = 0$ . A csillagpont feszültsége a földhöz képest megegyezik a zérus sorrendű feszültséggel, amelyet a (11) egyenlet ír le, amennyiben a két hídág pozitív sínre kapcsolódik. [8]

$$U_0 = \frac{U_a + U_b + U_c}{3} = \frac{U_e + U_e + (-U_e)}{3} \quad (11)$$

ahol,

$U_0$  zérus sorrendű feszültség [V]

$U_a, U_b, U_c$  fázisfeszültségek [V]

Ez alapján egy fázis maximális feszültsége:

$$U_{f0} = U_a + U_0 = \frac{1}{3} U_e + U_e = \frac{4}{3} U_e \quad (12)$$

Amennyiben a kapcsolási állapotokat álló koordináta-rendszerben vizsgáljuk, ahol három tagból

álló számsor reprezentálja a különböző kapcsolási állapotokat úgy, hogy 0 jelöli a hídág negatív, amíg 1 a pozitív sínre kapcsolt állapotát, akkor a vezérlés megkönnyítése miatt egy, a sokszög oldalaira belső érintő kört érdemes határfeszültségnek megszabni, vagyis a kivezérléstől eltekin-tünk. Jól látható, hogy a kiadott feszültségvektor abszolút értéke megegyezik a belső kör sugarával, amely a szektor magassága. Ez az egyenlő szárú háromszög magasságképletével számítható.

$$rU_e = \frac{1}{2} a \cdot \cot \frac{\pi}{n} = \frac{1}{2} \cdot \cot \frac{\pi}{6} = \frac{\sqrt{3}}{2} U_e \quad (13)$$

ahol,

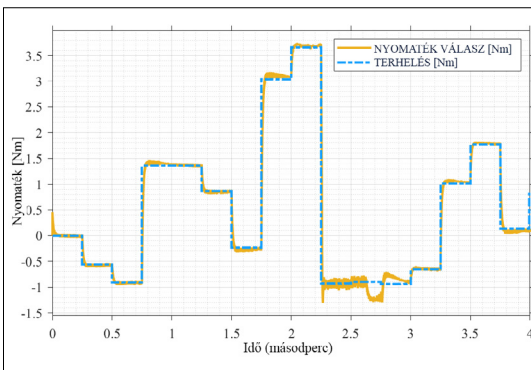
- r berajzolt kör sugara [v.e.]
- a hatszög egy oldalának hossza [v.e.]
- n s okszög csúcsainak száma [v.e.]

A modell felépítése során fontos meghatározni, hogy veszteségmentes esetben, kivezérlés nélkül a fázisfeszültség maximális értéke mekkora, amit a (14) egyenlet ír le.

$$U_{f|max} = U_{f0}r = \frac{4}{3} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{1}{2} U_{dc} = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{dc} \quad (14)$$

A modellben az inverter kimeneti jelei  $\pm U_{f|max}$  között változnak. A három impulzusszélesség-modulációsillesztés közül – él-, középillesztett és adaptív – az első megvalósítása a legkézenfekvőbb. Kizárólag digitális környezetben futtatott szimuláció esetén az eredményekben számottevő különbség nem észlelhető. HIL-teszt esetén az árammérési módszertől függően érdemes adaptív illesztést alkalmazni. Élillesztett vezérlés a vivőjel-nagyfrekvenciás fűrészfogjellel (16-20kHz), amíg a moduláló jel térvektorokból számított.

$$C = \begin{cases} 1, & \text{ha } J_m \leq J_v \\ 0, & \text{ha } J_m > J_v \end{cases}, \text{ ahol } J_m, J_v \in [0,1] \quad (15)$$



2. ábra. A rendszer nyomatékválasza

ahol,

- C inverter hídágainak vezérlőjele [v.e.]
- J<sub>m</sub> moduláló jel [v.e.]
- J<sub>v</sub> vivőjel [v.e.]

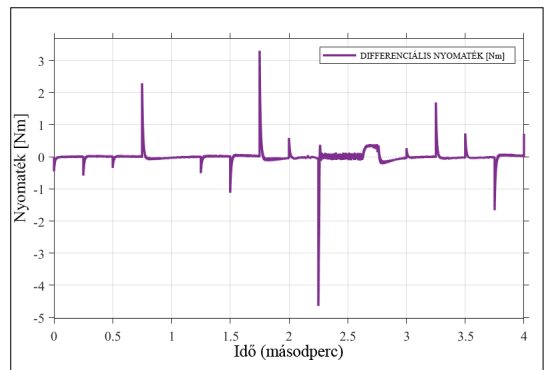
A vezérlőjel kimeneti frekvenciája és amplitúdója a vivőjel frekvenciájától és amplitúdójától függ, közöttük lineáris kapcsolat áll fenn.

A szabályozó kör egyszerű, háromszintű topológiával kialakított, sorba kapcsolt sebesség-, nyomaték- és áramerősség-szabályozóval. Ezek PI-típusú szabályozók, amelyek Finn Haugen által kifejlesztett Good Gain-módszerrel hangoltak. [9]

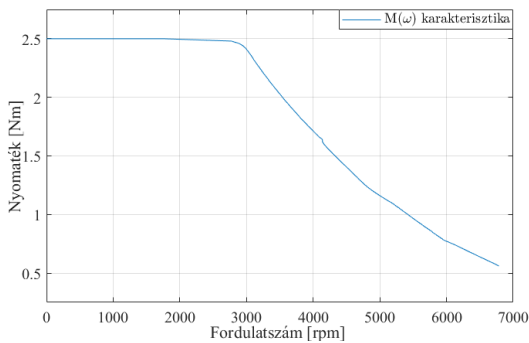
## 5. Eredmények és következtetések

A 2. ábra mutatja a szabályozórendszer nyomatékválasztát a szimulált terhelésre. Ez utóbbi a kormányzásból eredő nyomaték, az úthibák és a kormányrendszer mechanikai veszteségének kombinációja. Az ábra azt mutatja, hogy a bemutatott szabályozó kör a várakozásoknak megfelelően működik, mert a nyomatékreakció gyors és pontos. Ezenfelül ez az eredmény alátámasztja, hogy a validálási folyamat megkezdhető, mivel a HIL-rendszer mechanikai veszteségei ismertek, szimulálhatók. A 3. ábra a differenciális nyomatékot mutatja, amely csillapítás nélkül érzékelhető a vezető számára. A magasabb tüskék értelmezhetők úgy, mint amikor egy jármű egy vasúti átjárót keresztez, és az alacsonyabbak adódhatnak például az úthibákból vagy a kormányzásból. A fejlesztési folyamat egyik célja a kiugró értékek csökkentése a vezetési élmény fokozása érdekében.

Ahogy az eredményekből kiderül, a matematikai modell Simulink-környezetben történő megvalósítása hatékony módszer a kormányrendszer viselkedésének szimulálására, különös tekintettel a szabályozórendszerre.



3. ábra. A rendszer differenciális nyomatéka



4. ábra.  $T(\omega)$  karakterisztika

Továbbá ipari gyakorlatban elterjedt megoldás, hogy a motor tengelye és a hajtott tengely közé fogaskerék-áttétel kerül. Ez azon probléma kiküszöbölését hivatott megoldani, ha a motor nyomatéka nem elegendő. Ebben az esetben a motor fordulatszámának növelésével és az áttétel megválasztásával a hajtott oldali nyomaték növelhető. A motor fordulatszáma állandó teljesítmény mellett növelhető mezőgyengítéses üzem alkalmazásával. Ekkor a motornyomaték fordulatszám-karakteristikája szimulálható. Az eredmény a 4. ábrán látható. Az említett karakterisztikából következtetni lehet a szükséges áttételre vagy fordítottan, adott áttétel mellett a megválasztott motor alkalmazhatóságára, esetlegesen a tervezési paraméterek finomítására.

#### Köszönetnyilvánítás

Köszönöm Handler Árpádnak és Dr. Vajsz Tibornak a hajtásszabályozások terén nyújtott segítségét. Az ebben a cikkben közölt és a BME-n végzett kutatást az NRDÍ Alap támogatta az Innovációs és Technológiai Minisztérium égisze alatt az NRDÍ Iroda által kiadott megerősítő okirat alapján.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Huangfu Y., Liu W.: *Rapid Development Controller Design for PMSM Based on Hardware-in-the-loop*. 5<sup>th</sup> IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, Taichung, 2010. 1963–1966. <https://doi.org/10.1109/ICIEA.2010.5515537>
- [2] Hao C., Yali Y., Ruoping Z.: *Study on Electric Power Steering System Based on Adams*, Shanghai University of Engineering Science. *Procedia Engineering*, 15. (2011) 474–478. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.090>
- [3] Shaoyun Z., Yi W.: *Study of Electric Power Steering System*. International Conference on Computer Science and Intelligent Communication, 2015. <https://doi.org/10.2991/csic-15.2015.77>
- [4] Chakraborty A. K., Bhattachaya B.: *Determination of  $\alpha$ ,  $\beta$  and  $\gamma$ -Components of a Switching State without Clarke Transformation*. 2<sup>nd</sup> International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC) 2016, 260–264. <https://doi.org/10.1109/CIEC.2016.7513764>
- [5] Pillay P., & Krishnan R.: *Modeling of Permanent Magnet Motor Drives*. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 35/4. (1988) 537–541. <https://doi.org/10.1109/41.9176>
- [6] Vajsz T., Rác Gy., Számel L.: *Novel Modified dtsvm Method with Better Overload-Capability for Permanent Magnet Synchronous Motor Servo Drives*. *Periodica Polytechnica, Electrical Engineering and Computer Science*, 61. (2017) 253–263. <https://doi.org/10.3311/PPee.10428>
- [7] Vijayakumar K.: *Application of Sinusoidal Pulse Width Modulation Based Matrix Converter as Revolutionized Power Electronic Converter*. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 326. 2014.
- [8] Schmidt I., Veszprémi K.: *Hajtásszabályozások*. <https://vet.bme.hu/?q=kutatas/tamop/anyagok>
- [9] Haugen F.: *The Good Gain Method for Simple Experimental Tuning of PI Controllers*. *Modeling, Identification and Control*, 33/4. (2012) 141–152.
- [10] Kuslits M.: *Állandómágneses szinkrongépek modellalapú irányításfejlesztése*. Publio Kiadó Kft. 2016.



## Komplex kezelési eljárás kidolgozása háztartási mosóvizek újrahasznosításához

### Development of a Complex Treatment Process for Recycling Household Laundry Water

Kelemen Orsolya,<sup>1</sup> Bodnár Ildikó,<sup>2</sup> Izbékiné Szabolcsik Andrea<sup>3</sup>

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország

<sup>1</sup> kelemen727@gmail.com

<sup>2</sup> bodnari@eng.unideb.hu

<sup>3</sup> szabolcsikandi@eng.unideb.hu

#### Abstract

The goal of our research is to study the treatment possibilities of the laundry water fraction of domestic greywater as an alternative water source, as well as to apply a complex treatment method with which we obtain purified greywater that can be used during household tasks that do not require drinking water. By optimizing each treatment step, we determined a complex process with the following steps: coagulation-quartz sand filtration-oxidation. We also investigated the usability of purified greywater for irrigation by performing a standardized seedling test and determining the SAR factor. In conclusion, based on the measured and analysed water analytical parameters, we have successfully applied an appropriate complex treatment method, using optimal amounts of chemicals, which according to international recommendations can be potentially reused at household level, and can also be used for irrigation purposes.

**Keywords:** *greywater, laundry water, treatment, reuse, sustainability.*

#### Összefoglalás

Kutatásunk célja a mosásból származó szürkevízfrakció mint alternatív vízforrás kezelési lehetőségeinek tanulmányozása, valamint egy olyan komplex kezelési módszer alkalmazása, mellyel háztartási szinten ivóvizet nem igénylő feladatok során felhasználható tisztított szürkevizet kapunk. Az egyes kezelési lépések optimalizálásával összeállítottunk egy komplex eljárást melynek lépései: koagulálás-kvachomokon történő szűrés-oxidálás. Vizsgáltuk továbbá a tisztított szürkevíz öntözési célú felhasználhatóságát szabványosított csíranövényteszt elvégzésével és a SAR-tényező meghatározásával. Összességében elmondható, hogy a mért és elemzett vízanalitikai paraméterek alapján sikeresen alkalmaztunk egy megfelelő komplex kezelési módszert, optimális vegyszermennyiségek használatával, mely a nemzetközi ajánlások alapján háztartási szinten potenciálisan újrafelhasználható, valamint a csíranövényteszt alapján öntözési célokra is alkalmazható.

**Kulcsszavak:** *szürkevíz, mosóvíz, kezelés, újrahasználat, fenntarthatóság.*

#### 1. Bevezetés

A víz a fenntartható fejlődésünket komolyan befolyásoló tényezők egyike. Napjainkban azonban már több mint egymilliárd ember nem jut hozzá az elégséges édesvízmennyiséghez. Az egyik lehetséges módszer a víztakarékosságra, ha a

háztartásokban különféle, ivóvízminőséget nem igénylő tevékenységekre például WC-öblítésre, autómosásra vagy öntözésre úgynevezett kezelt szürkevizet használunk. Szürkevizeknek nevezük a mosogatásból, fürdésből és mosásból származó használt vízfrakciókat, melyek nem érint-

keznek a WC-öblítése során keletkezett vízzel. A kutatásunkban kiemelten vizsgált, mosásból származó frakció nagy koncentrációban tartalmaz mosószerekből származó detergenseket, vegyszereket, fehérítőt, ruhafestékanyagokat, olajat és nem lebomló szöveteket pl. a ruhákból [1].

A mosási folyamatok során a szennyeződések eltávolítására ún. felületaktív anyagokat, detergenset használunk így a szűrkevezekben nagy mennyiségű ilyen anyag található, amelyek a háztartási szennyvízzel kikerülhetnek a felszíni vizekbe. Itt a víz felszínén vékony habréteget képezve csökken a víz által felvehető oxigén mennyisége, illetve az öntisztulási folyamat határfoka, beindulhat az algavirágzás. Ezért újrahasználat előtt a szűrkevezeket fontos ezektől a felületaktív anyagoktól és egyéb szennyezőktől is megtisztítani. Jelenleg még Magyarországon a szűrkevíz felhasználásának nincs közegészségügyi szempontú kidolgozott szabályozása.

Az Egyesült Államokban azonban pl. az EPA (Environmental Protection Agency) 2012-ben kiadott egy útmutatót a szűrkevezek újrahasználatára vonatkozóan. A minősítési paraméterek közül ebből a szabályozásból két paramétert emelek ki: a biológiai oxigénigény (BOI5) értékét, amelyet 10 mg/l koncentrációban, illetve a zavarosságot, melyet 2 NTU értékben javasolják maximalizálni az újrahasználat feltételeként [2]. Így ezen paraméterekre kiemelt figyelmet fordítottunk a kezelési eljárások kidolgozása során.

## 2. Szintetikus szűrkevíz

A szűrkevízkezelési műveletek tisztítási hatásfokának összehasonlítása érdekében egy állandó összetételű, ivóvízalapú mosóvizet állítottunk elő, amely minőségi szempontból jól reprezentálja a valós, mosásból származó szűrkevízfrakciót. A valós minták összetétele nagyon változó, így a korrekt kezelési hatásfokok nyomon követésére szükséges a kezelendő víz összetételének állandósága, mely szintetikus, adott receptúra alapján kidolgozható, és később biztosítható a vizsgálatokhoz. A szintetikus mosóvíz előállításakor az elérendő minőségi paraméterek iránymutatójává a Környezetmérnöki Tanszék korábbi kutatásai alkalmával meghatározott minőségi összetétel szolgált [3, 4]. A minták alkotó komponensei mosószert és öblítőt, valamint a szennyeződések reprezentálása érdekében növényi olaj és természetes eredetű szerves tápanyag voltak.

Vizsgáltuk továbbá a kezelés hatását az egyre népszerűbb ún. biodetergens tartalmazó

mosószerekre is. A „bio”-mosóvizet mintázása során hagyományos mosószert és öblítőt helyett folyékony mosódiót, valamint növényi és ásványi anyagokból előállított öblítőt használtunk. Minősítési lépésként párhuzamos mérésekben vizsgáltuk a minták pH-, zavarosság-, fajlagoselektromosvezetőképesség-, zéta-potenciál-, biológiai oxigénigény-, oldottszervesszéntartalom- és kémiaoxigénigény-értékeit.

### 2.1. ANA-detergenstartalom-meghatározás

A fentiekben bemutatott vízanalitikai paraméterek folyamatos mérése mellett az egyes kezelési fázisok között, a kezelési lépés hatékonyságának ellenőrzése érdekében speciális összegző-paraméter mérését is elvégeztük. Ez az ún. anionaktív detergens (ANA)-tartalom. Mivel a valós és a szintetikus mosóvizekben megtalálható mosószerek elsősorban anionaktív detergenset tartalmaznak, így érdemes meghatározni a kezeletlen mosóvíz-minta anionaktív detergens-tartalmát, majd nyomon követni ezen összegző-paraméter alakulását a komplex kezelési folyamat során is

Az anionaktív detergens mennyiségi meghatározására szolgáló módszer egy kétfázisú titrálás, mely egy nagyon egyszerű és gyors meghatározási módszer, viszonylag kevés eszköz- és vegyszerszükséglettel. Az alkalmazott mérési módszer alapját az ISO 2271:1989 szabvány adta [5].

## 3. Komplex kezelési eljárás

A különböző szűrkevízkezelési eljárások fokozatos alkalmazása során vizsgáltuk azok hatását a hagyományos és biomosószereket tartalmazó szűrkevízmintákra, majd ezt követően a lépések optimális összeillesztésével egy komplex kezelési eljárást dolgoztunk ki. Ezen eljárás műveletei: koagulálás, szűrés, valamint oxidáció.

### 3.1. Koaguláció

A kémiai kezelési eljárások kapcsán első lépésként a koaguláció esetében megállapítottuk az alkalmazott vas(III)-klorid koagulálószer optimális mennyiségét mindkét típusú minta esetében. A koagulációs kísérletek során a koagulálószer különböző koncentrációban adagoltuk a szűrkevízmintához, miközben folyamatosan mértük a víz pH-, zavarosság- és zéta-potenciál-értékeit. Ezen vízminőségi mutatók segítettek megállapítani az optimális vegyszermennyiséget. Az optimális dózis hagyományos mosóvíz esetében 46–60 mg  $\text{FeCl}_3$ , míg az bioszintetikus minta esetében ez a mennyiség 33,78–34,78 mg  $\text{FeCl}_3$ -hatóanyag volt 100 ml mintára vonatkoztatva. Ezekből az érté-

kekből jól látható, hogy biodetergensok használataival akár 42%-kal kevesebb vegyszer használata elegendő lehet az optimális kezeléshez.

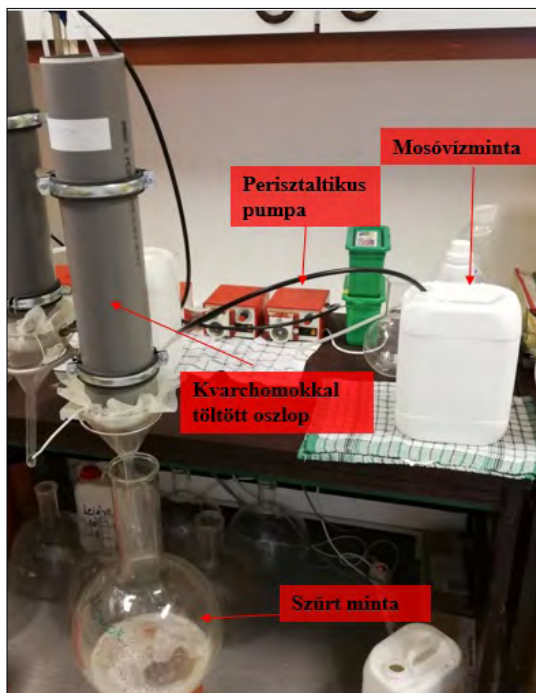
Az optimális dózissal kezelt minták jellemző paramétereit az **1. táblázat** illusztrálja.

A megfelelő dózisú vegyszer adagolása mellett a szennyeződések pelyhek formájában kiülepednek a koagulálószerrel, így megkönnyítve a következő kezelési lépést, a szűrést.

### 3.2. Kvarchomokon történő szűrés

A koagulálást követően a szűrési lépés során kvarchomok szűrőközegen szűrtük a mintákat (**1. ábra**), mely a koagulálószerrel pelyhekben összeállt szennyeződések nagy hatékonysággal eltávolította (**2. ábra**), ezzel csökkentve a minta zavarosságát és szervesanyag-tartalmát is.

Azonban a nemzetközi szakirodalomban ajánlott minősítési paraméterek felső határát – mely zavarosság esetében 2 NTU, míg a biológiai oxigénigény esetében 10 mg/l – még nem sikerült ekkor elérnünk. Ez látható a **2. táblázat**ban megadott értékek alapján.



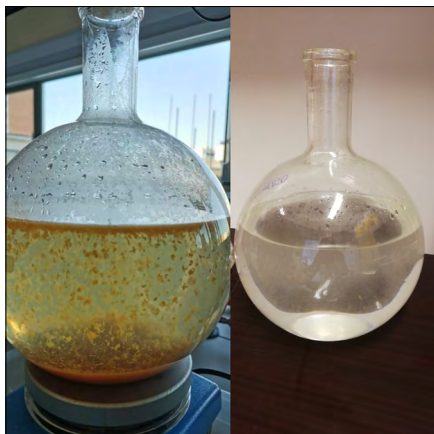
**1. ábra.** Kvarchomok szűrőberendezés felépítése

**1. táblázat.** Optimális  $FeCl_3$ -dózissal történő koagulálás hatása a mosóvízmintákra

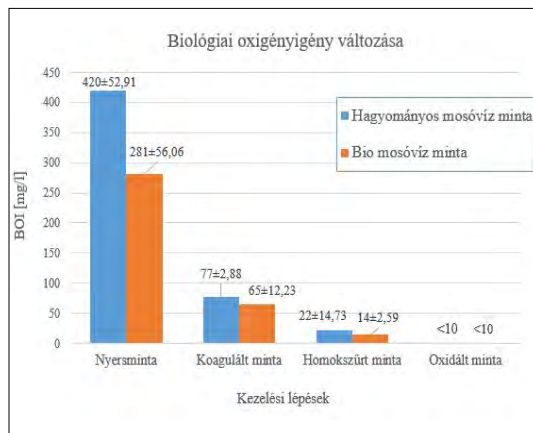
Mosóvízminták	Hagyományos mosószereket tartalmazó nyers minta	Koagulált hagyományos mosószereket tartalmazó minta	Bios mosószereket tartalmazó nyers minta	Koagulált bios mosószereket tartalmazó minta
pH	7,783±0,170	2,387±0,39	7,82±0,15	4,2±0,31
Fajlagos elektromos vezetőképesség [mS/cm]	1,03±0,021	5,80±2,49	1,64±0,08	1,72±0,45
Zéta-potenciál [mV]	-33,93±0,351	-2,47±0,77	-37,88±2,11	-3,08±5,25
Zavarosság [NTU]	85,17±8,819	395,61±137,24	40,69±5,59	443,17±60,71
BOI <sub>5</sub> [mg/l]	420±52,915	76,67±2,88	281,28±56,05	65±13,23
DOC [mg/l]	255,19±20,73	217,58±23,17	149,06±40,03	79,06±3,60

**2. táblázat.** Szűrés hatása a koagulálószerrel kezelt mintákra

Mosóvízminták	Koagulált, hagyományos mosószereket tartalmazó minta	Szűrt, hagyományos mosószereket tartalmazó minta	Koagulált, bios mosószereket tartalmazó minta	Szűrt, bios mosószereket tartalmazó minta
pH	2,387±0,39	7,624±0,208	4,2±0,31	7,07±0,51
Fajlagos elektromos vezetőképesség [mS/cm]	5,80±2,49	1,94±0,12	1,72±0,45	1,41±0,38
Zéta-potenciál [mV]	-2,47±0,77	10,23±3,68	-3,08±5,25	-7,88±6,97
Zavarosság [NTU]	395,61±137,24	2,08±0,35	443,17±60,71	1,06±0,36
BOI <sub>5</sub> [mg/l]	76,67±2,88	22±14,73	65±13,23	14±2,59
DOC [mg/l]	217,58±23,17	35,34±9,39	79,06±3,60	28,49±10,07



2. ábra. Szűrés előtti (koagulált) és szűrés utáni minta



3. ábra. Biológiai oxigénigény csökkenése a komplex kezelési módszer lépései során

### 3.3. Oxidatív kezelés

Ezen lépés során optimalás alapján 128 mM hidrogén-peroxiddal kezeltük a már koagulált, majd szűrt mintát, majd 1 óra hatóidő után elemeztük az így oxidált minta minőségi jellemzőit. A kapott eredmények alapján az oxidatív kezelés végére a nemzetközi ajánlásoknak megfelelően a zavarosság kapcsán a 2 NTU alatti, valamint a biológiai oxigénigény tekintetében a 10 mg/l alatti értéket kaptunk. Az oxidáció hatása látható a 3. táblázatban megadott értékek alapján.

## 4. Komplex kezelési eljárás hatásfokának összefoglalása

Az alkalmazott kezelési lépések (koagulálás-homokszűrés-oxidálás) során megtisztított szintetikus mosóvíz minősége egyértelműen javult vízminősítési paramétereit tekintve. A 3–4. ábrák szemléltetik a nemzetközi szakirodalomban is kiemelt biológiai oxigénigény- és zavarosság-pa-

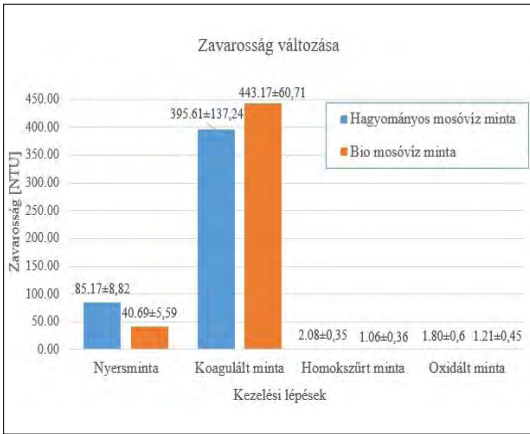
raméterek folyamatos csökkenését az egyes kezelési lépések során. A biológiai oxigénigény egyértelmű csökkenést mutat, azaz a komplex kezelés eredményeképpen elértük a 10 mg/l alatti értéket a nemzetközi minősítési ajánlásoknak megfelelően.

A zavarosság esetében a koagulálási lépés során a zavarosság jelentős növekedése figyelhető meg, ami a pehelyképződésnek köszönhető, ez azonban az azt követő szűrési lépés követően lényegesen csökken, így a komplex kezelési módszer végére az ajánlott 2 NTU alatti értéket kaptunk.

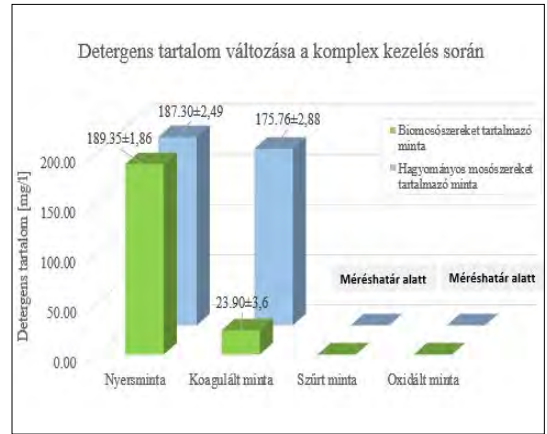
Az ANA-detergens tartalom mérése kapcsán továbbá az eredmények alapján elmondható, hogy a komplex kezelési eljárás eredményesen eltávolítja ezen komponenseket a szürkevízből. Ahogyan az 5. ábrán is látható, a szűrési lépést követően az ANA-detergens-tartalom mérés határ alatti.

3. táblázat. Az oxidációs kezelési lépés hatékonysága

Mosóvízminták	Szűrt, hagyományos mosószereket tartalmazó minta	Oxidált, hagyományos mosószereket tartalmazó minta	Szűrt, biodetergenset tartalmazó minta	Oxidált, biodetergenset tartalmazó minta
pH	7,62±0,208	7,73±0,13	7,07±0,51	7,07±0,44
Fajlagos elektromos vezetőképesség [mS/cm]	1,94±0,12	2,14±0,61	1,41±0,38	1,07±0,14
Zéta-potenciál [mV]	10,23±3,68	17,23±0,11	-7,88±6,97	-14,4±4,77
Zavarosság [NTU]	2,08±0,35	1,8±0,6	1,06±0,36	1,21±0,456
BOI <sub>5</sub> [mg/l]	22±14,73	<10	14±2,59	<10
DOC [mg/l]	35,34±9,39	21,08±2,36	28,49±10,07	26,11±11,03



4. ábra. Zavarosság változása a komplex kezelési módszer lépései során



5. ábra. ANA-tartalom-változás a kezelés hatására

## 5. Csíranövényteszt

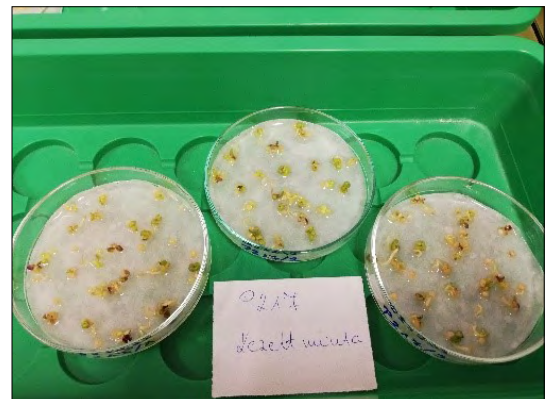
Az öntözési célra való újrahasználatosság vizsgálatának céljából szabványosított csíranövény-tesztet végeztünk el [6]. A csíranövényteszt során fehér mustármagokat csíráztattunk 72 órán keresztül.

A kísérlet során 25-25 db kezeletlen, azonos méretű és színű fehér mustármagot helyeztünk egymástól egyenlő távolságban előzetesen sterilizált és szűrőpapírral bélelt Petri-csészékbe. A teszt időtartama 72 óra volt, mely során 20-22 °C-os sötét helyiségben, csíráztatóládában tartottuk a magokat tartalmazó Petri-csészéket.

Három párhuzamos mérést végeztünk egy-egy alkalommal, úgy, hogy 3-3 Petri-csészét öntöztünk kontrollként ivóvízzel, kezeletlen szintetikus mosóvízzel illetve komplexen kezelt, tisztított szintetikus mosóvízzel. A kísérletet elvégeztük hagyományos, valamint biodetergenset tartalmazó mosóvízzel is.



6. ábra. Fehér mustármagok



7. ábra. Csíranövények

A 6–7. ábrákon látható a csíranövényteszt kiindulási állapota a fehér mustármagok, valamint a végső fázis, a fejlett csíranövények.

Vizsgáltuk az ivóvízzel öntözött magokhoz viszonyítva:

- hogy hány darab mag csírázott ki;
- milyen mértékű volt a növekedés (gyökér- és szárhossz tekintetében);
- a biomasszatömeget;
- az elemtartalmat.

A minősítés során elsőként megszámoltuk, hogy Petri-csészénként a 25 db csírából hány db mag csírázott ki. A gyökér és szárhossz mérését egy-egyével végeztük el minden kicsírázott növény esetén, a 72 óra leteltével. A kapott adatok felhasználásával összehasonlítást végeztünk az öntözővizek minőségi mutatói között. A nedves és száraz biomasszatömeget Petri-csészénként mértük le. A két adat felhasználásával nedvességtartalmat számoltunk a különböző vízmintákhoz tartozó

csíranövényekre, amely nagyon jó alapot jelentett az öntözővizek közötti különbségek összehasonlítására. Az elemtartalom-vizsgálat esetén külön elemeztük a szár- és a gyökérrészt.

### 5.1. Kicsírázott magok száma

Ahogy a 4. táblázatban is látható, a kezeletlen mosóvízzel öntözött magok esetében kisebb a csírázási képesség, mint a kontrollívóvíz vagy a kezelt mosóvíz esetében. A kezelt minták mind a hagyományos, mind a biomasóvíz esetében jobb csíráztatóképességet mutatnak.

### 5.2. Gyökér- és szárhossz

A csírák növekedését a gyökér és a szárhossz mérésével követtük nyomon. A viszonyítási alapot ebben a kontrollívóvízzel öntözött magvak méretei jelentették. A milliméterben mért értékekből átlagot vontunk, ez látható a 5. táblázatban.

A vártak megfelelően az tapasztaltuk, hogy a kezelt mosóvízzel öntözött csírák esetében nagyobb a szár- és gyökérhossz, mint a kezeletlen mintával öntözöttek esetében. Az ivóvízhez viszonyítva azonban látható lemaradás a növekedést illetően, a kezelt mintákkal való öntözés során is. Gyökérhossz esetében hagyományos mosóvízzel öntözött csírák esetében 60%-kal kisebb, míg biomasóvízzel öntözött csíráknál ez az eltérés 55%.

#### 4. táblázat. Átlagosan kicsírázott magok száma

	Átlag	Szórás
Ivóvíz	23,33	0,58
Kezeletlen mosóvíz	19,00	1,00
Kezelt mosóvíz	22,33	2,51
Kezeletlen biomasóvíz	22,00	2,00
Kezelt biomasóvíz	23,67	1,53

#### 5. táblázat. Gyökér- és szárhosszátlag

GYÖKÉR (mm)	Hagyományos mosóvíz	Biomosóvíz
Ivóvíz	11,26±1,33	15,84±2,03
Kezeletlen	3,85±1,09	6,37±0,29
Kezelt	4,38±2,19	7,24±0,62
SZÁR (mm)		
Ivóvíz	14,62±4,62	11,35±1,17
Kezeletlen	7,65±0,09	10,25±0,43
Kezelt	8,82±0,34	11,15±0,99

Szárhossz esetében kisebb eltérést tapasztaltunk a kontrollívóvízzel öntözött csíráktól, hagyományos mosóvízzel öntözés esetében 40%, biomasóvíz esetén 2% a lemaradás a növekedésben.

### 5.3. Biomasszatömeg és nedvességtartalom

A biomasszatömeg mérését nedves és száraz állapotban is elvégeztük. Ezen adatokból a növénycsíra-részek nedvességtartalmát határoztuk meg, amelyből a minták vízfelvevő képességére tudunk következtetni.

Szinte minden esetben elmondható, hogy a kontrollívóvízzel öntözött csírák értékeihez viszonyítva kisebb értékeket mértünk, de a kezelt vízzel öntözött csírák tömege és nedvességtartalma magasabb, mint a kezeletlen mosóvízmintával öntözött csíráké.

A vízfelvevő képességet az öntözővíz detergens-tartalma és a zavarosság értéke lényegesen befolyásolja, mivel a növényi részekre való kirakódásuk megakadályozhatja a vízfelvételt. A csíráztatás során ez abban mutatkozott meg, hogy míg az ivóvízzel és a kezelt mintákkal öntözött csírák az összes öntözővizet felvették, addig a kezeletlen mosóvízzel öntözött csírák alatt rendszerint megmaradt az előző öntözésekből származó vízminta. A kezelt minta esetében azonban ezeket a zavaró hatásokat nagyrészt sikerült eltávolítani. Továbbá az adatokat értékelve megállapítottuk, hogy a nedvességtartalom a gyökér esetében 10%-kal nagyobb volt a száraz nedvességtartalmához képest. Következtetésképpen ebből azt vontuk le, hogy a növényi csírákban a nedvesség inkább a gyökérrészben raktározódhat el.

