

JELENKORI TÁRSADALMI ÉS GAZDASÁGI FOLYAMATOK

**A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar
Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézetének
társadalomtudományi folyóirata**

XIV. évfolyam, 1. szám (2019/1.)

Kiadó:

Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar
6724 Szeged, Mars tér 7.
telefon: +36 62 546 000, e-mail: dekan@mk.u-szeged.hu
honlap: www.mk.u-szeged.hu

Felelős kiadó:

Dr. habil. Bíró István PhD,
egyetemi docens
az SZTE Mérnöki Kar dékánja

Szerkesztőség:

Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet
6724 Szeged, Mars tér 7.
telefon: +36 62 546 027, e-mail: tmark@mk.u-szeged.hu

Főszerkesztő:

Dr. habil. Gál József PhD

Felelős szerkesztő:

Dr. Kis Krisztián PhD

Szerkesztőbizottság:

Dr. Benkő-Kiss Árpád CSc, Dr. Fabulya Zoltán PhD, Dr. habil. Gál József PhD,
Dr. Hampel György PhD, Dr. Kis Krisztián PhD, Dr. László Zsuzsanna PhD,
Dr. Lendvai Edina PhD, Dr. Nagy Sándor PhD, Dr. Nagy Valéria PhD,
Dr. Panyor Ágota PhD, Dr. Sárosi József PhD, Dr. Veréb Gábor PhD,
Dr. habil. Zsótér Brigitta PhD

Technikai szerkesztő:

Dr. Hampel György PhD

A folyóiratban szereplő tartalomért és forrásmegjelölésért a kiadó felelősséget nem vállal!

Nyomda:

Innovariant Nyomdaipari Kft.
H – 6750 Algyő, Ipartelep 4.
telefon: +36 62 493 626, +36 62 493 638
fax: +36 62 493 914
e-mail: nyomda@innovariant.hu
honlap: www.innovariant.hu

ISSN 1788-7593

Szeged, 2019

SZERZŐINK

<i>Prof. Dr. Baranyi László</i>	PhD, egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet (Miskolc)
<i>Dr. Barczy Attila</i>	PhD, egyetemi docens, Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Természetvédelmi és Tájökológiai Tanszék (Gödöllő)
<i>Prof. Dr. Barótfi István</i>	egyetemi tanár, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet (Gödöllő)
<i>Dr. Bencs Péter</i>	egyetemi docens, tanszékvezető, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Dr. Benkő Kiss-Árpád</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Dr. Beszédes Sándor</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet (Szeged)
<i>Dr. habil. Bíró István</i>	PhD, egyetemi docens, dékán, intézetvezető Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Bolló Betti</i>	PhD, egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Csikós Sándor</i>	egyetemi tanársegéd, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dorogi Dániel</i>	PhD hallgató, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet (Miskolc)
<i>Dr. Fabulya Zoltán</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Dr. Farkas Ferenc</i>	PhD, tudományos főmunkatárs, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. habil. Gál József</i>	PhD, egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Garai Flórián</i>	tanszéki mérnök, Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Anyagtechnológia Tanszék (Kecskemét)
<i>Dr. Géczy Gábor</i>	egyetemi docens, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet (Gödöllő)
<i>Dr. Gogolák László</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Greznár Márk</i>	gépészmérnök BSc hallgató, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Hampel György</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Hareancz Ferenc</i>	tanszéki mérnök, Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Anyagtechnológia Tanszék (Kecskemét)

<i>Hermanucz Péter</i>	PhD hallgató, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar, Környezetipari Rendszerek Intézet (Gödöllő)
<i>Prof. Dr. Hodúr Cecilia</i>	DSc, egyetemi tanár, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet (Szeged)
<i>Horváth Ágnes</i>	PhD hallgató, Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet (Miskolc)
<i>Illés Tamás</i>	MSc hallgató, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Jákói Zoltán</i>	szakmai szolgáltató, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Kis Krisztián</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Kiss Norbert</i>	mérnök, Neumann János Egyetem GAMF Műszaki és Informatikai Kar, Anyagtechnológia Tanszék (Kecskemét)
<i>Kovács Róbertné</i>	tudományos munkatárs, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Kujáni Katalin</i>	PhD, szakmai támogató, Agrárminisztérium, Agrárgazdaságért Felelős Helyettes Államtitkárság (Budapest)
<i>Dr. Lendvai Edina</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Mészáros Károly Marcell</i>	MSc hallgató, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Dr. Molnár Tamás</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Nagy Valéria</i>	PhD, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Panyor Ágota</i>	PhD, egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)
<i>Pappné Sziládi Katalin</i>	tanársegéd, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Pozsa Ákos</i>	MSc hallgató, Miskolci Egyetem Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Dr. Sárosi József</i>	PhD, főiskolai docens, intézetvezető-helyettes Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Prof. Dr. Szabó Szilárd</i>	egyetemi tanár, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Szalai Dániel</i>	tanszéki mérnök, Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Természetvédelmi és Tájökológiai Tanszék (Gödöllő)
<i>Dr. Szalay Dóra</i>	PhD, tudományos segédmunkatárs, Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet (Sopron)

<i>Szaszák Norbert</i>	egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Szuchy Péter</i>	tudományos munkatárs, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Tárnok Balázs</i>	regionális és környezeti gazdaságtan MA hallgató, Szent István Egyetem Gazdaság- és Társadalomtudományi Kar (Budapest)
<i>Tollár Sándor</i>	mesteroktató, Miskolci Egyetem, Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Dr. Tolvaj Béla</i>	címzetes egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Kar, Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Áramlás- és Hőtechnikai Gépek Intézeti Tanszék (Miskolc)
<i>Dr. Tóth István Tibor</i>	CSc, főiskolai docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Vágölgyi Andrea</i>	PhD, adjunktus, Soproni Egyetem Erdőmérnöki Kar, Erdészeti-műszaki és Környezettechnikai Intézet (Sopron)
<i>Varnyú Ferenc</i>	tanszéki mérnök, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Vecseri András</i>	tudományos segédmunkatárs, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Műszaki Intézet (Szeged)
<i>Dr. Vidács Anita</i>	PhD, adjunktus, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Élelmiszermérnöki Intézet (Szeged)
<i>Dr. habil. Zsótér Brigitta</i>	PhD, egyetemi docens, Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Ökonómiai és Vidékfejlesztési Intézet (Szeged)

TARTALOMJEGYZÉK

MŰSZAKI ÉS INFORMATIKA TUDOMÁNYOK

Barczy Attila – Szalai Dániel – Nagy Valéria: Fenntarthatóság és műszaki innováció.....	13
Dorogi Dániel – Baranyi László: Sajátfrekvencia-hányados hatása a szabadrezgést végző körhenger körüli folyadékáramlásra	19
Fabulya Zoltán: Excel VBA függvények kialakítása háromdimenziós vektorok matematikai alkalmazására.....	29
Garai Flórián – Hareancz Ferenc: Alumíniumhabbal merevített vékonyfalú csövek nyomással szembeni viselkedése.....	35
Greznár Márk – Kovács Róbertné: Motorhűtő folyadékok dielektromos tulajdonságainak vizsgálata	45
Hampel György: Páros t-próba programozható kialakítása Excel VBA környezetben.....	53
Hareancz Ferenc – Kiss Norbert: Alumíniumhabok ívhegesztésének vizsgálata	61
Hermanucz Péter – Géczy Gábor – Barótfi István: Hűtőközeg váltás hőszivattyúra gyakorolt hatásának mérési lehetőségei.....	71
Illés Tamás – Mészáros Károly Marcell – Pozsa Ákos – Bolló Betti – Szaszák Norbert – Bencs Péter: Hűtőgépek hőtechnikai analízise	77
Mészáros Károly Marcell – Pozsa Ákos – Illés Tamás – Tollár Sándor – Tolvaj Béla – Bencs Péter: Stirling motor modellezése.....	87
Molnár Tamás – Bíró István – Szuchy Péter – Varnyú Ferenc – Csikós Sándor – Gogolák László – Sárosi József: Műanyag kompozitok mechanikai jellemzőinek vizsgálata	99
Pozsa Ákos – Illés Tamás – Mészáros Károly Marcell – Szaszák Norbert – Bencs Péter: Hőszivattyús fűtő és páramentesítő készülék tervezése	111
Szabó Szilárd – Bolló Betti – Baranyi László – Tollár Sándor – Szaszák Norbert: Forgásszimmetrikus szabad levegősugár turbulens jellemzőinek kísérleti és numerikus vizsgálata	123
Tóth István Tibor: Az elektromos hajtásé a jövő? Mikor, hol, hogyan és mennyiért?	141
Vecseri András: Forgógépek egytengelyűségi hibáinak vizsgálata különböző tengelykapcsolók alkalmazásával.....	153

KÖRNYEZETTUDOMÁNY ÉS BIOTECHNOLÓGIA

Horváth Ágnes: Kritikus nyersanyag stratégia.....	163
Jákói Zoltán – Hodúr Cecilia – Szalay Dóra – Vágvölgyi Andrea – Beszédes Sándor: Mikrohullámú energiaközléssel kombinált Fenton-eljárás hatékonyság-vizsgálata a szennyvíztisztításban.....	169
Tárnok Balázs – Kujáni Katalin: Az ammónia kibocsátásának csökkentése és a nitrogénmenedzsment problémája napjainkban.....	177

PÁLYÁZATI DISSZEMINÁCIÓ

Gál József – Panyor Ágota – Farkas Ferenc: Sajátos nevelési igényű hallgatók képzése az SZTE Mérnöki Karán.....	185
Zsótér Brigitta – Gál József: Női hallgatók számának növelése a mérnöki karon.....	199
Lendvai Edina – Panyor Ágota – Hampel György: A Mérnöki Kar agrár és műszaki képzési területein történő lemorzsolódás okainak feltárása tárgyában készült kérdőíves felmérés eredményei.....	205
Lendvai Edina – Pappné Sziládi Katalin – Vidács Anita: Lemorzsolódás csökkentésére irányuló felmérés – a tanulási problémákkal küszködő hallgatók körében.....	211
Kis Krisztián – Nagy Valéria – Benkő-Kiss Árpád: Kompetencia és tudásigény felmérése szakmák szerint.....	217
Kis Krisztián – Hampel György – Benkő-Kiss Árpád: Végzett hallgatók elvárt munkaerőpiaci kompetenciáinak vizsgálata.....	223

TABLE OF CONTENTS

TECHNICAL AND INFORMATION SCIENCES

Attila Barczy – Dániel Szalai – Valéria Nagy: Sustainability and Technological Innovation.....	13
Dániel Dorogi – László Baranyi: Effects of Natural Frequency Ratio on Flow Around an Elastically Supported Circular Cylinder.....	19
Zoltán Fabulya: Creating Excel VBA Functions for the Mathematical Application of Three-dimensional Vectors	29
Flórián Garai – Ferenc Hareancz: Compressive Behaviour of Aluminium Foam Filled Thin-walled Aluminium Tubes.....	35
Márk Greznár – Róbertné Kovács: Examination of Engine Coolants Dielectric Parameters.....	45
György Hampel: Creating a Programmable Paired T-test in Excel VBA Environment	53
Ferenc Hareancz – Norbert Kiss: Investigation of Arc Welding on Aluminum Foam.....	61
Péter Hermanucz – Gábor Géczi – István Barótfi: Measurement Options of the Effects of Refrigerant Change in Heat Pump Applications.....	71
Tamás Illés – Károly Marcell Mészáros – Ákos Pozsa – Betti Bolló – Norbert Szaszák – Péter Bencs: Thermal Analysis of Chillers.....	77
Károly Marcell Mészáros – Ákos Pozsa – Tamás Illés – Sándor Tollár – Béla Tolvaj – Péter Bencs: Stirling Engine Modeling	87
Tamás Molnár – István Bíró – Péter Szuchy – Ferenc Varnyú – Sándor Csikós – László Gogolák – József Sárosi: Analysis of Mechanical Characteristics of Plastic Composites.....	99
Ákos Pozsa – Tamás Illés – Károly Marcell Mészáros – Norbert Szaszák – Péter Bencs: Design of a Heat Pump Based Heater and Dehumidifier Device	111
Szilárd Szabó – Betti Bolló – László Baranyi – Sándor Tollár – Norbert Szaszák: Experimental and Numerical Investigation of Turbulence Features of an Axisymmetric Air Jet.....	123
István Tibor Tóth: The Electric Drive is the Future? When, Where, How and How Much?	141
András Vecseri: Investigations of Misalignment Effects in Rotating Machines Using Different Couplings.....	153

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND BIOTECHNOLOGY

Ágnes Horváth: Strategy of Critical Raw Materials.....	163
Zoltán Jákói – Cecilia Hodúr – Dóra Szalay – Andrea Vágvölgyi – Sándor Beszédes: Investigation of the Efficiency of Microwave Assisted Fenton’s Reaction for Wastewater Treatment	169
Balázs Tárnok – Katalin Kujáni: Ammonia Emission Reducing and the Problem of the Nitrogen Management in Nowadays	177

DISSEMINATION OF APPLICATIONS

József Gál – Ágota Panyor – Ferenc Farkas: Training of Special Educational Needs Students at Szeged University, Faculty of Engineering.....	185
Brigitta Zsótér – József Gál: Increasing the Number of Female Students at the Faculty of Engineering.....	199
Edina Lendvai – Ágota Panyor – György Hampel: Results of a Questionnaire Survey on the Causes of Dropouts in Agriculture and Engineering Training Courses at the Faculty of Engineering	205
Edina Lendvai – Katalin Pappné Sziládi – Anita Vidács: Surveys for Reducing Dropout – for Students with Learning Disability.....	211
Krisztián Kis – Valéria Nagy – Árpád Benkő-Kiss: Assessment of Student Competence and Knowledge Needs Among Students of University of Szeged Faculty of Engineering	217
Krisztián Kis – György Hampel – Árpád Benkő-Kiss: Assessing Competencies and Knowledge Needs of Professions.....	223

MŰSZAKI ÉS INFORMATIKA TUDOMÁNYOK

FENNTARTHATÓSÁG ÉS MŰSZAKI INNOVÁCIÓ

Barczy Attila – Szalai Dániel – Nagy Valéria

Absztrakt: A bennünket körülvevő világ rendkívüli alkalmazkodó képességet feltételez (és kíván meg), amelynek azonban akkor és csakis akkor lehetünk birtokában, ha hajlandóságot mutatunk a folyamatos megújulásra. Ugyanakkor egy mégoly modernnek tűnő problémahalmaz vizsgálata sem nélkülözheti a nagy múltra visszatekintő előzmények feltárását. Illetve érdemes elgondolkodni azon is, hogyan kapcsolódhatnak össze az egyes tudományterületek a bonyolult problémák feltárása során, a problémák jellegének megismerésében, végső esetben pedig azok megoldásakor.

A fenntarthatóság témakörében a (műszaki) innováció és a környezeti elemek, illetőleg a táj vonatkozásában az egyik meghatározó kapcsolódási pont az energetika: mégpedig a megújulókra alapozott energiarendszer kihívásait (környezeti, technológiai és társadalmi) illetően. A kihívásokra adandó válaszok technikától, technológiától, digitális kommunikációtól, felhőinformatikától való erős függése egész társadalmunkra kihatással van: alapvető (természet)tudományos tények birtokában lehetünk döntéshozói és felelős tagjai a társadalomnak (példának okáért a biztonságos és hatékony energiaellátás, vagy akár az integrált közlekedési rendszer kialakítása stb. területén).

Holisztikus szemlélettel, de a teljesség igénye nélkül, gondolattérképre rendeztük a témakörben felmerülő gondolatmorzsákat, és kijelöltük a dinamikus egyensúlyhoz vezető utat néhány „cselekedet” formájában, ilyen módon rámutatva az ember és a természet szükségszerű szimbiózisára. Nincs feltétlen alap vagy abszolút érvényű elv, ugyanakkor van a már említett holisztikus szemlélettel áthatott mérnöki tevékenység. Jelen közlemény tehát elsősorban inkább gondolatébresztő, kitekintő, semmi esetre sem asszertorikus.

Abstract: The world around us assumes (and demands) extraordinary adaptability, but this can only be realized if we are ready for continuous renewal. However, even the study of a seemingly truly modern set of problems requires the exploration of long-standing historical events. It is also worth reflecting on how each discipline relates to all the others while discovering some complex problems, getting to know the nature of such problems, and ultimately solving them.

In the field of sustainability, with respect to (technical) innovation, environmental elements and landscape issues, one of the key links is energetics, especially the challenges (environmental, technological and social) of a renewable energy system. The heavy dependence of responses to challenges on technology and technologies, on digital communication, as well as on cloud computing affects the whole of our society: we can be decision-makers and responsible members of society on the basis of scientific facts (for example, in the areas of safe and efficient energy production, or even the development of an integrated transport system, etc.).

With a holistic view, but in a non-exhaustive way, we organized the relevant bits of thought on a “cognitive map”, and designated the path to dynamic balance in the form of a few “actions”, this way is pointing out the necessary symbiosis between humanity and nature. We have no absolute basis or an unquestioned principle, but we do have engineering work, saturated with the holistic approach mentioned above. Thus, this paper is primarily a thought-provoking, speculative writing, rather than an assertive one.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, interdiszciplináris, holisztikus szemlélet, környezetmentorálás

Keywords: sustainability, interdisciplinary, holistic view, mentoring the environment

1. Bevezetés

A közlemény mottójaként Vekerdi László „Az ember – gondolkodó nádszál.” időtálló szavait választottuk. Nem véletlenül, hiszen annak a nagyszerű emberi képességnek – amit úgy hívunk, hogy gondolkodás – a birtokában leszünk képesek olyan (új) termékek,

szolgáltatások, technológiai eljárás, stb. létrehozására, amelyek sok-sok ember életét megkönnyít(het)ik, illetve mindennapjait élhetővé tehetik, élhetővé teszik. E gondolkörhöz kapcsolódóan az egyetem – mint tanítómesterek és tanítványok közössége („modern” megfogalmazásban talán inkább a K+F+I+O (kutatás-fejlesztés-innováció-oktatás) összefonódásának tere) – feladata elvitathatatlan. És persze a mérnök szerepe (különösen amennyiben rendszerszemléletű, folyamatorientált gondolkodásmód jellemzi) kulcsfontosságú: megteremti az egyensúlyt a tradíció és a globalizáció között. A mérnök szó a latin eredetű találékony, zseni (ingenio, ingenious) szóból származik, amely ilyen módon már eredendően magában rejti az „innovatív” képességet. Gondoljunk csak a Varázsceruza (*Zaczarowany ołówek*) című lengyel sorozatra, amelynek főszereplője egy találékony kisfiú, aki minden problémát egy bűvös ceruza segítségével old meg azáltal, hogy rajzai megelevenednek az epizódokban. Kiemelkedő megfigyelési és gondolkodási képessége tette lehetővé egy-egy (műszaki) újdonság születését (invenció) és találékonyágával, kreativitásával hívta életre annak alkalmazását (innováció).

Kétségtelenül az Ipar 4.0 korát éljük jelenleg, de előre vetül az Ipar 5.0 filozófiája (gép és ember szimbiózisa), amely szerint a robot és az ember hatékony(abb) együttműködése innováció-kultúrát eredményez. Vagyis az Ipar 5.0 az emberi intelligencia és a kognitív számítástechnika előnyeit ötvözi a hatékonyság érdekében (figyelembe véve természetesen a társadalmi hatásokat is). Itt megjegyzendő, hogy a társadalmi fejlődés (messze) lemaradt a műszaki fejlődéstől, pedig a rendszerszemléletű kutatás-fejlesztés, gyártás mellett mégoly fontos a befogadó társadalom támogatása, mint a fenntartható fejlődés 16. fő céljaként megjelölt feladatcsoport is.

Tényként kezelendő az is, hogy a generációk közötti kommunikációs különbségek mellett egyre inkább kidomborodik az egyes generációk eltérő értékrendje, értékelmélete is, amely eltérő társadalmi elvárások, generált szükségletek, felgyorsított életvitel formájában ölt testet és folyamatosan megújuló, alkalmazkodó gondolkodást igényel, tekintettel arra, hogy mindezek közvetve vagy közvetlenül hatnak és visszahatnak a fenntarthatóságra (a fenntarthatóság mérhető mutatóira).

E rövid közleményben tehát arra vállalkozunk, hogy a fenntarthatóság témakörében a környezeti pillért prioritizálva egy-egy példán keresztül érzékeltetjük az energetika, az energiaipari műszaki innováció és az őt körülvevő környezeti elemek és a táj „hatás-ellenhatását”.

2. Fenntarthatóság – az összhang koncepciója

Az energetika holisztikus megközelítése, illetőleg a multidimenziós, interdiszciplináris gondolkodásmód jelentős potenciált hordoz magában, hogy elősegítse a fenntarthatóságot az emberi tevékenység és a természet szimbiózisában. Nincs feltétlen alap vagy abszolút érvényű elv, ugyanakkor van a már említett – holisztikus szemlélettel áthatott – mérnöki tevékenység, vagyis képessé válni (itt megjegyzendő, hogy ez egy hosszadalmas folyamat) komplex megközelítést kívánó „problémák” feltárására, elemzésére.

Ennek tökéletes példája lehet egy problémának oly módon való megoldása, hogy közben egy másik problémát generálunk, amelyre (már) van (műszaki) megoldás, vagy

éppen az adott problémának közvetett módon való megközelítése eredményez megoldást. Az energetika témakörében ez utóbbira említhető példaként a szén (gazdaságosan kitermelhető) mennyiségének csökkenése, amely biomassza közvetlen eltüzelésével részben kiküszöbölhető, azonban e megoldás sem tekinthető karbonsemlegesnek. Viszont a kibocsátott füstgáz szén-dioxid tartalmának leválasztásával és hasznosításával már innovatív megoldás lehet.

Az előbbi példa is érzékelteti, hogy a környezeti fenntarthatóság vonatkozásában mind a tervezés, gyártás, üzemeltetés területén, mind pedig a hasznosítás és alkalmazás területén fontos szerepet játszik a természettudományos ismereteket feltételező kreativitás. Ilyen módon a nem kiforrott technológiák, illetőleg az alacsony társadalmi elfogadottsággal küzdő technológiák sosem fognak hosszútávú megoldásként szolgálni, csupán átmenetileg funkcionálnak.

E gondolatkörhöz kapcsolódóan a fenntartható fejlődés fő célkitűzései közül említendő:

- a megfizethető, megbízható, fenntartható és modern energiához való hozzáférés biztosítása mindenki számára (7. fő cél),
- az innováció ösztönzése (9. fő cél), továbbá
- a szárazföldi ökoszisztémák fenntartható használata (15. fő cél), illetve
- a már említett befogadó társadalmak támogatása (16. fő cél) (ZLINSZKY – BALOGH 2016).

Lévén, hogy a természeti erőforrások nem helyettesíthető kulcserőforrások: (tulajdonképpen ökológiai korlátok az életünkben), ezért egy adott energiaipari (műszaki) innováció vonatkozásában komplex vizsgálatot, elemzést kell végezni annak eldöntéséhez, hogy a fenntarthatóság pillérei (környezeti, gazdasági, társadalmi, „politikai”) közül éppen melyik hanyagolható el, melyik szorítható háttérbe időlegesen.

A haladás irányának tisztázásában, valamint a források elosztásában és a fontossági sorrend meghatározásában indikátorok segítenek/segíthetnek (GOCKLER 2017).

A szükséges mutatószámok kiválasztásához vezet el az *1. ábra*, amely gondolattérkép formájában vetíti elénk a környezetmentorálást (a fenntarthatóság és a(z) energiaipari innováció vonatkozásában).

Az energetika (közvetetten az energiaipari műszaki innováció), illetve a fenntarthatóság (a környezeti elemekre és a tájra gyakorolt hatás) témakörében felsejlő gondolatmorzsákat (tényeket, elveket, teóriákat és módszereket) rendeztük térképre, ugyanakkor cselekedeteket is felsorakoztatunk (amennyiben befogadó környezetet teremtünk azoknak), és az egészet áthatja a holisztikus szemlélet, az interdiszciplinaritás.

A fenntarthatóság középpontjába az embert helyeztük, ugyanakkor folyamatosan újra kell értékelni, monitorozni az emberi cselekedetek hatását is, és az adott szinten szükség esetén be kell avatkozni. A harmónia, avagy a szükségszerű szimbiózis alapköve ugyanis a konstruktív és együttműködő cselekvés, amely önfegyelmekkel kell, hogy párosuljon.

1. ábra: Környezetmentorálás
(a fenntarthatóság és a(z) energiaipari) műszaki innováció vonatkozásában)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

3. Alkalmazkodó rendszerek

Az előző fejezetben említett környezetmentorálás alapja a rendszer és környezete közötti „hatás-ellenhatás”. Ennek előfeltétele, hogy a belső értékrendből fakadóan tudjunk azonosulni a problémákkal, kihívásokkal. A megújulóakra alapozott energiarendszer technológiai kihívásai között említendő a redundancia, a kritikus infrastruktúra (elemek összekapcsolódása, elemek kölcsönös függése), illetve a megújuló energiatermelési rendszerek hatása (kockázat- és lehetőségelemzés, avagy sebezhetőség) a környezeti elemekre, a tájkép karakterére és minőségére.

A Collingridge dilemma is arra hívja fel a figyelmet, hogy egy adott műszaki újdonság (rendszer) bevezetése előtt, illetve beágyazódása során a technológia hatásainak átfogó elemzése szükséges annak érdekében, hogy minél több információ álljon rendelkezésre a bevezetéshez, elterjesztéshez és a hosszútávú fenntarthatósághoz, az alkalmazkodási „képesség” kimunkálásához.