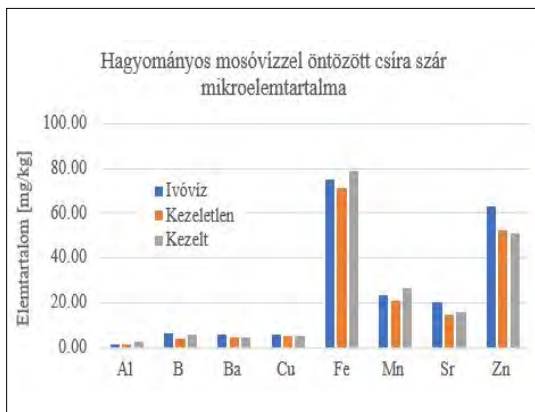
### 5.4. Elemanalízis

A csíráztatási kísérlet csíranövényeinek, valamint az öntözésükre használt vízminták elemanalitikai vizsgálatát Agilent 5110 ICP-OES-készülék használatával végeztük el. 12 makro-, ill. mikroelem mérését végeztük el a növényi mintákon és vízmintákon egyaránt.

Az elemanalízis kapcsán külön a szár- és a gyökérrész vonatkozásában vizsgáltuk a csíranövény elemtartalmát. A 8. ábra a szárrész mikroelem-tartalmát illusztrálja.

Látható, hogy a vas, mangán és cink magas koncentrációban található meg a mosóvízzel öntözött csíranövényben, azonban mivel ezek az elemek az ivóvízzel öntözött csíranövényben is hasonlóan magas koncentrációban vannak jelen, így ez nem jelent többletfelhalmozódást.

A kapott eredmények alapján összességében elmondható, hogy a mosóvíz kezelése elengedhetet-



8. ábra. Csíraszár mikroelem-tartalma

len öntözési célú felhasználás előtt, hiszen a kezeletlen mintával öntözött magok, mind kicsírázási arányban, mind pedig fejlődésben elmaradtak a kezelt, illetve az ivóvízzel öntözött magokhoz viszonyítva.

## 6. SAR-tényező

A SAR-érték/-tényező egy szakirodalomban elérhető tapasztalati képlet alapján a vizek szikesítő hatását mutatja meg, pl. öntözővizek minőségére vonatkozóan. A szikesedését abból a szempontból fontos vizsgálni, hogy a talaj, illetve öntözővíz sótartalma meghatározza a talaj termőképességét. Abban az esetben, ha a minta SAR-értéke 2–4 közötti, az öntözővíz nem veszélyezteti a talaj termőképességét, míg ha ettől nagyobb, jelentős hatással lehet az öntözővíz minősége a talaj tulajdonságaira, a növények fejlődőképességére [7].

6. táblázat. Kezelés hatása a hagyományos mosóvíz-mintára

	Kezeletlen, hagyományos mosószeret tartalmazó minta	Kezelt, hagyományos mosószeret tartalmazó minta
pH	7,783±0,170	7,73±0,13
Fajlagos elektromos vezetőképesség [mS/cm]	1,03±0,021	2,14±0,61
Zéta-potenciál [mV]	-33,93±0,351	17,23±0,11
Zavarosság [NTU]	85,17±8,819	1,8±0,6
BOI <sub>5</sub> [mg/l]	420±52,915	<10
DOC [mg/l]	255,19±20,73	21,08±2,36
KOI [mg/l]	1258±33,94	1258,5±26,16
ANA-detergens [mg/l]	187,07±3,49	<

Ez az érték hagyományos mosóvíz esetében 2,38, míg biomosóvíz esetében 2. Ez azt jelenti, hogy ezen paraméter alapján az általunk komplexen kezelt mosóvíz alkalmas lehet öntözésre, anélkül, hogy károsítaná a talaj termőképességét.

## 7. Következtetések

A mosásból származó szürkevíz újrahasználatra való előkészítése során, mint kezelési eljárást, komplexen alkalmaztunk koagulációt, kvarchomok szűrőközegen történő szűrést, valamint oxidációs eljárást. A mért és elemzett vízanalitikai paraméterek alapján sikeresen alkalmaztunk egy megfelelő kezelési módszert, optimális vegyszermennyiségek használatával. A kiindulási kezeletlen, valamint a komplexen kezelt minták paraméterei láthatóak a 6–7. táblázatokban.

Ennek eredményeképpen a minőségre vonatkozó nemzetközi ajánlásokban szereplő minősítési paraméterek közül kettőt kiemelve a biológiai oxigénigény (BOI<sub>5</sub>) értékét 10 mg/l, illetve a zavarosságot 2 NTU érték alá sikerült redukálni. Így egy háztartási szinten, ivóvíz-minőségű vizet nem igénylő feladatokra potenciálisan (WC-öblítés, autómosás, öntözés) újrahasználatos, mosásból származó tisztított szürkevizet állítottunk elő.

A csíranövényteszt elvégzése kapcsán továbbá megállapítható, hogy a komplexen kezelt mosóvíz potenciálisan alkalmas öntözési célú felhasználásra, valamint a SAR-tényező alapján nem gyakorol káros hatást sem a talaj termőképességére.

7. táblázat. Kezelés hatása a biomosóvíz-mintára

	Kezeletlen, biomosószeret tartalmazó minta	Kezelt, biomosószeret tartalmazó minta
pH	7,82±0,15	7,07±0,44
Fajlagos elektromos vezetőképesség [mS/cm]	1,64±0,08	1,07±0,14
Zéta-potenciál [mV]	-37,88±2,11	-14,4±4,77
Zavarosság [NTU]	40,69±5,59	1,21±0,456
BOI <sub>5</sub> [mg/l]	281,28±56,05	<10
DOC [mg/l]	149,06±40,03	26,11±11,03
KOI [mg/l]	1341±28,99	909±2,83
ANA-detergens [mg/l]	189,95±2,14	<

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Ghaitidak D. M., Yadav K. D.: *Characteristics and Treatment of Greywater. A Review*. Environmental Science and Pollution Research, 20/5. (2013) 2795–2809.  
<https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0>
- [2] U.S. Environmental Protection Agency: *Guidelines for Water Reuse*. 2012.
- [3] Bodnár I., Boros N., Baranyai E., Fórián S., Izbékiné Szabolcsik A., Jolánkái G., Keczánné Úveges A., Kocsis D.: *Épületek csapadékvizeinek és szűrkevízeinek vizsgálata az Észak-Alföld régióban környezetbarát és energiahatékony hasznosítás céljából*. In: Kalmár F. (szerk.): *Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2014.
- [4] Bodnar I., Szabolcsik A., Baranyai E., Uveges A., Boros N.: *Qualitative Characterization of the Household Greywater in Northern Great Plain Region of Hungary*. Environmental Engineering and Management Journal, 13/11. (2014) 2717–2724.  
<https://doi.org/10.30638/eemj.2014.302>
- [5] ISO 2271:1989: Surface Active Agents — Detergents — Determination of Anionic-Active Matter by Manual or Mechanical Direct Two-Phase Titration Procedure.
- [6] MSZ 22902-4: *Víztoxikológiai vizsgálatok. Csíra-növényteszt*. 1991.
- [7] Zsembeli J., Szűcs L.: *Zöldégnövények környezetkímélő öntözése magas sótartalmú vizekkel*. Agrártudományi Közlemények, 2014/61.



# CPVC-könyökidomok optikai ellenőrzése és a gyártási folyamat hibadiagnosztikája

## Optical Inspection of CPVC Fitting Elbows and Fault Diagnosis of the Production Process

Korsoveczki Gyula,<sup>1</sup> Bencsik Balázs,<sup>2</sup> Husi Géza<sup>3</sup>

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Mechatronikai Tanszék. Debrecen, Magyarország

<sup>1</sup> [korsoveczki.gyula@gmail.com](mailto:korsoveczki.gyula@gmail.com)

<sup>2</sup> [bencsikbalazs97@gmail.com](mailto:bencsikbalazs97@gmail.com)

<sup>3</sup> [husigeza@eng.unideb.hu](mailto:husigeza@eng.unideb.hu)

---

### Abstract

The topic of this study is the optical inspection of CPVC fitting elbows concerning the geometric parameters that can be detected in 2 dimensions. Based on the evaluation of the results, fault diagnosis has been set up for the production line by statistical calculations. The optical inspection was carried out in the Vision Development Module software environment produced by National Instruments, and the data were evaluated using Microsoft Excel.

**Keywords:** Industry 4.0, image processing, quality control, CPVC, fault diagnosis.

### Összefoglalás

A tanulmány során CPVC-anyagú könyökidomok optikai ellenőrzése valósult meg 2 dimenzióban detektálható geometriai paraméterekre vonatkozóan. Az eredmények kiértékelése alapján hibadiagnosztika került felállításra a gyártósorra vonatkozóan statisztikai számítások révén. Az optikai ellenőrzés a National Instruments Vision Development Module fejlesztőkörnyezetben valósult meg, az adatok kiértékelése pedig a Microsoft Excel használatával történt.

**Kulcsszavak:** Ipar 4.0, képfeldolgozás, minőség-ellenőrzés, CPVC, hibadiagnosztika.

---

## 1. Bevezetés

A jelenkori ipar, a gazdasági és társadalmi viszonyok egyik fő formálója a negyedik ipari forradalom, melyre gyakran csak Ipar 4.0-ként hivatkozik a műszaki élet.

Az Ipar 4.0 gépek és folyamatok intelligens hálózatában gondolkodik az információs és kommunikációs technológia segítségével. Mindinkább fontosabb szerephez jutnak a fejlett érzékeléssel rendelkező gépek és az automatizálás. A gyártás adaptívabbá tétele teret ad a gépi látás fejlődésének olyan területeken, mint a pozíciómeghatározás, objektumfelismerés és minőség-ellenőrzés.

## 2. Minőség-ellenőrzés módszerei az iparban

Egy automatizált gyártósori minőség-ellenőrzés célja az adott termékek megfelelőségének vizsgálata, amely megmutatja, hogy a termékek mennyire felelnek meg a rájuk vonatkozó nemzeti, szakmai, vállalati szabványoknak és jogszabályoknak és követelményeknek [1]. Az ellenőrzés mindig meghatározott anyagmennyiségre vagy tételmenyiségre vonatkozik. A folyamat lehet hagyományos és statisztikai elvű. Előbbi esetében az ellenőrzést végző személy joga az ellenőrzéshez szükséges minta megállapítása a termék és a

gyártási folyamat jellege alapján. Utóbbi viszont rendszeres minőség-ellenőrzési számadatok gyűjtését jelenti, melyek statisztikai feldolgozásokon esnek át, mely segíti a csoportosítást és átlátást. Előnye, hogy a folyamatosságból adódóan időben folyamatos az ellenőrzési folyamat, így általános következtetések is levonhatók kevesebb adatból, valamint azok változásának jellege is nyomon követhető. Alapvetően 4 módozata ismeretes, melyek a 100%-os minőség-ellenőrzés, a véletlenszerű minőség-ellenőrzés, a statisztikai mintavételes minőség-ellenőrzés és a gyártónyilatkozat-alapú minőség-ellenőrzés [1].

A 100%-os minőségellenőrzés esetén az ellenőrzési tétel a teljes terméktételszám. Az átvizsgálás a tétel minden darabjának átvizsgálást jelenti, azonban a vizsgálat csak bizonyos jellemzőkre korlátozódik. Előnye, hogy az adott jellemzőre teljes körű ellenőrzés valósul meg. Hátránya, hogy más hibák nem kerülnek detektálásra és roncsolásos vizsgálati módszerek nem alkalmazhatók [1].

A véletlenszerű minőség-ellenőrzés a teljes tétel darabszámának csak egy bizonyos részét jelenti (pl.: 10%-át). A mennyiség szabadon választható [1].

A statisztikai mintavételes minőség-ellenőrzés hatékony és megbízható eredményeket szolgáltat. Előnye, hogy viszonylag kisszámú mintából a folyamatosságnak és a statisztikai módszereknek köszönhetően az eredményeket mégis nagy tételszámra lehet vonatkoztatni. Minősítésalapon kerül megállapításra, hogy a minta darabjai megfelelnek-e az előírt követelményeknek, mérésen alapuló módszer esetében viszont a mért értékek feljegyzésre és elemzésre kerülnek [1].

A gyártónyilatkozat-alapú minőség-ellenőrzési módszer során a gyártó egy minőségi bizonyítványt ad ki arra vonatkozóan, hogy egy termék elérte-e az elvárt minőséget [1].

### 3. Az optikai ellenőrzés elmélete

#### 3.1. Az optikai ellenőrzés eszközei

Az ipari minőség-ellenőrzési folyamatok során egyik legfontosabb technológia a gépi látás. Jellemzően a detektált jellemzők az adott termék valamely külső jellemzője, mely lehet geometriai jellemző, objektumok megléte vagy más optikai úton érzékelhető jellemzők.

Egységei az jelforrás és lényegkiemelés (kép és megvilágítás), a képalkotást megvalósító eszköz, a jelfeldolgozó egység, a szoftverkomponens és a kommunikációs csatorna [2].

A jelforrás lehet mozgó- vagy állókép. A lényegkiemelő eszköz megvilágítással (Reflected, Bright Field, Dark Field, szórt fényű, fókuszált stb.) javítja a mintavételezés és a kvantálás minőségét. A képalkotó eszköz igazodva a jelforrás fizikai tulajdonságához a jelfeldolgozó egységgel együttesen előállítják a digitális képet. A felhasználói kezelőfelület biztosítása a szoftverkomponens feladata, mely hozzáféréssel rendelkezik egy ismereti adatbázishoz, valamint rendelkezik a szükséges kommunikációs csatornával (pl.: Modbus TCP, EtherCAT) [3].

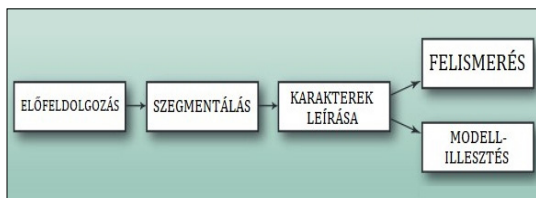
#### 3.2. A gépi látás folyamata

A képfeldolgozás folyamatának első fázisa az előfeldolgozás, mely a nyers bemeneti adatokat egyszerű műveletek és szűrők segítségével készíti elő. Cél a felesleges képi információ elhagyása és a zavaró különbségek kiküszöbölése (pl. szürkeárnyaltos konverzió alkalmazásával). Az előfeldolgozás folyamatai képpontok szintjén mennek végbe [4, 5].

A következő lépés a szegmentálás, mely szintén az értékes információk kiemelését és a felesleges eldobását célozza a kép jellemző területeinek szétválasztásával. Eszközei az éldetektálási algoritmusok, hisztogramgörbe-transzformációk a szín- és fényességi értékekre vonatkozóan [4, 5].

A szegmentálás és a karakterisztikus jegyek detektálásának információit leíró algoritmusok (descriptorok) tömörítik, így a felismerés folyamata már információalapú, nem képpontalapú. A folyamatot segíti az ismeretbázis, melynek elemei között összevetésre kerülnek a leíró algoritmusok információival. Lehet gyártó által biztosított vagy gyártófüggetlen könyvtár [4, 5].

A felismerés mellett modellillesztést is célozhat a gépi látás. Itt arról kell dönteni, hogy a leíró információk alapján egy adott modell illeszthető és feldolgozható-e. Ennek első lépése egyéni leírás társítása, a második pedig a modell beillesztése és finomhangolása [4, 5]. A gépi látás folyamatának lépéseit az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra. A gépi látás folyamatának lépései [4]

#### 4. A CPVC-könyökidomok gyártása

A PVC (Polyvinyl-chloride) a hőre lágyuló műanyagok csoportjába tartozik, amely 47% klórt és 43% szén tartalmaz. A PVC újbóli klórozása hozza létre a CPVC-anyagot (Chlorinated polyvinyl-chloride), melynek fizikai és kémiai tulajdonságai jelentősen javulnak [6].

A hőre táguló műanyagok hő hatására képlékeny állapotba kerülnek, majd újra szilárd halmazállapotot vesznek fel. A folyamat megismételhető. Az alapanyag por vagy granulátum formájában kerül adagolásra. Míg a hőre lágyuló műanyag csövek extrudálással, addig a csőidomok fröccsöntési technológiával készülnek [7]. A 2. ábra egy fröccsöntőgép vázlatát szemlélteti:

A gép meleg hengerében a csiga segítségével megolvasztásra kerül (plasztifikálás) a granulátum, majd a csiga az előkészített ömledéket a fröccsöntőszerszám zárt üregébe préseli. Az ott létrejövő erőket a záróegység hivatott felfogni. A formázott ömledék hűtése a szerszámon keresztül valósul meg az anyag megszilárdulásáig. Az osztott szerszám nyitását és az idom belsejét kialakító magok kihúzását követően az idom eltolóítható [7].

#### 5. Az optikai vizsgálat megvalósítása

Az optikai ellenőrző eljárás a National Instruments által fejlesztett Vision Development Module-fejlesztőkörnyezetben készült. A szoftver alkalmas objektumok jelenlétének detektálására, felismerésére, számlálására, minta- és karakterfelismerésre, mozgó objektumok sebességének és vektorának mérésére, illetve feladatok elvégzésére frekvenciatartományban [8].

Az vizsgálat során az alábbi Genova-gyártmányú, 50705-ös típusú 1,2” derékszögű CPVC-könyökidomok külső geometriai paraméterei kerül-

tek ellenőrzésre [9]. Az alkatrész dimenziói [mm]-ben értelmezve és a termék a 3. ábrán láthatók.

Az optikai vizsgálat 17 db képfeldolgozási szekenciát foglal magában, az alábbi geometriai méretek kerülnek detektálással:

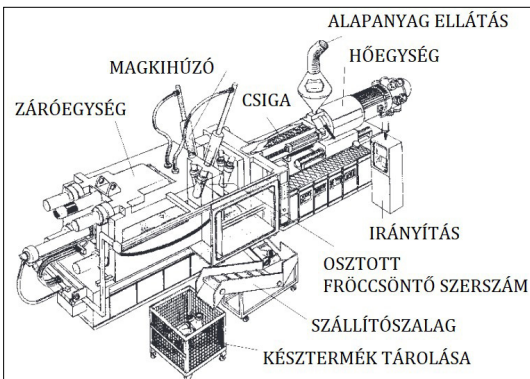
- a könyökidom csőátmérője (mindkét nyílás),
- a könyökidom hajlási szöge,
- a könyökidomok vertikális hossza,
- a könyökidomok horizontális hossza.

Első lépés a termékről készült digitális kép betöltése, mely 2268×2271 méretű, 24 bitmélységű sRGB színterű digitális kép. A feldolgozási folyamatok 24 bites bitmélységű képen RGB-színtérben erőforrásigényesek, így az eredeti képet egy Colour Plane Extraction funkcióblokk módosítja 8 bites mélységűre vörös színtér nélkül.

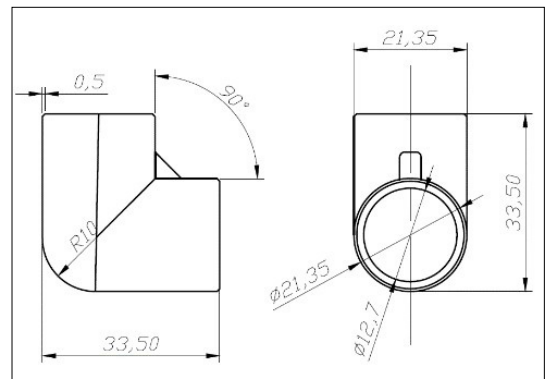
Az alakzatok változó pozícióval és orientációval rendelkeznek, így vonatkoztatási rendszer szükséges. Ennek során az aktuális könyökidom egy szeglete kerül betanításra és detektálásra a Find Base Coordinate Sytem funkcióblokkal, mely aktuális vonatkoztatási rendszerként szolgál a Define Coordinate System funkcióblokk révén.

A következő éldetektálási műveletek célja a csőnyílások megtalálása, az átmérők 2 végpontjai alapján az Upper- és Bottom Edge Detector funkcióblokkok segítségével. A keresés során adott vonal mentén kerül detektálásra a legelső és a legutolsó él, melyek az alkatrész kontúrjai. Az átmérők mérése az Upper- és Bottom Diameter Caliper funkcióblokkokkal történik a vonalmenti pixelszám alapján.

A következő mérendő geometriai tényező a hajlásszög, melynek névleges értéke 90°. Az éldetektálás 1 db helyett jóval több, a keresett élre mérőleges keresővonallal történik. A vonalsűrűség pontosabb detektálást eredményez, de a felesleges keresővonalak alkalmazása lassítja a feldolgozás sebességét. Az keresés során 1300x500 pixel



2. ábra. Fröccsöntőberendezés [7]



3. ábra. A CPVC-könyökidom méretei [mm] [10]

területen, a hosszabb oldalra merőleges 90 db keresővonal került alkalmazásra 40dB küszöbértékekkel, éldetektálási iránnyal és az intenzitásváltozás figyelésével. A hajlásszög mérését az Angle Caliper nevű funkcióblokk végezi a két oldalegyenes által bezárt szög alapján.

A könyökidom hosszmereteinek méréséhez definiálásra kerülnek a csőnyílások középpontjai, melyek az átmérőszakaszok felezőpontjai. A felezőpontokat a szemközti oldalegyenesekkel összekötő, oldalegyenesekre merőleges szakaszok hosszmeretei megadják a keresett értékeket. Az merőleges egyenes állítása a Bottom- és Top Perpendicular Projection Caliper-blokkok révén, míg a keresett méretek meghatározása a Height és a Width blokkok révén valósulnak meg. A detektált geometriai paramétereket a **4. ábra** szemlélteti:

## 6. A gyártási hibadiagnosztika

### 6.1. Az optikai ellenőrzés eredményei

Az optikai ellenőrzés során egy 30 db termékből álló minta került ellenőrzésre. Az adott optikai beállításokra vonatkozó pixelmilliméter-konverzióhoz egy gyárilag ellenőrzött, 15 db termékből álló minta került felhasználásra, melyek mérései eredményei az **1. táblázat**ban láthatók:

A pixelszámok nem egész értékek, melynek oka, hogy a képfeldolgozó eljárás a pontosabb mérés érdekében 100 pixel méretéből osztja vissza a mennyiségeket, százádára csökkentve a mérési hibát. Az alkalmazott optikai beállítás esetén az alábbi megfeleltetés adódott:

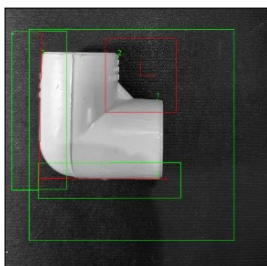
$$1 \text{ mm} = 31,55 \text{ pixel} \quad (1)$$

A gyári szabvány [mm], szög és pixel értékeit a **2. táblázat** tartalmazza.

A 30 elemű minta optikai vizsgálatának eredményei Microsoft Excel-környezetben kerültek feldolgozásra (**3. táblázat**)

A vizsgálat során 1 db hibás termék került detektálásra, melynek a csőátmérő méretei lépték túl a megengedett tűrés értékét.

Az **5. ábra** a paraméterek eloszlását szemlélteti:



**4. ábra.** A detektált paraméterek

### 1. táblázat. A pixelmilliméter-konverzió eredménye

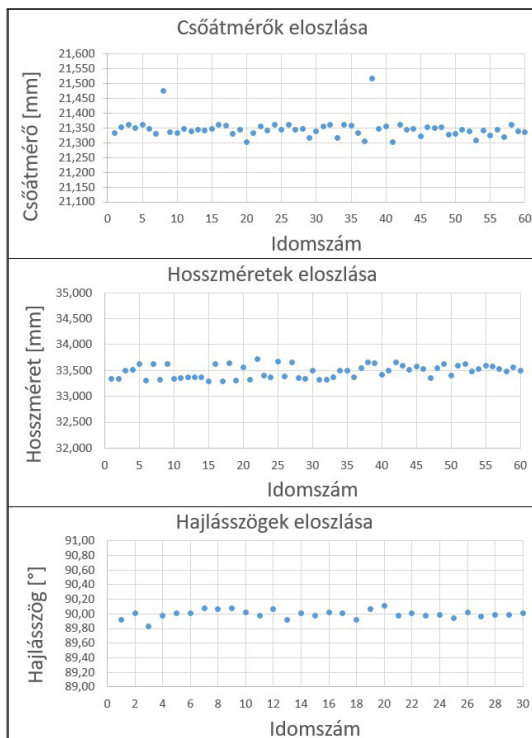
	Manuális mérés	Optikai mérés
Csőátmérő	21,35 mm	673,60 pixel
Hosszméret	33,50 mm	1056,90 pixel
Hajlásszög	90°	90°

### 2. táblázat. A névleges- és tűrésértékek átváltása

	Névleges érték		Tűrés	
	[mm]	[pixel]	[mm]	[pixel]
Csőátmérő	21,35	673,60	± 0,1	± 3,2
Idomhossz	33,50	1056,90	± 0,5	± 15,8
Hajlásszög	90°	90°	± 0,5°	± 0,5°

### 3. táblázat. A rendszerezett eredmények

	Átlag	Szórás
Csőátmérő	21,3464 mm	0,03236 mm
Idomhossz	33,4802 mm	0,12474 mm
Hajlásszög	90,07°	0,05801°



**5. ábra.** A vizsgálat eredményeinek eloszlása

## 6.2. Hibadiagnosztika a gyártási folyamatra

Az optikai vizsgálat eredménye szemlélteti, hogy a minta többi eredménye a megadott tartományokon belül hol helyezkedik el, tehát képes-e a gép adott minőségű termék gyártására, vagy sem. Definiálható gépképesség és folyamatképesség [10]:

$$C_p = \frac{FTH - ATH}{6 \cdot \sigma} \quad (2)$$

$$C_{pk} = \left\{ \frac{\mu - ATH}{3 \cdot \sigma}; \frac{FTH - \mu}{3 \cdot \sigma} \right\}_{min} \quad (3)$$

$$C_m = \frac{FTH - ATH}{8 \cdot \sigma} \quad (4)$$

$$C_{mk} = \min(C_{ml}; C_{mu}) = \min \left\{ \frac{\mu - ATH}{4 \cdot \sigma}; \frac{FTH - \mu}{4 \cdot \sigma} \right\} \quad (5)$$

ahol,

–  $FTH/ATH$  – tűrés határok [mm],

–  $\mu$  – átlagérték [mm],

–  $\sigma$  – szórás [mm],

–  $C_p/C_m$  – folyamat/gép képességének indexe,

–  $C_{pk}/C_{mk}$  – a folyamat/gép aktuális képességének indexe [10].

A gépképesség egyetlen gépre vagy műveletre vonatkozik. A cél, hogy a minimalizálhatók legyenek a nagy változásokat előidéző hibafaktorok. A folyamatképesség a vizsgált paraméter változását előidéző minden hatást igyekszik figyelembe venni (4. táblázat) [10].

A gyártás során az alkatrészek külső átmérője bizonyult a kritikus paraméternek. A mérőszám (átmérő [mm]) valószínűségi változója normális eloszlást mutat. Mivel az átmérőre számolt  $C_p = 1,02995$ , így a természetes ingadozása  $\pm 3\sigma$  mellett a tűrésmező a középérték körül

4. táblázat. A folyamat- és gépképességi indexek értékei

	Folyamatképesség		Gépképesség	
	$C_p$	$C_{pk}$	$C_m$	$C_{mk}$
Átmérő	1,0299	0,9928	0,772463	0,7446
Hossz	1,3361	1,2832	1,00212	0,9624
Szög	2,8731	2,8578	2,154834	2,1433

$SL = 3C_p = 3,089$  szóráségséget tartalmaz. Ennek megfelelően a  $C_{pk} = 0,9928$  értéke azt mutatja, hogy a várható érték az alsó tűréshatárhoz van közelebb, a határon kívül esés mértéke kisebb, mint 0,27% [10].

## 7. Következtetések

A vizsgálat eredményének fényében a gyártósor képes a vevői igényeket kielégíteni. A gyártási folyamat stabil, szabályozott, csak véletlen hibákra lehet számítani. A minta számának növelése és gyakoribb vizsgálata még hitelesebb képet ad, beleértve a gyártósoron készített termékek időbeni változását.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] A minőség-ellenőrzés módszerei, „Way of Cargo”. <http://wocargo.hu/a-minoseg-ellenorzes-modszerei/>. (letöltve: 2021. január 20.).
- [2] B. Hope. A. Rosenfeld. J. Beck: *Human and Machine Vision*. Academic Press, 1983.
- [3] Brilakis I., Haas C. T. M.: *Infrastructure Computer Vision*. Butterworth-Heinemann, 2019.
- [4] Vass G.: *Gépi látás*. I. rész, „Videó és PC”, Videopraktika 2006/4. (letöltve: 2021. január 20.). <http://www.vassg.hu/pdf/gepilatas1.pdf>
- [5] Z. D. V. S. D. S. A. Dr. Rövid, *The Parallel Models and Algorithms of the Machine Vision and Image Processing*. Budapest: Typotex, 2014.
- [6] CPVC-csövek technológiája, „Falcrumconstruction”. (letöltve: 2021. január 20.). <https://hun.falcrumconstruction.com/trubahpvh-cto-jeto-takoe.html>.
- [7] Bacsinszky T., Mészáros P.: *Műszaki segédlet*. 1. kiadás, Wavin-Pemű Kft, Mészáros és Társa Mérnöki Tanácsadó Közkereseti Társaság, 1998.
- [8] Vision, National Instruments (letöltve: 2021. január 20.). <https://www.ni.com/hu-hu.html>
- [9] Surman V.: *Minőségmenedzsment*. 19. Előadás – 04.16., Menedzsment és Vállalkozásgazdaságtan Tanszék, Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. (letöltve: 2021. január 20.) [www.uti.bme.hu](http://www.uti.bme.hu)
- [10] Plumbing Catalog 2014, „Genova Products”. (letöltve: 2021. január 20.). [www.genovaproducts.com](http://www.genovaproducts.com)

# Összehasonlító elemzés a natív iOS- és Cross-Platform iOS-alkalmazásfejlesztésről

## Comparative Analysis of Native and Cross-Platform iOS Application Development

Kovács Márk,<sup>1</sup> Johanyák Zsolt Csaba<sup>2</sup>

Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Informatika Tanszék, Kecskemét, Magyarország

<sup>1</sup> kovacs.mark@gamf.uni-neumann.hu

<sup>2</sup> johanyak.csaba@gamf.uni-neumann.hu

---

### Abstract

Nowadays, mobile applications are developed for more and more areas, providing great help for our everyday lives. When designing a mobile application, the first important decision to make is to choose the targeted platform. Is it only phone or tablet as well? Should the app run on Android or iOS, or should it be available on both mobile operating systems? In the latter case, besides the native development environments, it is worth considering a cross-platform development environment to write the software. This study investigates both the development and performance aspects of some possibilities for iOS application development, namely, native iOS development in Xcode, Xamarin.iOS, and Xamarin.Forms frameworks.

**Keywords:** *iOS, native, cross platform, Xamarin, Xamarin.iOS, Xamarin.Forms.*

### Összefoglalás

Manapság egyre több területen készül mobilalkalmazás, mely nagyban segítheti hétköznapjainkat is. Egy mobilalkalmazás tervezése során először is fontos meghatározni, hogy milyen platformra fejlesztjük azt. Csak telefonra vagy tabletre is? Android és/vagy iOS-operációs rendszerre? Ha mindkét rendszert megcélozzuk, akkor érdemes átgondolni, hogy melyik fejlesztőkörnyezetben írjuk meg a szoftvert. Abban az esetben, ha több platformra is fejlesztünk, akkor érdemes megvizsgálni a natív fejlesztői környezeteken kívül az úgynevezett Cross-platform-megoldásokat is. Ez a tanulmány az iOS-applikációfejlesztés néhány lehetőségét: a natív iOS-fejlesztést Xcode-ban, illetve a Xamarin.iOS- és Xamarin.Forms-keretrendszerek használatát elemzi, mind fejlesztési, mind teljesítményszempontok figyelembevételével.

**Kulcsszavak:** *iOS, natív, cross-platform, Xamarin, Xamarin.iOS, Xamarin.Form.*

---

## 1. Bevezetés

Egyre több és komplexebb alkalmazásra van igény a dinamikusan bővülő technológiai piacon. A fejlesztőknek számos kihívással kell szembenézniük, amelyeknek különböző megoldásokkal felelhetnek meg. Ha egy alkalmazásnak működni kell mindkét legnépszerűbb mobiloperációs rendszeren, Androidon és iOS-en is, akkor érdemes átgondolni a rendelkezésre álló lehetőségeket a fejlesztői keretrendszerek tekintetében.

Tisztában kell lenni milyen előnyökkel, esetleges hátrányokkal járhat a kiválasztott környezet.

Jelen tanulmány a natív és a keresztplatformos iOS-alkalmazásfejlesztés közötti különbséget vizsgálja az Xcode- és a Xamarin-fejlesztőrendszerek felhasználásával. A következőkben áttekintjük a felhasznált környezeteket és programozási nyelveket.

A Xamarin esetében két lehetőséget is vizsgáltunk. Az egyik a Xamarin.iOS, mellyel csak iOS-operációs rendszert futtató eszközre tudunk

fejleszteni. Felületi szerkesztője nagyban hasonlít az Xcode-ban használt Storyboard szerkesztő felületéhez. A másik lehetőség a Xamarin.Forms, mellyel Android operációs rendszerre is tudunk alkalmazást készíteni.

### 1.1. Fejlesztőkörnyezetek

Az okostelefonos alkalmazásokat három nagy kategóriába sorolhatjuk a fejlesztés során alkalmazott technológiák és környezetek alapján, ezek a natív alkalmazások, webalkalmazások és a hibrid vagy más néven cross-platform-alkalmazások. A natív alkalmazások esetében csak egy specifikus környezetben, egy bizonyos operációs rendszercsoportra tudunk fejleszteni. Androidra Android Studioval, míg iOS-re Xcode IDE segítségével készíthetünk alkalmazásokat. Ezzel szemben a cross-platform-alkalmazások esetében több operációs rendszerre is fejleszthetünk egyszerre. [1]

#### 1.1.1. Xcode

Az Xcode az Apple által fejlesztett IDE, melynek segítségével készíthetünk natív alkalmazásokat mindegyik rendszerére, iOS-re, iPadOS-re, watchOS-re, macOS-re vagy akár tvOS-re. A legtöbbször iOS-re vagy iPadOS-re szokás alkalmazásokat fejleszteni. Amikor Xcode-ban fejlesztünk, rendelkezésünkre áll egy Interface Builder a felület kialakításához, amiben egy Storyboard található. Ebben grafikusan tudjuk kialakítani a felületünket. Az Apple korábban az Objective C programozási nyelvet támogatta, azonban 2014-től saját programnyelvet fejlesztett ki Swift néven. [2]

#### 1.1.2. Visual Studio 2019, Xamarin

Manapság az egyik népszerűbb fejlesztőkörnyezet a Visual Studio, mellyel sokféle szoftvert készíthetünk több platformra is. Alapvető programozási nyelvei a C-típusú nyelvek, ezen belül is a C#, mely .NET-alapokra épül.