A közleményünk központi üzenetét adó interdiszciplinaritásnak e „célkutatás” maximálisan teret enged, hiszen a jövőbeli hatások minél biztosabb meghatározását komplex megközelítéssel tehetjük lehetővé. Hivatkozással néhány korábbi munkára (MACKAY 2008; LIEGEY 2013; HTTP1; HTTP2; HTTP3), kijelenthető, hogy az eredményt pedig több tudományág (kockázattudomány, környezettudomány, társadalomtudományok, stb.) összekapcsolása és együttgondolkodása garantálja. Itt megjegyzendő, hogy a számítógépi programoknak a technika minden területére kiterjedő egyre növekvő elterjedése és használata, valamint azok Internet útján történő világméretű

terjesztésének állandó növekedése a műszaki innováció kritikus tényezője. És tény az is, hogy a társadalom tagjainak az önálló problémafeltáró és megoldó képessége (is) sorvad az „okos” elektronikus eszközök túlzott használatával. A motiváció külső és/vagy belső dominanciájára tipikus példa a generált szükséglet és az önfegyelem viszonya.

A dinamikus egyensúly (vagyis egy folytonosan változó környezethez való alkalmazkodás képessége) azt jelenti, hogy a környezet megváltozása indukálta változtatás ismételt egyensúlyt eredményez.

A környezet, illetve a tájjelleg (tájkarakter) figyelembe vételével végzett mérnöki tevékenység kreativitást és innovációt rejt magában. Az energiatermelés/hasznosítás ugyanis a természeti adottságokhoz alkalmazkodó intenzívebb tájhasználatot eredményez. A tájjelleg (tájkarakter) a természeti és antropogén tájalkotó tényezők együtthatásából kialakuló, adott tájrészletre jellemző mintázat vagy rendszer, amely egy tájat más tájrészletektől megkülönböztethetővé tesz (Nemzeti Tájstratégia 2017-2026). A fentieket figyelembe vevő energiamodell változatok kidolgozása során előnyt élveznek a már említett fenntartható fejlődési fő célok/részcélok teljesítése (ZLINSZKY – BALOGH 2016). Példának okáért a 169 rész cél közül a 7.a. rész cél éppen a fejlettebb és tisztább fosszilis tüzelőanyag-technológiát, az energetikai infrastruktúrába történő befektetést és a tiszta technológiák életre hívását szorgalmazza. De ugyancsak itt említhető meg vezérlő elvként a 9.4. rész cél, amely az erőforrások hatékonyabb felhasználása, valamint a tiszta és környezetbarát technológiák és ipari eljárások kifejlesztése és felhasználása okán kapcsolódik a műszaki mérnökök tevékenységéhez. Alkalmas módszerek lehetnek az energia életciklus elemzés, illetőleg a kockázatelemzés is: a differenciált gondolkodással végzett értékelő elemzések ugyanis az előállítási folyamatokat átláthatóvá teszik, ezáltal pedig energiamegtakarítás, illetve kisebb környezetre gyakorolt hatás realizálható. Ezeket pedig már a társadalom tagjai el- és befogadják (meggyőződéssé szilárduló szemléletmód, cselekvési készenlét stb. formájában), közelebb kerülve ilyen módon a fenntarthatósághoz.

4. Összegzés, záró gondolatok

Közleményünk a fenntarthatóság és az energiaipari (műszaki) innováció bonyolult viszonyára világított rá, ahol a kapcsolatok mélyebb elemzése interdiszciplináris gondolkodásmódot feltételez. A legtöbb publikációban ugyanis egy adott műszaki fejlesztéssel kapcsolatosan az „újdonság” hangsúlyozása (egy adott problémának a lehetséges megoldása más módon) kerül előtérbe és csak nagyon kevés írott anyagban találhatunk a műszaki/technológiai/technikai fejlesztésekkel kapcsolatos teljes hatásmechanizmus elemzést. Ilyen módon tehát a még nem kiforrott technológiák bevezetéséhez és azok alkalmazásához azonban a jövőben olyan kutatások végzése indokolt, amelyek feltárják a rendszerek tartós, állandó és megbízható alkalmazásának lehetőségeit, illetőleg kijelölik a szükségszerű (tovább)fejlesztési irányokat. Itt megjegyzendő, hogy az egyetemek szerepe a tudományos eredmények disszeminációjában elsődleges.

Környezetünk védelme szempontjából persze elengedhetetlen az alacsony széndioxid kibocsátású rendszerekre való átállás, azonban egyidejű megoldás lehet a már

meglévő rendszerek magasabb rendű rendszerekké fejlesztése is, hiszen nem elhanyagolandó szempont a redundancia sem. Illetve figyelembe kell venni azt is, hogy az esetleges „új” megoldás milyen típusú beruházásokkal jár (zöldmezős/barnamezős) és hogyan befolyásolja a tájkaraktert, stb.

Tehát a környezetmentorálás alkalmazásával átláthatóvá lehet tenni, hogy egy adott probléma tompítása (végső esetben megoldása) milyen környezeti változást eredményez(het).

Irodalomjegyzék

- Gockler L. (2017): A fenntartható fejlődés a gyakorlatban. In: Mezőgazdasági Technika, 58/4: 40-43
- Liegey V. et al. (2013): Un projet de Décroissance. Les Éditions
- MacKay D. J. C. (2008): Sustainable Energy - without the hot air. UIT Cambridge
<http://www.withouthotair.com/download.html>
- Zlinszky J. – Balogh D. (szerk.) (2016): Világunk átalakítása – A fenntartható fejlődés 2030-ig megvalósítandó programja (Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, 2015, Resolution_General Assembly), Pázmány Press, Budapest, 130 p.
- Nemzeti Tájstratégia (2017-2026), Földművelésügyi Minisztérium, Budapest 2016.
- HTTP1: Nagy V. (2018): Műszaki innováció – avagy innovációelmélet műszakiaknak. Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, Szeged, 122 p.
<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10022554>
- HTTP2: Barczy A. – Szalai D. – Nagy V. (2017): The legislative background of the application of fermentation residues to agricultural lands in Hungary. *Analecta Technica Szegedinensia* 2017/2, pp. 26-35
<https://m2.mtmt.hu/gui2/?type=authors&mode=browse&sel=10001608>
- HTTP3: Sustainable Energy News No. 82, April 2018 - INFORSE (International Network for Sustainable Energy); <http://www.inforse.org/doc/SEN82.pdf>

SAJÁTFREKVENCIA-HÁNYADOS HATÁSA A SZABADREZGÉST VÉGZŐ KÖRHENGER KÖRÜLI FOLYADÉKÁRAMLÁSRA

Dorogi Dániel – Baranyi László

Absztrakt: A jelen dolgozatban a kétdimenziós, összenyomhatatlan, newtoni folyadék párhuzamos áramlásába helyezett, kétszabadságfokú szabadrezgést végző körhenger körüli áramlási folyamatokat vizsgáljuk CFD technika segítségével. A számítások során a Reynolds-számot, a tömegarányt és a dimenziótlan csillapítási tényezőt rendre 150, $8/\pi$ és 0 értékeken rögzítettük. A vizsgálatok során a henger hossz- és keresztirányú sajátfrekvenciáinak hányadosát az $FR = 1-3$ tartományban változtattuk $f_v/f_{Ny} = 0,9; 1,0$ és $1,1$ esetén, ahol f_v az álló hengernél lévő örvényleválási frekvencia és f_{Ny} a henger keresztirányú sajátfrekvenciája. Az eredmények azt mutatják, hogy az FR és f_v/f_{Ny} paraméterek jelentős hatást gyakorolnak a henger hossz- és keresztirányú rezgési amplitúdóira. A henger minden vizsgált számítási pontban torzított nyolcas alakú pályagörbét követ, amely $FR < 2$ és $FR > 2,6$ esetén szimmetrikus, míg az $FR \cong 2-2,6$ tartományban aszimmetrikus. Szimmetrikus pályagörbe esetén 2S, aszimmetrikus esetben pedig P+S örvényszerkezet figyelhető meg. A felhajtóerő-tényező frekvenciaspektrumában az $ff_{Ny} = 1$ és 3 csúcsok játszottak nagy szerepet.

Abstract: In this study two-dimensional incompressible Newtonian fluid flow around a freely vibrating circular cylinder is analyzed using a CFD approach. In these computations Reynolds number, mass ratio and structural damping coefficient values are fixed at 150, $8/\pi$ and 0, respectively. Computations are carried out at the streamwise to transverse natural frequency ratio range of $FR = 1-3$ at $f_v/f_{Ny} = 0.9, 1.0$ and 1.1 , where f_v is the vortex shedding frequency for a stationary cylinder and f_{Ny} is the natural frequency in transverse direction. It was found that both FR and f_v/f_{Ny} strongly influence the vibration amplitudes in the streamwise and transverse directions. Distorted figure-eight cylinder motion was identified in all cases investigated. Cylinder paths are asymmetrical in the domain between $FR = 2$ and 2.6 and symmetrical below and above this range. For symmetrical paths 2S vortex structures were identified and P+S vortex shedding modes were found for asymmetrical paths. In the frequency spectra of lift $ff_{Ny} = 1$ and 3 frequency peaks were found to play important roles. They affects for example the vortex structure and the cylinder trajectory.

Kulcsszavak: CFD, körhenger, örvényszerkezet, Reynolds-szám, pályagörbe, sajátfrekvencia-hányados

Keywords: CFD, circular cylinder, cylinder path, natural frequency ratio, Reynolds number, vortex structure

1. Bevezetés

A szabadrezgést végző körhenger körüli áramlási folyamatok vizsgálatával számos szakirodalom foglalkozik a téma nagy gyakorlati jelentősége miatt. Amennyiben az örvényleválás frekvenciája és a test frekvenciája közel azonos, úgy a test nagy amplitúdójú rezgésbe jöhet, amely a szerkezet meghibásodásához vezethet. Ezen áramlás által keltett rezgések (angolul *vortex-induced vibration* vagy röviden *VIV*) nagy szerepet játszottak például a kaliforniai Tacoma Narrows híd összeomlásában vagy a japán Monju atomerőműben bekövetkezett szerencsétlenségben. Bearman (1984), Williamson és Govardhan (2004) illetve Sarpkaya (2004) részletesen tárgyalják e jelenséget.

A valóságban lejátszódó szabadrezgéseket sok esetben modellezik egyszabadságfokú rezgésekkel, ahol a henger kizárólag keresztirányban (a főáramlásra merőlegesen) képes elmozdulni. E modellt használva Feng (1968) illetve Khalak és Williamson (1999) kimutatták, hogy az m^* tömegarány (a henger tömegének és a kiszorított folyadék tömegének hányadosa) illetve a ζ dimenziótlan csillapítási tényező jelentős hatással van a rezgésképre. Feng (1968) méréseket végzett nagy $m^*\zeta$ értékek esetén. Kétágú rezgésképet tapasztalt, ahol az alap- és alsóágat azonosította. Khalak és Williamson (1999) mérési eredményeiből arra következtetett, hogy kis $m^*\zeta$ értékek esetén háromágú rezgéskép alakul ki; az alap-, alsó- és felsőág jelenik meg. A szerzők a legnagyobb amplitúdójú rezgéseket a felsőághoz társították. Megfigyelték továbbá, hogy az egyes ágakhoz különböző örvényszerkezetek tartoznak. Az alsó- és felsőágon 2P struktúrát (a hengerről két örvénypár válik le minden egyes hengermozgási periódusban), míg az alapágon 2S típusú örvényszerkezetet (két egyedülálló örvény válik le) figyeltek meg.

A valóságos folyamatoknál a rezgőmozgás minden esetben kétszabadságfokú; a henger kereszt- és hosszirányban (a főáramlásra merőlegesen és azzal párhuzamosan) egyaránt képes elmozdulni. Általános esetben a henger hossz- és keresztirányú sajátfrekvenciája (f_{Nx} és f_{Ny}) különböző értékű. Moe és Wu (1999) kísérleti vizsgálatokat végzett $FR = f_{Nx}/f_{Ny} = 2,18$ sajátfrekvencia-hányados esetén. Tapasztalataik azt mutatták, hogy az egyszabadságfokú rezgéseknél korábban azonosított alap-, alsó- és felsőág különböző sajátfrekvenciájú rendszereknél nem jelenik meg. Sarpkaya (1995) és Dahl és szerzőtársai (2007) (a későbbiekben az „és szerzőtársai” helyett a latin „et al.” rövidítést fogjuk alkalmazni) részletesen vizsgálták az $FR = 1-2$ tartományt. Mérési eredményeik ugyancsak azt mutatták, hogy $FR \neq 1$ esetén az alap-, alsó- és felsőág nem jelenik meg. Jauvtis és Williamson (2004) a tömegarány hatását vizsgálta $FR = 1$ esetén kísérleti módszerek segítségével. Kimutatták, hogy az $m^* = 6-25$ tartományban a rezgéskép háromágú viselkedést mutat. A tömegarány értékét $m^* = 6$ alá csökkentve megjelenik a legfelső ág, ahol a rezgési amplitúdók értékei nagymértékben megnőnek. Ezen az ágon a szerzők 2T típusú örvényszerkezetet tapasztaltak (a hengerről két tripla örvény válik le).

Az áramlás által keltett szabadrezgések numerikus (CFD) vizsgálatát túlnyomó részt kis Reynolds-számok [$Re = U_\infty d/\nu \cong O(10^2)$, ahol U_∞ a megfúvási sebesség, ν a folyadék kinematikai viszkozitása és d a henger átmérője] esetén végzik. Ennek legfőbb oka az, hogy az áramlás közepes Reynolds-számok esetén ($Re = 10^3-10^4$) háromdimenziós (3D) viselkedést mutat. A szakirodalomban a 3D viselkedés ez által okozott megnövekedett számítási kapacitást kiküszöbölik oly módon, hogy a szisztematikus numerikus vizsgálatokat kis Reynolds-számok esetén végzik, majd a tapasztalt jelenségekből következtetnek a közepes Re esetén lévő lehetséges áramlási és rezgési folyamatokra.

Számos tudományos munka foglalkozik olyan kétszabadságfokú rezgések CFD vizsgálatával, ahol a sajátfrekvenciák a két irányban azonosak (például Singh és Mittal, 2005 vagy Prasanth és Mittal, 2008). Azonban az $FR \neq 1$ esetén végzett numerikus vizsgálatok száma meglehetősen korlátozott. Bao et al. (2012) és Wang

et al. (2017) CFD vizsgálatokat végzett rendre $Re = 150$ és 500 esetén az $FR = 1-2$ sajátfrekvencia-hányados tartományban. Megállapították, hogy a hengerre ható felhajtóerő-tényező frekvenciaspektrumában lévő harmadik felharmonikus jelentős hatással van a rezgőmozgásra.

A jelen tudományos munkában CFD számítások segítségével vizsgáljuk a sajátfrekvencia-hányadosnak a kialakuló rezgésekre gyakorolt hatását $f_v/f_{Ny} = 0,9; 1,0$ és $1,1$ értékek esetén, ahol f_v az álló henger esetén számított örvényleválási frekvencia. Az Re Reynolds-számot, az m^* tömegarányt és a ζ dimenziótlan csillapítási tényezőt rendre $150, 8/\pi$ és 0 állandó értéken tartjuk.

2. A megoldandó alapegyenletek és a számítási eljárás

A jelen dolgozatban az összenyomhatatlan, newtoni közeg kétdimenziós áramlását vizsgáljuk CFD technika segítségével. A számítások során a hengerhez kötött vonatkoztatási rendszerben felírt Navier-Stokes mozgásegyenlet két komponensét, a kontinuitási egyenletet és a folyadéknyomás számítására használt Poisson egyenletet oldjuk meg. Ezen egyenletek dimenziótlan alakban az alábbiak szerint írhatók:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \ddot{x}_0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{Re} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \ddot{y}_0, \quad (2)$$

$$D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

$$\nabla^2 p = 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial D}{\partial t}, \quad (4)$$

ahol x és y a Derékszögű Descartes Koordináta Rendszerben értelmezett koordináták, u és v a dimenziótlan áramlási sebesség x és y irányú komponense, p a dimenziótlan folyadéknyomás illetve D a sebesség divergenciája. A fenti egyenletekben $Re = U_\infty d/\nu$ a Reynolds-szám, ahol U_∞ a megfúvási sebesség, d a henger átmérője és ν a folyadék kinematikai viszkozitása. Az (1) és (2) egyenletben \ddot{x}_0 és \ddot{y}_0 a henger x és y irányú dimenziótlan gyorsulása, amelyeket az alábbi szerkezetre vonatkozó egyenletek segítségével számítunk:

$$\ddot{x}_0 + \frac{4\pi\zeta}{U^*} \dot{x}_0 + \left(\frac{2\pi}{U^*} FR \right)^2 x_0 = \frac{2C_D}{\pi m^*}, \quad (5)$$

$$\ddot{y}_0 + \frac{4\pi\zeta}{U^*} \dot{y}_0 + \left(\frac{2\pi}{U^*} \right)^2 y_0 = \frac{2C_L}{\pi m^*}. \quad (6)$$

Itt x_0 , \dot{x}_0 és \ddot{x}_0 rendre a henger hosszirányú (x) elmozdulása, sebessége és gyorsulása, míg az y_0 , \dot{y}_0 és \ddot{y}_0 ugyanazon mennyiségek keresztirányú (y) komponensei. A fenti egyenletekben C_D és C_L a hengerre ható ellenállás és felhajtóerő-tényezők, m^* a tömegarány (a henger tömegének és a kiszorított folyadék tömegének hányadosa) illetve ζ a dimenziótlan csillapítási tényező. Az (5) és (6) egyenletben $U^* = U_\infty / (f_{Ny} d)$ a redukált sebesség illetve $FR = f_{Nx} / f_{Ny}$ a sajátfrekvencia-hányados, ahol f_{Nx} és f_{Ny} a hossz- illetve keresztirányú sajátfrekvencia.

Fizikai tartományként egy körgyűrű alakú számítási teret tekintünk, amelynek dimenziótlan belső és külső sugara rendre R_1 és R_2 . Itt R_1 a körhenger felületét, míg R_2 a zavartalan áramlás helyét jelöli. Mindkét hengerfelületen a sebességre Dirichlet-típusú, míg a nyomásra Neumann-típusú peremfeltételt alkalmazunk. Ezek pontos kielégítésének érdekében peremre illesztett koordinátákat használunk. Ennek révén a fizikai tartományt egy számítási síkra képezzük le. E módszer előnye, hogy megfelelő leképző függvények alkalmazásával a számítási tartományon egyenközű háló, míg a fizikai tartományon a henger környezetében sűrű, a zavartalan áramlás helyén pedig ritka háló hozható létre.

A leképzett egyenleteket a transzformált peremfeltételekkel együtt a véges differenciák módszerének segítségével oldjuk meg (Baranyi, 2008). A térbeli deriváltakat negyedrendű differenciasémák segítségével diszkretizáljuk, kivéve a konvektív tagokat, ahol harmadrendű módosított upwind differenciasémát alkalmazunk. A Navier-Stokes mozgásegyenleteket és a szerkezeti egyenleteket explicit módon integráljuk, míg a nyomásra felírt Poisson egyenlet diszkretizációja során adódó lineáris egyenletrendszer az SOR (*successivel over-relaxation*) módszer segítségével oldjuk meg.

A számítási eljárást az R_2/R_1 sugárárány, a $\zeta_{max} \times \eta_{max}$ hálófelbontás (ahol ζ_{max} a henger felületén lévő, míg η_{max} a sugárirányú rácspontok száma) illetve Δt dimenziótlan időlépcső jellemzi. E paraméterek meghatározásához függetlenségi vizsgálatokat végeztünk, amelyek eredményeit a Dorogi és Baranyi (2018, 2019) munkákban ismertettünk. A megválasztott számítási paraméterek esetén kapott hálóra jellemző, hogy a henger melletti legkisebb cella mérete $0,0088d$, míg a testtől legtávolabbi és egyben legnagyobb cella mérete $2.766d$. A számítógépes programkód alkalmazása révén kapott eredményeket összehasonlítottuk a rendelkezésre álló irodalmi adatokkal álló illetve rezgőmozgást végző körhenger esetén. Eredményeink kiváló egyezést mutattak a szakirodalomban más szerzők által bemutatott eredményekkel. Ezek az összehasonlítások többek között a Baranyi (2008) és Dorogi és Baranyi (2018, 2019) irodalmakban található. Ezért, helytakarékosági okokból, jelen dolgozatban a függetlenségi vizsgálatot és a számítógépes programkód validálását nem kívánjuk megismételni.

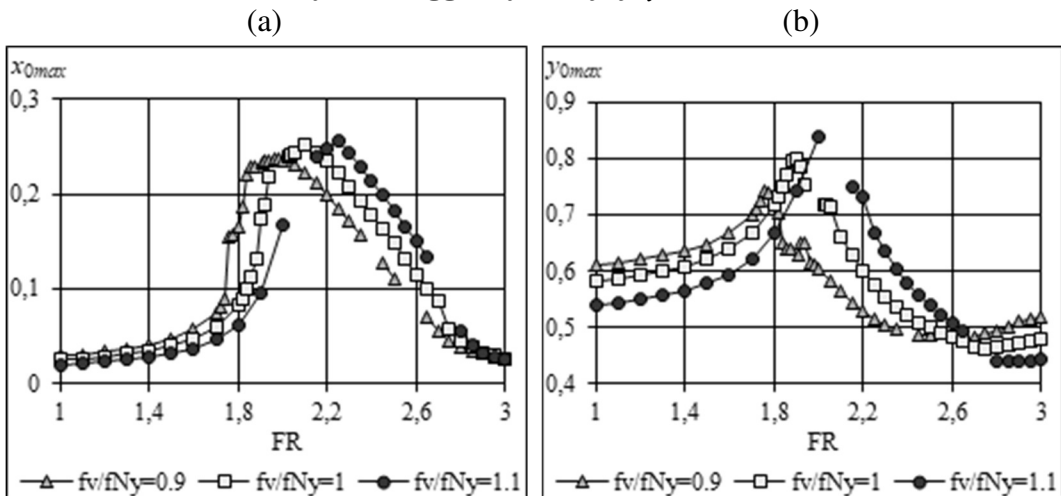
3. Az eredmények bemutatása

A jelen tudományos munkában az $FR = f_{Nx} / f_{Ny}$ sajátfrekvencia-hányados hatását vizsgáljuk a henger hossz- és keresztirányú rezgési amplitúdóira illetve a henger körüli áramlási folyamatokra vonatkozóan $f_v / f_{Ny} = 0,9; 1,0$ és $1,1$ esetén. Itt f_v az álló körhenger esetén számított örvényleválási frekvencia. A vizsgálatok során a

Reynolds-számot, a tömegarányt és a dimenziótlan csillapítási tényezőt rendre $Re = 150$, $m^* = 8/\pi$ és $\zeta = 0$ állandó értéken tartjuk.

Az 1a és b ábrán a hossz- és keresztirányú rezgési amplitúdók (x_{0max} és y_{0max}) láthatók a frekvenciahányados függvényében a vizsgált f_v/f_{Ny} értékek esetén. Megfigyelhető, hogy x_{0max} értéke minden esetben kisebb, mint y_{0max} , amely megegyezik Singh és Mittal (2005) és Prasanth és Mittal (2008) $FR = 1$ esetén kapott számítási eredményeivel. Látható továbbá, hogy a vizsgált frekvenciahányados-tartomány alapvetően három részre bontható. $FR < 2$ esetén a frekvenciahányados növelésével x_{0max} és y_{0max} növekvő tendenciát mutat, illetve a rezgési amplitúdó görbék f_v/f_{Ny} növelésével lefelé tolódnak el. Ezzel szemben az $FR \cong 2 - 2,6$ tartományban x_{0max} és y_{0max} változása teljesen ellentétes tendenciát mutat: FR növelésével a rezgési amplitúdók erőteljesen csökkennek, illetve a görbék felfelé tolódnak el f_v/f_{Ny} növelésével. Végül, a sajátfrekvencia-hányados értékét $FR = 2,6$ felett változtatva hasonló tendenciákat vélhetünk felfedezni, mint az $FR < 2$ esetben. E tartományban az f_v/f_{Ny} paramétert növelve a görbék lefelé tolódnak el. Azonban FR növelésével némi eltérést tapasztalunk az $FR < 2$ intervallumhoz képest: az x_{0max} kismértékű csökkenést, míg az y_{0max} kismértékű növekedést mutat.

1. ábra: Hosszirányú (a) és keresztirányú rezgési amplitúdók a frekvenciahányados függvényében $f_v/f_{Ny}=0,9; 1,0$ és $1,1$ esetén



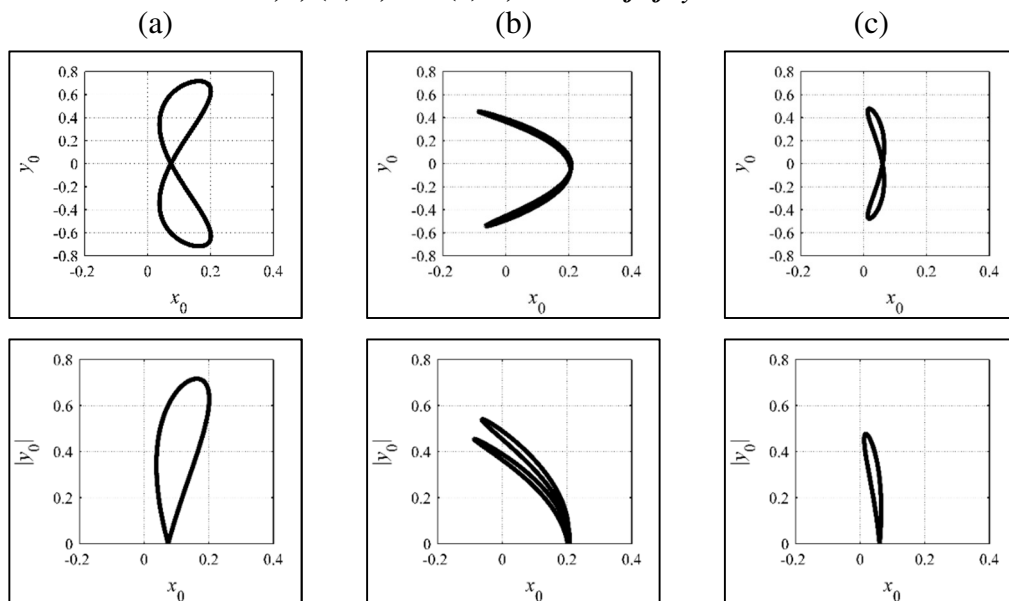
Forrás: A szerzők saját szerkesztése

Ahhoz, hogy az imént említett három tartományt részletesebben bemutassuk, először a henger pályagörbéit vizsgáljuk meg. A 2. ábra felső részén a henger (x_0 , y_0) pályagörbéi, míg az alsó részén az (x_0 , $|y_0|$) görbék láthatók három különböző FR értéknél $f_v/f_{Ny} = 1$ esetén. Megfigyelhető, hogy a henger torzított nyolcas alakú görbét követ mindhárom FR értéknél (lásd 2a, b és c ábrák felső része). Az ilyen típusú pályagörbe megjelenésére számos szakirodalmi példa van (például Dahl et al, 2007; Bao et al., 2012; Baranyi, 2012; Dorogi és Baranyi, 2019). Látható továbbá az is, hogy $FR < 2$ és $FR > 2,6$ esetén a pályagörbék szimmetrikusak, hiszen az (x_0 , $|y_0|$) síkon csak egy görbe látszik (lásd 2a és c ábra). Ez azzal magyarázható, hogy a

pályagörbék $y_0 < 0$ és $y_0 > 0$ tartományban fekvő részei egymás tükörképei. Ezzel szemben az $FR = 2-2,6$ esetén számított pályagörbék aszimmetrikusak, ugyanis az $(x_0, |y_0|)$ síkon két görbe figyelhető meg (2b ábra).

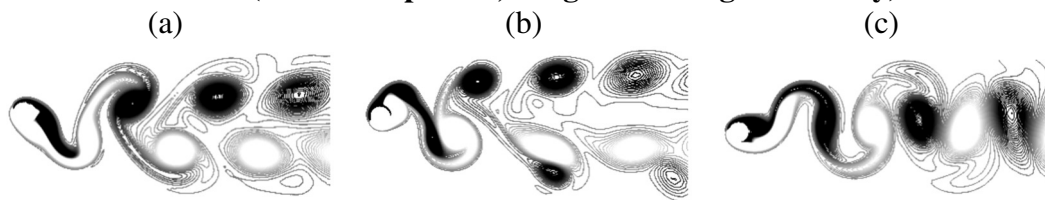
A 3. ábrán a henger mögött kialakuló örvényszerkezetek láthatók, ugyanazon paraméterkombinációknál, mint amelyeknél korábban a pályagörbét vizsgáltuk (lásd 2. ábra). A 3a és c ábrán 2S típusú örvényszerkezet szemléltethető, amely szimmetrikus terhelést jelent a hengerre nézve, így a henger pályagörbéje is szimmetrikus (lásd 2a és c ábra). Ezzel szemben, a 3b ábrán P+S örvényszerkezet figyelhető meg: a hengerről egy örvénypár és egy egyedülálló örvény válik le minden hengermozgási periódusban. Ez az örvényszerkezet a testet aszimmetrikus módon terheli, amely megmagyarázza a kialakult aszimmetrikus pályagörbét (2b ábra).

2. ábra: Az (x_0, y_0) (felső ábrák) illetve $(x_0, |y_0|)$ (alsó ábrák) pályagörbék (a) $FR=1,8$; (b) 2,5 és (c) 3,0 esetén $f_v/f_{Ny}=1$ mellett



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

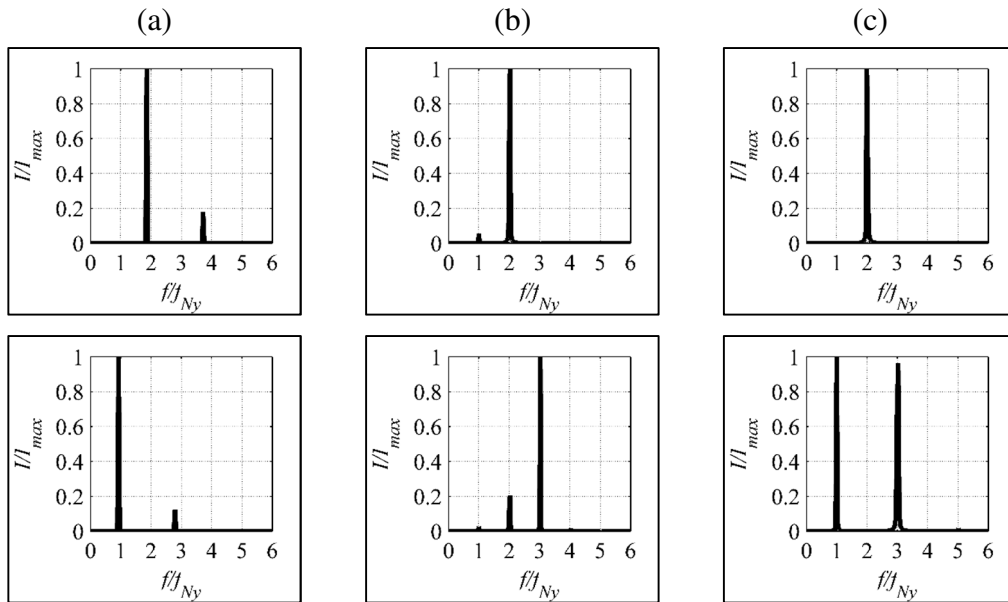
3. ábra: Örvényszerkezetek (a) $FR=1,8$; (b) 2,5 és (c) 3,0 esetén $f_v/f_{Ny}=1$ mellett (sötét szín: pozitív, világos szín: negatív örvény)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A 4. ábra az ellenállástényező (felső ábrák) és felhajtóerő-tényező (alsó ábrák) frekvenciaspektrumait mutatja ugyanazon (FR; f_v/f_{Ny}) kombinációknál, mint amelyeknél korábban a pályagörbével és örvényszerkezettel kapcsolatos vizsgálatainkat mutattuk be. Az ábrák vízszintes tengelyein a keresztirányú sajátfrekvenciával normalizált frekvenciaértékek, míg a függőleges tengelyeken az I/I_{max} normalizált intenzitásértékek láthatók, ahol I az intenzitás és I_{max} a spektrumban megjelenő maximális intenzitásérték.

4. ábra: Az ellenállástényező (felső ábrák) illetve felhajtóerő-tényező (alsó ábrák) frekvenciaspektrumai FR=1,8 (a); 2,5 (b) és 3,0 (c) esetén $f_v/f_{Ny}=1$ mellett



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

Az ellenállástényező frekvenciaspektrumában FR növelésének hatására számottevő változás nem fedezhető fel. A legjelentősebb frekvenciacsúcs mindvégig a keresztirányú sajátfrekvencia kétszerese. Ezen felül $FR < 2$ esetén $f/f_{Ny} = 4$ közelében (4a ábra), míg az $FR = 2-2,6$ tartományban az $f/f_{Ny} = 1$ helyen (4b ábra) látható egy-egy kisebb frekvenciacsúcs. Ezzel szemben a felhajtóerő-tényező frekvenciaspektrumában FR növelésével jelentős változás mutatkozik. A 4a ábra alsó részén megfigyelhető, hogy $FR < 2$ esetén a legjelentősebb frekvenciacsúcs megegyezik a keresztirányú sajátfrekvenciával. Emellett kisebb intenzitással megjelenik a harmadik felharmonikus ($f/f_{Ny} = 3$) is. E két frekvenciacsúcsról számos szakirodalomban tesznek említést. Jauvtis és Williamson (2004) a legfelső ágon azonosított $2T$ örvényszerkezet megjelenését a harmadik felharmonikkal magyarázta. Dahl et al. (2007) mérési eredményei azt mutatták, hogy az első és harmadik felharmonikus hatással van egymásra. Bao et al. (2012) CFD számításaik során ugyancsak tapasztalták e két frekvenciacsúcs megjelenését. Az $FR = 2$ és $2,6$ értékek között a harmadik felharmonikus a legintenzívebb (4b ábra), míg az $f/f_{Ny} =$

1 csúcs majdnem eltűnik a spektrumból. A *4b ábrán* látható frekvenciaspektrumban felfedezhető továbbá a második felharmonikus is. Tapasztalataink azt mutatták, hogy a sajátfrekvencia-hányadost növelve az $fff_{Ny} = 2$ csúcs intenzitásértéke növekvő tendenciát mutat. Ennek oka egyelőre tisztázatlan, további vizsgálatokat igényel. Végezetül, az $FR > 2,6$ tartományban kapott számítási eredmények (*4c ábra*) nagymértékben hasonlítanak az $FR < 2$ esetén bemutatott eredményekhez. A *4c ábrán* megfigyelhető, hogy az $fff_{Ny} = 1$ és 3 helyeken található csúcserőterek, amelyek közül az első felharmonikus bizonyul a legjelentősebbnek. Látható azonban, hogy a harmadik felharmonikus intenzitása sokkal nagyobb, mint $FR < 2$ esetén.

4. Következtetések

A jelen dolgozatban a párhuzamos áramlásba helyezett, kétszabadságfokú szabadrezgést végző körhenger körüli áramlási viszonyokat vizsgáltuk. A számítások során a henger hossz- és keresztirányú sajátfrekvenciája (f_{Nx} és f_{Ny}) különbözött; az $FR = f_{Nx}/f_{Ny}$ sajátfrekvencia-hányadost az $FR = 1-3$ tartományban változtattuk $f_v/f_{Ny} = 0,9; 1,0$ és $1,1$ értékek esetén. A vizsgálatok során a Reynolds-számot, a tömegarányt és a dimenziótlán csillapítási tényezőt rendre $Re = 150$, $m^* = 8/\pi$ és $\zeta = 0$ állandó értéken tartottuk. A legfőbb eredményeket az alábbi pontokban összegezzük:

- $FR < 2$ esetén a henger hossz- és keresztirányú rezgési amplitúdói (x_{0max} és y_{0max}) növekvő tendenciát mutatnak, illetve az amplitúdó görbék f_v/f_{Ny} növelésével lefelé tolódnak el;
- Az $FR \cong 2-2,6$ tartományban x_{0max} és y_{0max} értéke FR növelésével jelentősen csökken illetve a görbék f_v/f_{Ny} növelésével felfelé tolódnak el;
- $FR > 2,6$ esetén az amplitúdó görbék f_v/f_{Ny} növelésével lefelé tolódnak el. Emellett a sajátfrekvencia-hányadost növelve x_{0max} csökkenő, míg y_{0max} növekvő tendenciát mutat;
- A henger pályagörbéje mindhárom FR tartományban torzított nyolcas jelleget mutat. Azonban $FR < 2$ és $FR > 2,6$ esetén e görbék szimmetrikusak, míg az $FR=2-2,6$ intervallumban aszimmetrikusak. Szimmetrikus pályagörbe esetén 2S, aszimmetrikus esetben P+S örvényszerkezet alakul ki;
- A felhajtóerő-tényező frekvenciaspektruma jelentősen változik FR növelésével. $FR < 2$ és $FR > 2,6$ esetén az $fff_{Ny} = 1$ és 3 frekvenciacsúcsok játszanak nagy szerepet, amelyek közül az első felharmonikus ($fff_{Ny} = 1$) a legnagyobb intenzitású. Az $FR \cong 2-2,6$ tartományban az $fff_{Ny} = 1$ frekvencia összetevő intenzitása jelentősen lecsökken, míg az $fff_{Ny} = 3$ csúcs intenzitása nagymértékben nő. Ezek mellett a frekvenciaspektrumban megjelenik az $fff_{Ny}=2$ frekvenciacsúcs is.

Köszönetnyilvánítás

A cikkben ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

Irodalomjegyzék

- Bao, Y., Huang, C., Zhou, D., Tu, J., Han, Z. (2012): Two-degree-of-freedom flow-induced vibrations on isolated and tandem cylinders with varying natural frequency ratios. *Journal of Fluids and Structures* 35: 50–75.
- Baranyi, L. (2008): Numerical simulation of flow around an orbiting cylinder at different ellipticity values. *Journal of Fluids and Structures* 24 (6): 883–906.
- Baranyi, L. (2012): Simulation of a low-Reynolds number flow around a cylinder following a figure-8-path. *International Review of Applied Sciences and Engineering* 3: 133–146.
- Bearman, P.W. (1984): Vortex shedding from oscillating bluff bodies. *Annual Review of Fluid Mechanics* 16: 195–222.
- Dahl, J.M., Hover, F.S., Triantafyllou, M.S. (2007): Resonant vibrations of bluff bodies cause multivortex shedding and high frequency forces. *Physical Review Letters* 99, Paper No. 144503, 4 pages
- Dorogi, D., Baranyi, L. (2018): Numerical simulation of a freely vibrating circular cylinder with different natural frequencies. *Ocean Engineering* 158: 196–207.
- Dorogi, D., Baranyi, L. (2019): Occurrence of orbital cylinder motion for flow around freely vibrating circular cylinder in uniform stream. *Journal of Fluids and Structures* (közlésre elfogadva)
- Feng, C.C. (1968): The measurement of vortex-induced effects in flow past stationary and oscillating circular and D-section cylinders. Diplomamunka, Columbia Egyetem, Vancouver, B.C., Canada
- Jauvtis, N., Williamson, C.H.K. (2004): The effect of two degrees of freedom on vortex-induced vibration at low mass and damping. *Journal of Fluid Mechanics* 509: 23–62.
- Khalak, A., Williamson, C.H.K. (1999): Motions, forces and mode transitions in vortex-induced vibrations at low mass-damping. *Journal of Fluids and Structures* 13 (7-8): 813–851.
- Moe, G., Wu, Z.-J. (1990): The lift force on a cylinder vibrating in a current. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 112 (4): 297–303.
- Prasanth, T.K., Mittal, S. (2008): Vortex-induced vibrations of a circular cylinder at low Reynolds numbers. *Journal of Fluid Mechanics* 594: 463–491.
- Sarpkaya, T. (1995): Hydrodynamic damping, flow-induced oscillations, and biharmonic response. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 117 (4): 232–238.
- Sarpkaya, T. (2004): A critical review of the intrinsic nature of the vortex-induced vibrations. *Journal of Fluids and Structures* 19 (4): 389–447.
- Singh, S.P., Mittal, S. (2005): Vortex-induced oscillations at low Reynolds numbers: hysteresis and vortex-shedding modes. *Journal of Fluids and Structures* 20 (8): 1085–1104.
- Wang, E., Xiao, Q., Incecik, A. (2017): Three-dimensional numerical simulation of two-degree-of-freedom VIV of a circular cylinder with varying natural frequency ratios at $Re=500$. *Journal of Fluids and Structures* 73: 162–182.
- Williamson, C.H.K., Govardhan, R. (2004): Vortex-induced vibration. *Annual Review of Fluid Mechanics* 36: 413–455.

EXCEL VBA FÜGGVÉNYEK KIALAKÍTÁSA HÁROMDIMENZIÓS VEKTOROK MATEMATIKAI ALKALMAZÁSÁRA

Fabulya Zoltán

Absztrakt: A háromdimenziós vektorokkal végzett műveletek számítógépes támogatottsága nem megfelelő. A sokak által használt Excel táblázatkezelő program sem rendelkezik testreszabott szolgáltatásokkal a vektorműveletekhez. Ezt a hiányosságot az Excel Visual Basic for Applications nyújtotta lehetőségekkel megszüntethetjük. Kialakíthatunk felhasználói függvényeket, melyekkel kiszámíthatjuk a vektorok matematikai alkalmazási területéhez kapcsolódó eredményeket:

- Vektor nagysága, abszolút értéke
- Két vektor által bezárt szög, illetve a szög koszinusza
- Két vektor skaláris szorzata
- Két vektor vektoriális szorzata
- Három vektor vegyes szorzata

Az így elkészített függvények a megszokott módon elérhetők lesznek a táblázatkezelő programban, így biztosítva a háromdimenziós vektorok témakörébe tartozó matematikai számítások egyszerű elvégzését.

Abstract: Computer support of three-dimensional vector operations is inadequate. Even Excel spreadsheet program, used by many, does not have customized services for vector operations. This defect can be solved with the options provided by Visual Basic for Applications in Excel. We can create user functions to calculate results related to the mathematical application of vectors:

- The size and the absolute value of vectors
- The angle between two vectors and the cosine of the angle
- The scalar product of two vectors
- The vector product of two vectors
- The mixed product of three vectors

The created user functions will be available in the spreadsheet program in the usual way, providing the simple execution of the mathematical calculations in the area of the three-dimensional vectors.

Kulcsszavak: Excel VBA, programozás, vektorok műveletei

Keywords: Excel VBA, programming, vector operations

1. Bevezetés

A matematika egyes területein sok számítást igénylő témakörrel találkozhatunk. Ilyen a lineáris algebra is, melyben a háromdimenziós vektorok és műveleteik különösen fontosak a gyakorlatban betöltött szerepük miatt. Ennek ellenére a számítógépes támogatottságban hiányolhatjuk, hogy a számításokhoz praktikusán alkalmazható, általánosan elterjedt Excel táblázatkezelő program nem rendelkezik ilyen függvényekkel (Matteson, 1995).

Célunk elkészíteni az Excel programozhatóságát nyújtó Visual Basic for Applications bővítménnyel a háromdimenziós vektorokon alkalmazható műveletek eredményét kiszámító függvényeket. Így kiegészítjük a táblázatkezelő programban elérhető függvények körét, s a megszokott használati módot biztosíthatjuk a vektorokkal végezhető műveletek számára (Kovalcsik, 2005).

2. Anyag és módszer

A Microsoft Excel 2010 verzióját használjuk a Visual Basic for Application (VBA) szolgáltatással, mely a programozási környezetet biztosítja az elkészítendő függvényekhez (Zimmerman, 1996). A függvények az argumentumukban szereplő, vektor értékű tömbváltozóktól függő eredményt számítanak ki (Wells–Harshberger, 1997).

Az Excel táblázatkezelő program széleskörűen használható. Így pénzügyi kalkulációknál (Zsótér–Túri, 2017), felmérések kiértékelésére (Zsótér–Tóth, 2014), statisztikai hipotézis vizsgálatok automatizálására (Hampel, 2018a, 2018b), vagy akár ipari folyamatok összehangolásának támogatására (Fabulya, 2017).

2.1. Háromdimenziós vektorok matematikai műveletei

A vektorok algebrai megadása három koordináta értékkel történik, mely a háromdimenziós tér egyes irányaiban a vektor komponenseit, adott irányú kiterjedését mutatja (*1. képlet*).

$$\bar{a} = (a_1; a_2; a_3) \quad (1)$$

ahol:

\bar{a} – vektor

a_1, a_2, a_3 – a vektor komponensei, koordinátái

A vektor koordinátái egy-egy valós számmal adhatók meg. A vektorokon végzett műveletek eredményét a koordinátáik értéke alapján tudjuk kiszámítani.

Vektorok összegeként (2), különbségeként (3), skalárral szorzásakor (4), illetve két vektor vektoriális szorzatának (5) eredményként is vektort kapunk a következő képletekkel:

$$\bar{a} + \bar{b} = (a_1; a_2; a_3) + (b_1; b_2; b_3) = (a_1 + b_1; a_2 + b_2; a_3 + b_3) \quad (2)$$

$$\bar{a} - \bar{b} = (a_1; a_2; a_3) - (b_1; b_2; b_3) = (a_1 - b_1; a_2 - b_2; a_3 - b_3) \quad (3)$$

$$\lambda \cdot \bar{a} = \lambda \cdot (a_1; a_2; a_3) = (\lambda \cdot a_1; \lambda \cdot a_2; \lambda \cdot a_3) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \bar{a} \times \bar{b} &= (a_1; a_2; a_3) \times (b_1; b_2; b_3) = \\ &= (a_2 \cdot b_3 - a_3 \cdot b_2; -a_1 \cdot b_3 + a_3 \cdot b_1; a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1) \end{aligned} \quad (5)$$

ahol:

$\lambda \in \mathbb{R}$ – skalár

Több olyan művelet is van vektorok esetén, melynek eredményeként nem vektort, csak egy számot, skalárt kapunk. Ilyen művelet egy vektor abszolút értéke (6), két vektor skaláris szorzata (7), három vektor vegyes szorzata (8), két vektor által bezárt szög koszinusza (9) és a bezárt (10). Ezeket az értékeket az alábbi képletekkel számíthatjuk ki:

$$|\bar{a}| = |(a_1; a_2; a_3)| = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2} \quad (6)$$

$$\bar{a} \cdot \bar{b} = (a_1; a_2; a_3) \cdot (b_1; b_2; b_3) = a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2 + a_3 \cdot b_3 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \bar{a} \cdot (\bar{b} \times \bar{c}) &= (a_1; a_2; a_3) \cdot ((b_1; b_2; b_3) \times (c_1; c_2; c_3)) = \\ &= a_1 \cdot (b_2 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_2) - a_2 \cdot (b_1 \cdot c_3 - b_3 \cdot c_1) + \\ &\quad + a_3 \cdot (b_1 \cdot c_2 - b_2 \cdot c_1) \end{aligned} \quad (8)$$

$$\cos \varphi = \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{|\bar{a}| \cdot |\bar{b}|} \quad (9)$$

$$\varphi = \arccos \frac{\bar{a} \cdot \bar{b}}{|\bar{a}| \cdot |\bar{b}|} \quad (10)$$

2.2. Excel VBA bővítmény

A Visual Basic for Applications bővítmény lehetőséget nyújt saját függvények készítésére, melyek ugyanúgy használhatók, mint az Excel többi függvénye. A programozás során az Excel biztosítja az integrált programfejlesztő környezetet a Visual Basic programozási nyelvvel. Az elkészítendő függvények argumentumában szereplő változók háromdimenziós tömbök adatait tárolják, azaz a vektorok koordinátáit. A tömbváltozók egyes adatait indexük segítségével érhetjük el. Így például egy vektor (\bar{a}) első koordinátáját (a_1) a tömbváltozó (a) egyes értékű indexén ($a(1)$) találjuk. Tehát az index értékét a változó nevét követő zárójel között kell megadni. A függvény eredményét az argumentumukban megadott változók segítségével kell képezni. Ehhez értékadó utasítást kell alkalmazni matematikai kifejezésekkel, melyeket a szokásos matematikai műveleti jelekkel (operátorokkal) tudunk megadni.

3. Eredmények és értékelésük

Feladatunk elkészíteni a vektorokon végzett műveletek eredményét kiszámító függvények programját. Ehhez viszont azt is célszerű figyelembe venni, hogy egyes műveletek eredménye felhasználható egy másik műveletnél. A legegyszerűbb műveletek, mint a vektorok összeadása, kivonása és skalárral szorzása, még csak függvény programozását sem igénylik, hiszen közvetlenül a cellában kialakított formulával képezhetők. Ezek a szokásos formuláktól ezek annyiban térnek el, hogy az eredmény nem egy érték egy cellában, hanem egy három cellából álló tömb az eredmény vektor három koordinátájának számára.

Két vektor skaláris szorzatát az alábbi függvénnyel kapjuk meg:

```
Public Function VektorSkalarSzorzat(a, b)
    s = 0
    For i = 1 To 3
        s = s + a(i) * b(i)
    Next i
    VektorSkalarSzorzat = s
End Function
```

A függvény neve `VektorSkalarSzorzat`, melynek eredménye két, argumentumában szereplő vektorból (a és b tömbváltozókból) képezhető a 7. képlet alapján. A programban az összegzés elemi algoritmusára volt szükség, hogy egy változó kezdeti 0 értékét ($s=0$) növelve az azonos indexű koordináták szorzatával ($s=s+a(i)*b(i)$) megkapjuk az eredményt, a függvény értékét (`VektorSkalarSzorzat=s`).

Egy vektor abszolút értékét (6. képlet) megkaphatjuk a skalárszorzat eredményének felhasználásával:

$$|\vec{a}| = \sqrt{\vec{a} \cdot \vec{a}} = (\vec{a} \cdot \vec{a})^{\frac{1}{2}}$$

Ezt kihasználva a `VektorAbs` nevű függvény könnyen elkészíthető:

```
Public Function VektorAbs(a)
    VektorAbs = VektorSkalarSzorzat(a, a) ^ 0.5
End Function
```

A kalap jel (^) a hatványozás elvégzésének operátora, mellyel a skalárszorzat eredményéből gyököt vontunk.