A mobilalkalmazások készítéséhez a Microsoft által favorizált keretrendszer a Xamarin, amely több platformon működő alkalmazások fejlesztésére is alkalmas. A Xamarin egy nyílt forrású eszköz, amelyet a Microsoft által 2016-ban felvásárolt Xamarin nevű cég fejleszt. Kétféle lehetőséget biztosít a cross-platform-alkalmazások készítésére. [3]

Az egyik a Xamarin Native, amellyel az Android és az iOS SDK-k felhasználásával C# nyelven tudunk alkalmazásokat készíteni. Az egyik tesztprogramunk egyik alrendszere a Xamarin.iOS segítségével készült. Itt az Xcode-ban használt Interface Builderhez sokban hasonló módon tudjuk

alakítani a felületet. Ez azok számára lehet egy kedvező, akik nem szeretnek valamilyen okból az Xcode-ban Swift nyelven fejleszteni. Emellett Mac-gépen fejlesztve az alkalmazást, a Visual Studio felajánlja a felület Xcode-ban történő elkészítésének lehetőségét is. [4, 5]

A másik lehetőség a Xamarin.Forms. Ez egy platformfüggetlen megoldást tesz lehetővé, amellyel lehetőségünk van általában kevesebb programozással mindkét platformra fejleszteni. Itt minden megcélzott platformhoz a fejlesztőrendszer generál egy külön projektet, és emellett külön készül egy projekt azon kódrészeknek, amelyek mindkét platform számára azonosak. Azokat a platformspecifikus részeket, amelyeket nem tudunk a közös kódba írni, a külön projektekben szerkeszthetjük. A felületet az Android Studiotól és az Xcode-tól eltérően nem tudjuk grafikusan kialakítani, hanem az XAML nyelv segítségével kell leírunk azt. [6, 7]

### 1.2. Programozási nyelvek

#### 1.2.1. Swift

Az Apple által fejlesztett és használt Swift programozási nyelv egyre népszerűbb az alkalmazásfejlesztők körében is. Nemcsak mobil alkalmazások fejlesztésére használható, hanem akár asztali vagy felhőalapú szolgáltatásokat is készíthetünk vele. A Swift egy erősen típusos nyelv, ebből az is következik, hogy biztonságos. Megtalálhatók benne a C-típusú nyelvek elemei is. A Swiftben megírt kód kimondottan könnyen átlátható és olvasható, a nyelv viszonylag hamar elsajátítható. [4, 8]

#### 1.2.2. C#

A Microsoft által a .NET-hez fejlesztett C# egy általános célú, magas szintű objektumorientált nyelv, ami számos rokon vonást mutat a C++-szal és a Javával. Használata kényelmes és gyors alkalmazásfejlesztést tesz lehetővé. A C# is erősen típusos. Bár jelenleg csak nyolcadik helyen áll az IEEE Spectrum mobilfejlesztésre használt nyelvek ranglistáján [9], de határozott előnye a listában előtte szereplő nyelvekkel szemben, hogy támogatja mind a négy nagy platformcsaládra (web, asztali, mobil és beágyazott) történő fejlesztést.

## 2. Összehasonlítások, tesztek

### 2.1. Tesztalkalmazás bemutatása

Vizsgálatunk során készítettünk egy viszonylag egyszerű alkalmazást mindhárom környezetben: Xcode-ban, Xamarin.iOS-ben, illetve Xamarin.

Forms-ban. A program egy listát tartalmaz, ami 20 db. előre definiált elemből áll, melyeket törölhetünk, illetve egy sor kiválasztása után megjeleníthetünk egy Alert ablakban. Új elem hozzáadása egy szövegbeviteli mező és egy nyomógomb segítségével lehetséges. Célunk a teljesítmény összehasonlítása három alkalmazás tekintetében.

A felületet meglehetősen gyorsan ki tudtuk alakítani, és mindhárom alkalmazás esetében hasonló végeredményt kaptunk, amit az **1. és a 2. ábra** mutat be. Az **1. ábra** jól szemlélteti az alkalmazás felületét és működését Xcode-ban. Példánkban a lista ételek neveit tárolja el.

A Xamarin.iOS és a natív iOS esetében könnyen ki lehetett alakítani egy szinte teljesen megegyező elrendezésű felületet, miközben a Xamarin.Forms esetében az XAML nyelv használta miatt kicsit eltérő felületet kapunk.

## 2.2. Teszteléshez használt szoftver és eszköz

A teszteléshez az Xcode tesztelő programját használtuk, az Instruments szoftvert. Ebben több lehetőség áll rendelkezésre a teszteléshez. Le tudjuk mérni az alkalmazás indítási idejét, illetve a használat során látható és rögzíthető a fejlesztett alkalmazás hardverigénye. Nyomon követhető a processzorigény, ami az alkalmazás gyorsaságát nagy mértékben befolyásolja.

A tesztelés során öt főbb funkció működését vizsgáltuk:

- indulás,
- görgetés,
- sor kiválasztása,
- sor törlése,
- új elem hozzáadása.

A tesztkészülék egy iPhone XS 64 GB-os, 2×2,5 GHz-es és 4×1,59 GHz-es hatmagos készülék volt. Az előbbi felsorolás szerinti sorrendben történt meg mindhárom applikáció tesztelése.

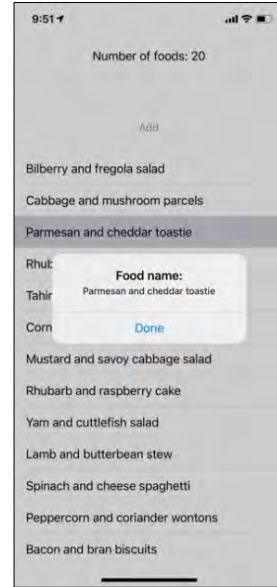
## 2.3. Tesztelések eredményei

A tesztelések eredményeit táblázatokkal szemléltettük. Az egyes műveletekhez szükséges minimális és maximális processzorigényeket, illetve a felhasznált magok számát jelöltük.

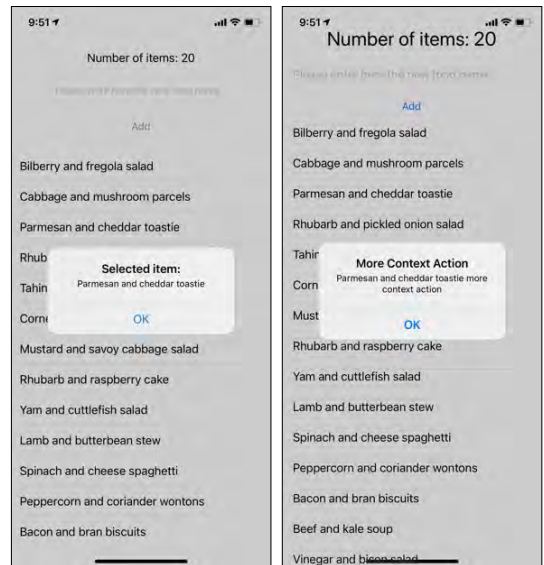
### 2.3.1. Xcode-ban fejlesztett alkalmazás

Az alkalmazás 384 ms alatt indult el, processzorigénye az **1. táblázat**ban látható.

Az alkalmazás futása során, ha előtérben volt, de nem használtuk egyetlen funkcióját sem, akkor nem használt fel mérhető processzor-erőforrást.



1. ábra. Xcode-ban készült alkalmazás



2. ábra. Xamarin.iOS-ben (bal oldal) és Xamarin.Forms-ban (jobb oldal) írt alkalmazás felülete

### 1. táblázat. Natív iOS alkalmazás processzorigénye

Funkció	Min %	Max %	CPU mag
elindulás	10	170	6
görgetés	10	120	5
kiválasztás	10	110	5
törlés	10	110	5
hozzáadás	10	120	6



**2. táblázat.** Xamarin.iOS-alkalmazás processzorigénye

Funkció	Min %	Max %	CPU mag
elindulás	10	120	6
görgetés	10	90	4
kiválasztás	10	110	5
törlés	10	110	4
hozzáadás	10	130	6

### 2.3.2. Xamarin.iOS-ben fejlesztett alkalmazás

Az alkalmazás processzorigénye a **2. táblázat**-ban látható. 2,4 másodperc alatt indult el, ami meglehetősen magasnak számít, ekkora alkalmazásnál. Hasonlóan a natív alkalmazáshoz, itt sem igényelt szinte semmilyen processzor-erőforrást nyugalmi állapotban.

### 2.3.3. Xamarin.Forms-ban fejlesztett alkalmazás

Az alkalmazás processzorigénye a **3. táblázat**-ban látható. 665 ms alatt indult el, ami a natív iOS-alkalmazáshoz viszonyítva jónak mondható. Nyugalmi állapotban is volt egy állandó 10%-os processzorigény.

## 3. Összefoglalás, következtetések

Összességében mindhárom alkalmazás jól teljesített, azonban néhány szempontból mégis eltérnek.

A fejlesztés szempontjából a natív és a Xamarin.iOS nagyon közel áll egymáshoz. Hasonlóan megvalósíthatók a funkciók mindkettőben. Xamarin.Forms esetében a felületet XAML-ben kell megírni, és a tesztelés során használt Visual Studio 16.9.1-ben csak utána láthatjuk, hogy miként jelennek meg az egyes vezérlők. Ez a vizuális tervezést kedvelőknek hátrány lehet.

Az indításakor a natív és a Xamarin.Forms-alkalmazások nyújtották a legjobb teljesítményt, míg a Xamarin.iOS sokkal gyengébben teljesített. A natív alkalmazás, habár a legtöbb erőforrás használatával, de a leggyorsabban indult el. Mindhárom alkalmazás esetében a legnagyobb erőforrásigényt az indítás jelentette. A memória tekintetében nem történt jelentős fogyasztás egyik esetében sem.

A Xamarin.Forms nyugalmi állapotban is egy minimális, állandó 10%-os processzorterhelést eredményezett. A tesztalkalmazás funkciói tekintetében mindegyik különböző értékekkel teljesített, azonban összességében hasonlóan teljesítettek.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00006 „A kutatási po-

**3. táblázat.** Xamarin.Forms-alkalmazás processzorigénye

Funkció	Min %	Max %	CPU mag
elindulás	50	130	6
görgetés	10	100	6
kiválasztás	10	130	6
törlés	10	110	4
hozzáadás	10	120	6

tenciál fejlesztése és bővítése a Pallasz Athéné Egyetemen” pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Molenda, D., Skubewska-Paszowska M.: *Analysis of the Possibility of Shortening the Time of Creating a Mobile Application for Android and iOS Systems Using Xamarin Technology*. Journal of Computer Sciences Institute, 12. (2019) 226–231. <https://doi.org/10.35784/jcsi.493>
- [2] Swift, About Swift. (letöltve: 2021. február 26.) <https://swift.org/about/>
- [3] Prajapati M., Phadake D., Poddar A.: *Study on Xamarin cross-platform framework*. International Journal of Technical Research and Applications, 4/4. (2016) 13–18.
- [4] Vishal K., Kushwaha A. S.: *Mobile Application Development Research Based on Xamarin Platform*. 4<sup>th</sup> International Conference on Computing Sciences (ICCS), Jalandhar, India, 2018, 115–118. <https://doi.org/10.1109/ICCS.2018.00027>
- [5] Ebone A., Tan Y., Jia X.: *A Performance Evaluation of Cross-Platform Mobile Application Development Approaches*. IEEE/ACM 5<sup>th</sup> International Conference on Mobile Software Engineering and Systems (MOBILESoft), Gothenburg, Sweden, 2018, 92–93.
- [6] Pawel G., Maria S.-P., Edyta L., Jakab S.: *Performance Analysis of Native and Cross-Platforms Mobile Applications*, IAPGOŠ 2/2017, (2017) 50–53. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0010.4838>
- [7] Altersoft, The Good and The Bad of Xamarin Mobile Development, 2020. (letöltve: 2021. 02. 28.) <https://www.altersoft.com/blog/mobile/pros-and-cons-of-xamarin-vs-native/>
- [8] Bilberg D.: *Comparing Performance between React Native and Natively Developed Smartphone Applications in Swift*, A Comparative Analysis and Evolution of the React Native Framework. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1215717/FULLTEXT01.pdf>
- [9] IEEE Spectrum Interactive: *The Top Programming Languages*. [Megtekintve: 2021.03.14.] <https://spectrum.ieee.org/static/interactive-the-top-programming-languages-2020>

## Aktív aerodinamikai rendszer fejlesztése verseny- motorkerékpárhoz

### Development of an Active Aerodynamic System for a Racing Motorcycle

Kun Krisztián,<sup>1</sup> Sárkány Tamás<sup>2</sup>

Neumann János Egyetem, GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Innovatív Járművek és Anyagok Tanszék,  
Kecskemét, Magyarország

<sup>1</sup> [kun.krisztian@gamf.uni-neumann.hu](mailto:kun.krisztian@gamf.uni-neumann.hu)

<sup>2</sup> [sarkany.tamas@gamf.uni-neumann.hu](mailto:sarkany.tamas@gamf.uni-neumann.hu)

---

#### Abstract

MotoStudent is an engineering and economic competition for students to build a motorcycle that will take part in a real race on the Motorland Aragon track in Spain. The Kenji Racing Team, a student team from John von Neumann University, has been participating in this competition since 2016. The design of the motorcycle must be accurately documented towards to the competition organization, and economic and engineering tasks must be solved for the teams. In terms of engineering work, the development of innovation applied on the electric motorcycle is of paramount importance. Nowadays, one of the most popular development areas in motorsport is aerodynamics. Nevertheless, there are few studies about active aerodynamic systems. In our research we present the aerodynamics of motorcycles and the effect of passive and active wing systems on driving dynamics. With this knowledge, we detail the design steps of an active wing system.

**Keywords:** *active aerodynamic system, electric motorcycle, driving dynamics.*

#### Összefoglalás

A MotoStudent egy hallgatók számára indított mérnöki és gazdasági verseny, melynek keretein belül egy olyan motorkerékpárt megépíteni, amely a spanyolországi Motorland Aragon pályán, valós futamon vesz részt. Ezen a versenyen a Neumann János Egyetem hallgatói csapata, a Kenji Racing Team 2016 óta szerepel. A motorkerékpár tervezését a versenyszervezőség felé pontosan dokumentálni kell, emelet gazdasági és mérnöki feladatokat kell megoldani a csapatoknak. A mérnöki munkát tekintve kiemelt jelentőséggel bír az elektromos versenymotoron alkalmazott innovációs fejlesztés. Napjainkban, a motorsport egyik legnépszerűbb fejlesztési területe az aerodinamika. Mindazonáltal kevesen kísérleteznek aktív aerodinamikai szárnyrendszer alkalmazásával. Kutatásunkban bemutatjuk a motorkerékpárok aerodinamikáját a passzív, illetve aktív szárnyrendszerek hatását a menetdinamikára. Az ismeretek birtokában egy aktív szárnyrendszer tervezési lépéseit részletezzük.

**Kulcsszavak:** *aktív aerodinamikai rendszer, elektromos motorkerékpár, menetdinamika.*

---

#### 1. Bevezetés

A MotoStudent egy hallgatók számára indított mérnöki és gazdasági verseny, melynek keretein belül megadott alkatrészek és az előteremtett erőforrások felhasználásával kell egy olyan motorkerékpárt megépíteni, amely a spanyolországi

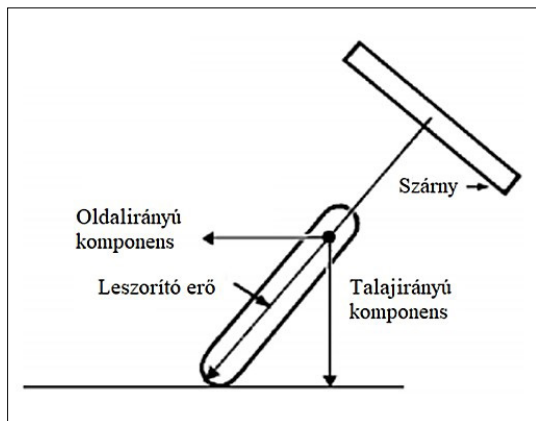
Motorland Aragon pályán méri össze erejét az indulókkal. A Neumann János Egyetem hallgatói csapata, a Kenji Racing Team 2016 óta vesz részt az eseményen. A 2021-es évben elektromos kategóriában méretteti meg magát a csapat. A motorkerékpár tervezését a versenyszervezőség felé

pontosan dokumentálni kell, amely dokumentációban kiemelt figyelmet és külön értékelést kap a motoron alkalmazott innovációs fejlesztés. Cél az innováció felhasználhatóságára irányuló motiváció növelése (formal aspect). A prototípus természetesen műszakilag is megvalósítható kell, hogy legyen. A Kenji Racing Team innovációs ötlete, a motorkerékpár orr-idomra egy aktív aerodinamikai csomag fejlesztése. A technika képes a versenypálya kanyarjainak megfelelően ideális leszorítóerőt képezni aktív mivoltának köszönhetően, ezzel pozitív hatást elérve a motorkerékpár menetdinamikájára.

## 2. A passzív szárnyrendszerek hatása a motorkerékpár menetdinamikájára

A motorkerékpár fejlesztések döntő többsége a MotoGP-ből indul. A Suzuki csapata volt az első, akik ún. szárnyakat motorkerékpáron. Az elgondolás az autósportból eredt, ahol a járműre szerelt aerodinamikai elemek segítségével leszorítóerőt generálnak, jelentősen növelve a tapadását. Segítségével a kanyarsebesség növelhető.

A motorkerékpároknál a leszorítóerő kérdése összetettebb, mint a versenyautóknál. Az utóbbinál alkalmazott aerodinamikai elemek a kanyarodás közben gyakorlatilag (ha a futómű összenyomódásából eredő enyhe megdőléstől eltekintünk) vízszintesen állnak, így a leszorítóerő-vektor végig a föld felé mutat. A motorkerékpárok kanyarodásánál jelentős mértékben kell számolnunk a jármű megdőlésével, amely elérheti a pálya normalisához képest mért  $60^\circ$ -ot. Passzív rendszerek esetén a szárnyak együtt dőlnek a motorral, ami egyidejűleg a leszorítóerő-vektor irányának változását okozza (1. ábra).



1. ábra. Az erőviszonyok alakulása passzív szárnynyal kanyarodva [1]

## 3. A koncepcióterv a versenymotoron alkalmazható aktív szárnyak kialakításáról

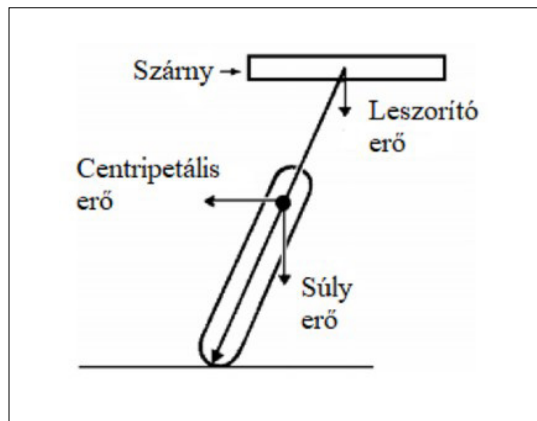
Az OptimumLap szoftver segítségével szimulációt készítettünk a motor viselkedéséről. A programba lehetőség nyílik az útvonal tervezésére, így az aragoni GP pálya bemodellezésével a versenyen lévő körülmények vizsgálatára nyílik lehetőség. A programnak meg kell adni a motorkerékpár paramétereit, többek között a motor tömegét, aerodinamikai tulajdonságait, akkumulátor típusát, motorteljesítményt, gumibroncs adatait és a sebességváltó áttételeit.

A nagyobb ívű kanyarokban a versenymotor akár  $175\text{km/h}$ -ás sebességet elér. A szárnyak ettől a sebességtől kezdve tudnak hatékonyan leszorítóerőt képezni. A kanyarban a járműtest döntését követően viszont a szárnyak nem állnak vízszintesen a talajhoz képest, kedvezőtlen feltételeket teremtve. Így a szárnyak olyan káros hatásokat generálhatnak, amelyek megnehezítik a nagy sebességnél történő kanyarodást [2].

A folyamat megakadályozható, ha a szárnyak a motor dőlését kompenzálják és mindig vízszintesen állnak a talajhoz képest. Így a szárny által kifejtett leszorítóerő továbbra is a súlyerővel azonos irányba mutat (2. ábra).

### 3.1. Az elhelyezés kérdése

A rendszer elhelyezése a motoron hangsúlyos kérdés, mivel szárnyaknak a motor viselkedésére gyakorolt hatása nem csak magától a szárnyprofittól függ, hanem az őt körülvevő idomtól és a kerék talpponttól mért távolságtól egyaránt. Az idomnak az áramló levegőt minél jobban a szárnyakra kell terelnie, így generálva nagyobb leszorítóerőt.



2. ábra. Az erőviszonyok alakulása aktív szárnynyal kanyarodva [1]

A rendszer minél előbbre helyezése előnyösebb, hiszen a kerékalpponttól mért távolság növelésével az erőkar is növekszik (3. ábra). Fontos szempont az elhelyezésnél, hogy a szabályzatban előírt 600 mm-es maximális idomszélesség teljesüljön.

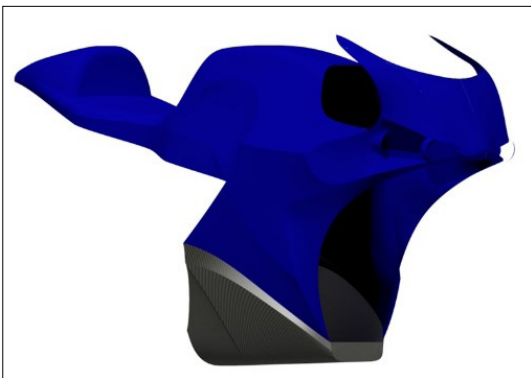
Az idom oldalát bemélyítve értük el a kívánt feszítávolságot. Az idom elejét ún. nyilazottra terveztük, a megfelelő légáramlás elérése érdekében.

### 3.2. A szárnyak mozgatása

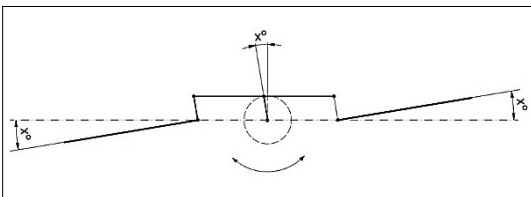
A motorkerékpár konstrukciós terve szerint mindkét irányba 50-50°-ot képes megdőlni, így a szárnyak szükséges dőlésszöge is ezen értékek szerint került meghatározásra.

A szárnyakat mozgató rudakat egy villanymotor hajtja meg egy csigahajtáson keresztül (4. ábra). A csigahajtás több okból szükséges. Az egyik ok a motor fordulatszámának csökkentése és a nyomaték fokozása, továbbá a csigahajtás alkalmazásának előnye az önzáró tulajdonsága. Hatására nem tudja a leszorítóerő által létrehozott nyomaték „visszatekerni” a motort, így a szárny mindig a kívánt pozícióban marad.

A szárnyak mozgására kis fordulatszám is elegendő. Méréseink szerint egy pilóta 40°-os döntést körülbelül 0,5 másodperc alatt képes dönteni. Ez azt jelenti, hogy a csigahajtóműnek 0,5 másodperc alatt 40°-ot kell elfordulnia. Így azt kapjuk,



3. ábra. A szárnyrendszerhez tervezett idom 3D modellje



4. ábra. A mozgató szerkezet sematikus ábrája

hogy 14 1/perc fordulat szükséges a mozgás lekövetésére. Mivel a hajtóművet katalógus alapján választottuk, a számolt értékhez legközelebbi, nagyobb értékűt alkalmaztuk. Így a 30 1/perc maximális fordulatszámú motort választottuk a mechanika működtetéséhez. [1, 3]

## 4. A szárnyrendszer konstrukciós terve és a rendszer hatásának vizsgálata a motorkerékpárra

Az előzetes számítások alapján a motorkerékpár 210 km/óra végsebességet ér el. Ezért a profilok kiválasztásánál ezzel az értékkel számoltunk.

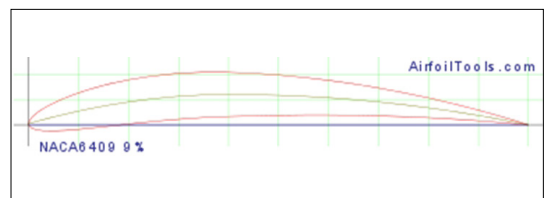
### 4.1. A szárnyprofil kiválasztása

Mivel a szárnyprofilok repülőgépekhez vannak tervezve, ezért a számításokat egy levegőben haladó repülőgépszárnyként végeztük, ami a dinamikus felhajtó erő miatt maradhat a levegőben. Egy motor esetében a gondolatmenet annyival változik, hogy leszorítóerőt akarunk generálni, amit úgy kaphatunk meg, hogy a szárnyprofil minden koordinátáját tükrözzük és billentjük meg az ideális  $\alpha'$  szögbe. Az így kapott szárnyszelvényből kihúzott szárny által generált leszorítóerő, ellentétes irányú és azonos nagyságú felhajtóerővel.

Az (aero) dinamikus felhajtóerő ( $F_y$ ), az áramló közegbe helyezett testre ható erőnek az a komponense, amely merőleges az áramlás irányára. Az áramlás irányával párhuzamos erőkomponenst közeg-ellenállásnak ( $F_x$ ) nevezzük (5. ábra). A szárnyprofil a szárnyszelvény alakja. Szárnyszelvényt (sárgával jelölve) akkor kapunk, ha a szárnyat elmetsszük egy, a jármű és a levegő egymáshoz viszonyított sebességének síkjával (ideális esetben ezek egy síkban vannak), a szárnyat metsző párhuzamos síkkal. A szárnyprofiltól függ a felhajtó erő és az közegellenállás, az (1) és a (2) egyenletekben leírt módon. [3, 4, 5]

$$F_y = \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{C_y}{2} \quad (1)$$

$$F_x = \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot \frac{C_x}{2} \quad (2)$$



5. ábra. A kiválasztott profil szelvénye

ahol:

- $v$  a közeg és a gép egymáshoz viszonyított sebessége
- $A$  a szárny felülete
- $\rho$  a levegő sűrűsége (természeti állandó)
- $C_y$  felhajtóerő tényező
- $C_x$  közegellenállási tényező

A megvizsgált szárnyprofilok közül az **5. ábrán** látható „NACA6409 9%” a legmegfelelőbb az előzetes kritériumok alapján.

A vizsgált erők nagyságát, úgy tudjuk a közeg és a gép egymáshoz viszonyított sebességének függvényében legegyszerűbben meghatározni, hogy azt bizonyos  $Re^{(2)}$  esetekben vizsgáljuk. A többi értéket, e pontok alapján közelítjük (**1. táblázat**, **6. ábra**).

#### 4.2. CFD szimulációk a szárnyprofilon

Az NACA profil letöltött körvonalainak felhasználásával 2D szimulációs vizsgálatot végeztünk, amelyek eredményét a **7. és 8. ábra** szemlélteti. A vizsgálathoz az Ansys 17® szoftvert használtuk [**6, 7, 8**]

#### 4.3. A szárny kialakítása

A szárny kialakítása enyhén előre nyilazott, a váz közelében (szárny egyharmada) egy terelőlappal, a szélén 30 fokban lehajló szárnyvégekkel.

Esetünkben a szárnyak előre nyilazottsága minimális, ezért szinte egyenes szárnyakról beszélhetünk (az enyhe erőre nyilazottság csak a felület növelése szempontjából előnyös). Az egyenes szárnyak a legelőnyösebbek kis repülési sebesség esetén.

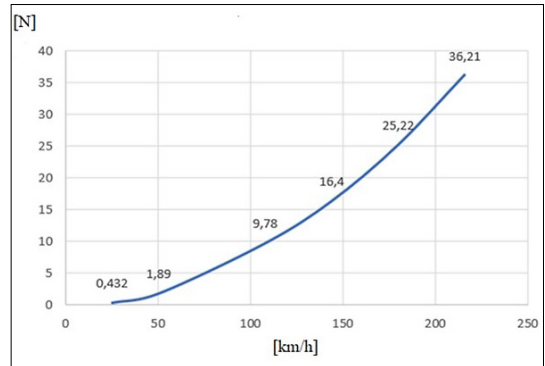
Továbbá légáramlatok nem sodródnak (csökkentve a felhajtóerőt) szárnyvégek felé, így nem alakul ki örvénylő áramlás. [**9**]

A fent említett gondolatment ellenére a szárny egyharmadához mégis kerül egy terelőlap, mivel, estünkben a szárny dőlésszöge változtatható a sebességgel merőlegesen. A dőlésszög változása miatt az egyenes szárnyprofil ellenére, a nagyobb dőlésszögek esetén elkerülhetetlen a légáramlatok kisodródása, így a motor vázához közeli, lehető legnagyobb felület, a kanyarodás közben is képes lesz effektív leszorítóerőt teremteni.

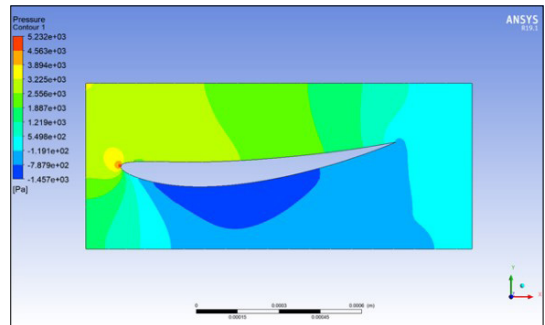
A 30 fokban lehajló szárnyvégeknek (**9. ábra**) köszönhetően tudjuk kihasználni, az ún. örvényemelés jelenségét. Ez azt jelenti, hogy a 30 fokban lehajló szárnyvégek egy valós örvényt (a gyorsan forgó levegő valódi tömege jelen van az örvényben) hoznak létre a szárny alatt, amely hatására a levegő sebessége megnő, így a nyomá-

**1. táblázat.** A számolt sebességértékekhez számolt leszorítóerő és légellenállás

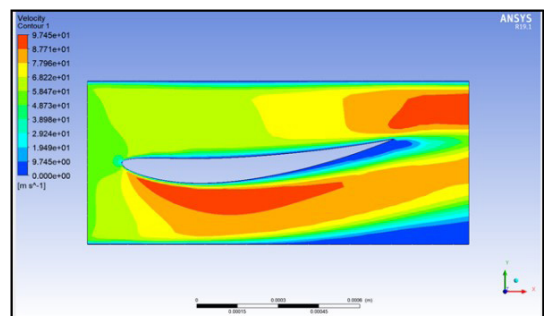
$Re$ ( )	$v$ (m/s)	$C_x$ és $C_x$	$F_y$ (N)	$F_x$ (N)
50.000	7	1,05 és 0,03	0,432	$1,24 \cdot 10^{-2}$
100.000	14	1,15 és 0,02	1,89	$3,29 \cdot 10^{-2}$
200.000	30	1,2 és 0,015	9,78	0,113
500.000	60	1,2 és 0,01	36,31	0,303



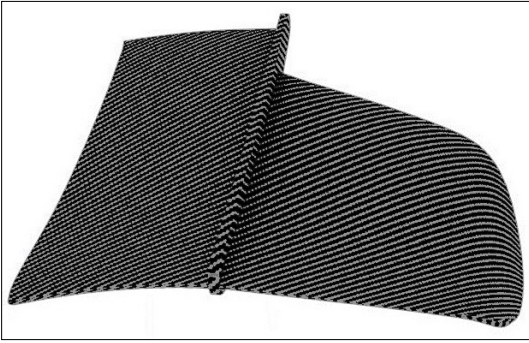
**6. ábra.** Szárnyanként fellépő leszorítóerő nagysága (N) a sebesség (km/h) függvényében



**7. ábra.** A profil körüli nyomás a motor által elérhető maximális sebességnél



**8. ábra.** A profil körüli áramlási sebesség a motor által elérhető maximális sebességnél



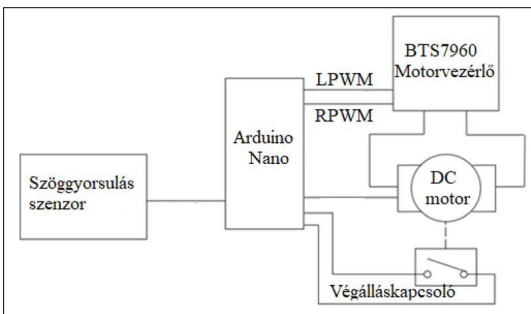
9. ábra. A szárny 3D modellje



10. ábra. A megtervezett szárnyrendszer 3D modellje



11. ábra. A komplett versenymotor CAD összeállítása, elején az aktív aerodinamikai csomaggal



12. ábra. A rendszerterv sematikus ábrázolása

sa lecsökken. A szárny alatti alacsony nyomás a leszorítóerő növekedését eredményezi.

A 10. ábra a megtervezett szárnyrendszer 3D modelljét szemlélteti. Továbbá a 11. ábrán látszik, hogy a tervezett aktív aerodinamikai csomag hogyan illeszkedik az idomhoz.

## 5. Az aktív szárnyrendszer szárnyak vezérlése

A szárnyak mozgatásához egy programozható vezérlő elektronikát terveztünk. Diszkrét alkatrészek helyett egyben megvásárolható paneleket használtunk. Az 12. ábrán a rendszer sematikus ábrája látható.

A rendszer alapja egy Arduino Nano programozható mikrovezérlő. Segítségével a szárnyak a motorkerékpár dőlésétől függően vezérelhetők. A motorkerékpár dőlését egy MPU6050-M gyorsulás és szögsebesség szenzor méri. A szárnyak mozgatását egy csigahajtóműves DC motor végzi, amely meghajtását BTS7960 típusú H-hidas motorvezérlővel valósítottuk meg. A szárnyak pozíciója a DC motor tengelyén található pozíció szenzor és a szárnymozgató mechanizmusra szerelt végállás kapcsolók segítségével mérhető. Az eszköz bekapcsolását követően referencia felvétellel kezd a rendszer annak érdekében, hogy a szárny megtalálja a tényleges szögállását. Továbbá a szerkezet károsodásának elkerülése érdekében (melyet a szárny túlzott megdőléséből adandóan, szenvedhet) végálláskapcsolókat szereltünk a két végpozícióba. [10, 11]

## 6. Összegzés

Nagy sebességnél a motorkerékpárra ható aerodinamikai felhajtóerő hatására az első keréken lévő súlyerő jelentősen csökkenhet, ami a kerék elemelkedését eredményezi a talajtól. Ez a hatás jelentősen rontja a kezelhetőséget. [12] A megtervezett rendszer a motor stabilitását szolgálja. A szárnyakkal létrehozott leszorítóerővel a stabilitás növelhető a gyors pályaszakaszokon. Az általunk fejlesztett aktív aerodinamikai rendszer a passzív szárnyak hátrányos hatását is kiküszöböli, ami a kanyarodást nehezíti meg. Az aktív rendszer a motor dőlését kompenzálva vízszintesen tartja a szárnyakat a talajhoz képest, így leszorítóerő továbbra is a súlyerővel azonos irányba mutat. A kutatásban a szimulációs eredmények birtokában létrejött egy ideális design, valamint a kompenzáló vezérlő rendszer.

### Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk a kutatás támogatásáért, amely az EFOP-3.6.1-16-2016-00006 „A kutatási potenciál fejlesztése és bővítése a Neumann János Egyetemen” pályázat keretében valósult meg. A projekt a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával, a Széchenyi 2020 program keretében valósul meg.

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Foale T.: *Motorcycle handling and chassis design. Art and design.* 2006. 4–6.
- [2] Veneri M., Massaro M.: *A free-trajectory quasi-steady-state optimal-control method for minimum lap-time of race vehicles.* *Vehicle System Dynamics*, 58/6. (2020) 933–954.  
<https://doi.org/10.1080/00423114.2019.1608364>
- [3] Portaluri G., Tamburello M., Giordano S.: *A novel IoT-based architecture for self-adaptive aerodynamic flow control system for motorcycle.* In 2018 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM) 1–6.  
<https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2018.8648012>
- [4] Van Dijck T.: (2015). *Computational evaluation of aerodynamic forces on a racing motorcycle during high speed cornering.* SAE International Technical Paper, No. 2015-01-0097.  
<https://doi.org/10.4271/2015-01-0097>
- [5] Sharp R. S., Evangelou S., Limebeer D. J. N.: *Advances in the Modelling of Motorcycle Dynamics.* *Multibody System Dynamics*, 12/3. (2004) 251–283.  
<https://doi.org/10.1023/B:MUBO.0000049195.60868.a2>
- [6] Sharp R. S.: *The lateral dynamics of motorcycles and bicycles.* *Vehicle System Dynamics*, 14/4–6. (1985) 265–283.  
<https://doi.org/10.1080/00423118508968834>
- [7] Sharp R. S., Limebeer D. J. N.: *A motorcycle model for stability and control analysis.* *Multibody system dynamics*, 6/2. (2001) 123–142.  
<https://doi.org/10.1023/A:1017508214101>
- [8] Desai S., Lylek E., Lo C. M. B., Doddegowda P., Bychkovsky A., George A. R.: *Experimental and CFD comparative case studies of aerodynamics of race car wings, underbodies with wheels, and motorcycle flows.* SAE Technical Paper, No. 2008-01-2997.  
<https://doi.org/10.4271/2008-01-2997>
- [9] Cocco G.: *Motorcycle design and technology: how and why.* Giorgio Nada Editore, 1999.
- [10] Badamasi Y. A.: *The working principle of an Arduino.* In: 2014 11<sup>th</sup> International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO), IEEE, 1–4.  
<https://doi.org/10.1109/ICECCO.2014.6997578>
- [11] Raymer D.: *Aircraft design: a conceptual approach.* American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 2012.  
<https://doi.org/10.2514/4.869112>
- [12] Sharp, R. S.: *The stability and control of motorcycles.* *Journal of mechanical engineering science*, 13/5. (1971) 316–329.

## Vékony lemez görbületének mérése digitális képfeldolgozás segítségével

### Curvature Measurement of Thin Plates with the Help of Digital Image Processing

Máté Péter,<sup>1</sup> Szekrényes András<sup>2</sup>

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Műszaki Mechanikai Tanszék, Budapest, Magyarország*

<sup>1</sup> [peter.mate@mm.bme.hu](mailto:peter.mate@mm.bme.hu)

<sup>2</sup> [szeki@mm.bme.hu](mailto:szeki@mm.bme.hu)

---

#### Abstract

The verification of different plate bending problems require a punctual measurement method of the bent shape. However, with a proper curvature measurement procedure the calculations can be made more accurate. This is due to the workaround this method provides by neglecting the inaccuracies of the beam theory and the tensile tests, measuring directly the function between the curvature and bending moment for a given sheet metal. The measurements in this paper are made with the help of a digital camera and telephotographic lens. The evaluations of these images are compared to the results obtained from the Euler-Bernoulli beam theory. While the results regarding the curvature measurements have a significant deviation, the shape of the plate is in good agreement with the numerical calculations.

**Keywords:** *curvature, thin plate, bending, image processing.*

#### Összefoglalás

A különböző lemezahajlítási feladatok megoldásának ellenőrzéséhez elengedhetetlen a görbült alak pontos mérése. Ugyanakkor egy, a görbület mérésére alkalmas módszerrel a számítások pontosabbá tehetőek, hiszen a húzóvizsgálat és a rúdelmélet pontatlanságait megkerülve, közvetlenül mérhetővé válik a görbület-nyomaték összefüggés az adott lemez esetén. A dolgozatban szereplő mérések digitális kamera és teleobjektív segítségével készültek el. A mérések eredményei végül összehasonlításra kerülnek az Euler-Bernoulli-rúdelméletből kapható eredményekkel. Bár az eredmények a görbület szempontjából jelentős szórással terheltek, a görbült alak jó egyezést mutat az elméleti numerikus számításokkal.

**Kulcsszavak:** *görbület, vékony lemez, hajlítás, képfeldolgozás.*

---

#### 1. Bevezetés

A hajlított rudak, lemezek alakjának számítása elsősorban az adott hajlítónyomaték hatására kialakuló görbület alapján történik. A görbület és nyomaték közötti összefüggés leírására a szakirodalom több elméletet is kínál, ám ezek mind bizonyos megfontolások, közelítések mellett érvényesek, illetve nagyon erősen támaszkodnak az anyagi viselkedést leíró egytengelyű húzóvizsgálatra. A céloom ebben a dolgozatban kettős: elsősorban

egy olyan eljárás kifejlesztése, amely lehetőséget kínál egy hajlított lemez vagy rúd görbületi eloszlásának mérésére, ezáltal ellenőrizhetővé téve a számításokat. Másodsorban ugyanezen módszer segítségével közvetlen módon mérhetővé válik a görbület és a hajlítónyomaték közti összefüggés, amellyel megkerülhetővé válik a rúdmodell alkalmazása, kiküszöbölve az ezzel hozott elhanyagolások és feltételezések hatását.

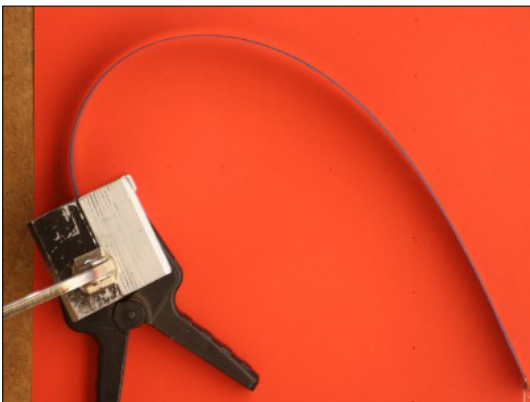


## 2. Képpalkotás

Az elsődleges cél a képpalkotással az, hogy a lemez középsíkjának a vetületi görbáját (a továbbiakban középvonal) minél pontosabban leképezem egy kétdimenziós raszterre. Ebből a szempontból kiemelkedően jó a vékony lemez, hiszen minél vékonyabb, a középvonal pontjai annál nagyobb pontossággal határozhatóak meg.

A képpalkotás során ideálisan párhuzamos vetítést kellene alkalmazni, amihez a szkennelés áll a legközelebb, ahogy Kovalevsky (2001) is azt használta tárgyak kontúrjának görbületi elemzéséhez [1]. A mérések elvégzésekor nem állt rendelkezésemre megfelelő képpalkotó eszköz, így a lemezek leképezése digitális kamera segítségével történt. Ez a lencserendszer természetéből fakadóan nem ideális megoldás, hiszen a lencsék torzítják a képet, ahogy távolodunk a lencserendszer optikai tengelyétől. A kép pontosságát további tényezők is rontják: ilyen pl., hogy a lemeznek van kiterjedése az optikai tengely mentén, így a centrális vetítés miatt a lemez vastagabbnak látszik a képen. További probléma az, hogy árnyékot vet a papírra, illetve tükröződik a papíron, amelyek miatt a határ elmosódnak.

Azért, hogy ezeket minél jobban kiküszöböljem, és a lemez mégis minél több helyet foglaljon el a képen, teleobjektívvel ellátott fényképezőgép került alkalmazásra, a lehető legszűkebb blendével, és a legnagyobb elérhető nagyításban, úgy, hogy a lemez kitöltse közel a teljes képet. A cél az volt, hogy jól elkülöníthető legyen a lemez a háttértől, ehhez a lemezt kékre festettem, háttérnek pedig egy piros lapot (1. ábra) választottam. A képek egy CANON EOS 1000D-típusú fényképezőgéppel és egy 350 mm-es Sigma objektívvel készültek.



1. ábra. A számításokhoz használt fotó (3888x2592 px)

## 3. Képfeldolgozás

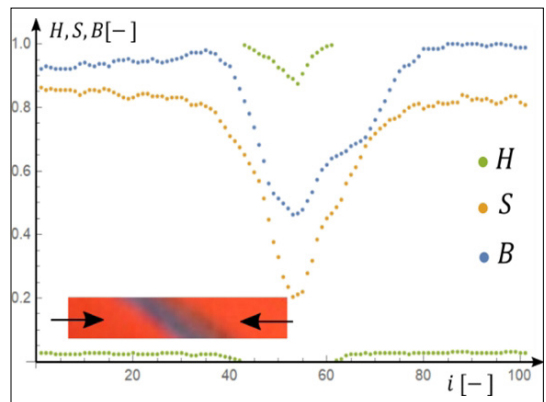
A kép feldolgozásához a HSB-színkoordináta-rendszert használtam, ez határozta meg a színválasztását a lemeznek és a háttérnek, hiszen a kék és piros színek ezen a skálán megfelelően elkülöníthetőek egymástól.

A cél a képfeldolgozás során elsősorban a lemez és a háttér elkülönítése. Arra való tekintettel, hogy nem megfelelően kontrollált a képkészítés, először manuálisan, egyedileg kellett a képről eltüntetni mindent, ami nem a lemez és annak szűk környezete. Ezután ugyanezen okból kifolyólag minden képnél egyedi vizsgálatra van szükség, amely után egyedileg meghatározhatóak azok a pixelekre vonatkozó  $H$  (árnyalat),  $S$  (szaturáció),  $B$  (fényesség) határértékek, amelyek alapján már algoritmikusan szűrhetőek a lemezt tartalmazó pixelek. Egy ilyen  $H$ - $S$ - $B$  eloszlás látható a 2. ábrán.

### 3.1. A kép kiértékelése

A lemez-háttérhatár elmosódása miatt, ahogy a 2. ábrán is látható, nem egyértelmű a lemez peremének a pozíciója. Ennek a megoldásához a kép színadataiból elsősorban egy súlytérképet kell készíteni, ahogy Kovalevsky [1] és Coeurjolly et al. [2] is tette szürke árnyalatos képekkel. Itt a színes kép miatt a 2. ábrát figyelembe véve kell kialakítani a súlyozás módját. Így mindegyik képponthez egy súlyt rendelünk, amelyet mátrixba rendezünk ( $w$ ). A mátrix számítási módját az (1)-es képlet fogalmazza meg, amennyiben a  $H$ ,  $S$ ,  $B$  értékek a megállapított határértékeken belül találhatóak. Minden más esetben a súlyértékzérus.

$$w_{ij} = \frac{H_{ij}}{S_{ij} \cdot B_{ij}} \quad (1)$$



2. ábra. A kép egy pixelsorának  $H$ ,  $S$  és  $B$  eloszlása a vízszintes pixelkoordináta szerint

### 3.2. Középvonal keresése

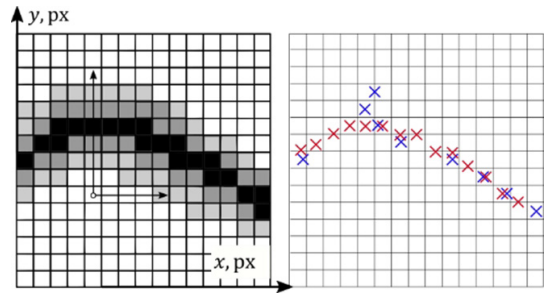
A középvonal koordinátáinak a keresések elsősorban a lemezt tartalmazó pixelek koordinátáit átlagoltam, a színadatok alapján számított súlyok segítségével. Ez kétféle algoritmus szerint történhet: a koordinátatengelyek mentén történő átlagolással vagy polárkoordináták segítségével, a sugárirány mentén. A kiértékelés során mindig poláris rendszerben kerestem a súlypontvonalat, mert ez lényegesen simább ponthalmazt adott, mint a Descartes-féle koordinátatengelyek mentén való számítás. A jelenség okának szemléltetése jelleghelyesen a 3. és 4. ábrán látható. A felhasznált, súlypontvonal koordinátáinak poláris rendszerben való számításához használt képletet a (2) egyenlet tartalmazza. A súlymátrix indexei a kép  $\{x_p; y_p\}$  koordinátáit reprezentálják, viszont ezeknek természetesen az egész részét kell figyelembe vennie az algoritmusnak. A számítással így egy  $\{\varphi_p; r_p\}$  koordinátapárt nyerünk, amelyet vissza kell transzformálni a derékszögű rendszerbe, ezeket a továbbiakban  $\{x_p; y_p\}$ -vel fogom jelölni.

$$r_i = \frac{\sum_j r_j \cdot w_{r_j \cdot \cos(\varphi_i), r_j \cdot \sin(\varphi_i)}}{\sum_j w_{r_j \cdot \cos(\varphi_i), r_j \cdot \sin(\varphi_i)}} \quad (2)$$

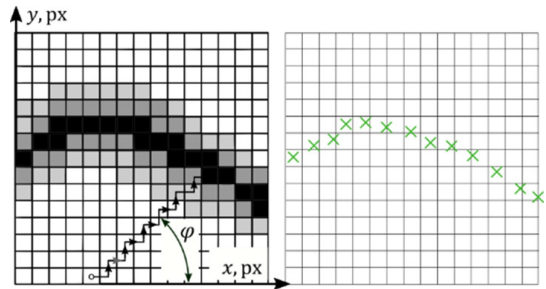
A px mértékegységből mm-be való átváltás a hátteret jelentő papírlapon előre felvett kontrollméretek segítségével történik. Az átváltott, mm mértékegységű koordinátákat  $\{X_p; Y_p\}$  jelöli. A nyers pontfelhő az X-Y koordináta-rendszerben az 5. ábrán látható. Ez 5017 db pontból áll.

### 4. Görbületszámítás

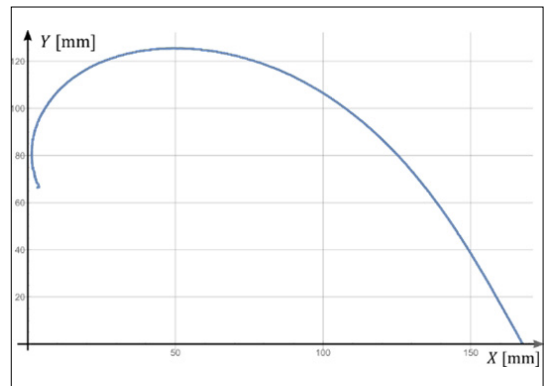
A görbület számításához numerikus módszer alkalmazása szükséges, hiszen csak diszkrét pontokban adott a lehajlott lemez alakja. Egy analitikusan adott  $f: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, f(x)$  függvény esetén a simuló kör görbületének ( $\kappa$ ) számítása a (3) egyenlet szerint történik. Diszkrét pontokkal adott függvény esetén ez a képlet használható, különböző numerikus deriválási sémák alkalmazásával, viszont ezek a sémák érzékenyek arra, hogy a pontfelhő osztása ekvidisztáns legyen [3], ami itt nem valósult meg, így végül a Dalle [3], illetve Belyaev [4] által bemutatott, invariáns diszkrét görbületszámítási módszereket alkalmaztam. Elviekben az invariáns módszerek elsőrendű konvergenciát mutatnak, bár ennek feltétele, hogy a pontok maguk ne rendelkezzenek hibával, ami egy ilyen mérés esetén nem lehetséges. Az adatok hibájának kiküszöbölésére elsősorban egy mozgóablakos simítást alkalmaztam, majd a görbület számításá-



3. ábra. A lemez pontjainak az  $x$  és  $y$  koordináták mentén való átlagolása



4. ábra. A lemez pontjainak egy kvázi poláris rendszerben való átlagolása



5. ábra. A lemez középvonalát jellemző nyers pontfelhő

hoz használt adatok távolságát növelnem kellett, hogy a nyers adathalmaz zaját csökkentsem és az alakot minél jobban reprezentáló ponthármasokat válasszak.

$$\kappa = \frac{f''(x)}{(1 + f'(x)^2)^{3/2}} \quad (3)$$

#### 4.1. Görbület becslése három pontból

Az egyik legegyszerűbb, invariáns numerikus eljárás az, hogy a görbületet a három egymást követő pont által kifeszített háromszög köré írt kör görbületével közelítjük. Az eljárás illusztrációja a

6. ábrán látható. A körív görbülete ekkor a (4)-es egyenlet szerint adódik, ahol  $T_\Delta$  a háromszög területe, és Héron képletével számítható.

$$\kappa \approx \frac{4 \cdot T_\Delta}{h_1 \cdot h_2 \cdot h_3} \tag{4}$$

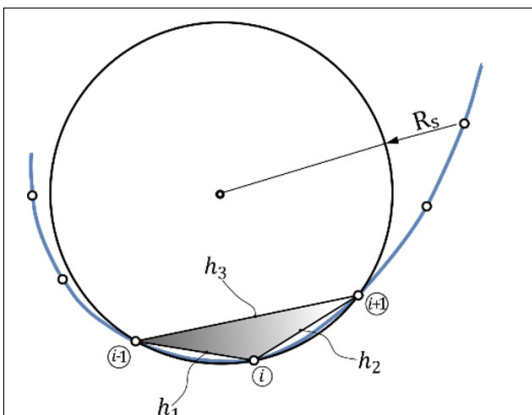
4.2. Görbület becslése függvényillesztésből

A pontfelhő zajossága miatt egy másik figyelemre méltó módszer a lokális polinomillesztés a legkisebb négyzetek módszere szerint, és a függvény görbületeének meghatározása a kiválasztott adathalmaz közepén. Azért, hogy az illesztés a lehető legjobb legyen, a pontfelhőt úgy kell forgatni, hogy a közepén az érintő egyenes vízszintes legyen. A fokszám növelésével csak romlik a görbületfüggvény simasága, így a másodfokú polinom használata a legjobb a feladatra. Ugyanolyan mintavételi sugár esetén a háromszögből és függvényillesztéssel becsült görbületeloszlás nem tér el egymástól a tapasztalat szerint.

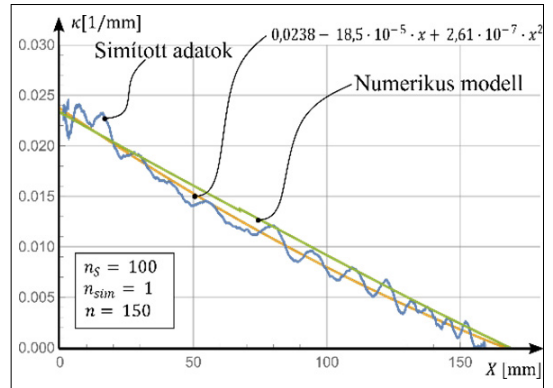
5. Eredmények tárgyalása

A kiértékelés során több simítást és görbületszámítást is végeztem, az ideális kombináció eredménye a 7. ábrán látható. Az ábrán fel vannak tüntetve a simítási és görbületszámítási adatok, ezek a mozgó ablak szélessége ( $n_s$ ), a simítási művelet elvégzésének száma ( $n_{sim}$ ), illetve a görbületszámításhoz felhasznált mintavételi sugár ( $n$ ). Az ábrán látható a legkisebb négyzetek módszerével illesztett görbületfüggvény is.

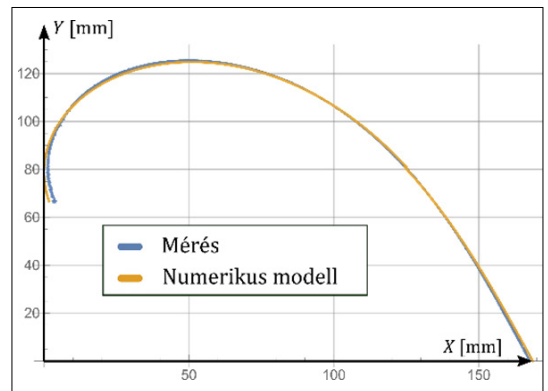
A mért adatokat összevettem egy korábban kidolgozott numerikus eljárásból [5] nyert eredményekkel. A görbületlefutás (7. ábra) és az alak is jó egyezést mutat (8. ábra). A számításokhoz használt modellt a 9. ábrán, az adatok az 1. táblázatban találhatóak.



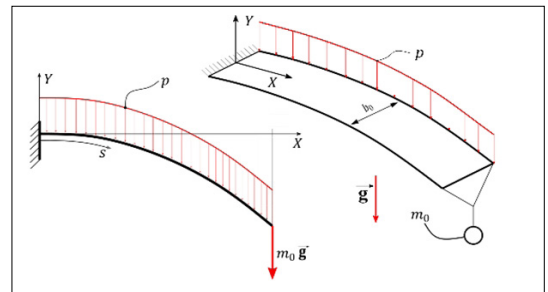
6. ábra. Görbület becslése háromszög köré írt körrel



7. ábra. A lemez mért (kék), mérésre illesztett (sárga) és számított (zöld) görbületeloszlása



8. ábra. A lemez mért és számított alakja



9. ábra. A lemez mechanikai modellje

1. táblázat. Számítási paraméterek

Paraméter	Érték	M.egység
Rug. modulusz	200	GPa
Poisson-tényező	0.33	-
Lemez hossza	270	mm
$m_0$	42	g
$p$	$3,27 \cdot 10^4$	N/mm
$b_0$	21	mm

## 6. Következtetések

A mérés csupán kísérleti jelleggel készült, nem megfelelően kontrollált körülmények között, ennek ellenére az eredmények meglepően pontosak lettek. A görbületre való következtetés egy pontatlan adathalmazból nehézkes, hiszen ez egy komplex, deriváltakat tartalmazó kifejezés, ennek ellenére ígéretes eredmények adódtak rá. A mérési módszer jelen állapotában nem alkalmas a görbület pontos mérésére, ellenben nem zárja ki a további kísérletezés lehetőségét. Ezzel szemben a módszer az alak mérésére már jelen állapotában is megfelelőnek bizonyult.

### Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás az NKFIH K 134303 sz. pályázatának támogatásával valósult meg.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Vladimir K.: *Curvature in Digital 2D Images*. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 15/7. (2001) 1183–1200. <https://doi.org/10.1142/S0218001401001283>
- [2] Coeurjolly D., Miguet S., Tougne L.: *Discrete Curvature Based on Osculating Circle Estimation*. In: *Visual Form 2001. 4<sup>th</sup> International Workshop on Visual Form*, IWVF4 Capri, Italy, May 28–30, 2001. Proceedings, 303–312. [https://doi.org/10.1007/3-540-45129-3\\_27](https://doi.org/10.1007/3-540-45129-3_27)
- [3] Dalle D.: *Comparison of Numerical Techniques for Euclidean Curvature*. Rose-Hulman Undergraduate Mathematics Journal, 7/1. Art.12.
- [4] Belyaev A. G.: *A Note on Invariant Three-Point Curvature Approximations*, 数理解析研究所講究録, 1111. (1999) 157–164. (letöltve: 2021.02.15) <https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/63333/1/1111-16.pdf>
- [5] Máté P., Szekrényes A.: *Vékonylemezzel hengerítési folyamatának numerikus modellezése*. Műszaki Tudományos Közlemények, 13. (2020) 133–136. <https://doi.org/10.33895/mtk-2020.13.24>

# Csirkeér mechanikai vizsgálata egyedi építésű kísérleti berendezéssel

## Mechanical Examination of Chicken Vessel with Custom-Built Experimental Equipment

Meisel Ádám,<sup>1</sup> Tóth K. Brigitta,<sup>2</sup> Lakatos Éva<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék, Budapest, Magyarország, [ameisel@edu.bme.hu](mailto:ameisel@edu.bme.hu)

<sup>2</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest, Magyarország, [brigitta.toth@mail.bme.hu](mailto:brigitta.toth@mail.bme.hu)

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezetek Mechanikája Tanszék, Budapest, Magyarország, [lakatos.eva@emk.bme.hu](mailto:lakatos.eva@emk.bme.hu)

### Abstract

Cardiovascular disease has been decimating humanity for decades. In vivo examination of blood vessels is of great help in the development of numerical models and simulations that can help physicians significantly improve their quality of life. For such models, the different mechanical characteristics of the vessels are the input data. Several such mechanical properties of the vessels, such as modulus of elasticity and tensile strength, are determined by a tensile test. In the course of our research, an experimental device was developed and tested which is suitable for biaxial tensile test of blood vessels, which we present through the examination of chicken blood vessels.

**Keywords:** *biaxial tensile testing, mechanical properties, experimental device.*

### Összefoglalás

A szív- és érrendszeri betegségek évtizedek óta tizedelik az emberiséget. Az erek in vivo vizsgálata nagy segítséget nyújt numerikus modellek és szimulációk fejlesztéséhez, amelyek segítségével az orvosok érdemben tudnak javítani az életminőségen. Az ilyen modellekhez az erek különböző mechanikai jellemzői a bemeneti adatok. Az erek több ilyen mechanikai tulajdonságának, például a rugalmassági modulusznak és szakítószilárdságnak, meghatározása szakítóvizsgálattal történik. Kutatásunk során egy erek kéttengelyű szakítására is alkalmas kísérleti berendezést fejlesztettünk és teszteltünk, amelyet csirkeerek vizsgálatán keresztül mutatunk be.

**Kulcsszavak:** *kéttengelyű szakítóvizsgálat, mechanikai tulajdonságok, kísérleti berendezés.*

### 1. Bevezetés

A szív- és érrendszeri betegségek már több évtizede vezetnek a halálozási listákat. A WHO és több szervezet is meghatározta már a betegséghez vezető rizikófaktorokat, a megelőzés lehetőségeit. Ennek ellenére nagyon kis mértékű javulás látható az évek során a betegségben elhunytak számában [1, 2]. Mindezek miatt az ilyen betegségek ke-

zelésére szolgáló eszközök fejlesztése virágkorát éri. Az ilyen eszközöket (sztent, áramlasmódosító sztent, WEB, stb.) leggyakrabban az orvos az érbe helyezi. Az eszközök fejlesztése és a problémakör mélyebb megismerése szempontjából is elengedhetetlen az érfal különböző tulajdonságainak feltérképezése. Mivel a legtöbb ilyen problémás érszakasz vagy a beültetett implantátum in vivo vizsgálata nehézségekbe ütközik, ezért különbö-

ző anyag- és mechanikai modellek, valamint szimulációk segítségével in vitro mérések bemeneti adatai alapján vannak le következtetéseket a kutatók [3–6].

Vannak eredmények koponyaűri aneurizmák mechanikai vizsgálatáról, de a legtöbb ilyen, csak egytengelyű vizsgálatot végez, és nem ad meg semmilyen adatot az erek befogásáról [7–9].

Operáció során vagy elhunytakból nyert érfalmintákat általában rögtön vagy rövid fagyasztási periódus után a 37,5 °C-on, oxigénnel megfelelően telített, 7,4 pH-értékű sóoldatba helyezik, és végzik el a szakítóvizsgálatot [10].

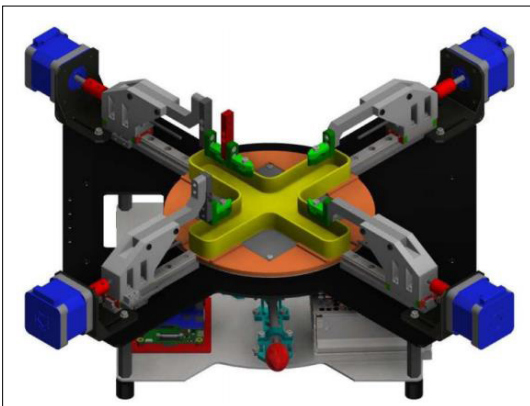
Célunk egy olyan berendezés továbbfejlesztése, amellyel megbízható módon, az erek vizsgálat előtti, befogásból származó roncsolása nélkül is lehetséges az erek mechanikai tulajdonságainak meghatározása két tengely mentén is.

## 2. Felhasznált eszközök, anyagok és mérési módszerek

### 2.1 Berendezés bemutatása

A kutatásunkban egy egyedi tervezésű biaxialis szakítógépet használtunk (1. ábra). A mintát négy ponton egy-egy befogóval rögzítjük. Az egyes befogók közvetlenül a karokhoz vagy erőmérő cellákhoz kapcsolódnak. A karok lineáris vezetékeken futó kocsikhoz csatlakoznak, amelyeket négy léptetőmotor és menetes orsó segítségével mozgatunk.

A mérések során fontos szempont volt, hogy a vizsgáló környezet tulajdonságai minél jobban közelítsék az emberi testét. A megfelelő hőmérsékletű és pH-értékű sóoldatot egy kádba helyezük, amely emelhető, ezáltal megkönnyítve a befogás folyamatát.

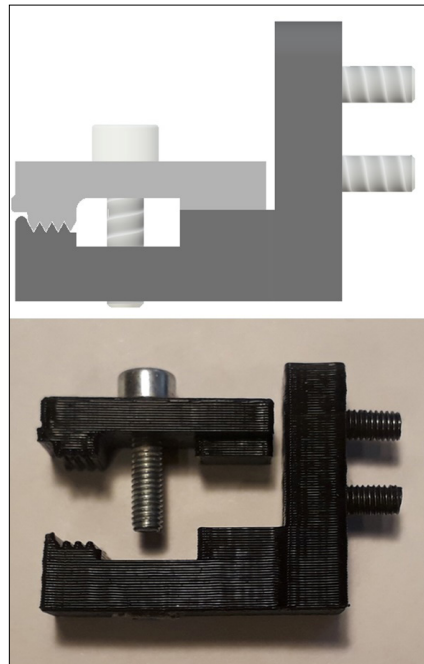


1. ábra. A kísérleti berendezés kialakítása

### 2.2. Befogó tervezése és gyártása

A szakítóvizsgálat szempontjából a berendezésen kívül sarkalatos pont a megfelelő befogó kialakítás. A mi esetünkben ez kiemelkedő szerepet kap, mivel a vizsgált minták nagyon vékonyak, könnyen szakadnak, károsodnak. Ennek következtében a befogóval szemben támasztott legfontosabb követelmény a minta sérülésmentes befogása és megtartása vizsgálat közben. Nem alakulhat ki feszültséggyűjtő hely a mintán a befogás környezetében, mert ezáltal téves eredményeket kaphatunk.

Több koncepciót is megterveztünk és értékeltünk, a legígéretesebbeket ezek közül le is gyártottuk, valamint ki is próbáltuk. Ilyen volt például a „gereblye”-kialakítású vagy a rugóval feszített befogó. A legoptimálisabb kialakításnak egy csavarral feszített befogó bizonyult, amelyben a mintát fogak közé szorítjuk, amelyek előtt egy lekerekített feszültségmentesítő rész található. Először csúcsos végű geometriával próbálkoztunk, amely kisebb és nagyobb minták befogására egyformán alkalmas. Azonban a mérések során kiderült, hogy a csúsz mellett nagy valószínűséggel elindul a szakadás, ezért végül a csúcsot elhagyva a befogó végét egyenesre alakítottuk. A befogókat Creality Ender 3-típusú 3D-nyomtatón segítségével gyártottuk le (2. ábra).

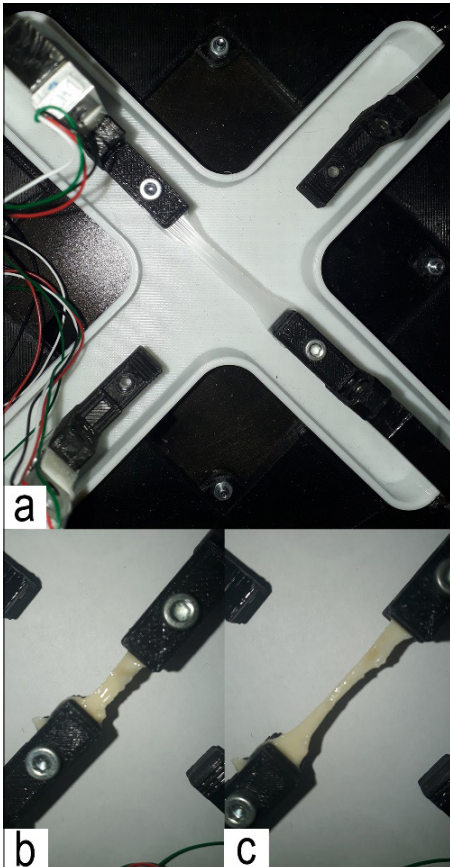


2. ábra. Befogó kialakítása, felül modell, alul additívan gyártott befogó

### 2.3. Mérési módszer

A szakítóberendezés segítségével meghatározható a mintára jellemző erő-elmozdulás görbe. Az erőt a két tengelyen egy-egy erőmérő cellával mérjük. Az elmozdulást a léptetőmotorok lépéseinek számából számítjuk.

A mérést a minta rögzítésével kezdjük. Először az alsó befogófelre helyezük a mintát, majd a felső befogófelet egy csavar meghúzásával feszítjük rá. Méréseink során kis sűrűségű polietilén (LDPE) fóliát, illetve csirke-nyaki- és -hasiereket vizsgáltunk. Az LDPE-mintát ASTM D638 Type V szabvány szerint vágtuk ki, a szakított felület mérete 9,53 mm × 3,18 mm. Az erekből egyedi sablonnal segítségével 14 mm × 2,5 mm szakított felületű mintákat állítottunk elő. A vizsgálatot minden esetben 20 °C-on végeztük el, a mérési sebesség 5 mm/perc, a mintavételezési frekvencia 16,7 Hz volt. Az ereket a közvetlenül a mérés előtt emeltük ki a 0,9%-os fiziológiás sóoldatból.



3. ábra. Befogó tesztelése a) LDPE-fólia próbatesten és csirke-nyakiüttőér darabon, b) ér húzás közben, c) ér szakadás előtti pillanatban

### 3. Eredmények

A szakítóvizsgálat elvégzése közben egyértelműen megállapítható volt, hogy az erek a befogásnál nem szakadtak el, így a befogó kialakítása megfelelő (3. ábra).

A vizsgálat során a 4. ábrán látható görbét kaptuk. Ezen látható a berendezés X és Y tengelye által felvett szakítógörbe az LDPE-fólia és a csirkeér-próbatetek esetén.

### 4. Következtetések

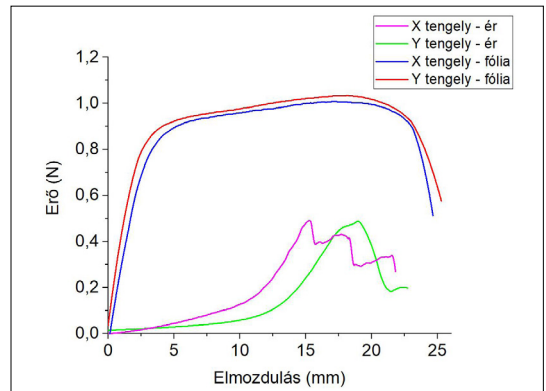
Az általunk tervezett és legyártott befogó megfelelő lehet vékony szövetek (erek, akár inak, szalagok, stb.) szakítására, a szövet károsítása nélkül.

A kapott értékek az irodalomban található [8] eredményeknek alakra és nagyságrendre megfelelnek, így a mérőberendezés alkalmas az erek húzó- és szakítóvizsgálatára.