Két vektor által bezárt szög koszinuszát a 9. képlettel számíthatjuk ki, melyben szükség van vektorok skalár szorzatának és abszolút értékének eredményére. A függvény neve `VektorCosFi`:

```
Public Function VektorCosFi(a, b)
    szam = VektorSkalarSzorzat(a, b)
    nev = VektorAbs(a) * VektorAbs(b)
    If nev = 0 Then
        VektorCosFi = 0
    Else
        VektorCosFi = szam / nev
    End If
End Function
```

Elsőként a végeredményt adó tört számlálójának ($szam$) és nevezőjének (nev) értékét számítjuk ki. Viszont a tört nevezője nem lehet nulla, ezért ezt ellenőrizni kell. A nevező csak úgy lehet nulla, ha legalább az egyik vektor nulla vektor, tehát nulla az abszolút értéke. De ekkor a vektorok skalár szorzata is nulla, mely a vektorok merőlegességének szükséges és elegendő feltétele. Így a vektorok által bezárt szög koszinusza is nulla értékű (`VektorCosFi=0`) amikor merőlegesek. Ha a nevező nem nulla, akkor a tört értéke ($szam/nev$) adja a végeredményt.

Két vektor által bezárt szög kiszámításához felhasználhatjuk a szög koszinuszát. Az eredményt az arkusz-koszinusz (`Acos`) munkalapfüggvénnyel kapjuk meg:

```
Public Function VektorFi(a, b)
    CosFi = VektorCosFi(a, b)
    VektorFi = WorksheetFunction.Acos(CosFi)
End Function
```

Két vektor vektoriális szorzatát olyan függvénnyel kell meghatározni, melynek eredménye egy vektor. Ehhez egy tömbváltozót ($t(1 \text{ To } 3)$) kell létrehozni, melynek három elemére indexükkel hivatkozhatunk. A függvény két argumentuma az összeszorandó vektorok (a, b). A függvény programja a következő:

```
Public Function VektorVektorSzorzat(a, b)
    Dim t(1 To 3)
    t(1) = a(2) * b(3) - a(3) * b(2)
    t(2) = -a(1) * b(3) + a(3) * b(1)
    t(3) = a(1) * b(2) - a(2) * b(1)
    VektorVektorSzorzat = Application.Transpose(t)
End Function
```

A VektorVektorSzorzat függvényben az eredmény vektor három koordinátájának értékét kell kiszámolni. Mivel egy vektort oszlopként szoktunk értelmezni, ezért az Excelben sorként értelmezett tömbnek oszloppá alakítása transzponálással (Transpose) történik. Ez az oszlopként értelmezett tömb lesz a vektoriális szorzat eredményének vektora. Ha ezt az eredményt egy másik függvényben fel szeretnénk használni, akkor transzponálással alakíthatjuk vissza adatsorként értelmezhető tömbváltozóba. Erre szükségünk lesz három vektor vegyes szorzatának függvényénél (VektorVegyesSzorzat):

```
Public Function VektorVegyesSzorzat(a, b, c)
    Dim t As Variant
    t=Application.Transpose(VektorVektorSzorzat(b,c))
    VektorVegyesSzorzat = VektorSkalarSzorzat(a, t)
End Function
```

A vegyes szorzat képzéséhez elsőként vektoriális szorzatot képzünk, majd ennek eredményét felhasználjuk a végeredményt adó skaláris szorzatnál. Így elegendő a már elkészített függvényeket használnunk.

4. Következtetések, összegzés, záró megjegyzések, záró gondolatok

Az elkészített függvényeket az Excelben megszokott módon tudjuk használni háromdimenziós vektorok matematikai műveleteinek elvégzésére. A függvények nem csak abban a munkafüzetben lesznek elérhetőek, amelyekben létrehoztuk és tároljuk őket, ha ezt is megnyitjuk munkánk során. Lehetőségünk van arra is, hogy bővítményt hozzunk létre, hogy a fájl megnyitása nélkül is használhassuk felhasználóbarát módon a függvényeket.

Irodalomjegyzék

- Fabulya Z. (2017): Hőkezelési folyamatok összehangolása Excel VBA szolgáltatásokkal. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 12 (4): 19–25.
- Hampel Gy. (2018a): Excel alkalmazása normális eloszlás tesztelésére Shapiro Wilk próbával. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 13 (1–2): 77–82.
- Hampel Gy. (2018b): Egymintás t-próba programozható kialakítása Excel VBA környezetben. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 13 (3–4): 169–175.
- Kovalcsik G. (2005): *Az Excel programozása*. Computerbooks, Budapest.
- Matteson B. L. (1995): *Microsoft Excel Visual Basic Programmer's Guide*. Microsoft Press, Washington.
- Wells E., Harshberger S. (1997): *Microsoft Excel 97 Developer's Handbook*. Microsoft Press, Washington.
- Zimmerman M. W. (1996): *Microsoft Office 97 Visual Basic Programmer's Guide*. Microsoft Press, Washington.
- Zsótér B., Tóth A. (2014): Examination of satisfaction related to investments (2006-2011) accomplished by the local council in Abony. *Analecta Technica Szegedinensia* 8 (1): 33–37.
- Zsótér B., Túri I. (2017): Economical calculations related to a smoking technology investment of a pork processing plant. *Annals of Faculty of Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering* 15 (4): 57–61.

ALUMÍNIUMHABBAL MEREVÍTETT VÉKONYFALÚ CSÖVEK NYOMÁSSAL SZEMBENI VISELKEDÉSE

Garai Flórián – Hareancz Ferenc

Abstract: Egyre gyorsuló és dinamikusan fejlődő világunkban a közlekedésnek kiemelkedő szerepe van. A közlekedés egyik folyamatosan fejlődő ágazata a közúti közlekedés. Az autóipar folyamatos fejlesztéseinek köszönhetően gyorsan fejlődő iparág. Azonban az egyre szigorodó környezetvédelmi szabályozások miatt a fő fejlesztések a járművek fogyasztásának és károsanyag-kibocsátásának csökkentésére irányulnak. A jármű össztömegének csökkentésével jelentősen csökkenthető a károsanyag-kibocsátás. Az össztömeg csökkentése a kötéstechológiák fejlesztésével és új, korszerű anyagok felhasználásával viszonylag könnyen elérhető. Azonban az eszközölt változtatások nem csökkenthetik a jármű biztonsági besorolását. Ezek a követelmények előtérbe helyezik a belső merevítéssel ellátott elemek használatát, amelyek a megfelelő merevítő anyaggal ugyan azt a szilárdsági tényezőt tudják biztosítani, csak kisebb tömeggel. Egy ilyen korszerű, belső merevítésként használható anyag az alumíniumhab, amely ultrakönnnyű, jó szilárdsági tulajdonságokkal és jó energiaelnyelő képességekkel rendelkezik. Az energiaelnyelő képessége leginkább az ütközések során keletkező energia elnyelésére, a fellépő erőhatások csökkentésére használható. Az ütközés következtében a karosszériaelemre ható erő és a váz által kifejtett ellenőrző gyakorlatilag összenyomja az ott található biztonsági elemet. A cikkben az alumíniumhabbal merevített vékonyfalú csövek nyomással szembeni viselkedését vizsgáltuk, amelyekből következtettünk az ütközéscsillapító elemként történő felhasználhatóságára.

Abstract: Traffic has an outstanding role in our accelerating and dynamically developing world. Road traffic is a constantly developing part of the traffic. Due to its continuous developments automotive industry is developing rapidly. However, due to increasingly stringent environmental regulations, major developments are aimed to reducing vehicle consumption and pollutant emission. Reducing the total weight of the vehicle can significantly reduce pollutant emission. Reducing total weight is relatively easy to achieve with the development of bonding technologies and the use of new advanced materials. However their changes must not reduce the safety factor. These requirements emphasize the use of internal reinforced elements, which can provide the same strength factor with less weight. Aluminium foam is a modern material which has good mechanical properties and energy-absorbing ability so it can be used as reinforcement material. Its energy-absorbing ability can be used to absorb energy generated by collisions and to reduce the forces that occur. The impact on the body part due to the impact and the force exerted by the chassis practically compresses the security element there. We investigated the compressive behavior of aluminium foam reinforced thin-walled tubes in this article to make conclusions about their usage as impact absorbers.

Kulcsszavak: környezetvédelem, súlycsökkentés, alumíniumhab, merevített csövek

Keywords: environmental protection, weight reduction, aluminium foam, reinforced tubes

1. Bevezetés

A fémhabok cellás, kis sűrűségű anyagok, amelyek egyedi mechanikai, termikus, elektromos és akusztikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Ezek a tulajdonságok nagy mértékben befolyásolják az alkalmazási területeiket. Elsősorban merev viselkedést mutatnak, de rendelkeznek bizonyos alakváltozási tulajdonságokkal is.

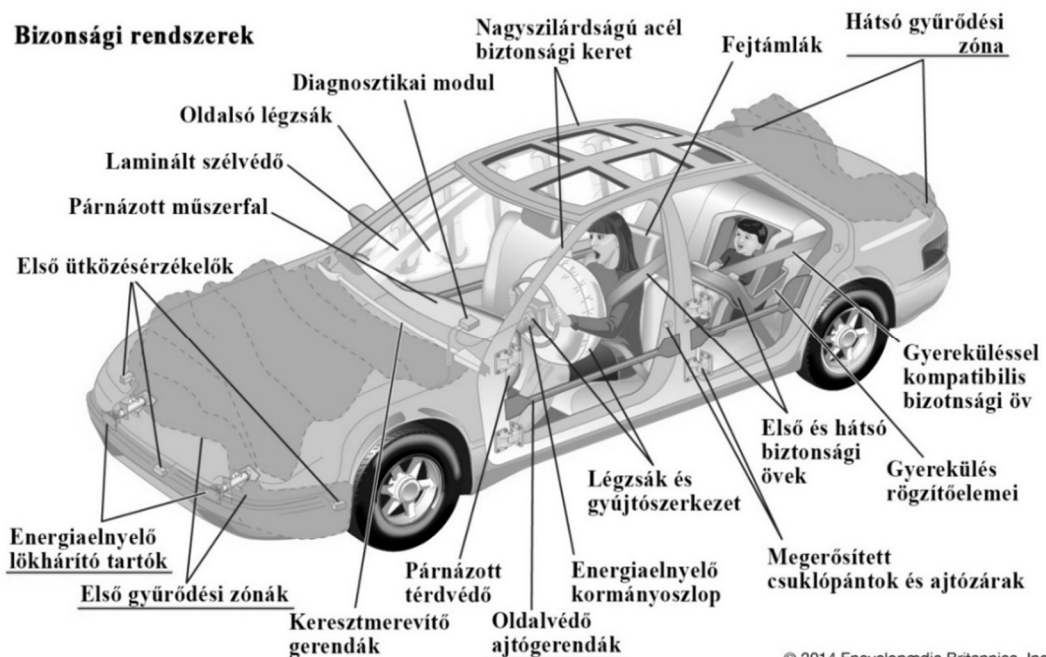
Az alumíniumhab alkalmazása nagy hatást gyakorolt a közúti- és légiközlekedésre, ahol az ütközési energia elnyelése, a rezgéscsillapítás, a zaj szint csökkentése és a súlycsökkentés is fontos tényező [1-3].

Az alumíniumhab autóiparban történő alkalmazása az utóbbi években egyre nagyobb érdeklődéssel bír, az erre irányuló fejlesztések száma növekszik. Az autókban található biztonsági rendszerek szolgálnak a legnagyobb lehetőséggel az alumíniumhabok felhasználására.

A személygépjárművek biztonsági rendszereit két nagyobb csoportba sorolhatjuk, aktív és passzív biztonsági rendszerekre. Az aktív biztonsági rendszerek (sávtartó rendszerek, ütközés figyelő rendszerek) fő feladata a balesetmegelőzés. A passzív biztonsági rendszerek feladata a baleset bekövetkezésekor az autó utasainak védelme, illetve kisebb koccanások esetén a keletkező károk minimalizálás. Az alumíniumhab potenciális felhasználási lehetősége a passzív biztonsági rendszerekben rejlik.

Az 1. ábrán aláhúzással jelölt elemek potenciális felhasználási területek az alumíniumhab alkalmazására. Ezekben az elemekben közös, hogy zárt profilok, amelyeket habbal feltöltve, kis súlynövekedés mellett feltételezéseink szerint nagyobb biztonsági faktort tudunk elérni vagy ugyan azt a biztonsági faktort kevesebb tömeggel el tudjuk érni.

1. ábra: **Biztonsági rendszerek**



© 2014 Encyclopædia Britannica, Inc.

Orville C. Cromer, Christopher G. Foster, Ken W. Purdy, George C. Cromer: Automobile.
<https://www.britannica.com/technology/automobile>

Az elülső és oldalsó gyűrődési zóna egy az egyben az energiaelnyelésről és a deformációról szól, ezen zónák legfontosabb elemei közé tartoznak a törésdobozok. Ezek az elemek jellemzően vékonyfalú csövekből épülnek fel [4-6].

A cikk fő témája az alumíniumhabbal töltött vékonyfalú alumínium csövek nyomóvizsgálata és az üres csövekkel való összehasonlítása.

2. Alapanyagok, vizsgálati módszerek

2.1. Alapanyagok

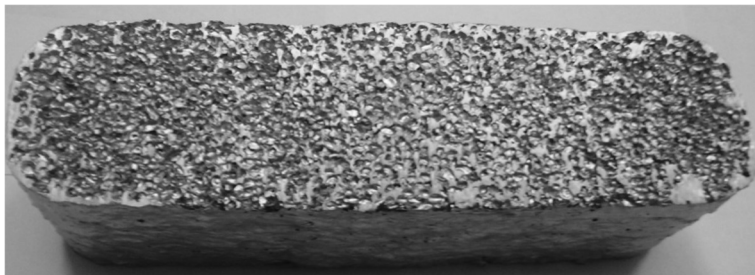
Alapanyagok:

- EN AW-6060-AlMgSi0,5 anyagminőségű; Ø25x0,5-ös méretű cső
- 0,5 g/cm³ sűrűségű, EN 43100 (AlSi10Mg) anyagminőségű, 270x60x60-as méretű zárt cellás alumíniumhab tömb (2.ábra)

Használt gépek:

- Instron 4482 univerzális anyagvizsgáló berendezés
- E 400 1000 egyetemes eszterga
- Keretes fűrészgép

2. ábra: Alumíniumhab tömb

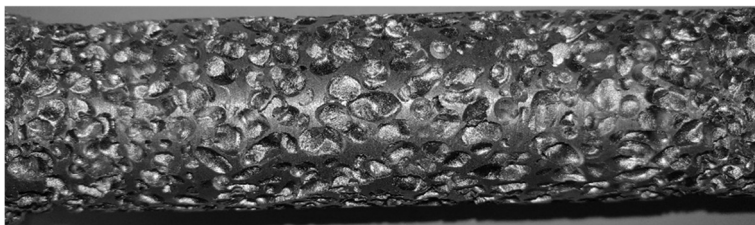


A szerzők saját szerkesztése (2018)

A csövek betöltésének első lépése az alumíniumhab rudak előállítása (3. ábra)

Az alumíniumhab megmunkálására, a rudak előállítására több módszert is teszteltünk, ezek közül az esztergálás bizonyult a legjobbnak. Az esztergálással előállított habrudak között is vannak eltérések, amelyek leginkább az anyag inhomogenitásából, valamint a habok központosításának és megtámasztásának nehézségeiből származnak.

3.ábra: Alumíniumhab rúd



A szerzők saját szerkesztése (2018)

Az alumíniumhab rudak csőbe töltése préseléssel történt.

2.2. Vizsgálati módszer

A vizsgálati módszer a felhasználásra szánt elem igénybevételének megfelelően nyomóvizsgálat volt. A valós igénybevétel általában dinamikus, ritkán statikus. Azonban Isabel Duarte és társainak publikációja alapján nincs számottevő különbség

az általunk vizsgálni kívánt paraméterek esetében a statikus és a dinamikus igénybevételek között [7]. Ezért statikus igénybevételnek tettük ki a próbatesteket, az *1. táblázat* tartalmazza a vizsgálati paramétereket. A nyomóvizsgálat elsődleges célja olyan rideg anyagok terhelhetőségének a mérésére szolgál, melyek a szakításnál a húzófeszültségek hatására sokkal kisebb terhelésnél törnek, mint nyomóterhelés esetén. Az alumínium hab is rideg anyag, azonban itt a szakító próbatest kialakítása is komoly erő-feszítések árán mehetne végbe, míg a habosított tömbök nyomása könnyen és gyorsan elvégezhető. A kihajlás veszélyét szem előtt tartva a magasság/átmérő viszonyt 2,5-ös érték alatt tartottuk.

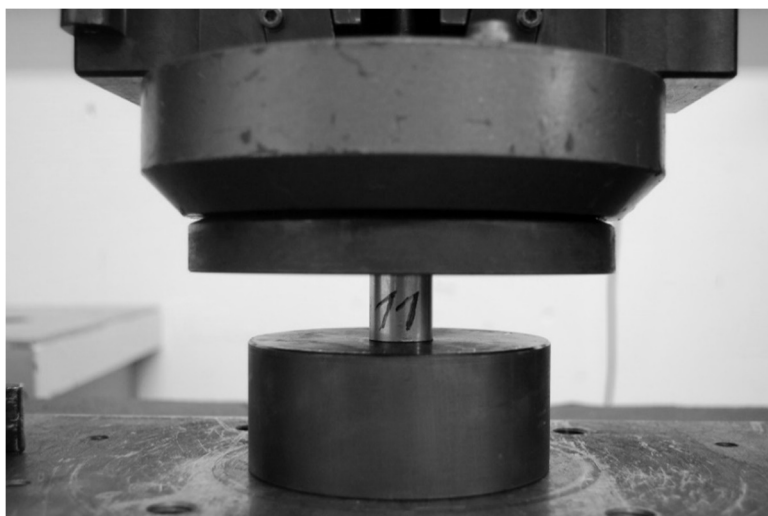
1. táblázat: Vizsgálati paraméterek

Keresztfej sebessége [mm/min]	Kiinduló magasság [mm]	Nyomás utáni magasság [mm]	h/D viszony	Zömítési arány [%]
25	25	12,5	1	50
	30	15	1,2	50
	40	20	1,6	50
	50	25	2	50
	60	30	2,4	50

Forrás: A szerzők saját szerkesztése (2019)

A vizsgáló berendezés az Instron 4482 univerzális anyagvizsgáló berendezés volt, amelyre rögzítettük a nyomófejet és az ellendarabot (*4. ábra*). A nyomásközéppont és a próbatestek egytengelyűségére ügyeltünk.

4. ábra: Vizsgálati elrendezés



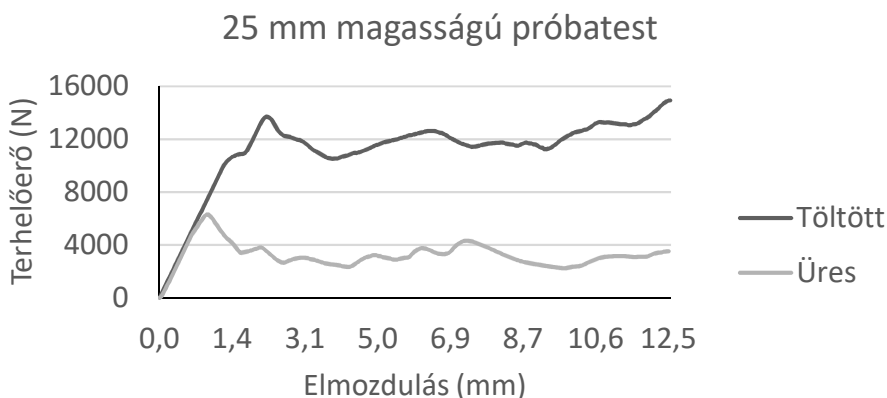
Forrás: A szerzők saját szerkesztése (2019)

3. Eredmények, kiértékelés

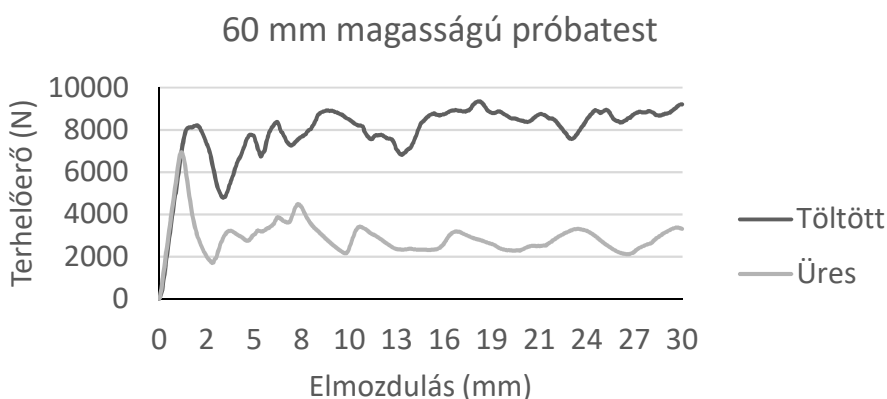
A vizsgálat során a berendezés mérte az erőt és az elmozdulást. A próbatest által elnyelt energia megegyezik a szerszám által rajta végzett munkával. A súrlódást elhanyagoltuk. Az elnyelt energiát integrálással számoltuk.

Az 5. és 6. ábrán a legkisebb és legnagyobb h/D viszonyú próbatestek erő-elmozdulás diagramjai láthatóak.

5. ábra: 1-es h/D viszonyú próbatest erő-elmozdulás diagramja



6. ábra: 2,4-es h/D viszonyú próbatest erő-elmozdulás diagramja

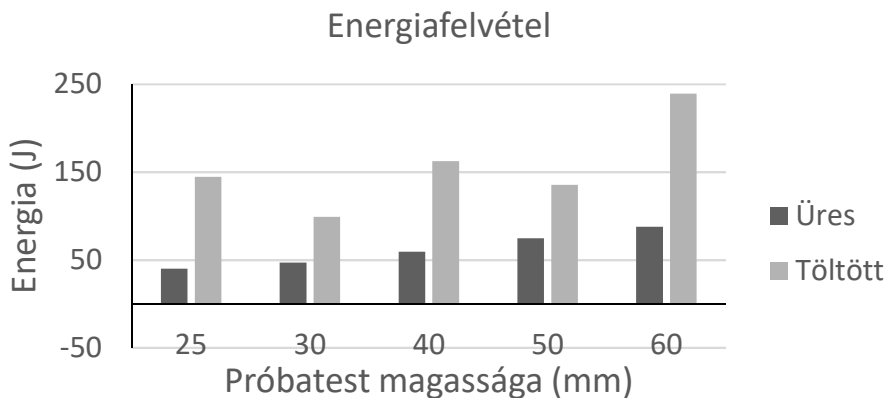


A bemutatott erő-elmozdulás diagramokból leszűrhető a tendencia, miszerint az üres csövek által elviselt terhelőerő az elmozdulás növekedésével egy maximális erőérték elérése után egy kisebb erőérték körül lévő tartományban stagnál. Ezzel szemben az alumíniumhabbal töltött csövek az elmozdulás növekedésével erőcsúcsokat produkálnak. Ez által arra következtethetünk, hogy a töltött csövek dinamikus igénybevételek hatására kevésbé érzékenyek. Ez teljes mértékben összhangban van a már korábbiakban említett, Isabel Duarte és társai által publikált megfigyelésekkel [7].

A vizsgálatok 50%-os zömítési aránnyal történtek, a diagramokon megfigyelhető, hogy a beállított elmozdulás értéket elérve a terhelőerő emelkedő tendenciát mutatott. Ebből az következik, hogy ha folytatódott volna a vizsgálat nagyobb zömítési arányig, a töltött csövekre ható terhelőerő még nagyobb értékeket vett volna föl.

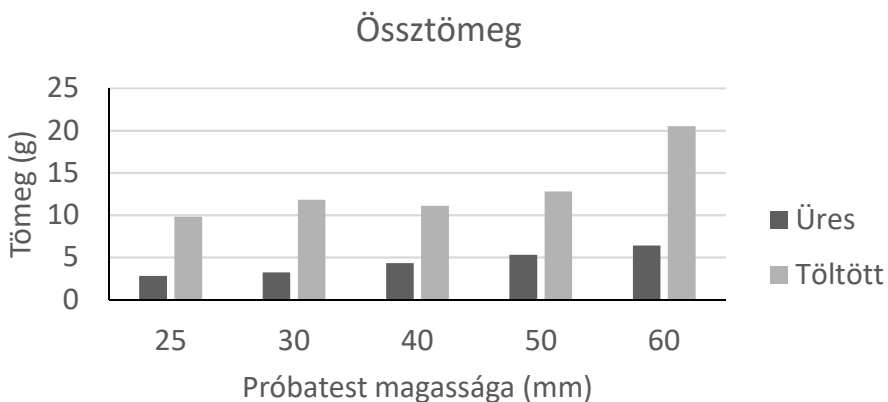
Ezt a jövőben további vizsgálatokkal igazolni szeretnénk.