Kutatásunk következő lépése a berendezés validálása egy hasonlóan kis mérőcellával rendelkező szakítógépp segítségével, majd emberi ereken történő egy- és kéttengelyű szakítóvizsgálat elvégzése.

### Köszönetnyilvánítás

A publikáció az Innovációs és Technológiai Minisztérium NTP-SZKOLL-20-0067 kódszámú Nemzeti Tehetség Program pályázatának támogatásával valósult meg. Az ebben a cikkben közölt és a BME-n végzett kutatást az NKFIH Alap támogatta (TKP2020 IES, tsz: BME-IE-NAT; TKP2020 NC, tsz: BME-NCS) az Innovációs és Technológiai Minisztérium ígisze alatt. A kutatást támogatta az Emberi Erőforrások Minisztériumának Felsőoktatási Kiválóság Programja a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem biotechnológiai kutatási területe keretében (BME FIKP-BIO).



4. ábra. Szakítógörbék LDPE-fólia-próbatetek és csirkeerek vizsgálata közben

**Szakirodalmi hivatkozások**

- [1] Ard J. D., Franklin F. A.: *Cardiovascular Disease*. Handbook of Clinical Nutrition (4<sup>th</sup> Edition) 2006, 422–447.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-03952-9.50026-X>
- [2] WHO: 2008-2013 Action Plan for the Global Strategy for the Prevention and Control of Non-communicable Diseases: Prevent and Control Cardiovascular Diseases, Cancers, Chronic Respiratory Diseases and Diabetes. 2009.  
[www.who.int/publications/i/item/9789241597418](http://www.who.int/publications/i/item/9789241597418)
- [3] Szabó V., Jenei C., Halász G.: *Modelling Blood Pressure in Stenosed Coronary Arteries*. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering, 61/3. (2017) 242–246.  
<https://doi.org/10.3311/PPme.10469>
- [4] Károly D., Asztalos L., Micsík T., Szabó P.J.: *Non-Destructive Analysis of Explanted Coronary Artery Stents*. Acta Polytechnica Hungarica 14/2. (2017) 171–181.  
<https://doi.org/10.12700%2FAPH.14.2.2017.2.9>
- [5] Tóth B. K., Bojtár I.: *Validation of the Hyperelastic Material Parameters of Healthy Human Brain Arteries and Cerebral Saccular Aneurysms*. 5<sup>th</sup> European Conference of the International Federation for Medical and Biological Engineering, 876–879.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-642-23508-5\\_228](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23508-5_228)
- [6] Asztalos L., Károly D.: *Examination of pathological stents*. Műszaki tudományos közlemények 5. (2016) 73–76.  
<https://doi.org/10.33895/mtk-2016.05.09>
- [7] Lally C., Reid A. J., Prendergast P. J.: *Elastic Behavior of Porcine Coronary Artery Tissue Under Uniaxial and Equibiaxial Tension*. Annals of Biomedical Engineering 32 (2004), 1355–1364.  
<https://doi.org/10.1114/B:ABME.0000042224.23927.ce>
- [8] Costalat V., Sanchez M., Ambard D., Thines L., Lonjon N., Nicoud F., Jourdan F.: *Biomechanical Wall Properties of Human Intracranial Aneurysms Resected Following Surgical Clipping (IRRA Project)*. Journal of Biomechanics. 44/15. (2011) 2685–2691.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.07.026>
- [9] Kural M. H., Cai M., Tang D., Gwyther T., Zheng J., Billiar K. L.: *Planar Biaxial Characterization of Diseased Human Coronary and Carotid Arteries for Computational Modeling*. Journal of Biomechanics. 45/5. (2012) 790–798.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2011.11.019>
- [10] Tóth B. K., Nasztanovics F., Bojtár I.: *Laboratory Tests for Strength Parameters of Brain Aneurysms*. Acta of Bioengineering and Biomechanics. 9/2. (2007) 3–7.  
<https://www.actabio.pwr.wroc.pl/Vol9No2/1.pdf>



# Újszerű fém-polimer vállízületi implantátum fejlesztése

## The Development of a New Shoulder Joint Prosthesis System

Nemes-Károly István,<sup>1</sup> Kocsis György,<sup>2</sup> Szébenyi Gábor<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék. Budapest, Magyarország, [nemes-karolyi@pt.bme.hu](mailto:nemes-karolyi@pt.bme.hu)

<sup>2</sup> Semmelweis Egyetem, Általános Orvostudományi Kar, Ortopédia Klinika. Budapest, Magyarország, [kocsis.gyorgy@med.semmelweis-univ.hu](mailto:kocsis.gyorgy@med.semmelweis-univ.hu)

<sup>3</sup> Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék. Budapest, Magyarország, [szebenyi@pt.bme.hu](mailto:szebenyi@pt.bme.hu)

### Abstract

In our work, we designed a new metal-polymer shoulder implant system that fully meets today's requirements - minimal invasive technology, a high degree of modularity - and can be personalized as needed. At the same time, its production does not exceed the currently available production technologies. Also, the data and parameters which are needed to design the tailor-made construction are easily accessible, as we have chosen a device that is widespread and commonplace in medical diagnostics and available in any hospital. Furthermore, we have tried to make our system as easy and fast to authorize as possible because it is challenging to place medical devices on the market, especially implants. We have tried to create the cheapest, most economical system and in addition, we wanted to gain the trust of implant specialists, as we incorporated their insights and experiences into our construction through continuous consultation.

**Keywords:** *shoulder implant, minimal invasive technology, modularity, tailor made construction, UHMWPE.*

### Összefoglalás

Munkánk során igyekeztünk egy olyan újszerű fém-polimer vállízületi implantátumrendszert megtervezni, mely a mai követelményeknek – minimál invazív technológia, nagyfokú modularitás - teljes mértékben megfelel, a lehető legnagyobb mértékben személyre szabott. Ugyanakkor legyártása nem haladja meg a jelenleg elérhető gyártástechnológiákat. Valamint a „Tailor-made”-konstrukció kialakításához szükséges adatok és paraméterek is könnyen hozzáférhetők, mivel olyan – az orvosi diagnosztikában széles körben elterjedt és mindennapos – berendezést választottunk, mely bármely kórházban elérhető. Továbbá törekedtünk arra, hogy rendszerünk minél könnyebben és a lehető leggyorsabban engedélyeztethető legyen, hiszen minden orvostechnikai eszköz forgalomba hozatala nehézkes, különös tekintettel igaz ez az implantátumokra. Törekedtünk a lehető legolcsóbb és leggazdaságosabb rendszer létrehozására, mindezeneken felül pedig igyekeztünk a beültetést végző specialisták bizalmát elnyerni, hiszen folyamatos konzultációval meglátásaikat és tapasztalataikat beépítettük konstrukciónkba.

**Kulcsszavak:** *vállimplantátum, minimal invasive technológia, modularitás, személyre szabott konstrukció, UHMWPE.*

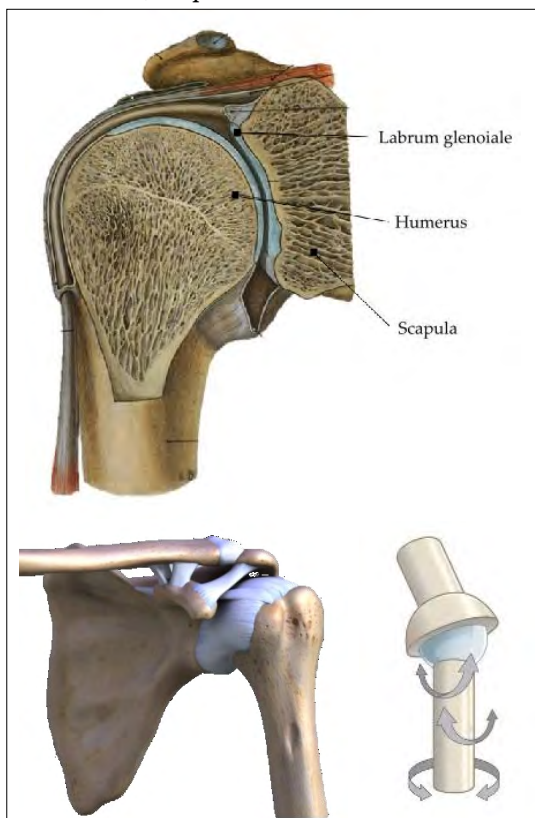
### 1. Bevezetés

Az emberi felső végtag, a kar, az ember állatvilágból történő kiemelkedésében rendkívüli fontosságú lehetett, hiszen ez tette lehetővé a céltu-

datos és hatékony eszközhasználatot. A kar finom mozgások, precíz munkafolyamatok kivitelezésére is tökéletesen alkalmas, ugyanakkor nagy erő-kifejtésre is képesek vagyunk általa.

A felső végtag a törzshöz a vállövi ízületek segítségével kapcsolódik – három vállövi ízületről beszélhetünk –, ezek biztosítják a váll mozgását. A teljes funkcióhoz nagyfokú mozgékonyaságra, de ugyanakkor stabilitásra is szükség van, melyek bámulatos kompaktsággal és kifinomultsággal párosulnak a vállízületben.

A vállízület rendkívül sérülékeny és bonyolult ízület. A súlyos fokú vállízületi elváltozások vállízületi endoprotézis-műtétet indokolhatnak, mely implantációs műtéti megoldás – a rendkívül elterjedt térd- és csípőízületi protézisműtétek mögött – ma már a harmadik leggyakrabban alkalmazott művi ízület típus. A műtét sikerrátája azonban a térd-, csípő-ízületpótlások mögött marad, sokkal többször jelentkeznek panaszok, kevésbé állítható vissza az eredeti szerkezet hihetetlen mozgásszabadsága, valamint rendszeres panasz a fájdalom a páciensek részéről. Gyakorta alakulnak ki kontraktúrák – az ízület mozgásszabadságának (sokszor fájdalmas) beszűkülése – továbbá az operációt követően jóval gyakrabban indokolt ismételt műtét, reoperáció.



1. ábra. Vállízület (articulatio humeri) – felül [1] – vállízületet körülölelő tok – alul balra [2]- és mérnöki modellje – alul jobb oldalon [3]

## 2. Szakirodalmi áttekintés

Felépítését és működését tekintve a vállízületet (Articulatio humeri) a gömb- vagy úgynevezett szabadízületek közé soroljuk, amelynek részei a lapocka (Scapula) és a karcsont (Humerus) feje. Mozgástartományát tekintve a legnagyobb mozgásterjedelmű és legbonyolultabb ízületünk [4]. Mérnöki szempontból egy három szabadságfokú csuklóval modellezhető – mely két tengely irányába képes elmozdulni és egy tengely mentén forogni [1]. A lapocka szélén körkörösén található rostporcos gyűrű (Labrum glenoidale) nagyobbítja és mélyíti az ízvpát, melynek felszíne az ízfejhez képest aránytalanul kicsi (1:6), ami jelentősen hozzájárul az ízület mozgásszabadságához, ugyanakkor komoly kihívást okoz mind az operációt végző sebészeknek, mind pedig a mérnököknek [4]. Hiszen a kis munkatér és a csekély teherviselő felület is komoly problémákat vet fel [1]. Az ízület tokja meglehetősen laza, de igen erős – erre azért van szükség –, mivel a szerkezet nem rendelkezik speciális, összetartó szalagkészülékkel, mint mondjuk a csípő- vagy a térdízület. Így ezt az ízesülésünket nem az ízületi tényezők, hanem a vállat küppalászerűen körülölelő izomköpeny – úgynevezett rotátorköpeny – tartja egyben. Ugyanis ennél a rendszernél a stabil szalagkészülék és kötött ízületi tok gátolná – a legnagyobb mozgásterjedelmű – ízületünk szabadságát, ehhez még – a mozgást elősegítendő – hozzájön a korábban már említett aránytalanul kicsi ízvpá [4]. Ebből a két tényezőtől fakad a rendszer – bámulatos kompaktsággal párosul – hihetetlen sérülékenysége. A fentiekben említettek mind részletesen szemügyre vehetők az 1. ábrán.

Az ízületek leggyakoribb betegségeit tekintve – mára szinte népbetegséggé vált – a különböző kopásos eredetű coxarthrosis, mely fájdalmas kontraktúrákhoz – mozgástartomány-szűkülés – és végül a szerkezet teljes funkcióvesztéséhez vezet. Nem szabad megfélemednünk a különböző traumákról – vállnál különösen gyakori – és dagasztos elváltozásokról sem, hiszen ezek is vezethetnek műtéti kezeléshez [5].

Rögzítés szempontjából kétféle protézistípust különböztetünk meg, lehetséges cementes és cement nélküli. Cementes esetben a csontcement (kétkomponensű polimetil-metakrilát – PMMA), mely a polimerizációt követően biztosítja a protézis csontágyban történő fixációját. A csontcement antibiotikummal keverhető, így helyileg, célzottan magas gyógyszer-koncentráció érhető el, mellyel megelőzhető vagy kezelhető a

gyulladások, fertőzések. Cement nélküli esetben a szerkezet a beültetés során ékhatással rögzül – ezt nevezzük primer stabilitásnak –, majd ezt kiegészítendő csontbenövés útján létrejön a másodlagos vagy biológiai stabilitás. A minél jobb oszteointegráció elősegítése érdekében a felületeket gyakran strukturálják, például fémszórással vagy cellás szerkezetekkel. Egy másik módszer a csontbenövés elősegítésére a különböző bevonatok alkalmazása, mint például a hidroxipatit [6, 7]. Nagy általánosságban elmondható, hogy a cementes rögzítést inkább idősebb pácienseken alkalmazzák, míg a fiatalkori implantációk során elsődlegesen cement nélküli rögzítésre törekednek. Ennek eldöntése azonban minden esetben individuális döntést igényel! [1] Ez azzal magyarázható, hogy a cementes rögzítés az operációt követően gyakorlatilag azonnal üzemképessé válik – hiszen nincs szükség csontosodásra –, míg cement nélküli esetben a teljes körű használat csak a – 4–6 hetes – csontosodás után kezdhető meg. Természetesen fiatalabb korban a szervezet csontépítő-képessége és csontminősége jobb, valamint hosszú távon ezek az implantátumok sikeresebbek, mint cementes társaik, valamint revíziós műtét esetén a ragasztott protézisek eltávolítása sokkal nagyobb csontvesztéssel jár, mely megnehezíti a további protetizálást. Fontos megjegyezni, hogy mind a két rögzítéstípus esetén fellép járulékos csontvesztés, ez rezekció esetén elkerülhetetlen.

A vállízületi implantátumokból megkülönböztetünk anatómiai és inverzt. A két megoldás között az a különbség, hogy az anatómiai – ahogyan azt a neve sugallja – felépítését tekintve a természetes váll szerkezetét követi, míg az inverz egy fordított rendszer. Tehát az inverz esetén nem a felkarcsonton található a művi ízületi fej, hanem a lapockán. Anatómiai rendszert általában akkor alkalmaznak, ha a vállat körülvevő izmok épek, sérülésük esetén inverzt implantálnak. Ennek az eldöntése is egy individuális kérdés, mint a rögzítés esetében [1, 8]. Viszont gyakran kerül sor csak azért revíziós műtetre, mert a páciens állapota már nem engedi meg az anatómiai rendszer alkalmazását – holott a szerkezet nem lazult ki, és nem is ment tönkre –, át kell térni inverzre. Ilyenkor az a bevett gyakorlat – néhány igen bonyolult és drága implantátumszettet leszámítva –, hogy a beültetett összes alkatrészt rezekálják.

Kurtz művében összefoglalta a legfőbb komplikációkat anatómiai kivétel esetére, melyből kiderül, hogy a leggyakoribb ok az úgynevezett glenoid vesztes – lapocka ízületi részének sérülése –,

majd ezt követi a kilazulás, ezután foglal helyet a sorban a rotátorköpeny-szakadás és végül az implantátum körüli csonttörés [7]. Elmondható, hogy általában a teljes rendszereket eltávolítják ezekben az esetekben a revíziós műtétek során, holott megfelelően moduláris implantátum esetén lehetőség lenne bizonyos alkatrészek megtartására, igaz ez azokra az esetekre is, amikor az implantátum futófelületei használnának el. Sajnos manapság ezek a rendszerek meglehetősen drágák és bonyolultak, engedélyeztetésük nehézkes. Továbbá azzal is számolnunk kell, hogy az orvostársadalom rendkívül konzervatív – szinte kizárólag a jól bevált kifarortt implantátumokat ültetik be –, emiatt egy teljesen új – a korábbiaktól gyökeresen különböző – rendszer kipróbálása és elfogadtatása gyakorlatilag lehetetlen. Senki nem vállalja a felelősséget és a rizikót egy „zöldmezős beruházásként” megtervezett szerkezet esetén.

Fontosnak tartottuk elemezni a már művi úton eltávolított implantátumok kopását, ezért vizsgálatainkhoz az úgynevezett Hood-féle tematikát alkalmaztuk, melyet térdprotézisek vápáihoz használtak eredetileg. Az UHMWPE kopásának vizsgálatánál a 80-as években megpróbálták a különféle felületi kopásokat – hibákat és eltéréseket – osztályozni, ezért az egyes protéziseken különféle számozott régiókat határoztak meg, majd fénymikroszkóp 10x-szeres nagyítása mellett vizsgálták az implantátumokat – Hood – [9].

7 felszíni károsodásformát különítettek el:

1. Pontkorrózió (pitting): A futófelületeken jelentkező 2–3 mm átmérőjű és 1–2 mm mély kráterek. A belőle keletkező anyagvesztés miatt felszabaduló kopástermékek oszteolízist (csontvesztést) okozhatnak;
2. mállékony törmelék (embedded debris): Okozhatja csontforgács, fémkomponens vagy bármilyen egyéb törmelék, kopástermék. Súlyos oszteolízist okoz, valamint károsítja mind a két dolgozófelületet;
3. karcolódás (scratching): Egydimenziós felületi károsodások – abrazív hibák közé tartozik – valószínűleg a fémfelületeken lévő mikroszkopikus egyenetlenségek, vagy a futófelületek közé került törmelékek okozzák;
4. rétegenkénti leválás (delamináció): Az egyik legsúlyosabb károsodási forma, általában azonnali revíziós műtétet igényel, a rendszer gyors, katasztrofális tönkremeneteléhez vezet;
5. felületi deformáció: Nem vezet anyagvesztéshez, ezáltal jelentősen eltér a többi károsodási formától

6. csiszolódás (Burnishing): Csiszolódás esetén a felület kifényesedik, viszont kopástermékek is keletkeznek, melyek oszteolitikus reakciókhoz vezethetnek;

7. ábrázó: A kontaktfelület morzsolódó kopása, igen gyakori jelenség.

A kopások osztályozása régiók és súlyosság szerint történik. A Hood-féle metodika szemikvantitatív, és lehetővé teszi az egyes protézistípusok között az összehasonlítást [7, 9].

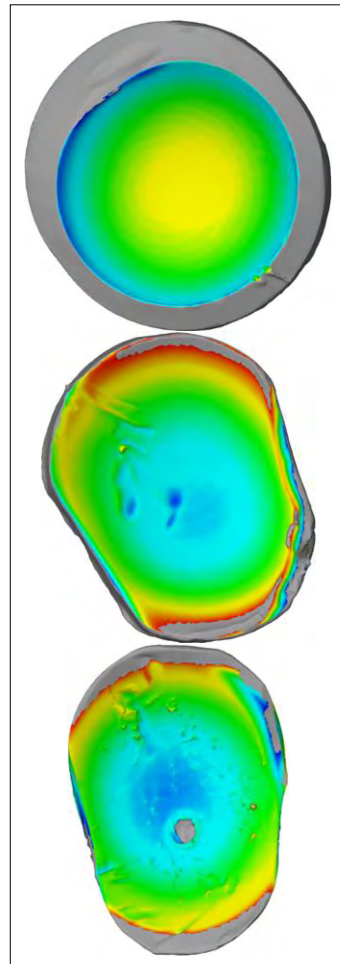
### 3. Vizsgálatok

Vizsgálataink során 3 vállimplantátumot vetünk részletesen szemügyre, melyhez GOM Atos Core 5M 3 dimenziós optikai mérőrendszert használtunk, a kiértékeléshez pedig egy programot, mely a szkener által generált pontfelhő és az alkatrészek CAD-modelljének eltéréseit a térkép szintvonalaihoz hasonlóan jeleníti meg. Így szemléletesen láthatóvá téve a kopást és a különböző deviációkat. Az ábrákon a meleg színek a viszonyítási felülettől pozitív irányba történő eltéréseket mutatják, ez annyit tesz, hogy a vizsgált felületem túllóg a referencián. A hideg színek éppen ellenkező jelentéssel rendelkeznek, tehát az eltérés negatív irányú, mely azt jelenti, hogy a vizsgált felület a referenci felületen belül van. Minél erősebb egy szintípus, annál nagyobb a deviancia, a zöld szín jelenti a tökéletes illeszkedést.

A 2. ábrából megállapítható, hogy mindegyik mintának a széle és a futófelületek legalsó pontja károsodott, mivel ezeken a területeken figyelhető meg elszíneződés. Érdekes, hogy egy gyűrűszalag mentén az összes sértetlen, hiszen ott egy zöld sáv található, ami a tökéletes illeszkedésre utal. Az első implantátum esetében nem is annyira a gömbfelület széle, hanem inkább az alja károsodott – sárga terület –, és meleg szín révén a referencia-felszínhez képesti pozitív irányú eltérésről beszélünk, ami a maradó alakváltozás miatti deformációból adódik. A szélein is látható némi eltérés – anyagfogyás –, de az nem jelentős, viszont a másik két vápánál ez éppen fordítva van. Ezek külső pereme sérült jobban, néhol már-már annyira deformálódott, hogy az adott skálázás tartományát meghaladta – szürke régiók – és a belső területeikről fogyott anyag, ellentétben az inverz művi vápával. Ámbár a második és harmadik – anatómiai kivétel – implantátum futófelületeinek alján is több egyenetlenség található, mint az első esetében. Ugyanakkor elmondható, hogy az anatómiai vápák anyagvesztése és deformációi kisebbek voltak összességében, mint az inverzé.

Az érdekes jelenséget mutató, gyűrűs szerkezetű anyagvesztésre magyarázat lehet, hogy a vápák felülete meglehetősen kicsi, erre azért van szükség, hogy a mozgástartományt bővítsük. Így a felépő terhelések is ezen csekély felszínen oszlanak meg, továbbá bizonyos helyzetekben az implantátum még akár billeghet is a fejen, talán ezért is sérült jobban a második és a harmadik minta széle.

A vápákat tovább vizsgálva, azok mindegyikének felszínén pitting (pontkorrózió), scratching (karcolódás), felületi deformálódás és néhol burnishing (csiszolódás) figyelhető meg. A pitting mértéke a harmadik mintánál a legjelentősebb, mivel ott néhány kráter már olyan mély, hogy a szkener ábráján is megfigyelhető. A második implantátumon is van néhány ezekből a mély



2. ábra. Vállprotézis vápák mérési eredményei (A két területeken kopás, míg a sárga és piros régiókban felgyűrűződés keletkezett, a zöld gyűrűnél ugyanakkor tökéletes volt az illeszkedés.)

gödrökből, de jelentősen kevesebb, viszont ezen pedig súlyos karcoldás figyelhető meg. Az első mintán is megfigyelhető pontkorrózió és karcoldás, viszont ennek mérete annyira kicsi, hogy a mérőrendszer képén nem látható, mint ahogyan a csiszolódás is csak szabad szemmel detektálható.

Az egyik vizsgált implantátum revíziójára azért volt szükség, mivel vápája kifordult a kosárból, és a fej mellett egy oldalsó helyzetet vett fel, miközben a fej a kosáron járva üzemelt tovább – fém a fémen érintkezéssel –, ezzel jelentős kopást generálva.

Megvizsgálva a kosár és a vápa kapcsolatát, egy viszonylag jelentős húzóerő szükséges a kizökkentéshez, ez indikálta megállapításunkat, mely szerint a vállprotézisekre üzem közben jelentős húzóerő hathat.

A fenti tézis viszonylag logikusnak tűnik, hiszen például, amikor a buszon kapaszkodunk, és a busz gyorsít, ennek hatására karunkra húzóerő hat. Továbbá az irodalomkutatásban is megtalálható, hogy a vállat csak a körülvevő izomkúp – rotátorköpeny – tartja össze, mely által rendkívül mozgékony ízület lesz.

Viszont áttekintve az irodalmat, a vápákat nagyrészt csak nyomásra vizsgálják, ezért gondoltuk azt, hogy húzó igénybevételre is biztosítani kellene őket. Továbbá konzultáltunk beültetés végző további orvos specialistaikkal, akik elmondásaiból kiderült, hogy a kiugrás – valamint a protézisre ható húzóerő – valós és megoldatlan problémát jelenthet.

#### 4. Fejlesztés

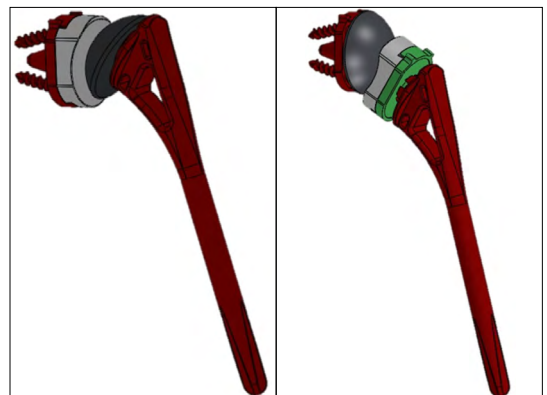
Rendelkezésünkre állt egy ma igen gyakran alkalmazott és jól beváltnak tekinthető modell – **3. ábra**, felső konstrukció –, mely anatómiai kialakítású, nem moduláris és pláne nem személyre szabott, továbbá húzó igénybevételre sincsen biztosítva – tehát belátható, hogy továbbfejlesztése indokolt. Azért választottunk anatómiai kialakítást, mivel a 3 dimenziós mérőrendszeres vizsgálatok alapján anyagvesztés és deformáció szempontjából ez tűnt kedvezőbbnek.

Modulárisnak nevezzük azokat az implantátumokat, ahol a revíziós műtét során – a már rögzült, becsontosodott – alkatrészek eltávolítására nincs szükség. Ez praktikusnak azt jelenti, hogy a művi fej és a vápa a többi alkatrésztől függetlenül cserélhető, tehát nincs szükség rezekción, így nincs járulékos csontvesztés. Jelenleg a piacon található ilyen rendszerek, rendkívül drágák és bonyolultak, így nem igazán elterjedtek, valamint

az eredményességük is igen csekély. Irodalomkutatásunk során nyilvánvalóvá vált, hogy a vállimplantátumok esetében meglehetősen szerény eredmények vannak az élettartamot tekintve, tehát viszonylag rövid az az időszak, melyben jól működik a rendszer. Ez azt jelenti, hogy gyakrabban kell revíziós műtéteket végezni.

Modularitás biztosításával az ilyen jellegű beavatkozásokat szeretnénk megkönnyíteni, mivel így nem szükséges a felkarba beépített szarát, illetve a lapockacsontba becsavart tálcát eltávolítani – a **3. ábrán** pirossal kiemelt alkatrészek eltávolítása nem szükséges. Így ez kisebb terhet jelent a szervezetre is – minimal invasive technológia –, mert kisebb a beavatkozás mértéke –, nincs járulékos csontvesztés – ráadásul a lerövidült műtéti időnek köszönhetően a fertőzésveszély és a komplikációk fellépésének esélye is lecsökken. Az általunk végzett továbbfejlesztés hasznos olyan esetekben is, amikor a beteg izomzata tovább sérül, így már a bent levő protézis nem tudná ellátni a feladatát, hiszen az anatómiai implantátumokat a vállat körülölelő izomzat tartja a helyes pozícióban. Modularitás esetén – az ilyen indikációból végrehajtott revíziós műtéteknél – elegendő megcserélni a két komponenst, hiszen az inverz implantátumok megfelelő stabilitást biztosítanak ezekben az esetekben is.

A felvázolt modularitás eléréséhez a rendszer egyetlen alkotóeleme szorult változtatásra, ami pedig a lapockacsontba kerülő tálca, mivel ezen ki kellett alakítani egy foglalatot, melybe – inverz esetben – a művi fej helyet foglalhat. Továbbá a túloldalra nem kerülhet önmagában a vápa – bárminemű alátámasztás nélkül –, mivel a teherátadás közben a fokozott igénybevételnek, illetve az eltérő anyagpárosításnak köszönhetően a szer-



**3. ábra.** Az eredeti – anatómiai – protézis modellje és az átalakított – inverz – konstrukció

kezetünk rendkívül gyors tönkremeneteléhez vezetne ez a megoldás. Így inverz kialakítás esetén szükségeltetik egy tálca a vápa alá, az ábrán zölddel kiemelve. A vápa tálcáját az ellenoldali mintájára alkottuk, hogy minél egyszerűbb és olcsóbb legyen a gyártása.

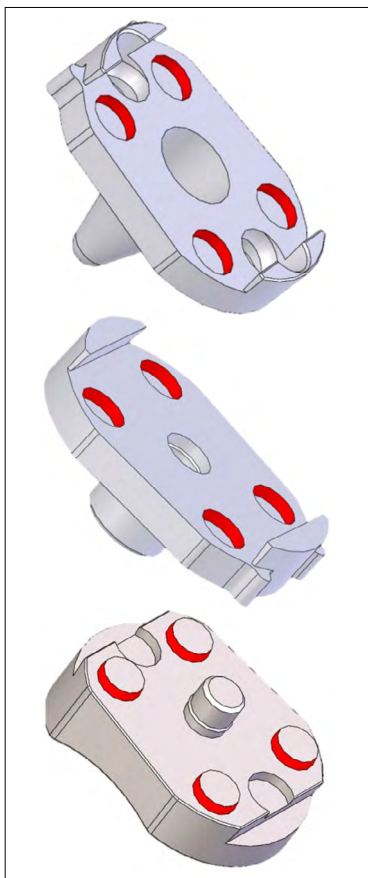
A húzó igénybevételekre történő biztosítást morse-kúppal oldottuk meg – az ábrán pirossal kiemelve – ezen megoldás megtalálása nem volt egyszerű, hiszen a nagyfokú modularitáshoz szükséges az igény szerinti oldhatóság. Ugyanakkor a megfelelő stabilitás és alátámasztás biztosításához elengedhetetlen fix kötés. Mindezek felett a rendszer kompaktsága és kis mérete is komoly problémát okozott. A 4. ábrán megfigyelhető a lapockában lévő tálcára került furat – az alkatrész közepén –, melybe inverz esetben a fej rögzíthető.

Végül pedig elvégeztük az implantátum személyre szabását, melyhez rendelkezésünkre álltak cadaver csontok CT-felvételei, melyekből

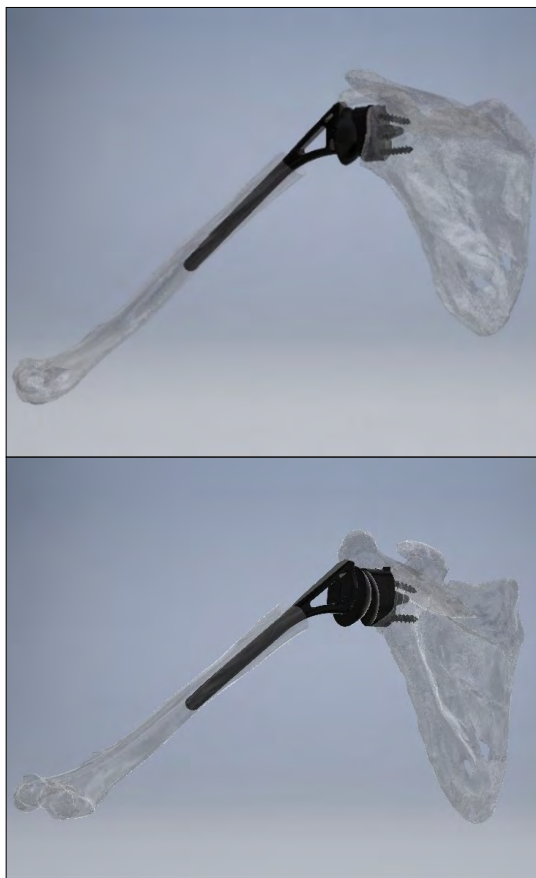
CAD-modellt készítettünk. Ezek alapján elvégeztük a „Tailor made”-konstrukció létrehozását, mely során összegyűjtöttük a módosítandó paramétereket, végül pedig a kész rendszert anatómiai környezetébe illesztve, CAD-programon belül teszteltük. Vizsgáltuk az ütközésmentességet, illeszkedést és a mozgásszabadságot (5. ábra). A módosítandó paraméterek:

- szárhossz;
- száralak (elsősorban vastagság);
- tálcán a befogások szöge;
- tálca felfekvőfelület-alakja;
- fejbefogás szöge.

Itt szeretnénk megjegyezni, hogy az emberek közötti nagyfokú különbségek és variációk miatt azt javasoljuk, hogy a minél jobb integráció miatt az implantátumot az egyén ép ízületéhez állítsák, és ne a tankönyvekben meghatározott – normálisnak ítélt – pozíciókhoz, amennyiben ez lehetséges.



4. ábra. A lapockában lévő tálca, az inverz esetben a száron lévő tálca és a vápa



5. ábra. Anatómiai környezetbe helyezett implantátum

## 5. Összefoglalás

Vizsgálataink során egy már jól bevált és használt implantátumot módosítottunk. Azért választottuk ezt, mert így a forgalomba hozatal, tesztelés, engedélyeztetés, továbbá elterjedés egyszerűbb, gyorsabb és olcsóbb – a felgyűlt tapasztalatok, valamint bizalom miatt –, továbbá ez alapján bármely hasonló rendszer is alkalmazható a modern kritériumoknak. Így szeretnénk elérni a moduláris rendszerek minél szélesebb körben történő elterjedését, valamint a „Tailor made”-konstrukciók minél populárisabb alkalmazását. Éppen ezért gyűjtöttük össze a személyre szabáshoz szükséges paramétereket, melyeknek a módosítása CT-felvétel alapján – mely az orvosi diagnosztikai gyakorlatban teljesen bevett eljárás – könnyedén elvégezhető az általunk kialakított implantátumon, továbbá még akár bármely más hasonló rendszeren is.

### Köszönetnyilvánítás

A kutatást az NKFIH alap Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Programja (BME FIKP-BIO) és a Nemzeti Bionikai Program támogatta.

## Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Vízkelety T.: *Az ortopédia tankönyve*. Semmelweis Kiadó, Budapest (1999).
- [2] Shoulder Joint – Glenohumeral Joint – 3D Anatomy Tutorial (2019.10.23.)  
<https://www.youtube.com/watch?v=vG1XQkj3Yx0>
- [3] Anatomy and Physiology, BCcampus  
<https://opentextbc.ca/anatomyandphysiology/chapter/9-1-classification-of-joints/>
- [4] Szentágothai J.: *Functional Anatomy – Az ember anatómiája, fejlődéstana, szövettana és tájékozódási anatómiája*. I. kötet. Medicina Kiadó, Budapest, 1975.
- [5] Glauber A.: *Az ortopédia tankönyve*. Medicina Kiadó, Budapest, 1978.
- [6] Sanchez-Sotelo J.: *Total Shoulder Arthroplasty*. Open Orthopedics Journal, 5. (2011) 106–114.
- [7] Kurtz S. M.: *UHMWPE Biomaterials Handbook*. Elsevier, Oxford (2016).
- [8] Neer C. S., Watson K. C., Stanton F. J.: *Recent Experience in Total Shoulder Replacement*. Journal of Bone and Joint Surgery, 64. (1982) 319–337.
- [9] Hood R. W., Wright T. M., Burstein A. H.: *Retrieval Analysis of Total Knee Prostheses: A Method and Its Application to 48 Total Condylar Prostheses*. Journal of Biomedical Materials Research, 17. (1983).

# Szintetikus fürdővizek kezelésének és csíranövényekre gyakorolt hatásának elemzése

## Analysis of the Treatment of Synthetic Bathing Waters and Their Effects on Seedlings

Pál Krisztina,<sup>1</sup> Izbékiné Szabolcsik Andrea,<sup>2</sup> Bodnár Ildikó,<sup>3</sup> Bellér Gábor<sup>4</sup>

Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország

<sup>1</sup> [palkrisztina23@gmail.com](mailto:palkrisztina23@gmail.com)

<sup>2</sup> [szabolcsikandi@eng.unideb.hu](mailto:szabolcsikandi@eng.unideb.hu)

<sup>3</sup> [bodnari@eng.unideb.hu](mailto:bodnari@eng.unideb.hu)

<sup>4</sup> [beller.gabor@eng.unideb.hu](mailto:beller.gabor@eng.unideb.hu)

### Abstract

Synthetically produced bathing waters and their effect on seedlings were analysed in our research. The artificially produced bath waters were treated in different ways. Primarily, simple filtration was performed through a layer of silica sand. During the tests, the obtained greywater was investigated before and after the treatment with the help of various water quality parameters. Irrigation was set as the goal of recycling, and germination experiments were performed on mustard seeds. In these experiments, the synthetically generated treated and untreated bath water was used as irrigation water. Considering the results obtained during the germination, it can be said that the treatment is necessary in any case. Based on the results, it was shown that the filtration was not sufficient, so coagulation was used as an additional treatment method, for which we determined the optimal amount of treatment agent as a starting step.

**Keywords:** *artificial bathwater, reuse, germination, treatment.*

### Összefoglalás

Kutatómunkánk során szintetikusan előállított fürdővizeket és azok csíranövényekre gyakorolt hatását elemeztük. A mesterségesen előállított fürdővizeket különböző módszerekkel kezeltük. Elsősorban egyszerű szűrést végeztünk kvarchomokrétgen keresztül. A vizsgálatok során a kapott szürkevizet kezelést megelőzően és azután analizáltuk, különböző vízminőségi paraméterek segítségével. Újrahasznosítási célként az öntözést tűztük ki, ebből adódóan mustármagvakon csíráztatási kísérletet végeztünk el, amelyhez öntözővízként a szintetikus módon létrehozott kezelt és kezeletlen fürdővizet használtuk fel. A csíráztatás során kapott eredményeket tekintve elmondható, hogy a kezelés mindenféleképpen szükséges. A kezelés eredményei nem voltak elégségesek, ezért további kezelési módszerként koagulációt alkalmaztunk, amelyhez kezdő lépésként megállapítottuk az optimális kezelőszer mennyiségét.

**Kulcsszavak:** *szintetikus fürdővíz, újrahasználat, csíráztatás, kezelés.*

## 1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb globális problémát jelent az édesvíz hiánya, amiből kifolyólag a Föld népességének kb. egyharmada nem jut hozzá a napi ajánlott ivóvízmennyiséghez. A fenntartha-

tósági célok alapján kiemelten óvnunk kell a rendelkezésünkre álló ivóvízkészletünket. Azokon a helyeken, ahol már napjainkban is ivóvízhiány lép fel, különböző kezelési módszerek segítségével, pl. a sós tengervízből membrántechnológiai



megoldásokkal állítanak elő ivóvizet, viszont ezek az eljárások kifejezetten költségesek. Az ivóvízhiány megelőzésére megfelelő módszer lehet pl. az ún. szűrkevizek kezelése és újrahasználata.

## 2. A szűrkevíz

A háztartási szennyvizek esetében megkülönböztetünk a WC-öblítése során keletkező feketevizet (dark water) és a vizes blokkokban, konyhákban keletkező szűrkevizet (greywater), mely utóbbi frakciók nem tartalmaznak fekális eredetű szennyeződések. A szűrkevizet keletkezhetnek tehát mosás, mosogatás és tisztálkodás során. A mosogatás során keletkező szűrkevíz jelentős mértékben tartalmaz ételmaradékokat, zsírokat és a mosogatás során használt mosogatószereket. A mosásból származó vizek nagy koncentrációban tartalmaznak változatos kémiai anyagokat. A tanszéki kutatási, valamint a szakirodalmi adatok alapján a legkevésbé terhelt szűrkevízfrakciók egyértelműen a fürdés/zuhanzás során keletkeznek, amelyek tisztálkodószereket (tusfürdő, sampon, szappan), valamint a bőrfelületről származó zsírokat, olajokat és egyéb szennyeződések tartalmaznak [1–3].

A napi egy főre jutó vízfogyasztás Magyarországon jelenleg 100-110 l/fő körül alakul. A vízfogyasztás kb. 38%-át a tisztálkodás során használjuk fel. Évente a szennyvíztisztító telepekre megközelítőleg 450 millió m<sup>3</sup> szennyvíz kerül. Ennek a 38%-át, közel 171 millió m<sup>3</sup> kevésbé terhelt szennyvíz kezelésével és újrahasználásával jelentős megtakarításra tehetünk szert.

A tisztálkodás során keletkező szennyvizek kezelés után számos módon újrahasználhatjuk. Ezek közül a két legjellemzőbb felhasználás a WC-k öblítése és az öntözés [4, 5].

A fentiek alapján a kutatásunk alapjául a fürdővizet választottuk, mint kezelendő és újrahasznosítandó frakció, változatos kezelést alkalmazva újrahasználatként pedig csiránövények segítségével az öntözési megoldást tanulmányoztuk.

## 3. Anyag és módszertan

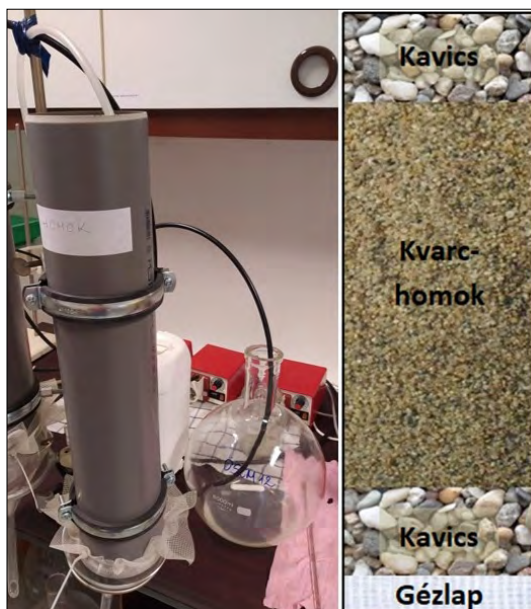
Vizsgálataink alapját a Debreceni Egyetem Műszaki Karának Környezetmérnöki Tanszék kutatócsoportja által kialakított receptúra által létrehozott szintetikus fürdővíz képezi. A kapott szintetikus fürdővíz vízminőségi paraméterei jól reprezentálják a mindennapok során keletkező fürdővizet tulajdonságait. A fürdővizet két formában hoztuk létre: hagyományos tisztálkodószerek, illetve ún. öko-tisztálkodószerek mint

alkotó összetevők felhasználásával, ezen komponensek ivóvízben történő feloldásával [1, 6, 7]

Az állandó összetételű, mesterségesen létrehozott fürdővizet első kísérleti fázisban egyszerű gravitációs szűréssel (1. ábra) kezeltük, amelyhez kvarchomokréteget alkalmaztunk [8].

A folyamatos kezelési hatások nyomon követése érdekében vizsgáltuk a létrehozott fürdővizet kezelt és kezeletlen formában, továbbá a fürdővíz alapját képező ivóvizet is analizáltuk. A mérések során a következő vízminőségi paramétereket vizsgáltuk: pH, zéta-potenciál, fajlagos elektromos vezetőképesség, zavarosság, biológiai oxigénigény (BOI<sub>5</sub>), összes szerves széntartalom (T/DOC) és ANA-detergens-tartalom. A pH méréséhez WTW SenTix 41-3 pH-mérő elektródát, a zéta-potenciálhoz, illetve a fajlagos elektromos vezetőképességhez a Zetasizer Nano Z készüléket, a BOI<sub>5</sub> esetén OxiTop IS 12 manometrikus BOI-mérő üvegeket, és az összes szerves széntartalom mérésére Shimadzu TOC-V<sub>CPN</sub>-típusú készüléket használtunk. Az ANA-detergens-tartalom meghatározására az ISO 2271:1989 szabványt alkalmaztuk [9, 10].

Újrahasználási célként az öntözést tűztük ki, ezért csíráztatási kísérleteket végeztünk fehér mustármagvakon. Öntözővízként a kezeletlen és kezelt szintetikus fürdővizet használtuk, továbbá kontrollvizsgálatként ivóvizet is végeztünk. A kísérlet mind a hagyományos, mind az ún. öko-tisztálkodószereket tartalmazó fürdővízzel



1. ábra. Kvarchomok-szűrőközeg

meg történt. A szabvány szerinti csíráztatás 72 órán keresztül történt, amit ezután csíraanalízis követett [11]. A vizsgálat során a következő jellemzőket mértük: kicsírázott magvak száma, gyökér-, illetve szárhossz, nedvességtartalom, nedves-, illetve száraz biomasszatömeg, továbbá a csírák elemanalízise (Agilent ICP-OES-készülékkel) is meg történt [10].

A kezelés során folyamatosan követtük a vízminőségi jellemzők változását, amelyből megállapítottuk, hogy az első kísérleti fázisban alkalmazott szűrés nem elégséges. Így a továbbiakban kémiai kezelést alkalmaztunk koagulációs kísérletek bevonásával. Első lépésként a zéta-potenciál mérésével megállapítottuk az optimális koagulálószer mennyiségét, ezzel biztosítva a későbbi összetett kezeléseink során optimális kezelőszer-mennyiséget.

#### 4. Következtetések

Vizsgálataink alkalmával 2 mérésorozatot végeztünk, mind a hagyományos, mind az öko-tisztálkodószereket tartalmazó fürdővízminták segítségével. A minták analizálása során kapott eredményeket jelen fejezetben ismertetjük.

##### 4.1. Vízminőségi paraméterek változásai a kezelés hatására

A kezeletlen szintetikus fürdővíz pH-ja  $7,81 \pm 0,03$ , míg az ökoszintetikus fürdővízé  $8,10 \pm 0,2$  volt. A kvarchomokon történő szűrés hatására minimálisan csökkent a pH; a szintetikus minta esetében  $7,61 \pm 0,04$ -re, míg az öko-tisztálkodószereket tartalmazó minták pH-ja  $7,73 \pm 0,05$ -re változott.

A zéta-potenciál mérésekor a szintetikus minta esetében minimális csökkenés következett be a szűrés hatására,  $(-12,4) \pm 2,3$  mV-ról  $(-12,1) \pm 1,6$  mV-ra. Ezzel ellentétben az ökoszintetikus minták esetén jelentős csökkenést figyeltünk meg. A kezeletlen minta zéta-potenciálja  $(-31,4) \pm 0,4$  mV volt, majd a kezelés hatására ez az érték kb. a felére csökkent, és a zéta-potenciál értéke  $(-15,6) \pm 1$  mV lett.

A minták fajlagos elektromos vezetőképessége mind a két mintacsoport esetén a kezelés eredményeként ugyancsak csökkenést mutatott. A szintetikus minta kezelés előtt átlagosan  $897 \pm 0,03$   $\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{t}$ , míg az ökoszintetikus fürdővíz  $881 \pm 0,06$   $\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{t}$  mutatott. A szűrésnek köszönhetően ezek a paraméterek előbbi esetben  $754 \pm 0,08$   $\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{re}$ , míg utóbbi esetben  $730 \pm 0,1$   $\mu\text{S}/\text{cm}\cdot\text{re}$  csökkentek.

A két mintacsoport összes szerves széntartalma (T/DOC) közel megegyezett: a szintetikus mintá-

ké átlagosan  $72 \pm 1$  mg/l míg az ökoszintetikus mintáké  $70 \pm 4$  mg/l volt. A kezelés után is szinte azonos értékre csökkent az összes szerves széntartalom. A szintetikus fürdővizek esetében ez  $17 \pm 1$  mg/l-t, az ökoszintetikus fürdővízminták esetén  $22 \pm 2$  mg/l-t jelentett.

A környezetbe kerülő szennyvizek esetében fontos megemlítenünk a fürdővíz ANA-detergens-tartalmát. A fürdővíz detergenstípusú szennyezői jelentős káros hatással lehet környezetünkre, természetes vízforrásainkra [12]. Az anionaktív detergenstartalom mérése során megállapítottuk, hogy az ökoszintetikus minták detergenstartalma ( $51 \pm 1$  mg/l) kétszerese a hagyományos tisztálkodószereket tartalmazó vízmintáékénak ( $22 \pm 1$  mg/l). Szűrést követően mérés határ alatti értéket kaptunk.

A nemzetközi szakirodalmak két vízminőségi paraméter esetén adnak ajánlást a szürkevíz kezelését, illetve újrahasznosítását illetően. Az egyik ilyen paraméter a biológiai oxigénigény ( $\text{BOI}_5$ ), amely jól reprezentálja a fürdővíz biológiailag bontható szervesanyag-tartalmát. Az ajánlás alapján az újrahasználat feltétele a 10 mg/l alatti  $\text{BOI}$ -érték. A szintetikus minták szűrés előtti  $\text{BOI}$ -értéke  $120 \pm 28$  mg/l volt, majd szűrés után ez az érték  $60 \pm 1$  mg/l-re, míg az ökoszintetikus fürdővizek esetén  $154 \pm 19$  mg/l-ről  $75 \pm 16$  mg/l-re csökkent. Megállapítottuk, hogy a fenti ajánlás alapján a minták további kezelést igényelnek.

A másik lényeges vízminőségi jellemző a zavarosság értéke. Az Egyesült Államokban jelenleg hatályban lévő szabályozás szerint az újrahasználatra szánt vizek zavarossága max. 5 NTU, átlagértéke 2 NTU lehet [13]. A kezeletlen minták esetén megállapítottuk, hogy a hagyományos tisztálkodószereket tartalmazó vízminták ( $46,7 \pm 2,5$  NTU) zavarossága közel háromszor nagyobb, mint az ökoszintetikus vízmintáké ( $15,8 \pm 0,1$  NTU). Kezelés után a minták zavarossága  $2,5 \pm 1,1$  NTU-ra, illetve  $2,7 \pm 0,6$ -ra csökkent, azaz az elvárt felső határ alá sikerült csökkentenünk a vízminták zavarosságát, viszont a javasolt 2 NTU-zavarossági értéket még nem sikerült ezzel a kezeléssel teljesítenünk [7, 14].

##### 4.2. Csíráztatási kísérletek

Kutatómunkánkban a kezelést követő újrahasználati célként az öntözést tűztük ki, csíráztatási kísérleteket végeztünk fehér mustármagvakon. Az öntözést kezeletlen és kezelt szintetikus fürdővízmintákkal, illetve ivóvízzel is elvégeztük. Minden öntözővíztípushoz 3-3 Petri-csészét használtunk, melyekbe 25-25 db azonos nagyságú és

kinézetű mustármagot készítettünk elő (2. ábra). A szabványos kísérlet időtartama 72 óra volt, az öntözés naponta 10 ml vízmintával történt.

A magvakból kinőtt csírákat megvizsgáltuk, a mérési adatok alapján pedig megállapítottuk, hogy öntözést megelőzően a fürdővizet mindenféleképpen szükséges kezelni. Az összehasonlítást az ivóvízzel öntözött csírákhoz viszonyítva végeztük el.

Az 1. táblázat a gyökérrészek hosszát, illetve a gyökérhossz százalékos változását mutatja be. A gyökérhossz a kontrollivóvíz esetén átlagosan  $19 \pm 2$  mm és  $23 \pm 2$  mm volt. A szintetikus vízminták esetén a kezeletlen fürdővízzel öntözött csírák gyökérhossza a kontrollhoz képest 37,2%-os csökkenést, míg a kezelt mintáké 14,4%-os túlnövekedést mutatott.

Az ökoszintetikus vízmintákkal öntözött csírák gyökérhosszával kapcsolatosan megállapítottuk, hogy a szintetikus mintákhoz hasonlóan, a kezeletlen fürdővízzel öntözés a csírák gyökérhosszára 35,5%-os csökkenéssel bírt, míg a kezelt mintákkal öntözött csírák esetében 7,5%-os túlfejlődést figyeltünk meg a kontrollivóvízzel öntözött mintákhoz képest.

A 2. táblázat alapján a szárhossz változásait elemeztük. A kontrollivóvízzel öntözött csírák szárhosszai átlagosan  $19,0 \pm 1,5$  mm és  $23,3 \pm 1,4$  mm voltak. Ehhez az értékhez képest a kezeletlen hagyományos tisztálkodószereket tartalmazó mintákkal öntözött csírák szárhosszai 33,5%-os, míg az öko-tisztálkodószereket tartalmazó mintákkal öntözött csírák szárhosszai 42,3%-os csökkenést mutattak. A kezelt minták mind a két mintacsoport esetében túlfejlődést jeleztek, 8,9%-ot, illetve az ökoszintetikus mintákkal való öntözés esetében 2,4%-ot.

További vizsgálatainkban a csíraminták nedves, illetve száraz biomaszatömegét és az ebből meghatározható nedvességtartalmat elemeztük. Az alábbi táblázatok a gyökér- és a szár rész nedvességtartalmát szemléltetik.

A gyökérrész esetében (3. táblázat) jelentősebb eltérés a kezeletlen mintákkal történő öntözések esetében figyelhető meg. A több mint 10%-os eltérés azzal a jelenséggel magyarázható, hogy a kezeletlen fürdővizekben jelenlévő detergenstartalom eltömíthette a gyökérrész nedvességfelvevő pórusait, így kevesebb nedvességhez jutottak ezek a csírák.

A szár részek nedvességtartalmai (4. táblázat) közel hasonló eredményeket mutattak a gyökérrészekhez, feltételezhető, hogy ezen minták esetében a gyökérrészből nem jutott elég nedvesség a szár részbe. Az eltérés ebben az esetben is közel 10%-os.



2. ábra. A fehér mustármagcsírák fejlődési folyamatai

1. táblázat. Gyökérrészek hosszára vonatkozó adatok

GYÖKÉR	Szintetikus fürdővíz	Változás	Ökoszintetikus fürdővíz	Változás
	mm Átlag±SD	%	mm Átlag±SD	%
Ivóvíz	19,45±2,36	-	23,43±1,73	-
Kezeletlen	12,22±2,16	-37,17	15,12±1,36	-35,47
Kezelt	22,26±1,72	+14,42	25,18±0,59	+7,46

2. táblázat. Szár részek hosszára vonatkozó adatok

SZÁR	Szintetikus fürdővíz	Változás	Ökoszintetikus fürdővíz	Változás
	mm Átlag±SD	%	mm Átlag±SD	%
Ivóvíz	19,0±1,5	-	23,3±1,4	-
Kezeletlen	12,7±0,3	-33,5	13,5±0,1	-42,3
Kezelt	20,7±1,2	+8,9	23,9±1,6	+2,4

3. táblázat. Gyökérrészek nedvességtartalma

GYÖKÉR	Szintetikus fürdővíz	Ökoszintetikus fürdővíz
	Nedvességtartalom	
	% Átlag±SD	
Ivóvíz	94,54±0,29	93,13±1,91
Kezeletlen	85,89±2,01	85,46±0,96
Kezelt	94,59±0,79	93,81±1,33

4. táblázat. Szár részek nedvességtartalma

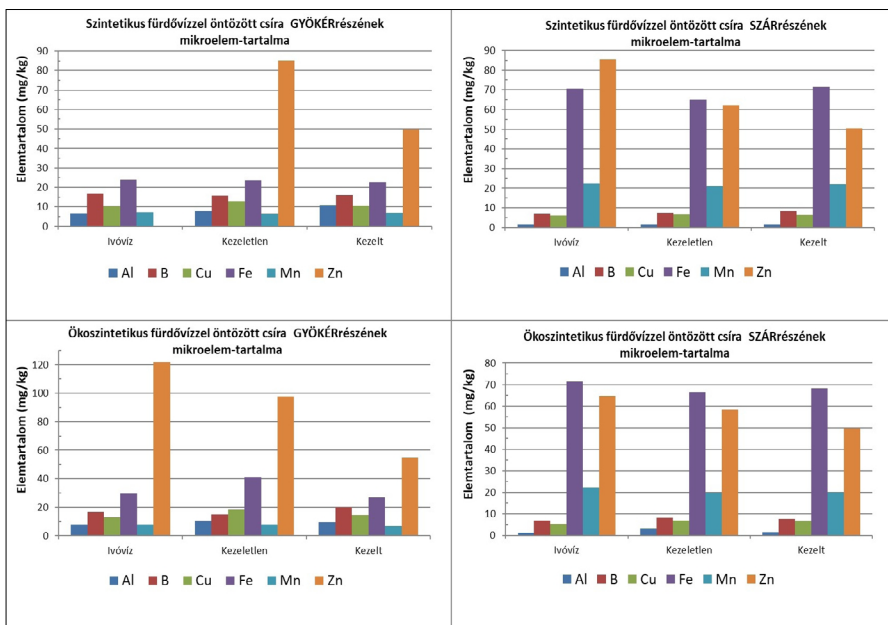
SZÁR	Szintetikus fürdővíz	Ökoszintetikus fürdővíz
	Nedvességtartalom	
	% Átlag±SD	
Ivóvíz	76,6±0,7	74,5±1,8
Kezeletlen	66,4±1,9	63,7±1,6
Kezelt	79,8±0,2	75,6±3,1

A csírákon elemanalitikai vizsgálatokat is végeztünk, abból a célból, hogy feltérképezzük az öntözővíz hatását a mikro-, illetve makroelem-tartalomra.

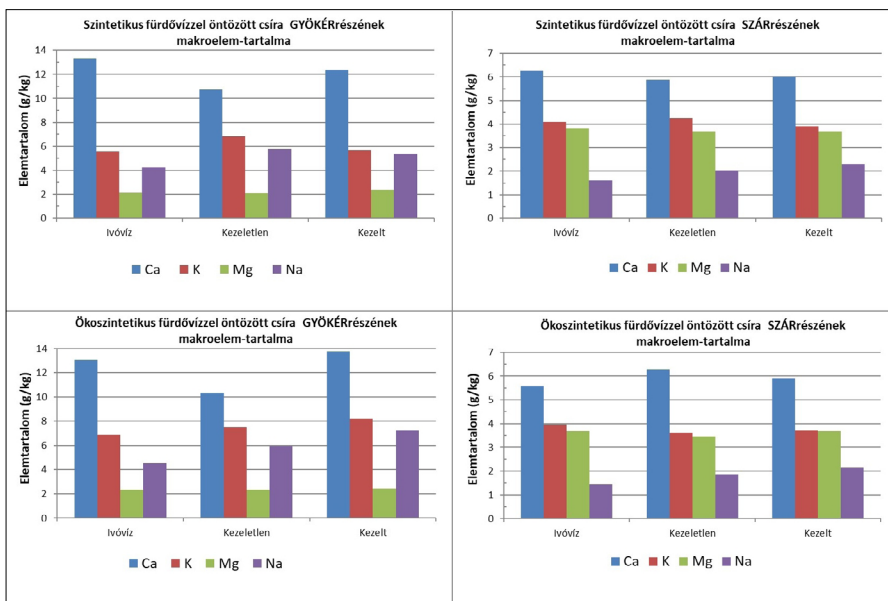
A mikroelemek (3. ábra) közül a szárrészben jelentős mennyiségben a vas, a cink és a mangán,

míg a gyökérrészekben a bór, a réz, a vas és a cink volt azonosítható.

A makroelem-koncentrációkat értékelve (4. ábra) megfigyeltük, hogy a szárrészekben leginkább a kalcium, a kálium és a réz raktározódik el, míg a gyökérrészek esetében nagy koncentrációt mutatott a kalcium, a kálium és a vas.



3. ábra. Mikroelemek mennyisége az egyes növényi részekben



4. ábra. Makroelemek mennyisége az egyes növényi részekben

### 4.3. Koaguláció

Az kísérleteink kezdetén egyszerű homokszűrővel kezeltük a szintetikus úton előállított fűdővízmintákat. A kezelés hatékonysága a nemzetközi ajánlásokat figyelembe véve nem bizonyult elégségesnek, így vegyszeres kezeléssel terveztük kiegészíteni a szűrési műveletet. Vegyszeres kezelésként vas(III)-kloriddal végzett koagulációt választottuk, amellyel a mintákban található oldott komponensek oldatlan csapadékká alakíthatóak, üleptíthetőek és kiszűrhetőek [15].

Kezdeti lépésként a szükséges koagulálószer optimális mennyiségét határoztuk meg ún. zéta-potenciál-méréssel. A koaguláció abban az esetben nevezhető sikeresnek, ha a kezelt minták zéta-potenciálja  $-5$  mV és  $5$  mV közé esik, illetve elérjük az ún. izoelektromos pontnak megfelelő  $0$  mV zéta-potenciált.

Az eljáráshoz  $25$  g/l koncentrációjú vas(III)-klorid törzsoldatot ( $\text{FeCl}_3 \times 6\text{H}_2\text{O}$ -ból készítve) alkalmaztunk. Az optimális kezelőszer mennyiségének megállapításához koagulációs kísérleteket végeztünk, melynek tapasztalatai a 5. ábrán láthatóak.

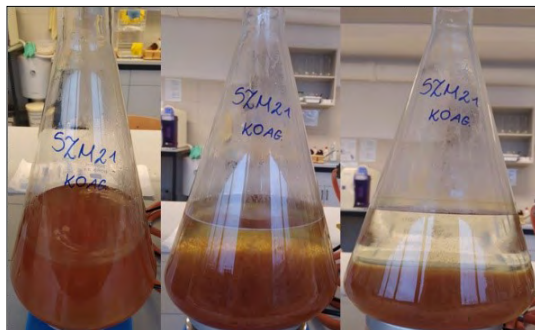
A szintetikus fűdővízminták esetén (6. ábra) az optimális koagulálószer mennyisége  $-5$  mV és  $5$  mV közötti tartományban minimum  $90$  mg/l és maximum  $99$  mg/l koncentráció értékekben adható meg.

Az ökoszintetikus fűdővízminták (7. ábra) esetén  $94$ – $107$  mg/l  $\text{Fe}^{3+}$ -adagolása szükséges.

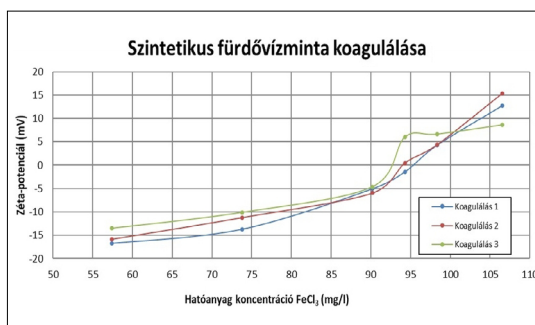
További kutatómunkánkban a fent ismertetett eredmények alapján 11 helyett 41 mintákon tervezzük a koagulációs kísérleteinket követően homokszűrővel jelentősen javítani a kezelt fűdővíz minőségét. Ez által nagy valószínűséggel tudjuk teljesíteni a nemzetközi ajánlásokban szerepeltetett paraméterek határértékeit. A léptéknövelést követően újabb csíráztatási, esetlegesen fejlettebb növények termesztési kísérleteinek elvégzését tervezzük.

### Köszönetnyilvánítás

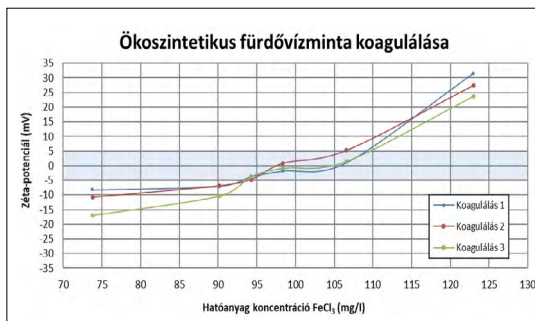
Köszönjük Dr. Baranyai Edinának és Sajtos Zsófiának, hogy a kutatómunkánk során segítségünkre voltak a minták elemtartalmának vizsgálatában. A publikáció és a prezentáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.



5. ábra. Koaguláció folyamata. A minta a koagulálószer hozzáadása után kevertetve, üleptítés közben és üleptítés után.



6. ábra. Hagyományos tisztálkodószereket tartalmazó fűdővízminták koagulációja



7. ábra. Öko-tisztálkodószereket tartalmazó fűdővízminták koagulációja

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Bodnár I., Boros N., Fehérné Baranyai E., Fórián S., Izbékiné Szabolcsik A., Jolánkai G., Keczánné Üveges A., Kocsis D.: *Épületek csapadékvizeinek és szürkevízeinek vizsgálata az Észak-Alföld régióban környezetbarát és energiahatékony hasznosítás céljából*. In: Kalmár F. (szerk.): *Fenntartható energetika megújuló energiaforrások optimalizált integrálásával*. Akadémiai Kiadó, Budapest. 2014. 167–201.

- [2] Allen L., Christian-Smith J., Palaniappan M.: *Overview of Greywater Reuse: the Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management*. Pacific Institute, 654/1. (2010) 19–21.
- [3] Bilson S.: *How Greywater Systems Work*. ProQuest, 1998.
- [4] Winward G. P., Avery L. M., Frazer-Williams R., Pidou, M., Jeffrey P., Stephenson T., Jefferson B.: *A Study of the Microbial Quality of Grey Water and an Evaluation of Treatment Technologies for Reuse*. *Ecological Engineering*, 32/2. (2008) 187–190.
- [5] Barker-Reid F., Harper G. A., Hamilton A. J.: *Affluent Effluent: Growing Vegetables with Wastewater in Melbourne, Australia—a Wealthy but Bone-Dry City*. *Irrigation and Drainage Systems*, 24/1. (2010) 79–94.
- [6] Bodnár I., Szabolcsik A., Baranyai E., Uveges A., Boros N.: *Qualitative Characterization of the Household Greywater in Northern Great Plain Region of Hungary*. *Environmental Engineering and Management Journal*, 13/11. (2014) 2717–2724. <https://doi.org/10.30638/eemj.2014.302>
- [7] Szabolcsik A., Baranyai E., Bodnár I.: *Utilization of Modern Analytical Techniques for the Analysis of House-Hold Generated Greywater Samples*. *International Review Of Applied Sciences And Engineering*, 6/1. (2015) 53–59.
- [8] Dubey A. K., Sahu O.: *Review on Natural Methods for Waste Water Treatment*. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 8/1. (2014) 89–97. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=283232412009>
- [9] Ghaitidak D. M., Yadav K. D.: *Characteristics and Treatment of Greywater – a Review*. *Environmental Science and Pollution Research*, 20/5. (2013) 2795–2809. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1533-0>
- [10] Finley S., Barrington S., Lyew D.: *Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 199/1. (2009) 235–245. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9874-x>
- [11] MSZ 22902-4: *Víztoxikológiai vizsgálatok*, 1990.
- [12] Bhairi S. M., Mohan C.: *Detergents: A Guide to the Properties and Uses of Detergents in Biology and Biochemistry*. EMD Biosciences, San Diego, CA, 2007.
- [13] USEPA (United States Environmental Protection Agency), *Guidelines for Water Reuse*. Report EPA/625/R-04/108, USEPA, Washington, DC, USA. 2004.
- [14] Oron G., Adel M., Agmon V., Friedler E., Halperin R., Leshem E., Weinberg D.: *Greywater Use in Israel and Worldwide: Standards and Prospects*. *Water Research*, 58, (2014) 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.032>
- [15] Ghaitidak D. M., Yadav K. D.: *Reuse of Greywater: Effect of Coagulant*. *Desalination and Water Treatment*, 54/9. (2015) 913–925. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.924036>

# Hat szabadságfokos robotkarprototípus-modellezés Matlab által

## Six DOF Robotic Arm Prototype Modelling By Matlab

Alaa Saadah,<sup>1</sup> Husi Géza<sup>2</sup>

*Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Mechatronika Tanszék, Debrecen, Magyarország*

<sup>1</sup> [alaa.saadah@eng.unideb.hu](mailto:alaa.saadah@eng.unideb.hu)

<sup>2</sup> [husigeza@eng.unideb.hu](mailto:husigeza@eng.unideb.hu)

---

### Abstract

The study in this paper allows us to control the manipulator and achieve any desired position and orientation. The Forward Kinematics was done using Denavit Hartenberg (DH) parameters, also the forward kinematics equations and homogenous transformation matrix was validated using MATLAB Toolbox. The modeling was carried out using the Peter Corke robotics toolbox.

Finally, the forward kinematic study and the robot arm's movement equations were compared with practical measurements to make sure it fulfilled the desired purpose and that it could point to the desired coordinates with a precision of  $\pm 0.5$  cm.

**Keywords:** *6-DOF Industrial manipulator, Forward Kinematics, Peter Corke robotics toolbox.*

### Összefoglalás

A tanulmány ebben a cikkben lehetővé teszi számunkra, hogy vezéreljük a manipulátort, és elérjünk minden kívánt helyzetet és orientációt.

A forward kinematics Denavit Hartenberg (DH)-paraméterekkel készült, a forward kinematics-egyenleteket és a homogén transzformációs mátrixot is validálták a MATLAB Toolbox segítségével. A modellezés pedig Peter Corke Robotics toolbox által lett elvégezve.

Végül a forward kinematics-vizsgálat és a robotkar mozgásának egyenletei gyakorlati mérésrel lettek kiegészítve, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy teljesítik-e a kívánt célt, és  $\pm 0,5$  cm-es pontossággal mutat a kívánt koordinátákra.

**Kulcsszavak:** *6-DOF Industrial manipulator, Forward Kinematics, Peter Corke robotics toolbox.*

---

### 1. Bevezetés

A robotkinematika alapvető eszközei a robotot alkotó kinematikai láncok kinematikai egyenletei. Ezeket a nemlineáris egyenleteket arra használják, hogy feltérképezzék a közös paramétereket a robotrendszer konfigurációjához. A kinematikai egyenleteket a csontváz biomechanikájában és a csuklós karakterek számítógépes animációjában is használják.

A forward kinematics egy robot kinematikai egyenleteit használja a end-effector helyzetének kiszámításához az együttes paraméterek megha-

tározott értékeiből. Mivel ebben a 21. században nagy a kereslet a kiváló minőségű és nagy pontosságú termékekre az ügyfelek által, ezért számos iparág manapság a robotkar futószalagra való telepítésére és a gyorsabb termelésre fordította a figyelmét.

A robotrendszer egyik legnagyobb kihívást jelentő problémája a kinematikai vizsgálat, különösen az inverz kinematika, amely az adott robotkonfigurációk közös szögeinek megtalálásával foglalkozik.

Az ipari robot manipulátora egy sor kötésből és kapcsolatból áll, az ABB IRB 4400 manipulátor

prototípusa a manipulátor fizikai felépítésének különböző kötéseinek és kapcsolatainak tanulmányozásával foglalkozik.