7. ábra: **Próbatestek energiaelnyelése**



A kiértékelés egyik legfontosabb szempontja maga az energiafelvétel (7. ábra). A töltött csövek energiafelvétele 270%-a az üres csövek energiafelvételének. A habok inhomogenitása és a préseléssel történő betöltés okozta deformáció miatt a töltött csövek esetében nem figyelhető meg egy monoton növekvő tendencia. Ezt az egyéb töltési eljárások (pl.: csőben való habosítás) kiküszöbölik és egy monoton növekvő tendenciát mutatnak [7]

8. ábra: **Próbatestek tömegei**



A másik alapvető szempont a tömegnövekedés (8. ábra). A töltött csövek tömege átlagosan 290%-ára nőtt a vizsgálatok során. Ahhoz, hogy üres csővel megegyező energiafelvételt érzünk el, mint a töltött csövekkel, 4-5 mm-es

falvastagságú csövek szükségesek. Tömegben ez nem sokkal tér el a töltött csövektől.

Ahhoz, hogy a töltött csöveget magabiztosan használni tudjuk először a méretezésüket kell megoldanunk. Az energiaelnyelés a gépjárművek ezen elemeinél szinte mindig nyomó igénybevétel hatására, deformáció útján fog történni. A maximális deformáció értékét ismerni fogjuk, ezért célszerű lenne egy olyan viszonyszám megállapítása, amely az adott sűrűségű alumíniumhab egységnyi alakváltozás értékéhez társított szükséges energiabevitelt adja meg. Ezt nevezzük fajlagos energiaszükségletnek. Ennek ismeretében a várható alakváltozás értékével megszorozva képet kapunk az elem várható energiafelvételéről.

Az alakváltozás (φ) számítása az alábbi képlettel történik:

$$\varphi = \ln\left(\frac{h}{H}\right) \left[\frac{mm}{mm}\right] \quad (1)$$

ahol:

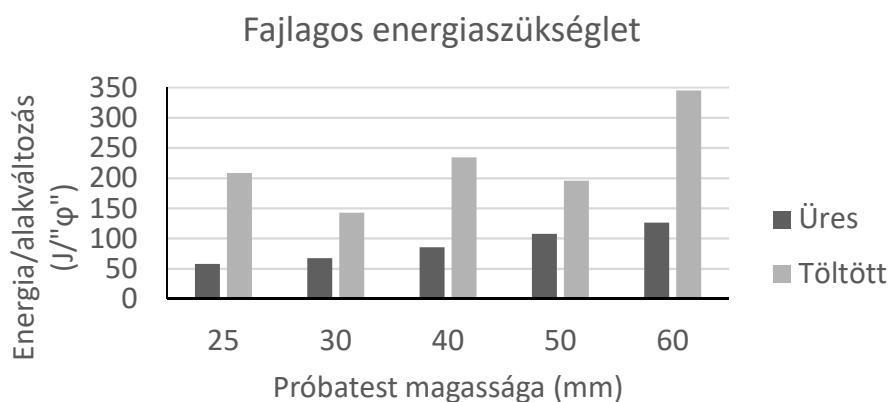
h = a nyomás előtti próbatest magassága

H = próbatest vizsgálat utáni magassága

A zömítési arány mindegyik magasság esetében 50%, ezért a képletbe (1) bármely vizsgálati magasságot behelyettesítve 0,69-es értéket kapunk.

A képlékenyalakítási szempontok alapján a valódi alakváltozást célszerű meghatározni. Az adott anyagú és méretű elem folyásgörbéjét mérések segítségével meghatározhatjuk. Az alakítási szilárdság ismeretében az adott alumínium habbal töltött cső méretezhető, energiafelvétele és tömege alapján optimalizálhatóvá válik.

9. ábra: Egységnyi alakváltozás energiaszükséglete



A 9. ábrán láthatjuk a kapott értékek diagramját. Kellő mennyiségű mérés elvégzése után az átlagolt érték fogja leírni a használt sűrűségű alumíniumhab fajlagos energiaszükségletét.

Az utolsó vizsgálati szempont az elem energiasűrűsége. Ennek lényege, hogy az elem 1 cm³-nyi térfogata mekkora energiafelvételre képes.

Az energiasűrűség a következő összefüggésből számolható:

$$\text{Energiasűrűség} = \frac{E}{V} = \frac{\int_0^h F ds}{\frac{d^2 * \pi}{4} * h} \quad \left[\frac{J}{cm^3} \right] \quad (2)$$

ahol:

E = elnyelt energia

V = próbatest által elfoglalt térfogat

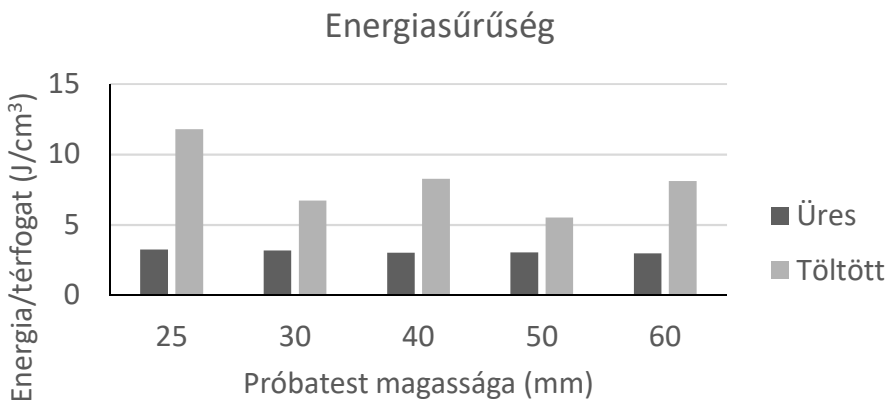
F = terhelés

s = elmozdulás

d = próbatest külső átmérője

h = próbatest magassága

10. ábra: Energiasűrűség az elfoglalt térfogat függvényében



A 10. ábra alapján a töltött csövek jobb eredményt értek el ebben az összevetésben is, mint az üres csövek.

4. Következtetések, összegzés

Az eddig leírtak alapján megállapítható, hogy az alumíniumhabbal töltött cső energiafelvétele nagyobb, mint az üres csövek esetén. A vizsgálataink során a tömegnövekedés ezt ellensúlyozta, de a betöltési technológia változtatásával ez jelentős mértékben csökkenthető.

Ezek alapján két féle értelmezésben történhet az alumíniumhabbal töltött cső energiaelnyelő elemekben történő használata. Az egyik, hogy a már eleve a gépjárműben használt elemet töltjük fel habbal, amely a megfelelő töltési technológiával és optimalizálásával minimális tömegnövekedéssel nagyobb energiaelnyelést és szilárdságot fog biztosítani, mint az eddigi elem. A másik lehetőség a kisebb méretű, de töltött cső alkalmazása, amely kevesebb tömeg mellett fogja biztosítani ugyan azt a mennyiségű energiafelvételt. A kisebb méretű elemek

használata lehetőséget nyújt a váz áttervezésére, a kialakítás módosítására (pl.: nagyobb utastér, csomagtartó).

Mindkét alkalmazás hozzájárul a biztonsági faktor fenntartásához, ezáltal használható autóiipari energialeNyelő elemként.

Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. EFOP-3.6.1-16-2016-00014

Szeretnénk köszönetet mondani az Aluivent Zrt.-nek az alumíniumhab alapanyagok biztosításáért és a habokkal kapcsolatos tapasztalataik megosztásáért.

Irodalomjegyzék

1. John Banhart: Manufacturing Routes for Metallic Foams, JOM: the journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 2012 52(12):22-27
2. D. K. Rajak, N.N. Mahajan, E. Linul: Crashworthiness performance and microstructural characteristics of foam-filled thin-walled tubes under diverse strain rate, Journal of Alloys and Compounds 775 (2019), pp. 675-689
3. M. F. Ashby, A. G. Evans, N. A. Fleck, L. J. Gibson, J. W. Hutchinson, H. N. G. Wadley: Metal Foams: A Design Guide
Elektronikus forrás: <http://ceb.ac.in/knowledge-center/E-BOOKS/Metal%20Foams%20-%20A%20Design%20Guide%20-%20M.F.%20Ashby.pdf> (Megtekintés: 2018.07.25.)
4. T. Dennis Claar, Chin-Jye Vu, Ian Hall, John Banhart, Joachim Baumeister, Wolfgang Seeliger: Ultra-lightweight Aluminum Foam Materials for Automotive Applications., SAE Technical Papers 36(6):61, 2000 (Megtekintés: 2018.08.01.)
5. Ed Grabianowski: How Crumple Zones Work.
Elektronikus forrás: <https://auto.howstuffworks.com/car-driving-safety/safety-regulatory-devices/crumple-zone.htm>. (Megtekintés: 2018.08.04.)
6. Antonio Fuganti, Lorenzo Lorenzi, Arve Grønnsund Hanssen, Magnus Langseth: Aluminium foam for automotive applications, Advanced Engineering Materials 2(4):200 - 204. April 2000 (Megtekintés: 2018.08.04.)
7. Isabel Duarte, Matej Vesenjak, Lovre Krstulovic, Opara, Zoran Ren: Static and dynamic axial crush performance of in-situ foam-filled tubes, Composite Structures 124 (2015) 128–139 (Megtekintés: 2018.08.15.)

MOTORHŰTŐ FOLYADÉKOK DIELEKTROMOS TULAJDONSÁGAINAK VIZSGÁLATA

Greznár Márk – Kovács Róbertné

Absztrakt: A folyadékok dielektromos tulajdonságainak jellemzése elengedhetetlen a gyártó cégek számára, mivel információt szolgáltat a késztermékek minőségéről. Ezen paraméterek mérésére különböző eljárások kerültek kidolgozásra. Az alkalmazandó mérési elv kiválasztásánál figyelembe kell venni az anyag tulajdonságait az alkalmazni kívánt frekvencián, valamint, hogy a megkívánt pontosság elérhető-e az adott módszerrel. Az általunk használt DAK-3.5 mérőrendszer, mérési elve a nyitott végű érzékelőt alkalmazó eljárások közé tartozik. Méréseink során a kereskedelemben kapható, különböző adalékanyagok hozzáadásával készülő motorhűtő folyadékok dielektromos paramétereit vizsgáltuk 200-2400MHz frekvencia-, és 20-50 °C hőmérséklettartományban.

Abstract: Characterization of the dielectric properties of liquids is essential for manufacturing companies as they can provide information on the quality of finished products. Various methods have been developed to measure these parameters and each method is limited to specific frequencies, materials, applications. DAK-3.5 measuring system used in our tests measures the dielectric properties of the samples based on open-ended coaxial probe technique. During our investigations dielectric parameters of commercially available engine coolants produced by the addition of various additives were examined in the frequency 200-2400MHz, and at 20-50 °C range.

Kulcsszavak: motor hűtőfolyadék, dielektromos tulajdonság, nyitott végű érzékelő

Keywords: engine coolant, dielectric property, open-ended coaxial probe

1. Bevezetés

A belsőégésű motorokban az oxigén és az üzemanyag reakciója során keletkező energia 30-40%-a hasznosul mozgásienergiaként, harmada távozik a kipufogógázzal, a fennmaradó részt a hűtőrendszernek kell a motorból elszállítania. A felesleges hőmennyiség eltávolítása kulcsfontosságú, hiszen a magas hőmérséklet a motorok esetén kenőanyagként használt motorolaj, szélsőséges esetben magának a motornak a tönkremeneteléhez vezethet. Személyautókban a motorok teljesítményének növekedésével néhány évtizede a motorok léghűtését felváltotta a folyadékhűtés, mely hatásosabb, csendesebb és tisztább üzemet eredményez. Hőtechnikai szempontból a víz legmegfelelőbb hűtőközeg, mivel ennek a legnagyobb a hőkapacitása, így adott mennyiségű víz tudja a legtöbb energiát szállítani, emellett könnyen hozzáférhető és olcsó. Hátránya azonban, hogy légköri nyomáson 0 °C hőmérséklet alatt megfagy, illetve 100 °C-on felforr, komoly károkat okozva a hűtőrendszerben. A leggyakrabban valamilyen glikol bázisú motorhűtő folyadékot alkalmaznak a hűtőrendszer védelme érdekében korróziós adalékokkal, úgynevezett inhibitorokkal keverve. Az öntöttvas, hegesztett acél, illetve könnyűfém ötvözetű szerkezeti anyagokból álló motorrészekben keringő hűtővíz önmagában is korrózív hatású, azonban a fagyáspont csökkentésére használt glikol még csak fokozza ezt a hajlamot. A hatásos korrózióvédelem nem más, mint a kémiai egyensúly megteremtése a hűtőfolyadékban.

Alapvetően háromféle adaléktechnológiát különböztetünk meg. A szerves adaléktechnológiát (IAT, G11 szabvány) alkalmazták régebben típusgenerációkon

keresztül. Lényege, hogy a hűtőfolyadékban inhibitoroként jelen lévő szilikátok, foszfátok és borátok korróziógátló védőbevonattal látnak el minden felületet, még a gumi összekötőcsöveket és tömítéseket is. A szilikátok igen gyorsan kiválnak a fémfelületen, valamint bizonyos körülmények között apró szilárd részecske formában is kiválhatnak, és a tömített felületek közé kerülve abrazív kopást okoznak, ami hosszabb idő után átfolyáshoz, szivárgáshoz vezet. Ezen kétféle kiválás miatt a hűtőfolyadékban a szilikát koncentráció 20% alá esik mintegy 15000 km futásteljesítmény alatt. A hátrányai ellenére még néhány gyártó ragaszkodik az ezen technológiával készülő motorhűtő folyadékokhoz, mert alumínium hengerfej, motorblokk és hűtő esetén jó hatásfokú korrózióvédelmet biztosít. Európa sok országban kemény a csapvíz. Emiatt foszfátot nem alkalmaznak inhibitoroként, mivel üledéket képez kalciummal és magnéziummal vegyülve.

A szerves adaléktechnológia (OAT, G12+) esetén a korrózióvédelmet a szerves savakból, karboxilátokból előállított semlegesített sók adják. A védendő felülettel felületén való érintkezés hatására oxidréteg keletkezik, a szerves inhibitorok ezt az oxidréteget stabilizálják vékony filmszerű réteggé, ami egyben megakadályozza a mélyebb fémrétegek további oxidációját. Ennek eredményképp jobb hővezetési paraméterek, és hosszabb élettartam jellemzi ezeket a folyadékokat. Használatuk különösen ajánlott alumínium ötvözetekből készülő motoroknál.

A hibrid adaléktechnológia (HOAT, G13) alkalmazásával készülő motorhűtő folyadékok tartalmaznak némi szilikát tartalmú inhibitor (kb. 400-500 mg/l) is, a szerves savak sóinak védő hatását kiegészítendő. Elektrokémiai okokra vezethető vissza, hogy ezen technológiával készülő folyadékok kevésbé rongálják a fém, illetve gumi alkatrészeket egyaránt. A környezetszennyezés csökkentése miatt glicerint kevernek az etilén-glikol alapú hűtőfolyadékokhoz, illetve egyes gépjárműgyártók áttértek a propilén-glikol alapú nem toxikus hűtőfolyadékokra, melyek ára magasabb, kinematikai viszkozitásuk nagyobb az etilén-glikol alapú hűtőfolyadékokénál.

A különböző technológiákkal, adalékok hozzáadásával készülő motorhűtő folyadékok közötti különbségek a dielektromos tulajdonságaikban is fellelhetőek. Vizsgálataink célja ezen különbségek feltárása. A kapott eredményeket a gyártó cégek felhasználhatják a termékek előállításánál, azok minőségének ellenőrzésére.

A méréseink során a visszaverődéses technológiák közé sorolható mérési elvet használtuk, ami alkalmas nagy mennyiségű minták gyors mérésére.

Folyadékok mérése során az érzékelőfej tisztítása fontos lépés minden egyes minta után, hogy elkerülhessük azok keveredését.

2. Anyagok és módszerek

A folyadékok összetételének, valamint tulajdonságainak megismeréséhez több évtizede hatékonyan alkalmazzák azok dielektromos tulajdonságainak mérését. Ezen paraméterek információt nyújtanak azzal kapcsolatban, hogy a különböző anyagok elektromágneses térbe helyezése esetén a közölt energia mire fordítódik.

Elektromágneses energiaközlés esetén a hullám formájában terjedő energia eléri a kezelt anyag felületét, egy része visszaverődik, egy része elnyelődik, egy része keresztülhalad rajta. A három jelenség a permittivitással jellemezhető, ami tehát jellemzi az anyag elektromágneses térre gyakorolt hatását. A villamos permittivitás a tér valamely pontjában a vákuum permittivitásának és a teret az adott pontban kitöltő anyag vákuuméhoz viszonyított, relatív permittivitásának szorzata:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \quad (1)$$

ahol ε_0 a vákuum permittivitása, illetve dielektromos térállandója, ε_r dimenzió nélküli számérték, az anyag relatív permittivitása, vagy relatív dielektromos térállandója. Az anyagra jellemző permittivitás tehát a villamos tér anyagtól független, illetve a teret kitöltő anyagtól függő jellemzője közötti kapcsolatot határozza meg.

Komplex formában is megadható:

$$\varepsilon = \varepsilon' - j \cdot \varepsilon'' \quad (2)$$

ahol ε' - az anyagban tárolt energiára, ε'' - a dielektromos veszteségre jellemző érték. A leggyakrabban alkalmazott módszerek a dielektromos jellemzők mérésére a hullámvezető és tápvonal technika, nyitott végű érzékelőt alkalmazó eljárás, szabadterű átvitel, rezonáns módszer. (Afsar, et al. 1986, Baker-Jarvis, et al. 1990, Courtney 1998, Yue, et al. 1998, Courtney and Motil 1999, Wang, et al. 2002, Murata, et al. 2005, Krupka 2006b). A mérési módszer kiválasztása függ az anyag fizikai és elektromos tulajdonságaitól, a frekvenciatartománytól és az elvárt mérési pontosságtól. A legtöbb mérési módszert széles körben alkalmazzák, figyelembe véve az adott módszer korlátait, - beleértve a frekvenciát, amelyen a mérések elvégezhetők -, és a mérendő anyag tulajdonságait. (Afsar et al., 1986.)

Az általunk használt DAK-3.5 mérőrendszer alkalmas folyadékok, szilárd halmazállapotú és gél állagú anyagok dielektromos paramétereinek meghatározására. A mérési elve a nyitott végű érzékelőt alkalmazó eljárások közé tartozik. Az érzékelőt, amely az anyag felületéről visszavert jeleket fogadja, szilárd anyag esetén légrésmentesen az anyag felületéhez kell érinteni, vagy folyadékok esetén bele kell meríteni abba. Mivel a vizsgált anyag dielektromos paramétereit az anyag felületéről visszavert jelek reflexiós tényezőjéből számítjuk ki, ezért a mérési pontosság érzékeny minden olyan körülményre, amely megváltoztatná azok fázisát vagy amplitúdóját vagy akár magukat a visszavert jeleket. Az érzékelő egy koaxiális kábelen keresztül közvetlenül csatlakozik a vektor hálózat analízátorhoz, így biztosítva a visszavert jelek stabilitását. A mérőrendszer alkalmas 200MHz és 3GHz közötti frekvencia tartományban történő mérésekre, és többféle anyagra gyári kalibrációval rendelkezik.

Első lépésként kalibráltuk a mérőeszközt 20 °C-os vízre, mint referenciaközegre. Ezután öt különböző motorhűtőfolyadék koncentrátum (1. táblázat) dielektromos paramétereit mértük meg 20-30-40-50°C hőmérsékleteken, illetve a

koncentrátumokat desztillált vízzel különböző arányban (1:1, 1:2, 2:1, 3:2) hígítva 20°C-on is elvégeztük a méréseket. A desztillált víz hozzáadása bizonyos mértékig csökkenti a fagyáspontot, pontosabban fogalmazva, a kristályosodás kezdeti hőmérsékletét, mivel a szabvány szerint ennek meghatározása úgy történik, hogy a folyadékot folyamatosan hűtik, és közben figyelik, mikor következik be az első szilárd kristályok megjelenése. Az etilén-glikol fagyáspontja -13 °C körül van, azonban a víz molekuláival kötött erős hidrogénkötés megakadályozza a kristályok kialakulását, hígítva a kristályosodás kezdeti hőmérséklete csökkenni kezd. A legalacsonyabb fagyáspontot kb. 70% etilén-glikol és 30% desztillált víz keverékével érjük el, ami -68 °C körül van. A kereskedelemben kapható motorhűtő folyadék koncentrátumok az eleve bennük található kis mennyiségű víznek, és felhasznált egyéb anyagoknak köszönhetően kb. -21 °C-on fagynak meg.

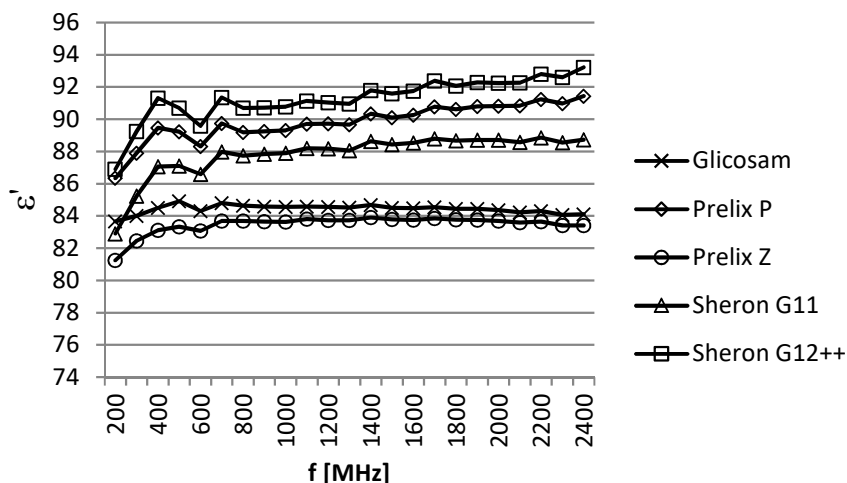
1. táblázat Motorhűtő folyadékok

Kereskedelmi megnevezés	Rövidített megnevezés	Gyártó	Szabvány
Prelix autoglykol fagyálló hűtőfolyadék koncentrátum	Prelix P	MEDIKÉMIA Zrt.	G12++
Prelix autoglykol fagyálló hűtőfolyadék - 72°C	Prelix Z	MEDIKÉMIA Zrt.	G11
Glicosam Alu koncentrált hűtőfolyadék	Glicosam	Samato Kft.	G11
SHERON fagyálló koncentrátum G12++	Sheron G12++	Sheron	G12++
SHERON fagyálló koncentrátum G11	Sheron G11	Sheron	G11

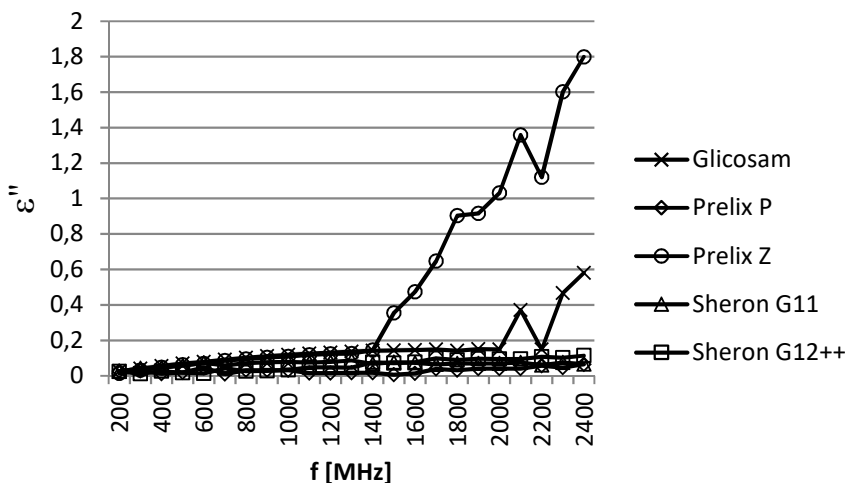
3. Eredmények és értékelésük

Az 1. ábrán a dielektromos állandó valós részének (ϵ') változását láthatjuk a frekvencia függvényében, különböző motorhűtő folyadék koncentrátumok esetén. A mért értékek hasonló trendet mutatnak és jól elkülöníthetők egymástól, a G11 szabványnak megfelelő motorhűtő folyadék koncentrátumok esetén alacsonyabb, a G12++ szabványnak megfelelők esetén magasabb értékeket mértünk.