## 2. Forward Kinematics

A forward kinematics-probléma a robotmanipulátor egyes ízületei és a szerszám vagy end-effector helyzete és tájolása közötti kapcsolattal foglalkozik [1].

### 2.1. Kapcsolatok és ízületek

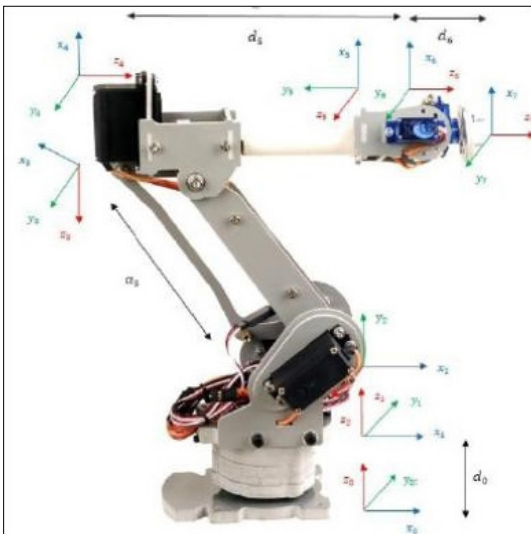
Formálisabban fogalmazva, a forward kinematics problémája a end-effector helyzetének és tájolásának meghatározása, figyelembe véve a robot ízületi változóinak értékeit. Az ízületi változók a kapcsolatok közötti szögek prizmás vagy csúszó esetben [2].

A forward kinematics meghatározza a közös paramétereket, és kiszámítja a lánc konfigurációját. Soros manipulátorok esetében ez úgy érhető el, hogy az ízületi paramétereket közvetlenül a soros lánc forward kinematics egyenleteibe helyettesítik.

A robotmechanizmusok széles skálája írható le az ízületek és az ízületi típusok elrendezésének kategorizálásával. Jelenleg figyelmen kívül hagyjuk a kapcsolatok méretét és alakját, és egyszerűen a széles kategorizálásra összpontosítunk [3].

Először is, három tipikus közös típus létezik, amelyek mindegyike leírja a relatív transzformációk formáját a két kapcsolat között, amelyhez kapcsolódik:

- Revolute: a csatolt kapcsolatok egy közös tengely körül forognak;



1. ábra. Robotkarkeret hozzárendelése

- Prismatic: a csatolt kapcsolatok egy közös tengely körül mozognak;
- Spherical: a csatolt kapcsolatok egy pont körül forognak.

Az  $n$  csuklóval rendelkező robotkar  $n+1$  kapcsolattal rendelkezik, mivel minden egyes ízület két kapcsolatot kapcsol össze. Az ízületeket 1-től  $n$ -ig, a kapcsolatokat 0-tól  $n$ -ig számozzuk az alaptól kezdve.

Eszerint, “joint  $i$  connects link  $i-1$  to link  $i$  moves”. Tehát, kapcsolat 0 – az első kapcsolat rögzített és nem mozog, ha az ízületet működtetik.

### 2.2 Denavit Hartenberg

Négy elsődleges transzformációtól függően kapjuk meg a  $T_i$ -t:

$$T_i = Rot(z, \theta_i) Trans(z, d_i) Trans(x, a_i) Rot(x, \alpha_i)$$

Tehát átvihetjük az  $i$  frame-ről az  $i+1$  frame-re.

- $Rot(x, \alpha_i)$ : Forgatás  $x$  tengely körül  $\alpha_i$  szöggel.
- $Trans(x, a_i)$ : Transzformáció  $x$  tengelyen  $a_i$  szöggel.
- $Rot(z, \theta_i)$ : Forgatás  $z$  tengely körül  $\theta_i$  szöggel.
- $Trans(z, d_i)$ : Transzformáció  $z$  tengelyen  $d_i$  szöggel.

A  $T_i$  végső mátrix ezeknek a mátrixoknak a többszöröse lesz. [3]

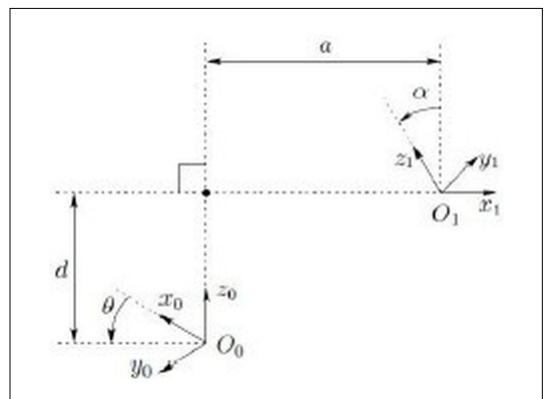
$$T_i = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} & 0 & 0 \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{\alpha_i} & -s_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_i = \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} c_{\alpha_i} & s_{\theta_i} s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i} s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$\alpha_i, \theta_i, d_i, a_i$

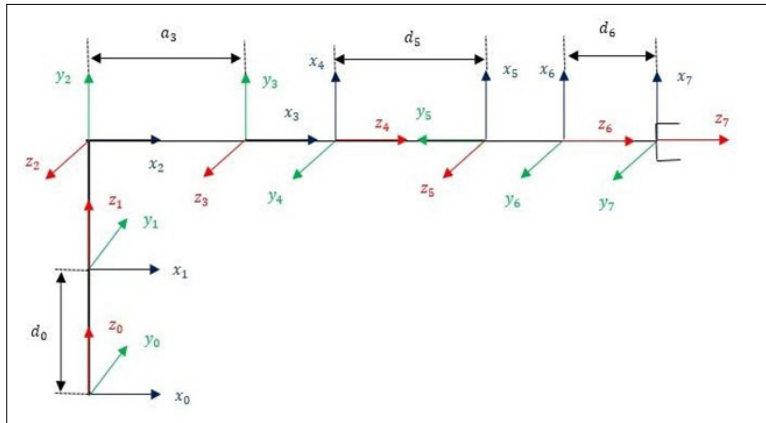
ahol,

- $a_i$ : A távolság  $z_i$  és  $z_{i+1}$  között a  $x_i$  tengelyen.
- $\alpha_i$ : A szög  $z_i$  és  $z_{i+1}$  között a  $x_i$  tengely körül.
- $d_i$ : A távolság  $x_i$  és  $x_{i+1}$  között a  $z_i$  tengelyen.
- $\theta_i$ : A szög  $x_i$  és  $x_{i+1}$  között a  $z_i$  tengely körül.



2. ábra. DH-keret hozzárendelése [1]





3. ábra. A robotkar koordinátakeretei

### 2.3. A robotkar DH-paramétereit

1. táblázat. Denavit Hartenberg-paraméterek [5].

$i$	$\theta_{i-1}$	$d_{i-1}$	$a_i$	$\alpha_i$
1	0	$d_0$	0	0
2	$q_1$	0	0	$90^\circ$
3	$q_2$	0	$a_3$	0
4	$90^\circ + q_3$	0	0	$90^\circ$
5	$q_4$	$d_4$	0	$-90^\circ$
6	$q_5$	0	0	$90^\circ$
7	$q_6$	$d_6$	0	0

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} c_{q_1} & 0 & s_{q_1} & 0 \\ s_{q_1} & 0 & -c_{q_1} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} c_{q_2} & -s_{q_2} & 0 & c_{q_2} a_3 \\ s_{q_2} & c_{q_2} & 0 & s_{q_2} a_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_4^3 = \begin{bmatrix} -s_{q_3} & 0 & c_{q_3} & 0 \\ c_{q_3} & 0 & s_{q_3} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_5^4 = \begin{bmatrix} c_{q_4} & 0 & -s_{q_4} & 0 \\ s_{q_4} & 0 & c_{q_4} & 0 \\ 0 & -1 & 0 & d_5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$T_6^5 = \begin{bmatrix} c_{q_5} & 0 & s_{q_5} & 0 \\ s_{q_5} & 0 & -c_{q_5} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$T_7^6 = \begin{bmatrix} c_{q_6} & -s_{q_6} & 0 & 0 \\ s_{q_6} & c_{q_6} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$T_7^0 = T_1^0 \cdot T_2^1 \cdot T_3^2 \cdot T_4^3 \cdot T_5^4 \cdot T_6^5 \cdot T_7^6 = \begin{bmatrix} \mu_x & O_x & \alpha_x & p_x \\ \mu_y & O_y & \alpha_y & p_y \\ \mu_z & O_z & \alpha_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \mu_x &= -c_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} + c_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} \\ &\quad - c_{q_1} c_{q_2} c_{q_3} s_{q_5} c_{q_6} - c_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} \\ &\quad + c_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} + c_{q_1} s_{q_2} s_{q_3} s_{q_5} c_{q_6} \\ &\quad + s_{q_1} s_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} + s_{q_1} c_{q_4} s_{q_6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_y &= -s_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} + s_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} \\ &\quad - s_{q_1} c_{q_2} c_{q_3} s_{q_5} c_{q_6} - s_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} \\ &\quad + s_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} + s_{q_1} s_{q_2} s_{q_3} s_{q_5} c_{q_6} \\ &\quad - c_{q_1} s_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} - c_{q_1} c_{q_4} s_{q_6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_z &= -s_{q_2} s_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} + s_{q_2} s_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} \\ &\quad - s_{q_2} c_{q_3} s_{q_5} c_{q_6} + c_{q_2} c_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} c_{q_6} \\ &\quad - c_{q_2} c_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} - c_{q_2} s_{q_3} s_{q_5} c_{q_6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_x &= c_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} s_{q_6} + c_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} \\ &\quad + c_{q_1} c_{q_2} c_{q_3} s_{q_5} s_{q_6} + c_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} s_{q_6} \\ &\quad + c_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} - s_{q_1} s_{q_4} c_{q_5} s_{q_6} \\ &\quad + s_{q_1} c_{q_4} c_{q_6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_y &= s_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} c_{q_4} s_{q_6} + s_{q_1} c_{q_2} s_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} \\ &\quad + s_{q_1} c_{q_2} c_{q_3} s_{q_5} s_{q_6} + s_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} s_{q_6} \\ &\quad + s_{q_1} s_{q_2} c_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} - s_{q_1} s_{q_2} s_{q_3} s_{q_5} s_{q_6} \\ &\quad + c_{q_1} s_{q_4} c_{q_5} s_{q_6} - c_{q_1} c_{q_4} c_{q_6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} O_z &= s_{q_2} s_{q_3} c_{q_4} s_{q_6} + s_{q_2} s_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} \\ &\quad + s_{q_2} c_{q_3} s_{q_5} s_{q_6} - c_{q_2} c_{q_3} c_{q_4} c_{q_5} s_{q_6} \\ &\quad - c_{q_2} c_{q_3} s_{q_4} s_{q_6} + c_{q_2} s_{q_3} s_{q_5} s_{q_6} \end{aligned}$$

$$a_x = -c_{q_1}c_{q_2}s_{q_3}c_{q_4}s_{q_5} + c_{q_1}c_{q_2}c_{q_3}c_{q_5} - c_{q_1}s_{q_2}c_{q_3}c_{q_4}s_{q_5} - c_{q_1}s_{q_2}s_{q_3}c_{q_5} + s_{q_1}s_{q_4}s_{q_5}$$

$$a_y = -s_{q_1}c_{q_2}s_{q_3}c_{q_4}s_{q_5} + s_{q_1}c_{q_2}c_{q_3}c_{q_5} - s_{q_1}s_{q_2}c_{q_3}c_{q_4}s_{q_5} - s_{q_1}s_{q_2}s_{q_3}c_{q_5} - c_{q_1}s_{q_4}s_{q_5}$$

$$a_z = -s_{q_2}s_{q_3}c_{q_4}s_{q_5} + s_{q_2}c_{q_3}c_{q_5} + c_{q_2}c_{q_3}c_{q_4}s_{q_5} + c_{q_2}s_{q_3}c_{q_5}$$

$$p_x = -c_{q_1}c_{q_2}s_{q_3}c_{q_4}s_{q_5}d_6 + c_{q_1}c_{q_2}c_{q_3}c_{q_5}d_6 + c_{q_1}c_{q_2}c_{q_3}d_4 - c_{q_1}s_{q_2}c_{q_3}c_{q_4}s_{q_5}d_6 - c_{q_1}s_{q_2}s_{q_3}c_{q_5}d_6 - c_{q_1}s_{q_2}s_{q_3}d_4 + c_{q_1}c_{q_2}a_3 + s_{q_1}s_{q_4}s_{q_5}d_6$$

$$p_y = -s_{q_1}c_{q_2}s_{q_3}c_{q_4}s_{q_5}d_6 + s_{q_1}c_{q_2}c_{q_3}c_{q_5}d_6 + s_{q_1}c_{q_2}c_{q_3}d_4 - s_{q_1}s_{q_2}c_{q_3}c_{q_4}s_{q_5}d_6 - s_{q_1}s_{q_2}s_{q_3}c_{q_5}d_6 - s_{q_1}s_{q_2}s_{q_3}d_4 + s_{q_1}c_{q_2}a_3 - c_{q_1}s_{q_4}s_{q_5}d_6$$

$$p_z = -s_{q_2}s_{q_3}c_{q_4}s_{q_5}d_6 + s_{q_2}c_{q_3}c_{q_5}d_6 + s_{q_2}c_{q_3}d_4 + c_{q_2}c_{q_3}c_{q_4}s_{q_5}d_6 + c_{q_2}s_{q_3}c_{q_5}d_6 + c_{q_2}s_{q_3}d_4 + s_{q_2}a_3 + d_0$$

### 3. A forward kinematics-modell validálása

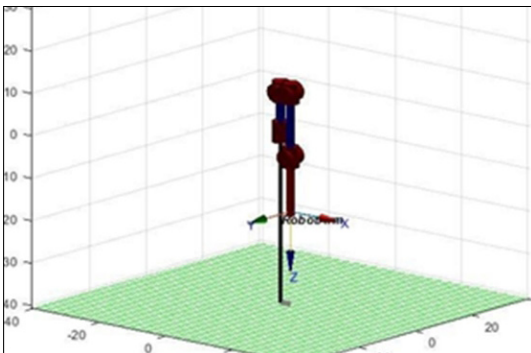
A forward kinematics- és a homogén transzformációs mátrix a MATLAB-bal ellátott Peter Corke Robotics toolbox segítségével lett validálva [6].

Az egyenletek értéke és a vizuális ábrázolások, valamint a Matlabban a robotkar végeffektor-helyzete és tájolása egyértelmű betekintést nyújt a robotkar mozgására [7].

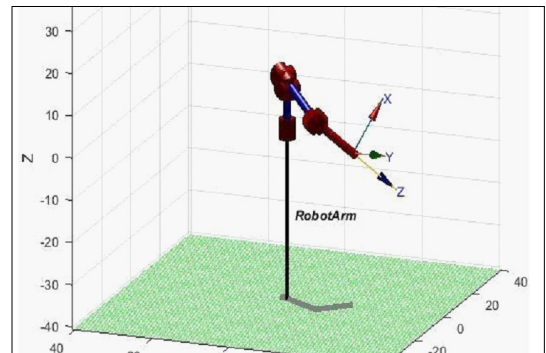
Különböző szögeket állítottak be bemenetként, és az eredmény a következő ábrák szerint lett kialakítva és ábrázolva.

2. táblázat. Különbőféle szögek bemenetként

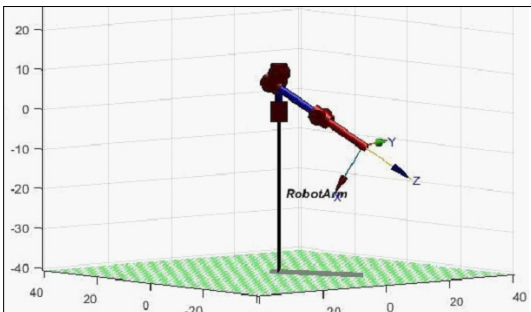
Szög	$q_1$	$q_2$	$q_3$	$q_4$	$q_5$	$q_6$	$q_7$
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	90	-45	0	0	0	0
3	0	45	45	-90	45	45	45
4	0	45	0	-90	45	45	45



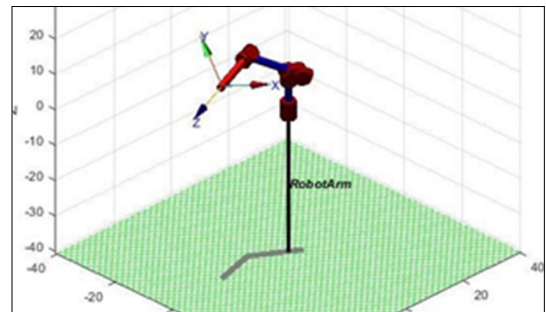
4. ábra. A 2. táblázat 1. esete szerinti ízületi szöveget ábrázolja [2]



6. ábra. A 2. táblázat 3. esete szerinti ízületi szöveget ábrázolja [2]



5. ábra. A 2. táblázat 2. esete szerinti ízületi szöveget ábrázolja [2]



7. ábra. A 2. táblázat 4. esete szerinti ízületi szöveget ábrázolja [2]

#### 4. Összefoglalás

A forward kinematics-modellt MATLAB-okkal validálták. A forward kinematics-modell eredménye megegyezik a homogén transzformációs mátrix script-eredményével. [9] A modelltől kapott pozíciókat összehasonlították a robot tényleges teljesítményével, hogy érzékeljék az end-effector pozícióját és a tájolást. A robot  $\pm 0,5$  cm-en belül éri el a pozíciópontosságot, ez a kis eltérés több okból is van, például az illesztések mechanikus összekapcsolása és a leképezési szögek nemlinearitása, az alacsony szintű encoder tickig.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Shrivastava S.: *Forward Kinematics of Articulated Robotic Arm*. International Journal of Research and Scientific Innovation, IV/VIII. (2017) 78–82.
- [2] Iqbal J., Islam R., Khan H.: *Modeling and Analysis of a 6 DOF Robotic Arm Manipulator*. Canadian Journal on Electrical and Electronics Engineering, 3/6. (2012) 300–306.
- [3] Zhang D., Wei B.: *A Review on Model Reference Adaptive Control of Robotic Manipulators*. Annual Reviews in Control, 43. (2017) 188–198.
- [4] Hou Z.: *Kinematics Analysis and Self-Collision Detection of Truss Type Multi-Robot*. In: 52<sup>nd</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems, Shanghai, China, 2019.
- [5] Saadah A., Husi G.: *Computing The Kinematics Study of a 6 DOF Industrial Manipulator Prototype By Matlab*. Recent Innovations in Mechatronics, 7/1. (2020) 1–5.  
<https://doi.org/10.17667/rriim.2020.1/8>.
- [6] Corke P.: *Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms In MATLAB® Second, Completely Revised, Extended And Updated Edition*. Springer, 2017.
- [7] Krishnan M. G.: *Kinematic Analysis and Validation of an Industrial*. In: IEEE TENCON Conference, Kerala, 2019.
- [8] Liu F.: *Kinematic Analysis and Simulation of a 3-DOF robotic*. In: IEEE International Conference on Computational Intelligence and Communication Technology, Ghaziabad, 2017.
- [9] MATLAB 2018a, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.

# Elektromos motorok elektromágneses és dinamikai jellemzőinek mérésére alkalmas mérőrendszer tervezése

## Design of a Measuring System Suitable for Measuring the Electromagnetic and Dynamic Characteristics of Electric Motors

Szántó Attila,<sup>1</sup> Décsei Roland,<sup>2</sup> Kujbus Márton,<sup>3</sup> Fejes Levente,<sup>4</sup> Papcsák Nóra,<sup>5</sup> Sziki Gusztáv Áron<sup>6</sup>

Debreceni Egyetem Műszaki Kar. Debrecen, Magyarország

<sup>1</sup> [szanto.attila@eng.unideb.hu](mailto:szanto.attila@eng.unideb.hu)

<sup>2</sup> [roland.decsei@gmail.com](mailto:roland.decsei@gmail.com)

<sup>3</sup> [kujbusmarci@gmail.com](mailto:kujbusmarci@gmail.com)

<sup>4</sup> [leventefejes1@gmail.com](mailto:leventefejes1@gmail.com)

<sup>5</sup> [papcsak.nora@gmail.com](mailto:papcsak.nora@gmail.com)

<sup>6</sup> [szikig@eng.unideb.hu](mailto:szikig@eng.unideb.hu)

---

### Abstract

Thanks to technological development, and increasingly strict environmental regulations, electric and hybrid vehicles are playing an increasingly important role in road transport. An important part of these vehicles is the electric motor, of which several different types are applied in modern vehicles. To perform the simulation of these motors, it is important to measure their basic electromagnetic and dynamic characteristics, since they are usually not provided by the manufacturers. The above characteristics serve as the input parameters of the simulation program. For the above measurements, a complex measuring system is needed. This motor test bench is also suitable for the static and dynamic testing of the electric motors. In this publication the layout of our own developed test bench is presented.

**Keywords:** *electric motor, measuring system, motor test bench, simulation.*

### Összefoglalás

A technológia fejlődésének, valamint a folyamatosan szigorodó környezetvédelmi előírásoknak köszönhetően, az elektromos és hibrid járművek egyre szélesebb körben terjednek el a közúti közlekedésben. Ezen járművek egyik fő alkotórésze a villanymotor, amelynek számos típusa létezik, és teljesít szolgálatot a modern járművekben. A motorok szimulációjának elvégzéséhez fontos az alapvető elektromágneses és dinamikai paramétereik ismerete, mely adatokat a gyártók legtöbbször nem adják meg. Így ezeket kísérleti úton kell meghatározni, melyhez egy összetett mérőrendszer szükséges. Az említetteken túl, egy ilyen motorteszt-pad alkalmas még a különböző típusú elektromos motorok statikus vagy dinamikus tesztelésére. Jelen publikációban az általunk fejlesztett teszt-pad felépítését mutatjuk be.

**Kulcsszavak:** *elektromos motor, mérőrendszer, motorteszt-pad, szimuláció.*

---

## 1. Bevezetés

Napjainkban a közúti közlekedésben egyre szélesebb körben alkalmazzák a különböző alternatív hajtású járművek. Ezek közül leginkább

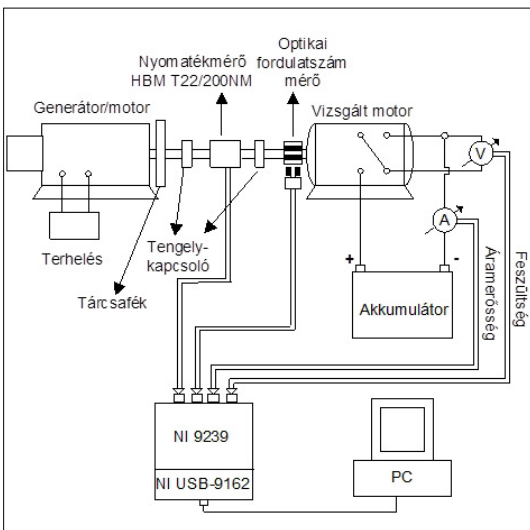
az elektromos és hibrid hajtásúak terjedtek el, köszönhetően az akkumulátorok, valamint az elektromos és hibrid rendszerek gyors fejlődésének. [1] Ezeknek a rendszereknek fontos része az

elektromos motor, így ezek vizsgálata az egyetemi kutatásokban is fontos szerepet játszik.

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán is több kutatócsoport foglalkozik korszerű járműhajtások vizsgálatával, modellezésével és szimulációjával. Az elért eredményeket egyebek mellett az alternatív hajtású járművek számára tervezett országos és nemzetközi versenyeken is kamatoztathatjuk. A tudatosabb tervezés és ezáltal az eredményesebb versenyzés érdekében Matlab/Simulink-környezetben [2, 3] kifejlesztettünk egy járműdinamikai szimulációs programot, amely a jármű műszaki adataiból előállítja a jármű menetdinamikai függvényeit. A programot felhasználva optimalizálhatjuk a jármű, illetve a hajtáslánc műszaki jellemzőit egy adott versenyfeladathoz.

A szimulációs program fontos része a jármű hajtásláncának, ezen belül motorjának szimulációja. [4–7] Ahhoz, hogy a szimulációs programot le tudjuk futtatni, ismerni kell a villanymotorok alapvető elektromágneses és dinamikai paramétereit, karakterisztikáit. Ezeket a legtöbb esetben a gyártók nem közlik, így kísérleti úton kell őket meghatározni. Ehhez egy olyan mérőrendszerre (motorvizsgáló tesztpadra) van szükség, mely alkalmas különböző típusú, elektromos hajtásláncokban alkalmazott villanymotorok tesztelésére, paramétereinek, karakterisztikáinak meghatározására.

Jelen közleményben bemutatjuk az általunk fejlesztett mérőrendszer felépítését, részegységeit és működését.



1. ábra. A mérőrendszer elvi vázlata

## 2. Mérőrendszer elvi vázlata

A különböző típusú villanymotorok teszteléséhez, elektromágneses és dinamikai paramétereinek, karakterisztikáinak meghatározásához egy összetett mérőrendszerre van szükség. Fontos, hogy a különböző típusú motorokhoz és mérésekhez rugalmasan tudjuk változtatni a mérőrendszer egyes paramétereit. A tervezett mérőrendszer egyszerűsített elvi vázlatát az 1. ábra szemlélteti, amely a kivitelezés során még bővíthető/módosulhat, illeszkedve az egyedi mérési feladatokhoz.

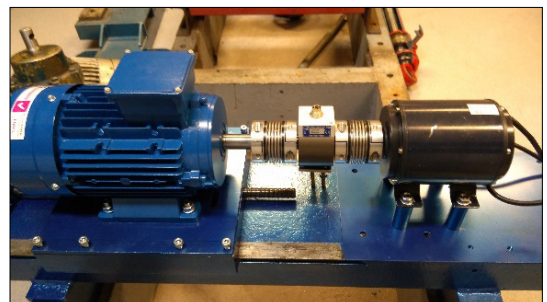
A mérőrendszer már meglévő és kipróbált részegységeket a továbbiakban röviden ismertetjük.

## 3. A mérőrendszer meglévő részegységeinek leírása

A mérőrendszernek van számos olyan részegysége, amely nélkülözhetetlen a különböző típusú villanymotorokon történő mérések megfelelő minőségű és pontosságú elvégzéséhez. Emellett minden egyes részegységnek meg kell felelnie, több jól meghatározott technikai követelménynek. A következőkben ismertetjük a már meglévő részegységeket, és megadjuk azok rövid technikai leírását, valamint ismertetünk néhány általunk alkalmazott, valamint a továbbiakban tervezett megoldást.

### 3.1. Merev, állítható pad, különböző típusú motorok rögzítésére

A mérőrendszer felépítéséhez először is szükség van egy merev padra, amelyre rögzíthetjük a vizsgált és a terhelő motort (2. ábra). A vizsgált, különböző típusú villanymotorok radiális irányú elhelyezését a motorokhoz egyedileg gyártott rögzítő adapterek biztosítják. A tengelyirányú (valamint kismértékű vízszintes és függőleges irányú) állíthatóság a terhelő motor mozgásával valósul meg. Az egytengelyűség pontos beállítása mérőóra,



2. ábra. A mérőrendszer alapja, rajta a generátor és a vizsgált motor

valamint lézeres tengelybeállító alkalmazásával történik.

Peremes motor rögzítéséhez egyedi adaptert kell gyártatni, amely a padhoz mereven rögzíthető. Ezáltal mind talpas, mind peremes motorok vizsgálhatók a mérőrendszerrel.

### 3.2. Mérésadatgyűjtő kártya

A mérésadatgyűjtő kártya egy National Instruments által gyártott, NI 9239-típusú, analóg-digitál (AD) modul, amelyet egy NI USB-9162 USB-adapteren keresztül kapcsolunk az adatrögzítő laptop-hoz. Ez 0–10V tartományban mér analóg feszültségjelet 4 földfüggetlen csatornán. A mérőkártya 24 bites felbontásban képes mintát venni 50kHz mintavételezési frekvencia mellett. Ezáltal megfelelő mennyiségű adat áll rendelkezésünkre bármely általunk tervezett mérési feladat esetén.

A fenti eszközhöz egy saját fejlesztésű, NI LabVIEW szoftverrel létrehozott, adatrögzítő programot használunk. A programban megadhatók az adatrögzítés főbb paraméterei, valamint élőben megjeleníthetjük az egyes csatornák jeleit. Tehát végül minden mért mennyiséget feszültségjelmérszóra vezetünk vissza.

### 3.3. Optikai elvű fordulatszám-mérő eszköz

A motor fordulatszámának méréséhez egy fényvisszaverődés elvén működő optikai ledszenzort alkalmazunk (típusa: ROS-P, Monarch Instrument). Az eszköz tápfeszültségét egy 6 V-os egyenáramú tápegység biztosítja, és 6 vagy 0 V kimenő feszültség jelet biztosít attól függően, hogy a forgó tárgyról visszaverődik-e fény az eszköz szenzorába, vagy nem. Ehhez a tárgy palástjára (pl. a motor tengelyének palástjára) fényvisszaverő csíkokat kell ragasztani, amelyeket a szenzor észlelni tud, ha azokról fény verődik vissza az eszközbe. A csíkok számának ismeretében, a feszültségjelek gyakoriságából számítható a fordulatszám.

### 3.4. A nyomatékmérés

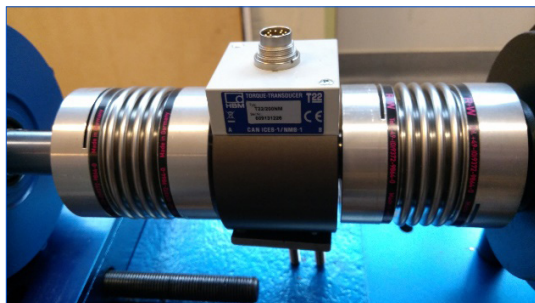
Nyomatékmérésre egy HBM T22/200-típusú forgótengelyes nyomatékmérőt alkalmazunk. Ezt jelenleg kétféle méretű tengelykapcsolóval tudjuk a vizsgált, illetve terhelő motorhoz csatlakoztatni, attól függően, hogy mekkora nyomatékot ad le a vizsgált motorunk. A nyomatékmérőnek 200 Nm-es méréshatára van, és a mért nyomatékkal arányos feszültség jelet ad ki a 0–10V feszültségtartományban.



3. ábra. NI 9239 analóg-digitál (AD) modul az NI USB-9162 típusú USB-adapterrel



4. ábra. Az általunk használt fordulatszám-mérő eszköz



5. ábra. A forgótengelyes nyomatékmérő tengelykapcsolókkal

### 3.5. Az áram- és feszültségmérés

A motoron átfolyó áramerősséget egy sönt ellenálláson eső feszültségként mérjük, melynek ellenállása 0,0006Ω. Az akkumulátor kapcsolófeszültségét – mivel az több, mint 10V, az NI 9239 eszköz nem tudja közvetlenül mérni, ezért itt egy feszültségosztót alkalmazunk, 1:11 osztásarányal.

## 4. Összefoglalás

Jelen közleményben bemutattuk egy elektromos motorok mérésére, tesztelésére alkalmas, általunk kidolgozott mérőrendszer főbb részegységeit. Ezeket felhasználva fogjuk összeállítani a mé-

rőrendszerünket, kiegészítve egy villamos kapcsolószekrényvel, valamint az egyes villanymotorok, valamint a terhelő motor működtetéséhez szükséges eszközökkel (pl. transzformátor, frekvenciaváltó, motorvezérlő elektronika). Amint a mérőrendszer felépül, először tesztméréseket tervezünk végezni a rendszer kalibrálásához, majd a 2. ábrán látható BLDC-motoron végeznénk méréseket, meghatározva a motor szimulációjához szükséges bemenő elektromágneses és dinamikai paramétereket/karakterisztikákat.

### Köszönetnyilvánítás

„Az innovációs és technológiai minisztérium únkp-20-3 kódszámú új nemzeti kiválóság programjának a nemzeti kutatási, fejlesztési és innovációs alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.”

"A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az innovációs és technológiai minisztérium által meghirdetett tématerületi kiválósági program (tkp2020-nka-04) támogatta."

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Szántó A., Sziki G. Á.: *Review of Modern Vehicle Powertrains and Their Modelling and Simulation in MATLAB/Simulink*. International Journal Of Engineering And Management Sciences / Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények 5/2. (2020) 232–250.
- [2] Szántó Attila et.al.: *Járműdinamikai szimuláció és optimalizáció*. Műszaki Tudományos Közlemények, 9. (2018) 219–222.  
<https://doi.org/10.33895/mtk-2018.09.50>
- [3] Szántó A., Sziki G. Á., Hajdu S.: *Dynamics Simulation of a Prototype Race Car Driven by Series Wound DC Motor in Matlab-Simulink*. Acta Polytechnica Hungarica, 17/4. (2020) 103–122.  
<https://doi.org/10.12700/APH.17.4.2020.4.6>
- [4] Sziki G. Á., Sarvajcz K., Kiss J., Gál,T., Szántó A., Gábor A., Husi G.: *Experimental Investigation of a Series Wound Dc Motor for Modeling Purpose in Electric Vehicles and Mechatronics Systems*. In: Measurement, 109. (2017) 111-118.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.05.055>
- [5] Hadziselimovic M., laznic M., Štumberger B., Zagradišnik I.: *Magnetically Nonlinear Dynamic Model of a Series Wound DC Motor*. Przeglad Elektrotechniczny (Electrical Review), R. 87 nr 12b/2011.
- [6] Sziki G. Á., Szántó A., Mankovits T.: *Dynamic Modelling and Simulation of a Prototype Race Car in MATLAB/Simulink Applying Different Types of Electric Motors*. International Review Of Applied Sciences And Engineering, 2020. 1–7.  
<https://doi.org/10.1556/1848.2020.00145>
- [7] Szántó Attila, Szántó András, Sziki G. Á.: *Review of the Modelling Methods of Series Wound DC motors*. Műszaki Tudományos Közlemények, 13. (2020)166–169.  
<https://doi.org/10.33894/mtk-2020.13.31>

# Oldószerkegy hatékony regenerálásának módja: extraktív heteroazeotróp desztilláció

## Method for Efficient Regeneration of Solvent Mixture: Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation

Tóth András József,<sup>1</sup> Schmidt Szilvia<sup>2</sup>

*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Kémiai és Környezeti Folyamatmérnöki Tanszék, Környezeti és Folyamatmérnöki Kutatócsoport, Budapest, Magyarország*

<sup>1</sup> [andrasjozsef@edu.bme.hu](mailto:andrasjozsef@edu.bme.hu)

<sup>2</sup> [schmidt.szilvia@edu.bme.hu](mailto:schmidt.szilvia@edu.bme.hu)

### Abstract

The fine chemical and pharmaceutical industries use large amounts of various organic solvents in their manufacturing processes. By reusing them, production costs can be significantly reduced. If we can regenerate waste solvent mixtures, we have the opportunity to reuse them in the production process or in other production processes. Our study illustrates an efficient regeneration process using the example of a four-component solvent mixture. Calculations were performed in a professional process simulator to demonstrate that the highly non-ideal Water-Ethyl Alcohol-Methyl Ethyl Ketone-Ethyl Acetate solvent mixture can be efficiently decomposed into azeotropic pairs and thus regenerated by the extractive heterogeneous-azeotropic distillation technique.