1. ábra ε' értéke 20 °C és különböző motorhűtő folyadék koncentrációk esetén



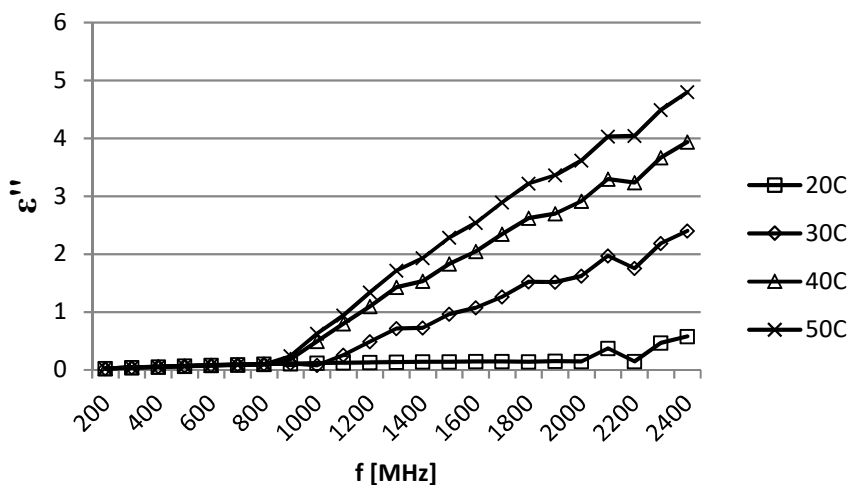
2. ábra ε'' értéke 20 °C és különböző motorhűtő folyadék koncentrációk esetén



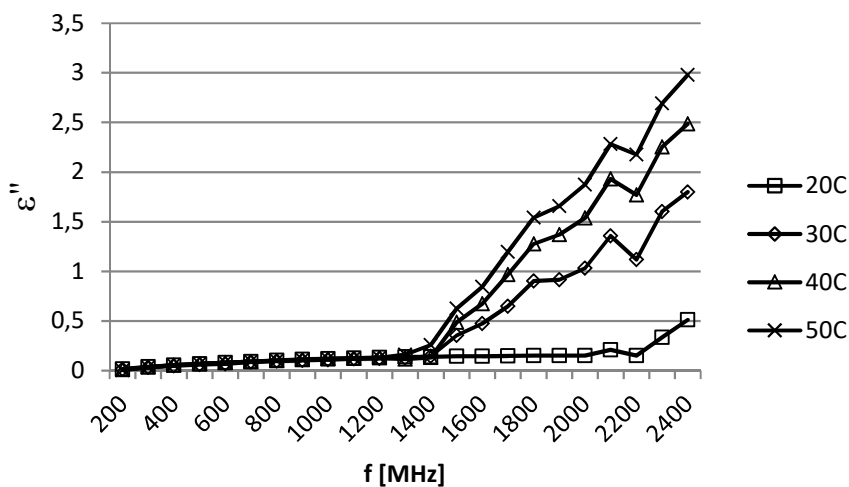
A 2.ábrán a dielektromos állandó képzetes részének (ε'') változását láthatjuk a frekvencia függvényében, különböző motorhűtő folyadék koncentrációk esetén. A mért értékek itt már jelentősen eltérnek egymástól. A Glicosam és a Prelix Z minták esetén más-más frekvencia határ felett láthatunk emelkedést, míg a többi mintánál ε'' értéke a vizsgált frekvenciatartományban 0,2 érték alatt maradt.

Az 1. és 2. ábrán látható eredmények alapján várható volt, hogy elsősorban a Glicosam és a Prelix Z minták esetén lesz jellemző a különböző hőmérséletek hatása. Ezeket mutatjuk be a 3. és 4. ábrán. A másik három motorhűtő folyadék koncentráció esetén ε'' 0 és 0,12 között változott mindegyik vizsgált hőmérsékleten.

3. ábra ε'' változása különböző hőmérsékleteken a frekvencia függvényében
Glicosam motorhűtő folyadék koncentrátum esetén

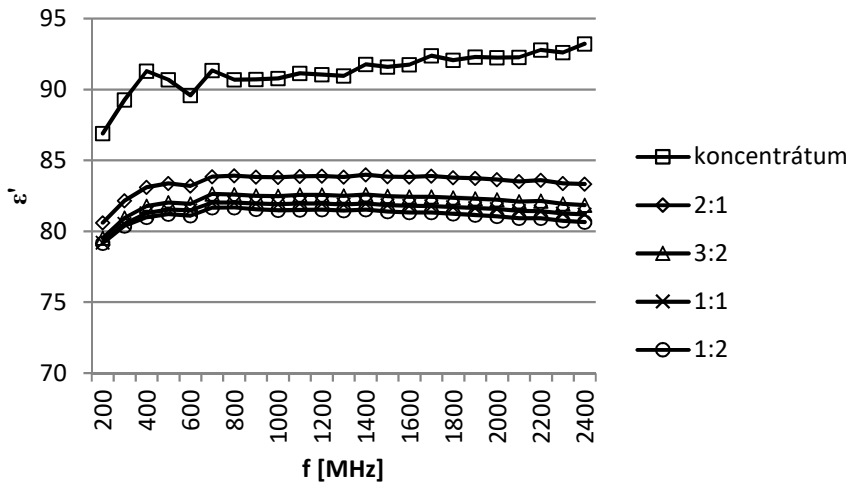


4. ábra ε'' változása különböző hőmérsékleteken a frekvencia függvényében
Prelix Z motorhűtő folyadék koncentrátum esetén

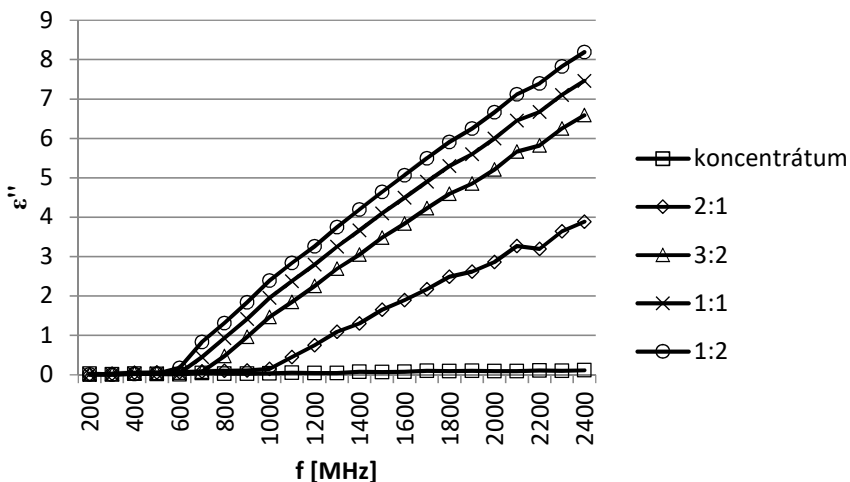


A koncentráció változása volt a harmadik paraméter, melynek hatását vizsgáltuk. Ezen eredményeket mutatjuk be a Sheron G12++ minta esetén (5., 6. ábra). A többi mintánál is hasonló tendenciák voltak megfigyelhetőek.

5. ábra ϵ' változása különböző hígítási arányok esetén a frekvencia függvényében Sheron G12++ motorhűtő folyadék koncentrátum esetén



6. ábra ϵ'' változása különböző hígítási arányok esetén a frekvencia függvényében Sheron G12++ motorhűtő folyadék koncentrátum esetén



Az 5. és 6. ábrán látható, hogy a víztartalom növekedésével a minta dielektromos jellemzői közelítenek a víz dielektromos paramétereirehez.

4. Összefoglalás

Jelen közleményünkben azon mérési eredményeinket mutattuk be, amelyek alapján a különböző adaléktechnológiával készülő motorhűtő folyadékok dielektromos paramétereinek változásai ismerhetők meg a frekvencia változásának függvényében különböző hőmérsékleteken és koncentrációk mellett. Az eredmények rávilágítanak arra, hogy ezen mért paraméterek alkalmasak a különböző

eljárással készült motorhűtő folyadékok megkülönböztetésére, illetve a motorhűtő folyadékban lévő fagyálló koncentrátum meghatározására.

Irodalomjegyzék

- Afsar, M. N., Birch, J. R. and Clarke, R. N. 1986. The Measurement of the Properties of Materials. Proceedings of the IEEE. 74(1)
- Baker-Jarvis, J., Vanzura, E. J. and Kissick, W. A. 1990. Improved Technique for Determining Complex Permittivity with the Transmission/Reflection Method. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 38(8)
- Courtney, C. C. 1998. Time-Domain Measurement of the Electromagnetic Properties of Materials. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 46(5): 517–522.
- Courtney, C. C. and Motil, W. 1999. One-Port Time-Domain Measurement of the Approximate Permittivity and Permeability of Materials. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. 47(5): 551-555.
- Krupka, J. 2006b. Frequency domain complex permittivity measurements at microwave frequencies. Meas. Sci. Technol. 17: R55 - R70.
- Murata, K., Hanawa, A. and Nozaki, R. 2005. Broadband complex permittivity measurement techniques of materials with thin configuration at microwave frequencies. Journal of Applied Physics. 98(8): 084107-1 to 084107-8.
- Wang, Z. Y., Kelly, M. A., Shen, Z. X., Wang, G., Xiang, X. D. and Wetzel, J. T. 2002. Evanescent microwave probe measurement of low-k dielectric films. Journal of Applied Physics. 92(2): 808–811.
- Yue, H., Virga, K. L. and Prince, J. L. 1998. Dielectric Constant and Loss Tangent Measurement Using a Stripline Fixture. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology - Part B. 21(4)

PÁROS T-PRÓBA PROGRAMOZHATÓ KIALAKÍTÁSA EXCEL VBA KÖRNYEZETBEN

Hampel György

Abstract: Az Excel táblázatkezelő programmal olyan számológépet tudunk kialakítani, melyeket többször is használhatunk. Egy-egy adat megváltozásakor automatikusan újraszámítódik a teljes tábla. Az adatok megváltoztatását programozott módon is elvégezhetjük a Visual Basic for Application (VBA) szolgáltatás segítségével. Összetett számítások esetén célszerű arra törekedni, hogy a kialakított számológép egyszerűen tegye lehetővé a paraméterek értékétől függő eredmények képzését.

Jelen publikáció a páros t-próba automatizált végrehajtása kialakításának egy lehetséges módját tárgyalja. Statisztikai programok nem teszik lehetővé a programozással automatizált kiértékeléseket, ezért az Excel VBA alkalmazása jelentősen felgyorsítja az ismételt elvégzendő számítások előkészítését és végrehajtását. A cikkben bemutatom egy könnyen és kényelmesen használható kezelőfelület elkészítését, valamint a hozzá tartozó VBA programokat.

Abstract: We can create spreadsheets in Excel that can be used several times. When the data changes, the entire table is automatically recalculated. The data change can be done in a programmed method using Visual Basic for Application (VBA). In case of complex calculations, it is advisable to develop a spreadsheet which easily allows producing the results depending on the values of parameters.

This publication discusses a possible way of creating an automated execution of the paired t-test. Statistical programs do not allow automatic evaluations with programming; therefore, the use of Excel VBA significantly speeds up the preparation and execution of calculations that have to be repeated. In this article, I present the preparation of an easy-to-use user interface and the associated VBA programs.

Kulcsszavak: Microsoft Excel, VBA, statisztikai kiértékelés, páros t-próba

Keywords: Microsoft Excel, VBA, statistical evaluation, paired t-test

1. Bevezetés

Statisztikai kiértékelések során ma már természetes, hogy számológépet használunk. Viszont ekkor az ismert statisztikai programcsomagokat alkalmazzuk, míg az Excel táblázatkezelő programra ritkán esik a választásunk. Elkerülhetjük a nagyszámú, ismétlődő kiértékelések hosszadalmas, monoton végrehajtását, ha kihasználjuk az Excel nyújtotta programozási lehetőséget a Visual Basic for Application (VBA) szolgáltatással (Fabulya, 2017). Elegendő egy olyan számológépet kialakítanunk, melyben automatikusan újraszámítódnak a statisztikai eredmények a kiinduló adatok megváltozásakor (Microsoft, 1995). A VBA programunknak csak a kiértékelendő adatsorok és a keletkező eredmények adatainak cellák közötti mozgatását kell automatizálnia.

A páros t-próbát gyakran alkalmazzuk olyan esetekben, amikor két, egymástól nem független, párokba szervezhető adatokkal rendelkező minták összehasonlítását kell elvégeznünk. A próba elvégzéséhez pár formula kiszámítása szükséges (Michaletzky–Mogyoródi, 1995), melyek könnyen kialakíthatók a számológépben.

Az Excel VBA programokat minden olyan területen célszerű alkalmazni, ahol ismétlődő számítási tevékenységek automatizálása megvalósítható (Kovalcsik, 2010). Így pénzügyi befektetések kiértékelésekor (Zsótér–Tóth, 2014), vagy

adatbázisba szervezett adatok esetén is kényelmesebbé, gyorsabbá teheti munkánkat (Fabulya, 2018).

2. Anyag és módszer

Munkánkhoz az Excel 2010 verzióját használtuk. Az alábbiakra tekintettel esett erre a választás:

- Programozási lehetőséget biztosít a Visual Basic for Application bővítményével.
- Az adataink Excel fájlokban érhetőek el.
- Egyszerűen kialakíthatjuk a statisztikai kiértékelés számológépját munkalapfüggvények alkalmazásával (Wells–Harshberger, 1997).
- A számítógép használók többsége rendelkezik a programmal, ismeri alapvető használatát.

2.1. Az Excel és VBA bővítménye

A táblázatkezelő programban egy munkafüzet több lapján alakíthatjuk ki az adatok tárolására és a rajtuk elvégzendő számításokra alkalmas felhasználói felületeket (Zimmerman, 1996). Az automatikus újraszámításokhoz olyan formulákat kell megadnunk, melyek hivatkoznak azokra a cellákra, melyektől az eredmény függ. Az adatok megváltoztathatósága miatt arra is tekintettel kell lennünk a formulák helyes eredménye érdekében, hogy extrém értékek, akár hiányzó adatok mellett is működjenek.

A VBA bővítmény programozási lehetőséget nyújt. Ezt arra használjuk, hogy automatizáljuk a minták adatainak lecserélését a számológéptáblán, valamint az eredmények kigyűjtését táblázatba. Értékadó utasítások szükségesek a cellák és a program változói között az adatok mozgatásához. A programjainkban ciklusok biztosítják a tevékenységek ismétlődő végrehajtását, így az összes minta kiértékelését.

2.2. A páros t-próba

A páros t-próba segítségével két, egymástól nem független, adatként szervezhető minták alapján tesztelhetjük két statisztikai sokaság várhatóértékei közötti relációra vonatkozó hipotézis helyességét. Az adatoknak intervallum skálán mérhető, numerikus adattípusú kell lennie. Az alkalmazhatóságának feltétele, hogy normális eloszlásúnak legyen tekinthető a két populáció (Móri, 2011).

A próba végrehajtásakor először kiszámítjuk az alkalmazott statisztikai függvény (1) értékét (t) a minta adatsorából.

$$d_i = x_i - y_i \quad \bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \quad t = \frac{\bar{d}}{s} \quad s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2}{n-1}} \quad (1)$$

ahol:

x_i, y_i – a minták i . elempárja ($i=1, \dots, n$),

s – a becült szórás,

\bar{d} – a mintaelemek különbségének átlaga, (számtani közép),

n – a minta elemszáma.

A döntést két technikával is meghozhatjuk:

- kritikus tartomány alapján,
- szignifikanciaszint (p) kiszámításával.

Amikor a döntést a kritikus tartománnyal hozzuk meg, akkor a statisztikai függvény értékét hasonlítjuk össze a tartomány szélét mutató értékkel, mely a Student-féle t-eloszlás eloszlásfüggvényének értéke, mint kritikus érték (t_{kr}), mely függ a minta elemszámától (n) és az elsőfajú hibavalószínűségtől (ε). Ha a kritikus tartományba esett a statisztikai függvény értéke, akkor a két populáció várhatóértékének szignifikáns, jelentős eltérését jelzi a próba. Szintén ez adódik, ha a szignifikanciaszint kisebb az elsőfajú hibavalószínűségnél, azaz $p < \varepsilon$ (Móri, 2011).

3. Eredmények és értékelésük

Két munkalapot kell kialakítanunk az Excelben ahhoz, hogy a felhasználó csak a saját adatainak szerkesztését tudja elvégezni az egyikben, míg a számításokért felelős munkalap ne legyen szerkeszthető. Viszont így ezek a munkalapok „kommunikálnak” egymással, hiszen a felhasználói felület munkalapjának adatait dolgozza fel a számítások munkalapja, míg a számítások eredménye megjelenik a felhasználói felületen.

3.1. Számítások munkalapja

A számítások munkalap a felhasználó számára rejtett, így nem szükséges nagy hangsúlyt fektetnünk az esztétikus, felhasználóbarát megjelenítésre. Meg kell oldanunk, hogy csak a számítások során értelmezhető, numerikus adatok kerüljenek át a kezelő felület munkalapjáról. Ez megoldható az Excel munkalap függvényeivel a (2) képlet szerint.

$$=HA(SZÁM(Adatok!A3);Adatok!A3;"")) \quad (2)$$

A $HA()$ munkalapfüggvény a $SZÁM()$ függvénnyel ellenőrzi, hogy az adatkezelő felület *Adatok* munkalapján az *A3* cella tartalma szám vagy sem. Így csak numerikus érték kerül át a számítások munkalapra. E képlet másolatai eredményezik, hogy a rejtett munkalapra helyezzük az adatokat az *A2* cellától kezdődően. A számítások már csak ezeken az adatokon alapulnak. Mivel ezek munkalapfüggvények, ezért automatikusan megjelenik minden adatváltozás a számítások lapján.

Az elsőfajú hibavalószínűség (*D3* cella), valamint a vizsgálandó hipotézis típusa (*D5* cella) szükséges még a számítások elvégzéséhez. Ezek ellenőrzés nélkül vehetők át az *Adatok* munkalapról, mert ott hibás értéket nem fogad el a program a felhasználótól. A számításokor a hipotézis típusa három féle lehet attól függően, hogy milyen irányú eltérést vizsgálunk a két sokaság várhatóértéke között:

- kétszélű ($m_1 \neq m_2$),
- balszélű ($m_1 < m_2$),
- jobbszélű ($m_1 > m_2$).

A felhasználó a vizsgálandó hipotézis megfogalmazásakor tetszőleges relációs jeleket alkalmazhat, de a számítás technikája a fenti típusú ellenhipotézisek (alternatív hipotézisek) egyikére vezet. Az 1. táblázatban látható, hogy a lehetséges felhasználó által vizsgálandó hipotézis (H) típusok esetén a számítások melyik alternatív hipotézist (H_A) kell alkalmazni, és milyen döntést kell hozni H-ra, amikor az alternatív hipotézist kell elfogadni, vagyis amikor a számított szignifikanciaszint kisebb az elsőfajú hibavalószínűsénél ($p < \varepsilon$).

1. táblázat: Döntés az alkalmazott alternatív hipotézis elfogadásakor

H	H_A	Döntés H_A elfogadásakor
$m_1 = m_2$	$m_1 \neq m_2$	H elutasítva
$m_1 \neq m_2$	$m_1 \neq m_2$	H elfogadva
$m_1 < m_2$	$m_1 < m_2$	H elfogadva
$m_1 \leq m_2$	$m_1 > m_2$	H elutasítva
$m_1 > m_2$	$m_1 > m_2$	H elfogadva
$m_1 \geq m_2$	$m_1 < m_2$	H elutasítva

Forrás: A szerző saját szerkesztése.

A számítások során egy-egy cellában a következő értékek alakulnak ki:

- a minta elemszáma (n),
- a mintaelemek különbségének átlaga (\bar{d}),
- a szórás becslt értéke (s),
- a statisztikai függvény értéke (t),
- a kritikus tartomány határa (t_{kr}),
- a próba szignifikanciaszintje (p).

Ezek mindegyike munkalapfüggvényekkel kapható meg:

- DARAB(),
- ÁTLAG(),
- SZÓRÁS(),
- T.INVERZ(),
- T.ELOSZL().

A kritikus tartomány határának, valamint a szignifikanciaszintnek a kiszámításakor azt is figyelembe kell venni, hogy melyik típusú ellenhipotézist alkalmazzuk.

A felhasználói felület felé a legfontosabb eredmény a szignifikanciaszint (p), melyből könnyen adódik az eredmény a különböző típusú hipotézisek esetén.

3.2. Felhasználói felület kialakítása

Minden adatváltozáskor az *Adatok* munkalapon a számítások automatikusan aktualizálódnak, mivel a számítások munkalapon csak Excel munkalap függvényeket alkalmaztunk. Ez azt jelenti, hogy elegendő csak az *Adatok* munkalapot olyan felhasználói felülettel alakítani, ahol az adatbevitel és az eredmény megjelenítése valósul meg. A kész felület látható az 1. ábrán.

A próba eredményét három módon is megjelenítjük egy-egy bekeretezett részben:

- szövegesen,
- egy + vagy – jellel,
- a szignifikancia szinttel.

1. ábra: A páros t-próba felhasználói felülete

Adatok		Elsőfajú hibavalószínűség (ϵ)	0,05
48,2	51,1	Hipotézis várhatóértékre	$m_1 - m_2 = m = 0$
48,9	50,2		
49,2	50,5	A próba eredménye: Az $m_1 - m_2 = m = 0$ hipotézis elfogadható. → +	
50,2	49,2		
48,9	49,6	Szignifikancia szint:	0,13733
51,3	49,9		
49,7	48,8		
50,3	50,9		
48,3	51,6		

Forrás: A szerző saját szerkesztése.

Az ábrán látható, hogy a vizsgálandó hipotézis egyszerűbb formájú, ha bevezetjük a két várhatóérték helyett a különbségüket ($m = m_1 - m_2$). A döntéshez csak a szignifikanciaszint értéke szükséges a számítások eredményeként, melyet az elsőfajú hibavalószínűséggel hasonlítunk össze. Az alternatív hipotézist fogadjuk el, ha teljesül a $p < \epsilon$ feltétel.

A felhasználónak adatok módosítására a világos háttérű cellák esetén van csak lehetősége. Megadható a két minta adatsora, az elsőfajú hibavalószínűség, valamint a hipotézis típusa. A munkalap védelmét bekapcsolva, és a védendő cellákat zároltra állítva érhetjük el, hogy a munkalapon a felhasználó csak a többi cellát módosíthassa.

Érvényesítési beállításokkal védekezhetünk nem értelmezhető adatok ellen. Az elsőfajú hibavalószínűség értéke leggyakrabban 0,01 vagy 0,05 szokott lenni. Itt a 2. ábrán látható érvényesítési beállítás miatt csak 0 és 0,2 közötti érték adható meg.

2. ábra: Adatérvényesítés üzenetei

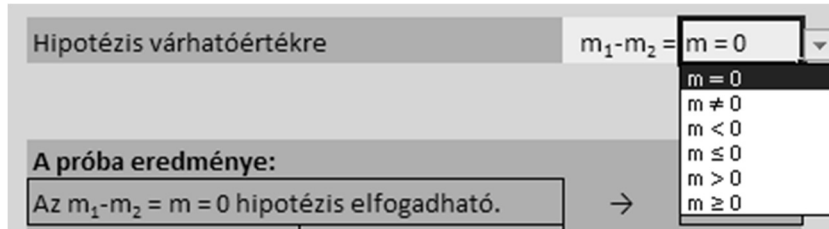
The screenshot shows the 'Páros t-próba' dialog box with the 'Elsőfajú hibavalószínűség (ϵ)' field set to 0,25. An error message box is overlaid on top, stating 'Javítás kell!' and 'Nincs 0 és 0,2 között!' (Not between 0 and 0,2!). The error box has buttons for 'Ujra', 'Mégse', and 'Súgó'. To the right, a 'Figyelem!' (Warning!) box also displays the error message: 'Az érték 0 és 0,2 között legyen!' (The value must be between 0 and 0,2!).

Forrás: A szerző saját szerkesztése.

Amikor ráállunk erre a cellára, megjelenik a tájékoztató figyelmeztetés, míg hibás adat esetén hibaüzenet is látható.

A legördülő listás adatérvényesítés (3. ábra) biztosítja, hogy a hipotézis típusaként csak az értelmezhető relációk egyike legyen kiválasztható.

3. ábra: Legördülő listás adatérvényesítés



Forrás: A szerző saját szerkesztése.

3.3. Kiértékelések automatizált végrehajtása

A páros t-próbát több minta adatsorán automatikusan végrehajthatjuk az Excel VBA programozási lehetőségével. Amennyiben egy munkalapon (*Adatsorok*) több páros t-próba adatait szerepeltetjük szisztematikus, algoritmizálható elrendezésben, akkor itt a kiértékelés eredményeket is megkaphatjuk egy adatként, például + vagy – jelzés formájában. A programban ciklus szerkezetre van szükségünk. A ciklusban azt kell leprogramoznunk egy minta adatsor hipotézisének kiértékeléséhez, hogy az adatok átkerüljenek a felhasználói felület munkalapjára (*Adatok*), majd az ott adódó eredményt kiolvassa, a döntés eredményét helyezzük az erre a célra fenntartott cellába.

Az *Adatsorok* munkalap a következő szerkezetű:

- két oszlopban helyezkedik el egy kiértékelendő mintapár, mellettük a következő párok,
- az első oszlop első cellája az elsőfajú hibaválószerűség,
- a második oszlop első cellája a hipotézis típusa,
- az első oszlop második cellája az eredmény számára fenntartott cella,
- a két oszlop harmadik cellájától a két minta adatsora következik.

A program a következő:

```
Public Sub kiertekeles()
    s1 = Sheets("Adatsorok")
    s2 = Sheets("Adatok")
    minta = 1
    Do Until s1.Cells(1, 2 * minta - 1) = ""
        'Alapadatok feltöltése
        s2.Cells(2, 7) = s1.Cells(1, 2 * minta - 1)
        s2.Cells(4, 8) = s1.Cells(1, 2 * minta)
        'Törlés
        sor = 3
        Do Until s2.Cells(sor, 1) = ""
            s2.Cells(sor, 1) = ""
```

```

        s2.Cells(sor, 2) = ""
        sor = sor + 1
    Loop
    'Minta feltöltése
    sor = 3
    Do Until s1.Cells(sor, 2 * minta) = ""
        s2.Cells(sor, 1) = s1.Cells(sor, 2 * minta - 1)
        s2.Cells(sor, 2) = s1.Cells(sor, minta)
        sor = sor + 1
    Loop
    'Eredmény kiolvasása
    s1.Cells(2, 2 * minta - 1) = s2.Cells(8, 8)
    minta = minta + 1
End Sub

```

Az adatok áthelyezése az *s1* és *s2* változókkal elérhető *Adatsorok* és *Adatok* munkalapok cellái között történik. Az első mintától (*minta=1*) kezdődik a végrehajtás, mely akkor ér véget, mikor az aktuális oszlop üres cellával nem kezdődik (*do until s1.cells(1,2*minta-1)=""*). Egy cikluson belül először az alapadatokat helyezzük át, majd a minta adatsorát, de előbb törölni kell, mert bár egy újabb adatsor felülírja az előzőt, de ha az aktuális rövidebb, akkor a maradék adatok hamis eredményt okoznának. A ciklus végén kiolvassuk az eredményt és átállunk a következő minta oszlopára (*minta=minta+1*).

4. Összegzés

Automatizálni tudtuk a páros t-próba számításinak végrehajtását. Kialakítottuk azt a felhasználóbarát felületet, melyen egyszerűen beállítható minden adat, s megjeleníti a próba eredményét. Programozott módon is kialakítottuk az újbóli felhasználást a Visual Basic for Application szolgáltatással. Ehhez rendelkezniünk kell minimális szintű VBA programozói ismeretekkel.

Irodalomjegyzék

- Fabulya Z. (2017): Hőkezelési folyamatok összehangolása Excel VBA szolgáltatásokkal. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*, 12 (4): 19–25.
- Fabulya Z. (2018): Access alkalmazás kialakítása ügyfélközpontú szolgáltatások nyilvántartására. *Jelenkori Társadalmi és Gazdasági Folyamatok*, 13 (1–2): 67–76.
- Zsótér B., Tóth A. (2014): Examination of satisfaction related to investments (2006-2011) accomplished by the local council in Abony. *Analecta Technica Szegedinensia* 8 (1): 33–37.
- Michaletzky Gy., Mogyoródi J. (1995): *Matematikai statisztika*. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Kovalcsik G. (2010): *Az Excel programozása*. Computerbooks, Budapest.
- Microsoft Press (1995): *Microsoft Excel/Visual Basic Programmer's Guide*. Microsoft Press, Washington.
- Móri T. (2011): *Statisztikai hipotézisvizsgálat*. Typotex Kft., Budapest.
- Wells E., Harshberger S. (1997): *Microsoft Excel 97 Developer's Handbook*. Microsoft Press, Washington.
- Zimmerman M. W. (1996): *Microsoft Office 97/Visual Basic Programmer's Guide*. Microsoft Press, Washington.

ALUMÍNIUMHABOK ÍVHEGESZTÉSÉNEK VIZSGÁLATA

Hareancz Ferenc – Kiss Norbert

Absztrakt: Az olyan újszerű anyagok, mint az alumíniumhabok felhasználása számos nehézséget rejthet magában. A fémhabok, mint alapanyagok alkalmazása az iparban számos pozitívummal jár. A különböző gépelemek, szerkezetek esetében nagyon előnyös tulajdonsága a merevség növelése. Gépjárművek esetében az össztömeg csökkentése, ezáltal a károsanyagkibocsátás csökkentése. Azonban használatuk a kellő ismeretek hiányában számos nehézséget rejtenek magukban. Annak érdekében, hogy megismerjük ezen anyagok tulajdonságait vizsgálatokat kell végeznünk rajtuk. Ezen vizsgálatok alkalmával szeretnénk az alumíniumhabok ívhegesztésének sajátosságaira rávilágítani és hegesztés közbeni viselkedésüket tanulmányozni.

Abstract: Application of novel materials such as aluminium foams can have many difficulties. The application of metal foams as base materials have many positive effects. Increased rigidity is a very beneficial attribute in the case of various machine parts and structures. Reduced pollutant emission due weight reduction is another beneficial attribute for vehicles. However their application involves many difficulties In the absence of sufficient knowledge. In the absence of sufficient knowledge. Investigations of these materials must be made in order to get to know the properties of these substances. We would like to highlight the characteristics of arc welding on aluminium foams and to study their behaviour during welding in this article.

Kulcsszavak: alumíniumhab, ívhegesztés

Keywords: aluminium foam, arcwelding

1. Bevezetés

A fémhabok új, könnyű anyagok, amelyeket egyre több kutató vizsgál napjainkban. Az olyan fémek, amelyekből celluláris anyagokat, állítanak elő mint a titán, réz, acél és alumínium felhasználási köre egyre inkább bővül. Kivételes tulajdonságokkal rendelkeznek, például a jó hő- és hangszigetelők, kiváló energiaelnyelők, jók a mechanikai tulajdonságaik és az alacsony súlyuk miatt az ipar nagyon érdeklődik ezen anyagok iránt. Bár az alumíniumhab évtizedek óta ismert, a kutatás célja továbbra is az anyag optimalizálása és új alkalmazási területek megnyitása.

Innovatív anyagként az alumíniumhab komoly potenciált jelent a kompozit összetevőként való használatra. Ez a kompozit alumíniumhab szendvics (AFS), amely alumínium lemezekből áll, mint fedőrétegek és alumínium hab, mint magréteg.

A habosított állapotban az alumínium, kis sűrűség mellett, nagy merevséggel és más fontos tulajdonságokkal is rendelkezik. Például nagyon jó ütközési energiaelnyelő, valamint szendvics szerkezetekben a habosított magréteg hő- és hangszigetelő. Az alumínium hab és a szendvicsszerkezet is teljesen újrahasznosítható és környezetbarát, mivel az egész alumíniumból készül. Ezek a tulajdonságok nagyon jól használhatók a gépjárműiparban a gépjárművek karosszériájához. Továbbá az építőipar, a repülőgépipar, a tengeri és a vasúti utazási ipar nagy érdeklődéssel bír [1, 2].

Az elmúlt években az iparág olyan irányba kezdett haladni, amivel nagy hangsúly fektetnek a járművek tömegcsökkentésére és ezzel a károsanyag kibocsátás

minimalizálására. A károsanyag kibocsátás csökkentésére globális szinten folynak a törekvések. Ezt a tömegcsökkentést főleg az új típusú anyagokkal érték el, mint például AHSS acélok, nagy szilárdságú alumínium ötvözetek vagy celluláris anyagok ezek közül is a fémhabok.

A felhasználás növekedésével egyre nagyobb érdeklődés mutatkozik a lehetséges kötéstechológiák felé, így a hegesztett kötések kialakítása felé is. Jelen irodalomkutatás az alumínium és alumíniumhabok főbb tulajdonságai, alkalmazási területei bemutatása mellett, ezen anyag hegesztési sajátosságainak bemutatását tűzi ki céljául.

2. Könnyűszerkezetek jelentősége az iparban

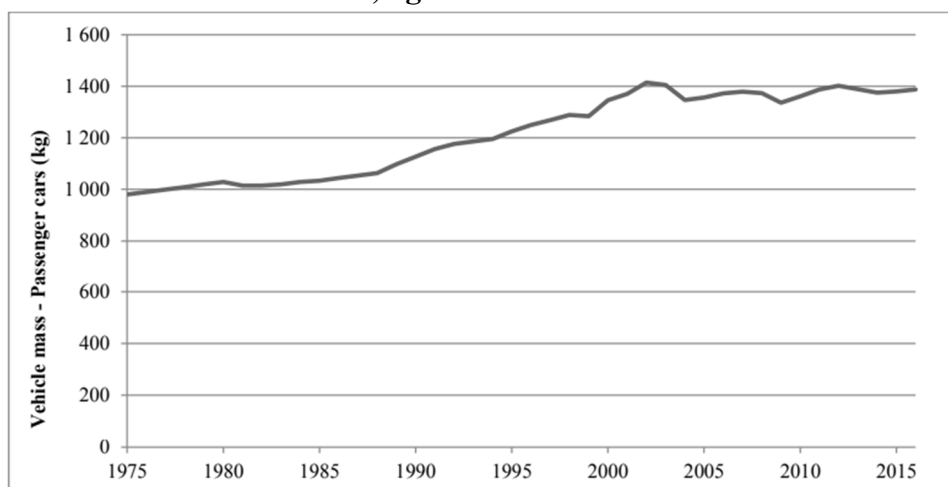
A gépiparban és a gépszerkezetek gyártásában a fémlemez alkatrészek tulajdonságaira vonatkozó szilárdsági követelmények folyamatosan növekednek. E követelmények teljesítése érdekében innovatív anyagokat és új építési módszereket próbálunk használni. Az anyagfejlesztések egyik célja az, hogy olyan rész tulajdonságokat biztosítsunk, mint például merevség, szilárdság vagy ütközésbiztonság.

A másik cél az, hogy a szerkezeteinkben az anyagfelhasználást innovatív megoldásokkal csökkentse. A tömegcsökkentés a korunk egyik központi követelménye számos területen, mint például a járműipar vagy a repülőgépipar. Meg kell jegyezni, hogy a potenciális felhasználóknak nagyon különböző elképzeléseik vannak arról, hogy mennyire magasak lehetnek a súlycsökkentés költségei. Erre vonatkozóan végeztek tanulmányokat már korábban. J. Krautz [3] kutatása alapján az autó vásárlók 2 euró és 10 euró közötti költségnövekedést fogadnak el, hogy egy kilogrammal csökkentsék a gépjármű tömegét. Ugyanakkor a repülőgépiparban a érdekelt emberek akár 500 eurót vagy akár öt számjegyű összeget is képesek fizetni, egy kilogramm tömegcsökkenés érdekében [4].

A magas biztonsági követelményeknek, a modern járművek kényelmének és méretének, valamint a jármű súlyának növekedésének köszönhetően különösen fontos a könnyűszerkezet igénye, különösen az autóiiparban. Ha az utóbbi évtizedekben megfigyeljük a jármű tömegének alakulását, például a középosztályban, akkor emelkedő tendencia figyelhető meg (lásd: *1. ábrán*). Hasonló tendencia érvényes más osztályú autókra és más közlekedési módokra is.

Az elmúlt évtizedek publikációi azt mutatják, hogy világszerte sok autóiipari vállalat nagyon intenzíven foglalkozik a könnyűszerkezet témájával SuperLightCar (SLC), Light e-Body, UltraLight Steel Auto Closures (ULSAC), body-in-white (BIW) [5, 6, 7, 8]. Ez a trend könnyen magyarázható. Különösen az autóiiparban erős az igény az üzemanyag-fogyasztás csökkentésére, mivel az emelkedő üzemanyagárak is arra kényszerítik a vásárlókat, hogy alacsony fogyasztású járműveket válasszanak.

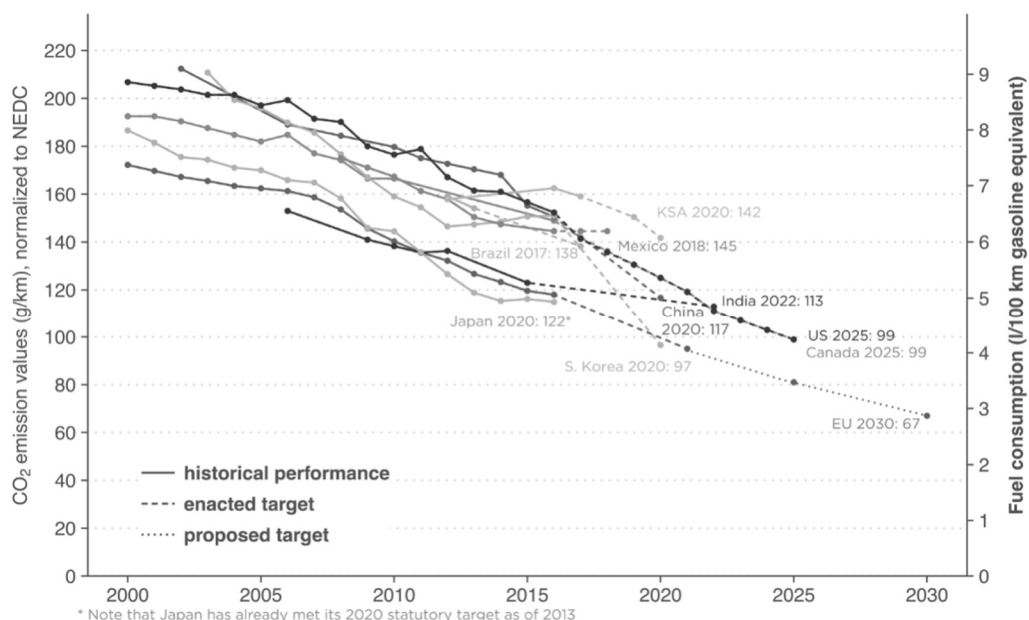
1. ábra: Európában forgalomba helyezett személyautók átlagos tömegének alakulása, kg-ban 1975-2015 között.



Forrás: ITF: Lightening Up: How Less Heavy Vehicles Can Help Cut CO₂ Emissions, 2017

Az új globális szabványok a járművek biztonságát (ütközéskor), az üzemanyag megtakarítást és a károsanyag kibocsátást világosan meghatározzák 2020-ig és ezek további nagymértékű szigorítást irányoznak elő a következő 10 évre vonatkozóan. Érdekes azonban, hogy a regionális szabályozások különböző mértékben határozzák meg ezeket a célokat (lásd: 2. ábrán)

2. ábra: Személygépkocsi CO₂-kibocsátás és üzemanyag-fogyasztás 2030-ig



* Note that Japan has already met its 2020 statutory target as of 2013

Forrás: Chart library: Passenger vehicle fuel economy <www.theicct.org> 2018

Az alumínium kezdeti felhasználása a járműiparban csak a luxus kategóriájú autókra terjedt ki. Az első sorozatgyártású autó, mely teljes alumínium vázzal rendelkezett 1994-ben debütált, Audi A8 volt (lásd: 3. ábra). Ezt a trendet követni kezdte a többi nagy autógyártó vállalat is [9].

3. ábra: Audi A8 karosszériája



Forrás: Juergen R. Hirsch: Recent development in aluminium for automotive applications

Ennek köszönhetően 2014-re az alumínium felhasználás a tömegpiacra szánt modellekben is egyre nagyobb részarányt tett ki. Sikerült elérni néhány autó esetében a 39 %-os tömegcsökkenést is. Az alumínium könnyű súlya mellett remek energiaelnyelőként is funkcionál. Emiatt rendszeresen készítenek belőle életvédelmi elemeket, lökhárítókat, ütközőelemeket és gyakran fordul elő a karosszéria ütközészónájában is. A forradalmi elektromos autót gyártó Tesla modelljei akkumulátor csomagjait alulról 8 mm vastag golyóálló alumíniumöntvözet lemez védi, mely garantálja a biztonságát és védelmét az akkumulátoroknak [10].

3. Alumínium habok tulajdonságai

A fémek habosításával nagy fajlagos szilárdságú, könnyű, jó energiaelnyelő anyagokhoz juthatunk, amelyek magas hőmérsékleten is stabilak maradnak, ráadásul száz százalékban újrahasznosíthatók, így környezetbarátok is. További jó tulajdonságaik a jó rezgéscsillapító képesség, hangelnyelés és elektromágneses árnyékoló képesség. A fémhabok nagy energiaelnyelő képességét a porozitásuk biztosítja. A cellákat határoló gömbhéjak nem egy időben omlanak össze és, így a fémhabok nagymértékű alakváltozásra képesek azonos feszültség szinten. A fémhabok főbb tulajdonságait az alábbi (1. táblázat) táblázat mutatja [1].

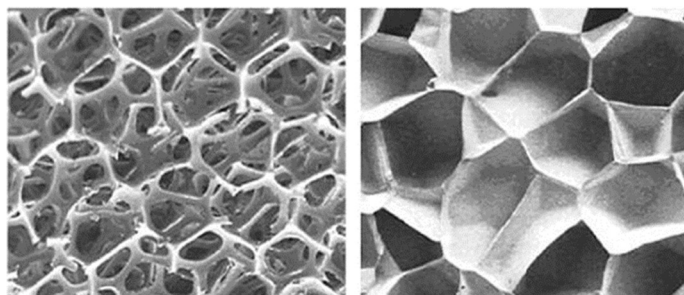
A sejtes felépítésű anyagokat tömör rudak és/vagy lemezek hálózataként lehet elképzelni. A tömör rudakat cella élneknek, a lemezeket cellafalaknak hívjuk. A háromdimenziós celluláris anyagokat haboknak nevezzük, ha a bennük található szilárd anyag térfogati hányada más néven relatív sűrűsége nem haladja meg az 50%-ot.

1. táblázat: Fémhabok fizikai tulajdonságai

Fémhabok legfőbb fizikai tulajdonságai	
Cellaméret	20 nm - kb. 20 cm
Relatív sűrűség	0,003 - 0,5
Rugalmassági modulus	0,02 - 15 GPa
Rugalmasság határa	0,02 - 50 MPa
Hővezetési tényező	0,3 - 35 W/m·K
Fajlagos ellenállás	$9 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-5} \Omega\text{m}$

Forrás: K.Cs.: Napjaink korszerű anyagai: A fémhabok

Ezt a relatív sűrűséget meghaladó háromdimenziós anyagokat porózus anyagoknak nevezzük. A fémhabokat két fő szerkezeti felépítésük szerint osztályozhatjuk: lehetnek nyitott cellásak vagy zárt cellásak is, melyet az alábbi kép (4. ábra) szemléltet [1].

4. ábra: Nyitott (balra) és zárt (jobbra) cellás szerkezet

Forrás: Goga Vladimír: Testing and Application of New Phenomenological Material Model for Foam Materials

3.1. Fémhabok felhasználása

A fémhaboknak a fentebb említett előnyös tulajdonságaik révén több alkalmazási területük is alkalmazhatóak és ezek folyamatosan bővülnek. Az egyik legnagyobb előnyük révén, ami a nagy energiale nyelő képesség, beépíthetők gépjárművekbe. Például ütközésvédelmi elemekbe, mint ütközők, bukókeretek és lökéscsillapítók vagy éppen lökhárítók. Felhasználhatók még ajtók és küszöbök belsejében merevítésként. Ezzel növelhető az utasok védelme és elérhető a tüzelőanyag fogyasztás csökkenése is. Jelenleg alumínium habokat használnak például az Audi A8-ban, a Ferrari F430 sportautóban és a Siemens Combino villamosaiban [5,6].

A jó hangszigetelő tulajdonsága miatt alkalmazzák Japánban felüljárók, viaduktok alját borítják be, ilyen anyagból készült „lemezekkel”. Hőszigetelő tulajdonsága miatt épületek mennyezetét és külső falaira is szerelnek, fémhabból

készült táblákat ezzel javítva az épület szigetelését és egyben esztétikai szempontokat is szem előtt tartanak [11].

Tovább növelik a felhasználási területeket a szintaktikus habok javított tulajdonságai. Ezeknek a haboknak a mátrixa fém, erősítőanyaga pedig fém vagy kerámia, a hő és kémiai stabilitásuk jó. A felhasznált könnyűfémek (alumínium ötvözetek) olvadáspontja, a polimer habok degradációs hőmérsékletét lényegesen meghaladja, korrózióval való ellenállásuk ugyancsak megfelelő. Ezzel a felhasználásuk köre kiterjedhet a nagy hőmérsékletű, nedves, erősen korrozív környezetekre is [12].

4. Habok hegesztésének lehetőségei

Az alumíniumhabok hegesztése mind ömlesztő, mind sajtoló hegesztési eljárásokkal lehetséges. Az eljárások alkalmazhatósága annak a kritériumnak a függvénye, miszerint szükséges-e biztosítani a varratban a nyitott cellás szerkezetet vagy sem. Az alumínium szendvics panelek hegesztése a határoló panelek miatt könnyen megoldható, azonban a belső hab szerkezet és a külső lemez a hőközlés okozta hatások miatt szétválhat.

4.1. Ívhegesztési eljárások

Az ívhegesztéssel készített kötések esetén a beolvadás nem teljes. A varratban részlegesen vagy egyáltalán nem biztosítható a nyitott cella szerkezet. Ez a nem teljes keresztmetszetű beolvadás azonban elegendő a terhelések átvitelére. Ilyen varratok készíthetők TIG, MIG és plazmahegesztéssel.

A lézersugaras hegesztéssel kialakított kötések esetében lehetséges a nyílt és zárt szerkezet is. A tömör varratok kialakítása csökkenti az alumíniumhab egyik nagy előnyét, ami a könnyedségéből adódik, így ilyen varratokat csak nagy méretű szerkezetek esetében érdemes használni. Az előnyösebb nyitott cellás varrat kialakítása esetében szükségünk van habosító szerek adagolására a varratfürdőbe, amik biztosítják a porózus szerkezetet [13].

4.2. Sajtoló hegesztési eljárások

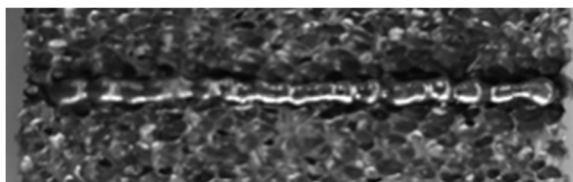
Az ilyen eljárások során biztosítani kell a hab megfelelően biztos rögzítését amellet, hogy annak szerkezete nem ronccsolódik. A hagyományos forgó mozgású dörzshegesztés alkalmazása problémás, a munkadarab a megfogóban megroppan, eltörik vagy akár kihajlik. Megfelelő megfogással a rezgőmozgású dörzshegesztés alkalmazható, illetve forgógyűrűs dörzshegesztés is alkalmas lehet. A lineáris dörzshegesztés is alkalmazható, nem csak homogén hanem heterogén kötések létesítésére is [13].

Kisebb keresztmetszetek esetében a zömítő tompahegesztés alkalmazható. Nagyobb keresztmetszet esetében pedig a leolvasztó tompahegesztést érdemes használni [13].

5. Kísérletek

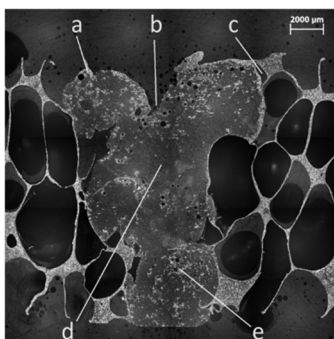
A kísérleteket a fogyóelektródás semleges védőgázos ívhegesztéssel végeztük, a hegesztőpisztolyt pedig egy lángvágó traktorra szerelt 5 tengelyen állítható megfogó szerkezetre erősítettük. A pisztolyt teljesen merőlegesen állítottuk be a hegesztendő darabok felületéhez képest. A próbatesteket egy 8 mm vastag réztáblára helyeztük, hogy a hegesztőáramkör megfelelően tudjon záródni, a porózus felület ellenére is. A testkábel erre a lemezre csíptettük. A hegesztőáramforrás egy Migatronic Sigma 300, mivel szinergikus vezérlésű, a programjai közül a hegesztőanyaghoz tartozót kiválasztva, beállítja a technológiai paramétereket automatikusan. Az általunk használt hegesztőhuzal AlSi5 vegyjelű volt 1 mm-es átmérővel. A hegfürdőt védő gáz 4.6-os tisztaságú argon gáz volt, melynek átfolyása 10 liter/perc értékre lett beállítva. A kötések azonosan 35 A áramerősséggel és minimálisra csökkentett ívfeszültséggel készítettük el, a hegesztési sebességet változtatva. Az legjobb kötés 15 cm/min hegesztési sebességgel készült, amely a képen látható (5.ábra).

5. ábra: 5mm cellaméretű alumínium hab hegesztett kötése



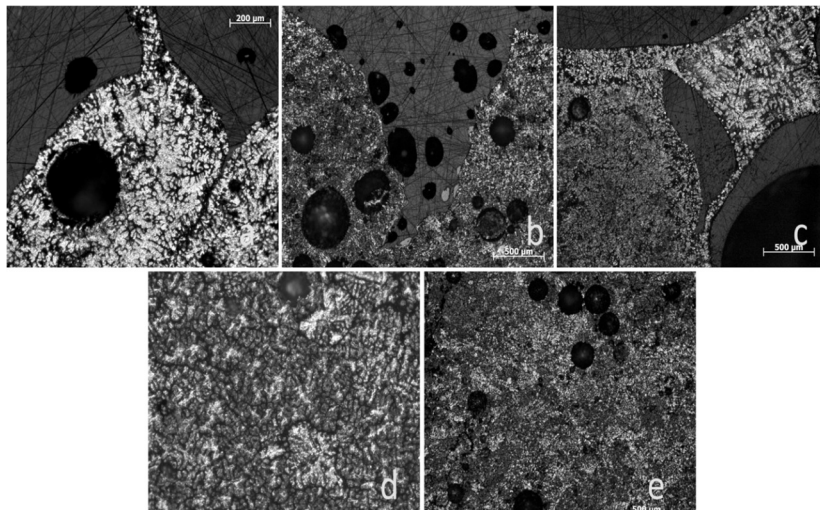
A kötést 4 rétegsorban készítettük el, mivel a hegesztés során a cellaszerkezet összeomlik. A kialakult kötések korona oldala szabálytalan alakú, a hab egyenetlen felületéből adódóan. A cellákba befolyó ömledék miatt a varrat vonalvezetése szabálytalannak tűnik, a varrat környezetében kormosodás figyelhető meg. A kötés (6.ábra) betűkkel jelzett pontjairól készítettünk közelebbi képeket is a kémiai maratás után. A marószer összetétele: 18ml H₂O, 16ml HNO₃, 16ml HF, 50ml HCl. A maratás ideje első tapasztalatok alapján körülbelül 2-3 mp volt.