**Keywords:** *solvent mixture, process simulator, extractive heterogeneous-azeotropic distillation.*

### Összefoglalás

A finomkémiai iparok, illetve a gyógyszeripar a gyártási folyamatai során nagy mennyiségben használ fel különböző szerves oldószereket. Ezek újbóli felhasználásával a termelési költségek jelentősen csökkenthetők. A hulladék-oldószerkegyeket, ha regenerálni tudjuk, akkor lehetőségünk nyílik a termelési folyamatban, illetve más gyártási eljárásban újrahasználni őket. Tanulmányunk egy négykomponensű oldószerkegy példáján keresztül mutat be egy hatékonyan alkalmazható regenerálási eljárást. Professzionális folyamatszimulátorban végeztünk számításokat, amelyekkel igazoltuk, hogy az erősen nem-ideális viselkedésű víz – etil-alkohol – metil-etil-keton – etil-acetát-oldószerkegyet hatékonyan lehet azeotróppárokba bontani, és ezáltal regenerálni az extraktív heteroazeotróp-desztillációs technikával.

**Kulcsszavak:** *oldószerkegy, folyamatszimulátor, extraktív heteroazeotróp-desztilláció.*

### 1. Bevezetés

Bolygónkon a fenntartható élet érdekében egyre körütekintőbbnek kell az ipari folyamatokat tervezni és működtetni. Ez a gondolkodás megkívánja a természet körfolyamatainak lemásolását, illetve a körfolyamatok koncepciójának az ipari gyakorlatba történő átültetését, hiszen a természetben nincs hulladék, mindig minden hasznosul [1].

Fontos kiemelni, hogy a hulladékok energetikai hasznosítása és ártalmatlanítása vagy nem olcsó, vagy nem hatékony a környezeti fenntarthatóság szempontjából. Mivel ezekkel a módszerekkel a természetes környezetünkbe juttatjuk vissza a vegyi anyagokat, ezért a hierarchiában felettük álló eszközökből célszerű felállítani a hulladékkezelési stratégiánkat [2]. Célszerű az **1. ábrán** bemutatott hulladékkezelési hierarchiadiagramon az új-



rahasználatot, illetve újrahasznosítást megcélzó eljárásokat követni.

Az elmúlt időszakban, a vegyiparban is egyre fontosabb szerepet játszik a környezetvédelem. Annak ellenére, hogy a környezetközpontú folyamat tervezésben a hulladékok keletkezésének megelőzése a cél, mégis, számos esetben elkerülhetetlen, hogy hulladék keletkezzen. Erre tipikus példa a technológiai hulladékvizek és maradék oldószerek esete, melyek különösen a finomkémiai iparágakban, ezek közt kiemelten a gyógyszeriparban, keletkeznek. Ilyenkor hatékony csövégi hulladékkezelés szükséges a közvetlen kibocsátás helyett. A csövégi hulladékkezelési módszerek esetében fontos ügyelni az esetlegesen visszanyerhető anyagokra, illetve azok recirkulációjára [3].

Az extraktív heteroazeotróp-desztilláció (EHAD) a Környezeti és Folyamatmérnöki Kutatócsoportban kidolgozott, új desztillációs eljárás [4, 5], melynek már több ipari megvalósulása is van. Az eljárás bevált módszerre vált a technológiai hulladékvizek, illetve hulladék-oldószerek kezelésénél. Erősen nem ideális, többkomponensű azeotróp elegyek elválasztására alkalmasnak bizonyult a technika, amely ötvözi az extraktív és a heteroazeotróp-desztilláció előnyeit. Az eljárás során az azeotróp pont megtörésére a kolonna tetején betáplált extraktív ágens (víz) szolgál, a heteroazeotróp elválasztására pedig a fázisszeparátor. Az EHAD-rendszer sémáját a 2. ábra szemlélteti.

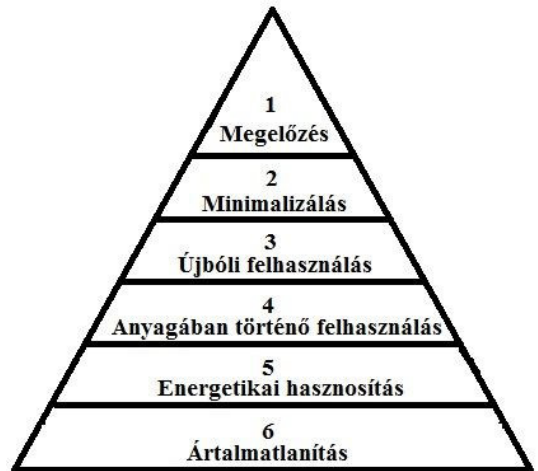
A 3. ábra szemlélteti a víz hozzáadásának egyensúlytörő hatását az etanol- (EtOH) és etil-acétát (EtAc)-elegy gőzfolyadék egyensúlyi diagramján. Látható, hogy adott mennyiségű extraktív ágens adagolásával kvázi ideálissá tehető az elválasztás.

Kiemelendő, hogy az EHAD-eljárás azért előnyös, mert nem képződik új azeotróp, ugyanis az extraktív ágensként használt víz már eleve jelen van a szétválasztandó keverékben [6]. A háromkomponensű (terner), illetve négykomponensű (kvaterner) elegyek tekinthető hulladék-oldószereket az eljárással biner komponenspárokra bonthatjuk, melyeket további, már egyszerűbb desztilláló kolonnákban tudunk az alkotóelemekre bontani [7, 8].

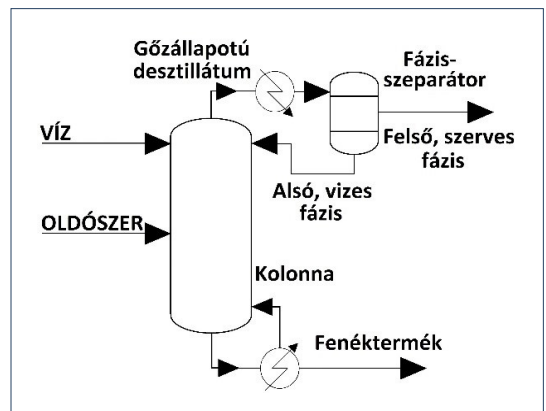
## 2. Anyagok és módszerek

A konkrét feladat során ipari eredetű négykomponensű elegy (víz – etil-alkohol – metil-etil-keton – etil-acétát) elválasztását vizsgáltuk.

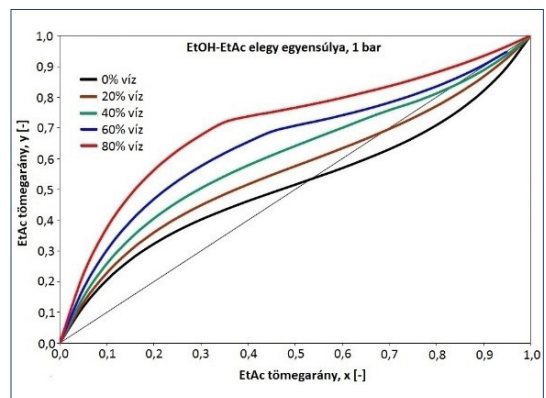
A megbízható gőz-folyadék egyensúlyi adatok elengedhetetlenek a megfelelő desztillációs szá-



1. ábra. Hulladékkezelés-hierarchia diagram [2]



2. ábra. Az extraktív heteroazeotróp-desztilláció (EHAD) általános sémája [4]



3. ábra. Etil-alkohol (EtOH) és etil-acétát (EtAc) egyensúlya víz hozzáadásával [5]

molások kivitelezéséhez. Ennek kapcsán célszerű adatbázisokból gyűjteni az információt. Szakmai körökben a Gmehling-Onken VLE-sorozat terjedt el a leginkább [9]. Az **1. táblázat** tartalmazza a vizsgálandó oldószerkelet azeotróp eseteit. Látható, hogy 6 biner és 3 terner azeotróp alkotja, tehát erősen nem ideális viselkedésű, és ezért összetett kezelési eljárást igényel az elválasztás.

A munka során a cél a kvaterner elegy azeotróp párokra történő bontása volt. Ennek megoldására egy kolonna felső tényárján vizet vetettünk be extraktív ágensként. Így az oszlop fenéktermékeként etil-alkohol és víz elegy keletkezett, amelynek alkoholtartalmát egy másik kolonnában tovább dúsítottuk. Az EHAD-kolonna kétfázisú fejtermékét egy fázisszeparatorban kondenzáltattuk le. A vízben dúsabb alsó fázist az extraktív ágenshez kevertük, a felső fázisnál pedig elérhető az alkoholmentes termék.

A számításokat professzionális folyamatsszimulátorban, a ChemCAD-programcsomagban végeztük. SCDS-típusú kolonnákkal dolgoztunk, és fázisszeparatornak az LLV Flash modult választottuk. Az optimalizáció során a kolonnák elméleti tányérszámát változtattuk. Ezenkívül vizsgáltuk az EHAD-kolonna esetében a vízbetáplálás áramának változtatását is [10–12]. A négykomponensű oldószerkelet betáplálása minden esetben középre történt. Továbbá a fázisszeparatorban a hőmérsékletet 20°C-ra állítottuk. Ezen beállítások helyességét korábbi munkáink igazolják [4, 5].

A **4. ábra** mutatja be az elválasztási struktúrát a folyamatsszimulátorban.

A **5. ábra** szemlélteti a négykomponensű elegy elválasztásának elméleti struktúráját tetraéderes ábrázolásban, ahol a tetraéder 4 csúcsa jelképezi a tiszta komponenseket. Ezenkívül ábrázolva vannak a különböző azeotróp-összetételek is.

### 3. Eredmények és értékelésük

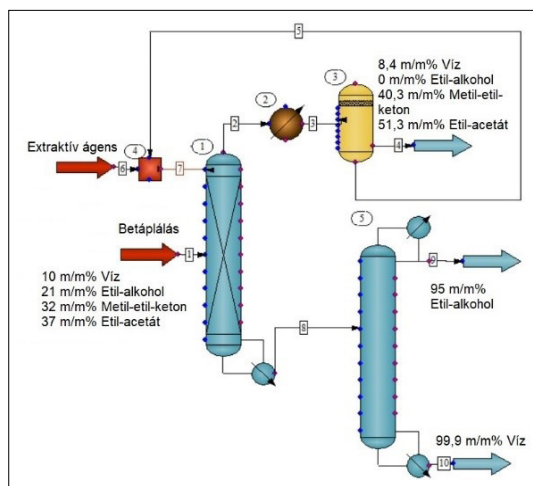
A **2. táblázat** mutatja be az EHAD-kolonna optimális elválasztási paramétereit.

**2. táblázat.** Az EHAD-kolonna eredményei ( $F$ : betáplálás,  $D$ : desztillátum,  $W$ : fenéktermék).

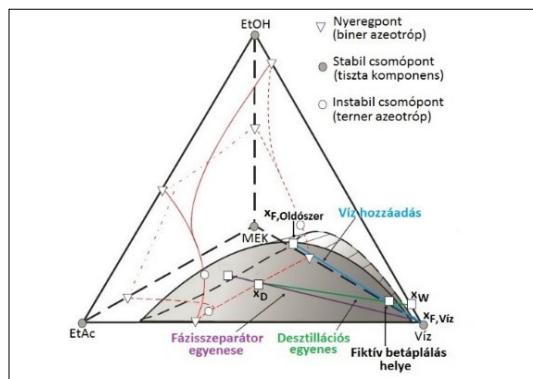
Oldószer- elegy	F	Extraktív ágens	D-Felső fázis	W
Víz [m/m%]	10	100	8,4	91,3
EtOH [m/m%]	21	0	0	8,7
MEK [m/m%]	32	0	40,3	0
EtAc [m/m%]	37	0	51,3	0
Áram [kg/h]	500	3000	420	3080
Hőm. [°C]	20	20	70,9	92,7

**1. táblázat.** A víz – etil-alkohol – metil-etil-eton (MEK) – etil-acetát négykomponensű oldószerkelet azeotróp esetei és forráshőmérsékletek [9]

Azeotróp esetek		Forráshőmérséklet [°C]	
Víz	EtAc		70,4–72,3
Víz	MEK		73,7–73,8
Víz	EtOH		78,0–78,3
EtOH	EtAc		70,9–72,1
EtOH	MEK		74–75
EtAc	MEK		76,4–77,1
Víz	EtOH	EtAc	70,2–70,4
Víz	EtOH	MEK	73
Víz	EtAc	MEK	71,1



**4. ábra.** A víz – etil-alkohol – metil-etil-eton – etil-acetát négykomponensű oldószerkelet elválasztása folyamatsszimulátorban



**5. ábra.** A víz – etil-alkohol – metil-etil-eton – etil-acetát négykomponensű oldószerkelet elválasztása tetraéderben ábrázolva ( $x_D$ : desztillátum-összetétel,  $x_F$ : betáplálás összetétel,  $x_W$ : fenéktermék-összetétel) [13]

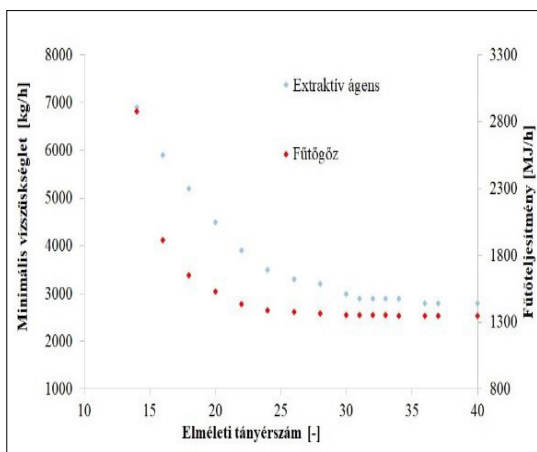
Az eredményekből látható, hogy legalább hat-szoros mennyiségű vízbeadagolás szükséges a kívánt elvárások teljesítéséhez. Ez a betápláláshoz képesti nagy arány reális és összhangban van a korábbi megállapításainkkal, miszerint, nagyobb vízmennyiség szükséges az összetettebb, számos biner és terner azeotrópot tartalmazó elegyek elválasztásánál [4].

Fontos kiemelni, hogy a desztillációs elválasztások kapcsán az üzemeltetési költség szempontjából a leghangsúlyosabb tényező a fűtőgőzsükséglet, ezért ennek minimalizálására érdemes törekedni. A 6. ábra szemlélteti az elméleti tényérszám alakulását a fűtőgőzsükséglet és a minimálisan szükséges extraktív ágens között. Látható, hogy a két érték egymással korrelál, illetve a 30-as elméleti tényérszám után már nincs szignifikáns változás. Így elmondható, hogy az EHAD-kolonna esetében a 30-as elméleti tényérszám optimálisnak tekinthető. Ennél nagyobb oszlop esetén nem tapasztaltunk számottevő változást az összetételek javulására sem, ezért a beruházási költség szempontjából sincs értelme növelni az oszlop méretét.

Az alkohol dúsításával foglalkozó kolonna esetében sikerült elérni a közel azeotróp-összetételű fejterméket egy 10-es elméleti tényérszámú kolonnán, 5-ös refluxarányt alkalmazva.

#### 4. Következtetések

A számításokat elvégezve kijelenthető, hogy az összetett desztillációs módszer alkalmas erősen nem ideális elegyek elválasztására. További, hasonló viselkedésű elegyek esetén általánosítható a módszer. A fejterméket is lehetőség szerint to-



6. ábra. Az elméleti tényérszám a fűtőgőz és a minimális vízszükséglet függvényében

vább lehet dúsítani, azonban már kevésbé összetett módszerek is hatékonyak lehetnek, mert sikerült az azotrópok bontása. Az eljárás továbbá követi a körforgásos gazdaság alapelveit, miszerint lehetőséget biztosít a komponensek recirkulációval történő újrahasznosítására a gyáron belül, mindezt az adott feladathoz szükséges minimális eszköz- és energiaráfordítással.

#### Köszönetnyilvánítás

A publikáció a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj, illetve az 128543-as és az 131586-os számú OTKA-pályázatok támogatásával készült. A kutatómunka az Európai Unió és a magyar állam támogatásával, az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásával, a GINOP-2.3.4-15-2016-00004 projekt keretében valósult meg, a felsőoktatás és az ipar együttműködésének elősegítése céljából. A jelen publikációban megjelenő kutatások az ITM NKFIA által nyújtott TKP2020 NKA támogatásból, az NKFIH által kibocsátott támogatói okirat alapján valósultak meg (projekt azonosító: TKP2020 BME-NKA). A kutatás a Miniszterelnökség „Nemzet Fiatal Tehetségeiért Ösztöndíj”, NTP-NFTÖ-20-B-0095 kódszámú pályázati program keretében valósult meg.

#### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Toth A. J.: *Hulladékgazdálkodás a vegyiparban*. Typotex, Budapest, 2020.
- [2] Mizsey P., Tóth A. J.: *Ipari ökológiai elvek alkalmazása technológiai hulladékvizek fiziko-kémiai módszerekkel történő kezelésénél*. Ipari Ökológia, 1/1. (2012) 101–125.
- [3] Brinkmann T., Santonja G. G., Yükseler H., Roudier S., Sancho L. D.: *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector*. Riport, Publications Office of the European Union, 2016.
- [4] Toth A. J., Szanyi A., Koczka K., Mizsey P.: *Enhanced Separation of Highly Non-Ideal Mixtures with Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation*. Separation Science and Technology, 51/7. (2018) 1238–1247. <https://doi.org/10.1080/01496395.2015.1107099>
- [5] Toth A. J.: *Comprehensive Evaluation and Comparison of Advanced Separation Methods on the Separation of Ethyl Acetate-Ethanol-Water Highly Non-Ideal Mixture*. Separation and Purification Technology, 224. (2019) 490–508. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.05.051>
- [6] Toth A. J., Szilagi B., Haaz E., Solti Sz., Nagy T., Szanyi A., Nagy J., Mizsey P.: *Enhanced Separation of Maximum Boiling Azeotropic Mixtures with Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation*. Chemical Engineering Research and Design, 147. (2019) 55–62. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2019.05.002>

- [7] Haaz E., Szilagyi B., Fozer D., Toth A. J.: *Combining Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation and Hydrophilic Pervaporation for Enhanced Energetic Separation of Non-Ideal Ternary Mixtures*. *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 14/5. (2020) 913–927.  
<https://doi.org/10.1007/s11705-019-1877-1>
- [8] Toth A. J., Szanyi A., Haaz E., Mizsey P.: *Separation of Process Wastewater with Extractive Heterogeneous-Azeotropic Distillation*. *Hungarian Journal of Industry and Chemistry*, 44. (2016) 29–32.  
<https://doi.org/10.1515/hjic-2016-0003>
- [9] Gmehling J., Onken U., Rarey-Nies J. R.: *Vapor-Liquid Equilibrium Data Collection*. Dechema, Virginia, 1978.
- [10] Skiborowski M., Harwardt A., Marquardt W.: *Conceptual Design of Distillation-Based Hybrid Separation Processes*. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 4. (2013) 45–68.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-chembio-eng-061010-114129>
- [11] Gorak A., Sorensen E.: *Distillation: Fundamentals and Principles*. Elsevier Science & Technology, Dortmund, London, 2014.
- [12] Doherty M.F., Malone M.F.: *Conceptual Design of Distillation Systems*. McGraw-Hill, New York, 2001.
- [13] Toth A. J.: *Liquid Waste Treatment with Physicochemical Tools for Environmental Protection*, PhD-dolgozat, Budapest, BME, 2015.

# FOLYÓN TÖRTÉNŐ OLAJSZENNYEZÉSEK ÉS AKTUÁLIS MEGOLDÁSI MÓDSZER VIZSGÁLATA

## ANALYSES OF RIVER OIL-SPILLS AND ACTUAL SOLVING METHODS

Kisfaludi-Bak Zsombor <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Erdélyi Múzeum-Egyesület, Műszaki Tudományok Szakosztálya, Kolozsvár, Románia, [kisfaludi.zsombor@eme.ro](mailto:kisfaludi.zsombor@eme.ro)

<sup>2</sup> Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, Kolozsvár, Románia, [zsombor.kisfaludi@mecon.utcluj.ro](mailto:zsombor.kisfaludi@mecon.utcluj.ro)

### Abstract

Nowadays, there is an increasing emphasis on the problem of water quality. Of the many polluting effects, oil pollution is perhaps the most harmful, but its effects are being studied mostly on large seas and oceans worldwide. In the case of Transylvania and probably the entire country, pollution of rivers by oil – based on yearly occurrence – has a larger effect than that of sea pollution. Every year we observe 40-55 such water pollution events, therefore, analysis and investigation of solution methods is of great importance. This paper attempts to shed light on this issue, presenting also the method currently used by the Romanian Water Authority.

**Keywords:** *water pollution, oil, spill-sorb, wave propagation.*

### Összefoglalás

Napjainkban egyre nagyobb hangsúly helyeződik a vízminőség problémájára. Számos szennyező hatás közül talán a legkárosabbak az olajszennyeződések, melyek hatását világviszonylatban is főleg tengereken, óceánokon vizsgálják. Erdély tekintetében mindenképpen, de talán egész Románia tekintetében is nagyobb hatással bírnak a folyóvízi olajszennyeződések. Évente 40–55 ilyen vízszennyezést figyelhetünk meg, így elemzésük, megoldási módszereik vizsgálata nagy jelentőséggel bír. Erre próbál rávilágítani ezen dolgozat, mely kiter a Román Vízügyi Hatóság által alkalmazott módszerre is.

**Kulcsszavak:** *vízszennyezés, olaj, spill-sorb, terjedési hullám.*

## 1. Bevezetés

Az olajszennyeződések gyakorisága egyenesen arányosan nőtt az olajkitermelés térnyerése nyomán. Legtöbb ilyen jellegű vízszennyezés az óceánokon történik az olajkutak közelében. Az óceánokon, nyílt vizeken történő olajszennyeződések terjedési sebessége a szélesség függvényében változik, a felületi sebesség átlagosan a szélesség 1,3–1,4 %-át teszi ki. [1]

A folyóvizeken történő olajszennyeződések terjedési sebességének vizsgálatához szükségszerű a folyószakasz hozamainak, keresztmetszetének ismerete, így továbbiakban egy tanulmányeset kapcsán vizsgáljuk az említett terjedési sebességet.

## 2. Szennyezett szakasz vizsgálata

Vízszennyezési vészhelyzetek esetén egyik legfontosabb adatnak számít a szennyezett folyó vízfelszínén mért sebesség. Jelen elemzés tárgya a Kis-Szamos folyó (II.1.31) Kolozsvár utáni szakasza, vagyis a Nádas folyó torkolata utáni szakasz. A hozamok számításba vett értéke a sokéves átlaghozam, mely az 1. táblázatban van feltüntetve (összehasonlításként megjelenik a Kis-Szamos legnagyobb mellékfolyójának – Nádasnak – sokéves hozama is).

Fontos megjegyezni, hogy a vízfelszíni sebességek mértékére nagy hatással van a hozamváltozás. Ezen értékváltozások amplitúdójának érzé-

kelése céljából érdemes megfigyelni a többéves átlaghozam és a folyó maximális hozamai (2. táblázat) közötti különbségeket.

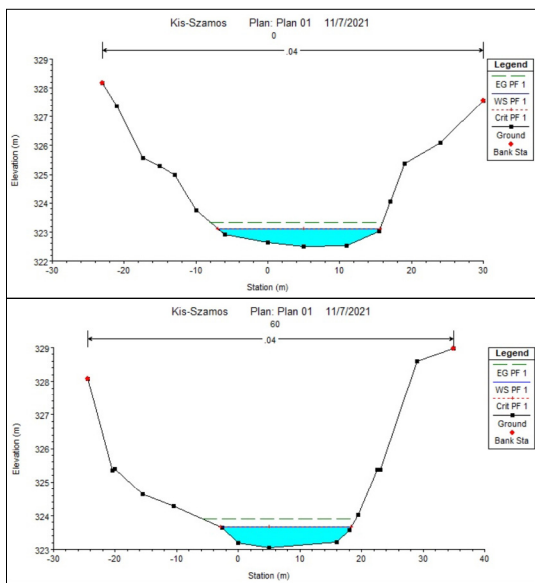
A vizsgált szakasz két keresztmetszetén hidraulikai modellezések lettek végezve a sokéves hozamok és a 0,2%-os maximumhozamok esetén is (a 0,2%-os hozam előfordulási periódusa 500 év). A meder rugalmassági állandója a számításokban 0,040. A végzett modellezések (1. ábra) az Amerikai Katonai Mérnökség HEC-Ras-programja segítségével valósultak meg, mely Chézy-Manning-hidraulikai modellt alkalmaz.

1. táblázat. Sokéves átlaghozamok a vizsgált területen [2]

Folyó	Kataszteri szám	Sokéves átlaghozam
Kis-Szamos	II.1.31	21,2 m <sup>3</sup> /s
Nádas	II.1.31.14	1,3 m <sup>3</sup> /s

3. táblázat. Sokéves átlaghozammal számolt vízfelszíni sebességek

	1	2
Hozam	21,2 m <sup>3</sup> /s	21,2 m <sup>3</sup> /s
Felületi szélesség	21,22 m	22,62 m
Metszet-minimumpont	323,04 m	322,50 m
Számolt vízszint	323,67 m	323,11 m
Aktív kereszt-metszet	9,85 m <sup>2</sup>	10,05 m <sup>2</sup>
Felületi sebesség	2,15 m/s	2,11 m/s



1. ábra. Sokéves hozammal számolt vízszint két keresztmetszeten

A sokéves hozammal elért eredmények a 3. táblázatban tekinthetők meg. A két keresztmetszeten elvégzett sokéves átlaghozammal modellezett Kis-Szamos folyásának felületi sebességei 2,11–2,15 m/s között változtak.

Külön modellezés tárgya volt az 500 évente előforduló hozam (0,2%-os maximális hozam) hidrodinamikai elemzése (2. ábra).

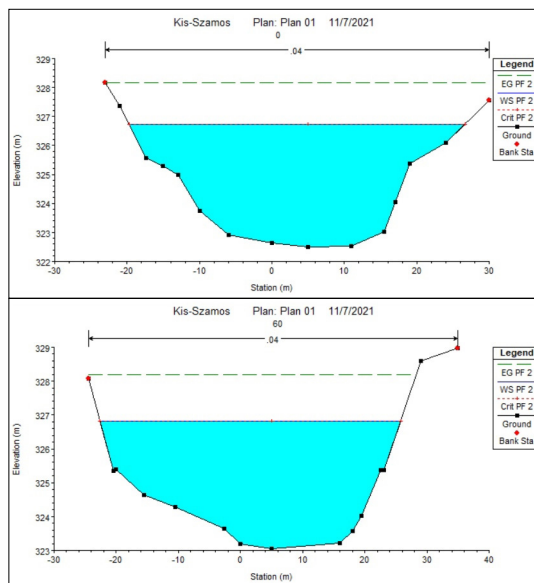
A 0,2%-os maximumhozammal elért eredmények a 4. táblázatban tekinthetők meg. A két keresztmetszeten elvégzett 0,2%-os maximumhozammal modellezett Kis-Szamos folyásának felületi sebességei 5,22–5,29 m/s között változtak.

2. táblázat. A Kis-Szamos maximális hozamai a Nádas torkolata utáni pontban

Sztereó 70 Koordináták	Q <sub>max</sub> p% (m <sup>3</sup> /s)	
X=393652.14 Y=588821.53	1%	515 m <sup>3</sup> /s
	0,2%	694 m <sup>3</sup> /s

4. táblázat. 0,2%-os maximumhozammal számolt vízfelszíni sebességek

	1	2
Hozam	694 m <sup>3</sup> /s	694 m <sup>3</sup> /s
Felületi szélesség	48,38 m	46,38 m
Metszet-minimumpont	323,04 m	322,50 m
Számolt vízszint	326,82 m	326,74 m
Aktív kereszt-metszet	133,08 m <sup>2</sup>	131,13 m <sup>2</sup>
Felületi sebesség	5,22 m/s	5,29 m/s



2. ábra. 0,2%-os maximális hozammal számolt vízszint a két keresztmetszeten

### 3. Bevetésnél használt „spill-sorb” anyag

A Román Vízügyi Hatóság jóvoltából lehetőségem volt tesztelni a bevetéseknél használt abszorpciós anyagot, melyet az Eco Tech Service Kft. gyárt. Egy korábban publikált dolgozatban bemutatásra kerültek az eredmények, alábbiakban képes formában (3. ábra) figyelhető meg a speciális anyag hatása. [3]

A gyártó által kiadott műszaki leírás alapján a speciális anyag lekötési kapacitása – általános szennyeződés esetén – saját súlyának 8–12-szerese. [4]

Mivel a feltüntetett szennyeződéseknél az olajszennyeződés a legagresszívebbnek számít, így 8-szoros saját súly lekötéssel számolunk.

### 4. Terjedési folyamat, megoldás

Az olajréteg terjedési sebessége nagymértékben függ az olajréteg vastagságától. A 2013-as, Kis-Szamoson történt olajszennyezés esetén az olajréteg vastagsága 1 mm alatti volt, amint a 4. ábrán is megfigyelhető a réteg áttetszőségén.

Hasonló vékony olajréteg esetén a terjedési sebesség egyenlőnek tekinthető a víz felszínén mért sebességgel. Ezen adatokkal számolva sokéves átlaghozam esetén egy kolozsvári szennyeződés 9 óra és 32 perc alatt ér el a Kis-Szamos torkolatáig. 0,2%-os maximális hozam esetén ugyanezen táv 3 óra 48 perc alatt lesz megtéve.

### 5. Következtetések és további tervek

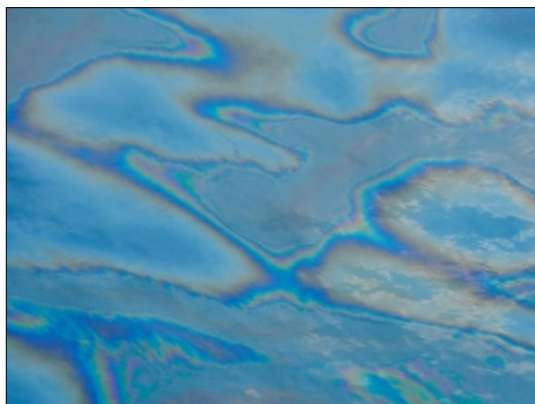
Következésképpen egy 2013-as esethez hasonló, a Kis-Szamos kolozsvári szakaszán történő olajszennyezés kezelésére a katonaság, katasztrófavédelem egységeinek átlagosan 9 óra 32 perce, maximális hozamok esetén csupán 3 óra 48 perce van kezelni a szennyezést a folyó torkolata előtt.

A jelenleg használt abszorpciós anyagból az 1 m vastag rétegű olajszennyeződésre 106–112 g elhíntése szükséges négyzetméterenként, ami ilyen vékony rétegek esetén nehézséget jelenthet. Pozitívum, hogy a bevetett abszorpciós anyag 72 órán keresztül képes a vízfelszínen maradni [4].

További tervekhez tartozik egy bővebb parametrikus vizsgálat, mely során előkészíthető egy bevetést segítő módszer. Aktuálisan hasonló esetekben a szennyeződés felszíni felfogásához munkagépek által függesztett farönköket használnak, ugyancsak további terv a nagyvárosok utáni szakaszokon speciális úszógátak tervezése/vizsgálata.



3. ábra. Abszorpciós „spill-sorb” anyag tesztelése (az olajfelületre szórt anyag kivágása után nem marad szennyeződés) [3]



4. ábra. Vízfelszín a 2013-as kis-szamosi olajszennyeződést követően (vékony olajréteg) [5]

### Köszönetnyilvánítás

Köszönet illeti az Erdélyi-Múzeum Egyesület Műszaki Tudományok Szakosztályát a jelen publikáció megjelenésében nyújtott támogatásáért.

**Szakirodalmi hivatkozások**

- [1] Buranapratheprat A., Tangjaitrong S.: *Hydrodynamic Model for Oil Spill Trajectory Prediction*. The Second OMISAR Workshop on Ocean Models, session 6 on Ocean Transport Models and Marine Ecosystem Models, 2000.  
<https://doi.org/10.1.1.551.1752>
- [2] *Atlasul cadastrului apelor din România. Partea 1 – Date morfo-hidrografice asupra rețelei hidrografice de suprafață*. Ministerul Mediului, București, 1992.
- [3] Kisfaludi-Bak Zs.: *Vízszennyezési vészhelyzetek kezelése, megoldási módszerei*. In: *Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XIX.*, Kolozsvár, Románia, XIX. 2014. 237–241.  
<https://doi.org/10.36243/fintu-2014.052>
- [4] Eco Tech Service Kft.: *Műszaki leírás „Spill-Sorb”*, 5–6.
- [5] *Poluare cu ulei pe Someșul Mic (Olajszennyezés a Kis-Szamoson) – Monitorul CJ*. 2013.  
<http://www.monitorulcj.ro/actualitate/26973-poluare-cu-petrol-pe-raul-somesul-mic> (letöltve: 2021. július 16.)



**SZERZŐK JEGYZÉKE****LIST OF AUTHORS****A, B**

BAGYINSZKI GYULA 7  
BEKŐ BÁLIN 1  
BELLÉR GÁBOR 87  
BENCSIK BALÁZS 56  
BITAY ENIKŐ 7  
BODNÁR ILDIKÓ 48, 87

**D, E, F**

DARVAY ZSOLT 11, 15  
DÉCSEI ROLAND 99  
ERDEI TIMOTEI ISTVÁN 38  
FEJES LEVENTE 99  
FORGÓ ZOLTÁN 19  
FÜSTÖS ÁGNES 11

**G, H**

GÁTI JÓZSEF 1  
GYÖRKOVÁCS ISTVÁN 19  
HODGYAI NORBERT 25  
HUSI GÉZA 56, 94

**I, J**

ILYÉS SZILÁRD 33  
IZBÉKINÉ SZABOLCSIK ANDREA 48, 87  
JOHANYÁK ZSOLT CSABA 61  
JÓZSA ROLAND OSSZIÁN 38

**K**

KAPUSI TIBOR PÉTER 38  
KATONA MIHÁLY 43  
KELEMEN ORSOLYA 48  
KISS PÉTER 43  
KISFALUDI-BAK ZSOMBOR 108  
KOC SIS GYÖRGY 80  
KORSOVCZKI GYULA 56

KOVÁCS MÁRK 61  
KUJBUS MÁRTON 99  
KUN KRISZTIÁN 65

**L, M**

LAKATOS ÉVA 76  
MÁTÉ MÁRTON 25  
MÁTÉ PÉTER 71  
MEISEL ÁDÁM 76

**N**

NEMES-KÁROLY ISTVÁN 80  
NÉMETHY KRISZTINA 1

**O, P**

ORBÁN ATTILA-SZABOLCS 15  
PÁL KRISZTINA 87  
PAPCSÁK NÓRA 99  
PÁSZTOR JUDIT 33

**S**

SAADAH ALAA 94  
SÁRKÁNY TAMÁS 65  
SCHMIDT SZILVIA 103  
SZÁNTÓ ATTILA 99

**SZ**

SZEBÉNYI GÁBOR 80  
SZEKRÉNYES ANDRÁS 71  
SZIKI GUSZTÁV ÁRON 99

**T**

TOLVALY-ROSCA FERENC 25  
TÓTH ANDRÁS JÓZSEF 103  
TÓTH K. BRIGITTA 76  
TÓTH SZABOLCS 38



ISSN 2393-1280



9 772393 128012