6. ábra: A kötés keresztmetszeti képe



Így a kötés szövetszerkezetét is meg tudtuk vizsgálni. A következő képeken láthatók a varratok hibái, eltérései és szövetszerkezete (7.ábra).

7. ábra: A kötés szövetszerkezetének részletképei



Az (7. ábra) a jelű ábráján 100x-os nagyításban egy körülbelül 300 μm átmérőjű buborékot láthatunk, a varrat korona felszínéhez közel. Mellette pedig egy a varratba befelé irányuló összeolvadás hiányt. A nagymértékű porozitás az egész varratra jellemző.

A hegesztett kötés finom eloszlású dendrites szövetszerkezete látható. A (7. ábra) b, c, d, e jelű ábrákon szövetszerkezetben precipitátumok és lunkerek is felfedezhetők. A szövetszerkezetben valószínűleg az alapanyag és a hozaganyag keveredéséből adódnak az árnyalati eltérések.

A próbatestek egytengelyű szakítóvizsgálatát elvégezve a legtöbb próbatest a hegesztés hőhatás övezetében ment tönkre, ami várható volt az alapanyag kilágyulása miatt.

6. Összefoglalás

Ezeknek az anyagoknak a hegesztése nem könnyű feladat, azonban nem is lehetetlen vállalkozás. Az inhomogén szerkezetük miatt csak kis áramerősségek alkalmazhatóak, emiatt és az anyag habosodását biztosító adalékanyag szennyező hatása miatt az ívünk instabil és ebből fakadóan az oxidbontás nem kielégítő. Az oxidbontás javítására érdemes lenne folyasztozszer alkalmazásának kipróbálása, ezzel hátha javulna a helyzet e téren.

Az 5 mm-es cellaméretű alumíniumhabok esetében a teljes keresztmetszetű átolvadás megvalósítható az alkalmazott technológiai paraméterekkel. A hegesztése viszont nem mondható gazdaságosnak a négyrétegű varratsor miatt. A szakítóvizsgálatok során az alapanyag rideg anyagként viselkedett nyúlása csekélynek mondható volt.

A makro és mikroszkópi vizsgálatok eredményei alapján elmondható, hogy a varratok porozitása magas, melyet a hidrogén és a habosító adalékanyag együttes jelenléte vált ki főként. A kötések szövetszerkezete túlnyomórészt finom eloszlású dendrites, mely szennyeződésektől nem mentes. A megömlött hegfürdő igyekszik a

környező cellák betöltésére, emiatt a varratok geometriája nem szabályos, általában az össze nem omlott cellafalak határolják.

A kísérletek alatt szerzett, tapasztalatok iránymutatást adnak a további vizsgálatoknak. További próbatestek és beállítások vizsgálata szükséges, ahhoz hogy tökéletesebb kötést tudjunk létrehozni ezzel az eljárással. Azonban érdemes lehet további eljárások kipróbálása is különösen a nagy hő koncentrátsággal bíró technológiák lehetnek ígéretesek a későbbiekben.

Köszönetnyilvánítás

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. EFOP-3.6.1-16-2016-00014

Szeretnénk köszönetet mondani az Aluinvent Zrt.-nek az alumíniumhab alapanyagok biztosításáért és a habokkal kapcsolatos tapasztalataik megosztásáért.

Irodalomjegyzék

1. Kádár Csilla, Kenesei Péter: NAPJAINK KORSZERŰ ANYAGAI: A FÉM HABOK <<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0807/kadar0807.html>>. (2018.11.24.)
2. Crupi, V.; Montanini, R.: Aluminium foam sandwich collapse modes under static and dynamic three-point bending, *International Journal of Impact Engineering* 34, 2007, 509-521.
3. J. Krautz: Leichtbau mit Titan, *Maschinenmarkt*, <<https://www.maschinenmarkt.vogel.de/leichtbau-mit-titan-a-139389>>. (2019.02.21)
4. G. Scharf: Späte Entdeckung – Aluminium, Magnesium und Titan haben als Leichtmetalle die Werkstoffpalette bereichert; *Der Maschinenmarkt*, Würzburg, 1994, 81-86
5. Jürgen Hirsch: Aluminium - Werkstoff für den Automobilbau, *Hydro Aluminium R&D Bonn*, 2015
6. WorldAutosteel, Ultra Light Steel Auto Body-Advanced Vehicle Technology; 2002
7. Advanced High Strength Steel (AHSS) application guidelines V6.0. *International Iron and Steel Institute Committee on Automotive Application*, 2005.
8. Xintao, Shuxin, S. Jack: A method for optimal design of automotive body as-sembly using multi-material construction, *Materials and Design* 29, 2008, 381–387
9. Juergen R. Hirsch: Recent development in aluminium for automotive applications [Online]. Elérhető: <https://www.researchgate.net/publication/265129257_Recent_development_in_aluminium_for_automotive_applications>. (2018.09.24)
10. ALUMINIUM IN TRANSPORT, <<https://www.aluminiumleader.com>> 2018
11. Goga Vladimír: Testing and Application of New Phenomenological Material Model for Foam Materials <<http://www.posterus.sk/?p=3923>> (2018.10.21)
12. Dr. Szunyogh László, főszerkesztő: *Hegesztés és rokon technológiák kézikönyv*, 2007
13. Prof Dr. Bolshakov Michail, Dr. Németh Árpád, Nyári Péter, Dr. Palotás Béla: *Fém szivacsok hegesztése*, *Hegesztés technika*, XVI. évfolyam 2005/1

HŰTŐKÖZEG VÁLTÁS HŐSZIVATTYÚRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK MÉRÉSI LEHETŐSÉGEI

Hermanucz Péter – Géczi Gábor – Barótfi István

Absztrakt: A hőszivattyúkban alkalmazott hűtőközegek többsége jelentősen hozzájárul a globális felmelegedéshez, ezért az utóbbi időben korlátozzák a felhasználható mennyiséget. E korlátozások ösztönzik az úgynevezett természetes hűtőközegek alkalmazását, melyek környezetkárosító hatása minimális. Használatuk új hőszivattyú konstrukciók esetén nem okoz problémát, azonban olyan gépek esetében, melyek műszaki állapota lehetővé teszi a további üzemelést, nem rendelkezünk kellő ismeretekkel a hűtőközeg váltás berendezésre gyakorolt hatásairól. Jelen munkában be kívánjuk mutatni azon mérési lehetőségeket, melyek egy hűtőközeg váltás hatásainak vizsgálatát teszik lehetővé egy kísérleti berendezésen.

Abstract: The majority of refrigerants used in heat pumps make a significant contribution to global warming and have recently been limited in their use. These restrictions encourage the use of so-called natural refrigerants with a minimal environmental impact. Their use in the case of new heat pump constructions is not problem, however, in the case of machines whose technical condition allows further operation, we do not have sufficient knowledge of the effects of refrigerant change on the equipment. In this work, we would like to present the measurement options that allow the investigation of the effects of a refrigerant change on an experimental device.

Kulcsszavak: természetes hűtőközeg, hőszivattyú, TEWI, HFC

Keywords: natural refrigerants, heat pump, TEWI, HFC

1. Bevezetés

Az alkalmazott hűtőközeg – mely alapvetően meghatározza a hőszivattyú élete során okozott környezetterhelés mértékét (Hermanucz et. al. 2018) – káros hatásának visszaszorítására és különféle jogszabályokat léptettek életbe. Ezen előírások behatárolják bizonyos hűtőközegek alkalmazásának lehetőségeit pro és kontra: A fokozott környezeti kockázatot jelentő HFC-típusú hűtőközegeket pl. fokozatosan kiszorítják. Másokat korlátozásokkal ugyan, de előtérbe helyeznek: ilyenek az úgynevezett természetes hűtőközegek, melyek közül több rendelkezik közvetlen egészségügyi kockázattal, például mérgező hatással, vagy közvetett hatással, például tűz- és robbanásveszélyes. (Harby, 2017) Ezen felül a jelenleg üzemelő berendezésekre gyakorolt hatásokról nem rendelkezünk elegendő információval, így e terület vizsgálata indokolt, ugyanakkor bizonyos mérési nehézségek merülhetnek föl.

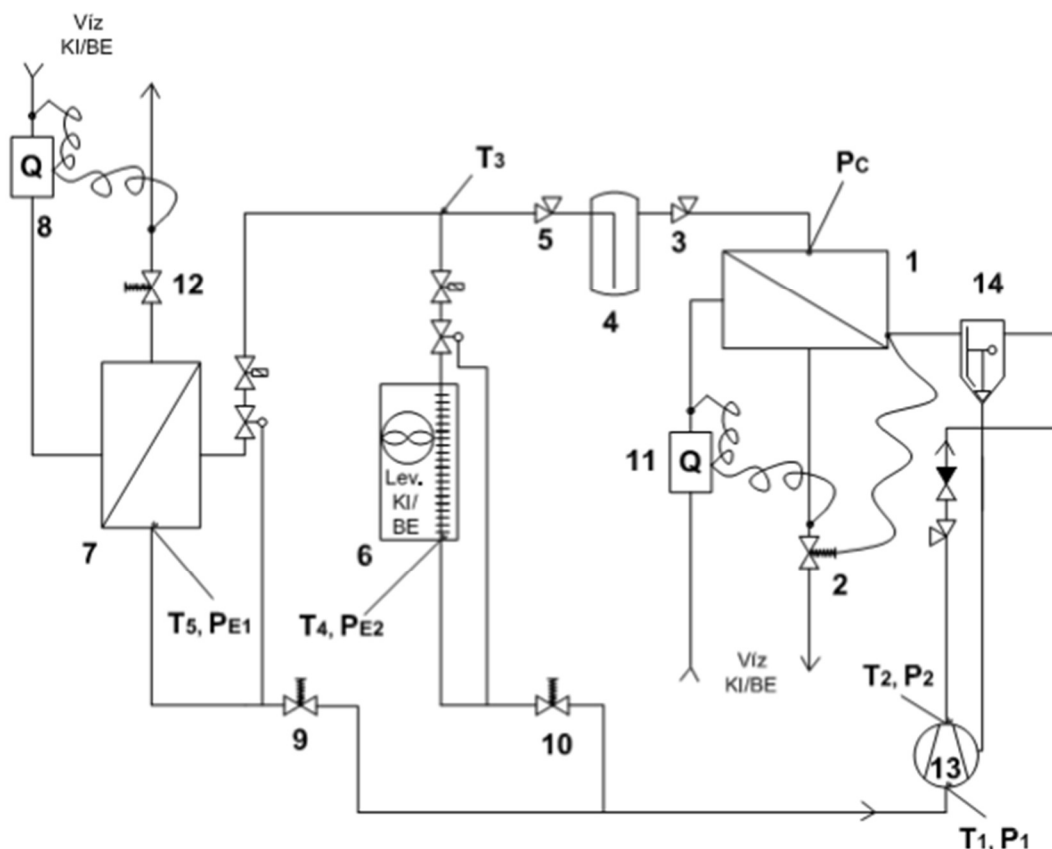
Célunk azoknak a jellemzőknek és a mérésekhez szükséges átalakítások bemutatása, melyek segítenek megismerni az egyes hűtőközegek hűtőkörré gyakorolt hatását energetikai szempontból. Ahol pedig a mérés túlságosan bonyolítaná az eljárást, ott megoldást mutatnak a vizsgált jellemző számításokkal történő meghatározására. Tekintve, hogy jelenleg nem áll rendelkezésre széles körben alkalmazott, szabványosított mérőberendezés hűtőközegek valós körülmények között történő vizsgálatára, a kutatás fontos részét képezi egy erre a célra alkalmas berendezés kialakítása, mely munkának jelenleg az elején járunk.

2. Anyag és módszer

Munkánk során egy egyedi építésű, ám számos átalakítást igénylő és dokumentációval nem rendelkező berendezést fejlesztettünk tovább úgy, hogy az alábbi elvárásoknak megfeleljen:

- A kondenzátor oldal egy hűtőközeg-víz hőcserélő legyen
- Rendelkezzen egy levegős és egy vizes elpárolgatóval
- A vizes elpárolgató és a kondenzátor vízdoldali teljesítménye mérhető
- A kompresszor felvett hatásos villamos teljesítménye mérhető
- A kompresszor szívó- és nyomó oldalán a hőmérséklet és nyomások mérhetőek
- A hőcserélők hűtőközeg be- és kilépő oldalán a hőmérséklet és a nyomás mérhető
- A hűtőközeg cseréje egyszerűen kivitelezhető

1. ábra: A kísérleti hűtőkör kapcsolása és a mérési helyek



Forrás: A szerző saját szerkesztése.

1-egyedi építésű, koaxiális kondenzátor, 2-kondenzációs nyomás szabályzó, 3/5-sarokszelep, 4-folyadékgyűjtő, 6-levegő hőforrással rendelkező elpárolgató, 7-víz hőforrással rendelkező elpárolgató, 8-elpárolgató oldali hőmennyiségmérő, 9/10-elpárolgási nyomásszabályzó, 11- kondenzátor oldali hőmennyiségmérő, 12-víz mennyiség szabályzó szelep, 13-kompresszor, 14-olajszeperator

3. Eredmények és értékelésük

A kutatás jelen fázisában nem rendelkezünk több hűtőközegre vonatkozó, összehasonlítható mérési adatsorokkal. Jelenleg a munka elején járunk, így egy adott hűtőközeggel (R404a-val) végeztünk próbaméréseket. Az alábbiakban így csak kevés mérési eredmény bemutatására lesz lehetőségünk, inkább a kísérleti berendezés átalakítása során végzett beavatkozásokat ismertetjük.

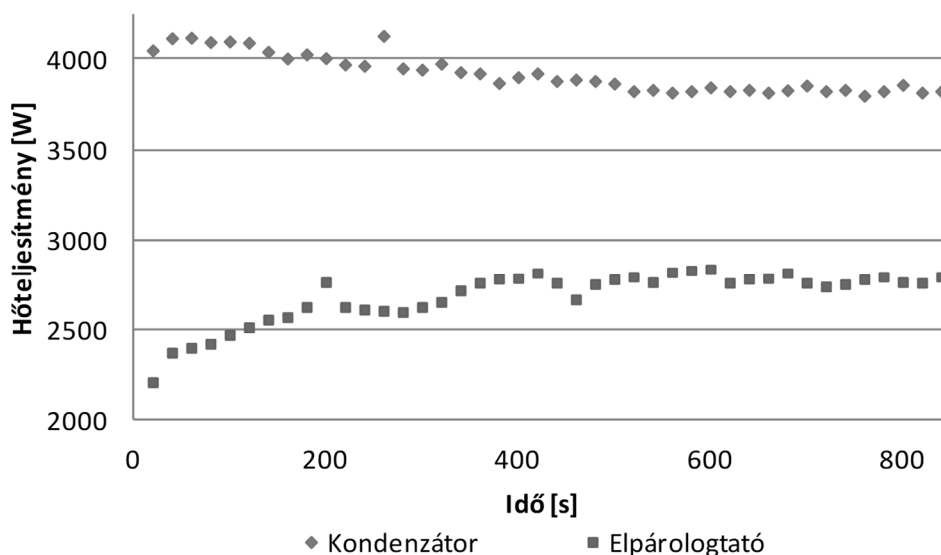
3.1. Speciális kondenzátor építése

A kondenzátor úgy került kialakításra, hogy alkalmas legyen mérési célokra, ennek megfelelően rendelkezik hűtőközeg oldali nyomásmérési pontokkal, mely a kereskedelemben kapható típusoknál nem áll rendelkezésre. A beépített kondenzációs nyomásszabályzó is e pontra csatlakozik, így alkalmas a kondenzációs nyomás pontos értékének beállítására és stabilan tartására. (Jakab, 2006) A hőcserélő vízdoldali térfogatát minimalizáltam, ezért egy-egy beállítás alkalmával kis idő elteltével már stabil kondenzációs nyomással dolgozik a berendezés. Ezt a próbamérések során sikerült igazolni, a stacioner kondenzációs nyomás eléréséhez mindössze 40...60 másodpercre volt szükség, és az értékeket lengés nélkül sikerült tartani. A hőmennyiség mérési eredmények ugyanakkor jóval hosszabb várakozási időt tesznek szükségessé, ezt szemlélteti a 2. *ábra*.

3.2. Hőmennyiség mérés kialakítása

A kondenzátor és a vizes elpárologtató által forgalmazott hőmennyiséget vízdoldalon tettem mérhetővé hőmennyiség mérők segítségével. A műszerek stabilitása, pontossága, de különösen felbontó képessége alkalmassá teszi őket pontos mérések elvégzésére. A feladat szempontjából igen fontos pillanatnyi teljesítmény értékek 0,001 kW felbontással olvashatók le 20 s-os időközönként. E tulajdonságukat kihasználva a próbamérések során sikerült meghatározni a rendszer beállításához szükséges időt, mely hozzávetőleg 600 s-ra adódott.

1. ábra: Hőmennyiség mérési eredmények egy adott üzemállapotban



3.3. A hő- és nyomásmérési helyek feltárása és átalakítása

A berendezés alapvetően szemléltetési célokat szolgált, ezért annak ellenére, hogy számtalan mérési helyet alakítottak ki rajta, néhányat meg kellett változtatni. Ez elsősorban a T_5 és T_6 hőmérsékletek mérését jelenti. A problémát két meglevő hőérzékelő újra vezetékvezésével oldottam meg, így a többivel megegyező szondával és műszerrel történhet a mérés e két helyen is, lásd 1. táblázat.

1. táblázat: A méréshez használt műszerek

Mért jellemző	Jelölés	Alkalmazott műszer	Mérési pontosság
Nyomás	P_1, P_3	Dixell XC440c Honeywell távadóval	+/- 1%
	P_{E1}, P_{E2}, P_2	Refco analóg nyomásmérő	1-es osztálypontosság
Hőmérséklet	T_1, T_2, T_3, T_5, T_6	Dixell XR01cx PTC érzékelővel	+/- 0,7°C
Villamos telj.	W_{KOMP}	Everflourish EMT 707CTL	+/- 1%
Hőmennyiség	$\dot{Q}_K \quad \dot{Q}_{E2}$	Techem Compact V e. Hőmennyiségmérő	Mérés: DT=0,2K-tól

3.4. Nehezen mérhető jellemzők

A levegő hőforrásból fölvetett teljesítmény mérése nehézségekké ütközik: az elpárologtató homlokfelületén több pontban kellene légsebesség- és hőmérsékletet mérni, számítani a levegő sűrűségét, sok mérési pontot kiértékelni egy üzemállapotban. A levegőből kondenzálódó nedvesség hatását is igen nehéz lenne figyelembe venni. Ez jelentősen bonyolítaná a mérést és bizonytalanságot is vinne bele, ezért a levegő hőforrásból fölvetett teljesítményt számítással határozzuk meg. A számítások elvégzéséhez elengedhetetlen a kondenzátorban leadott hőmennyiség, továbbá a be- és kilépő oldalon a hűtőközeg entalpiájának pontos ismerete. Ehhez

T_2 , T_3 , és P_k értékeire van szükség, majd a logP-h diagram ill. szoftver segítségével az entalpia értékek meghatározhatók. Erre a célra a Solvay Fluor cég „Sol Kane 7.0” adatbázisát használjuk. A levegő hőhordozóból fölvetett teljesítmény számításához először a hőcserélőbe juttatott \dot{m}_{R2} hűtőközeg tömegáramot kell meghatározni:

$$\dot{m}_{R2} = \dot{m}_R - \dot{m}_{R1} \quad [\text{kg/h}] \quad (1)$$

ahol:

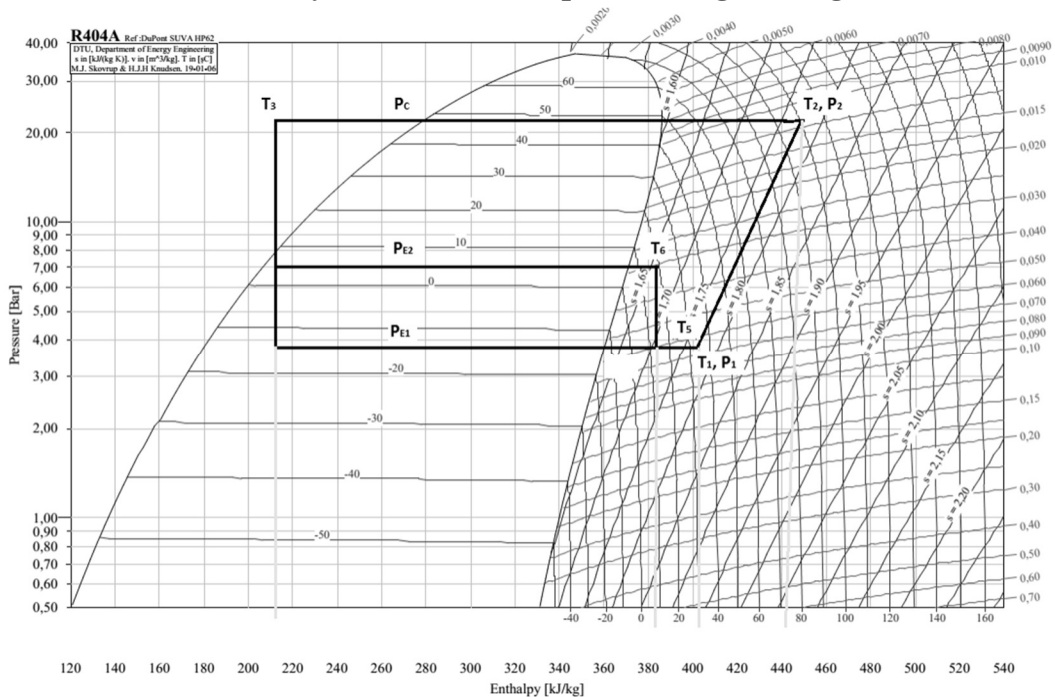
$$\dot{m}_R = \frac{\dot{Q}_K}{h_2 - h_3} \quad [\text{kg/s}] \quad (2)$$

$$\dot{m}_{R1} = \frac{\dot{Q}_{E1}}{(h_5 - h_3)} \quad [\text{kg/s}] \quad (3)$$

h_2 , h_3 , h_5 a mért nyomások és hőmérsékletek alapján a szoftver segítségével pontosan meghatározható, \dot{Q}_K és \dot{Q}_{E1} pedig a hőmennyiség mérésből ismert, így a levegős elpárolgatóba jutott hűtőközeg tömegáram számítható, melyből az elpárolgatóban fölvetett teljesítmény meghatározható:

$$\dot{Q}_{E2} = \dot{m}_{R2} \cdot (h_6 - h_3) \quad [\text{kW}] \quad (4)$$

3. ábra: A körfolyamat és a mérési pontok a logP-h diagramban



Forrás: A szerző saját szerkesztése.

A jobb olvashatóságért az ábrán minimális elhanyagolásokkal éltem (Jakab, 2006). A mért jellemzők jelölése megegyezik a kapcsolási vázlaton alkalmazottakkal.

4. Összegzés

A hűtőközeg váltás legfontosabb vizsgálati paramétere a körfolyamatot jellemző pontokon mért nyomás- és hőmérséklet értékek mellett végeredményben a teljesítménytényező. (COP - Coefficient Of Performance) Vizsgálataink során az egyszerűen meghatározható „összehasonlítható” teljesítmény tényezőt (Jakab, 2006.) vettük alapul a számításhoz:

$$COP = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} \quad [-] \quad (5)$$

Így a gyakorlatban megszokottnál magasabb, esetünkben pl. 6,5...6,8 közötti értékek adódnak, szemben a valós, minden veszteséget figyelembe vevő számítási móddal, ahol 3,5...3,8 közé adódik a teljesítménytényező értéke. Ennek ellenére előnyösnek tartjuk az (5) szerinti számítási módot, hiszen a kompresszor típusától, belső hatásfokától, hajtási módjától függetlenül az eredményeket, tehát akár teljesen más kompresszorral megvalósított körfolyamattal is összehasonlíthatóak lesznek az eredmények, így az eltérő hűtőközegek vizsgálatát is megkönnyíti (Makhnatcha, 2014).

Az átalakított kísérleti berendezés a próbamérések tanúsága szerint alkalmas azon energetikai jellemzők mérésére, beállítására és reprodukálására, melyek segítségével különféle hűtőközegek hőszivattyú körfolyamatára gyakorolt termodinamikai hatásai mérhetőek. Az alkalmazott két elpárologtatós kapcsolás lehetővé teszi két hőforrás önálló, vagy akár párhuzamos hasznosítását. Ezzel a megoldással akár optimalizálni is lehet a körfolyamatot bizonyos hűtőközegek alkalmazásához.

Irodalomjegyzék

- Harby K. (2017): *Hydrocarbons and their mixtures as alternatives to environmental unfriendly halogenated refrigerants: An updated overview*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.7: 1247–1264
- Hermanucz P., Barótfi I., Géczi G. (2018): *Hőszivattyúk alkalmazásának környezetvédelmi aspektusai*, Környezet és energia, Debrecen ISBN 978-963-7064-36-4:
- Jakab Zoltán, 2006, *Kompresszoros hűtés*, HKVSZ Kiadó, Budapest:
- EU Regulation No. 517/2014 Annex V.
- Makhnatcha P., Khodabandeha R. (2014): *The role of environmental metrics (GWP, TEWI, LCCP) in the selection of low GWP refrigerant*, Energy Procedia, Vol. 61: 2460–2463

HŰTŐGÉPEK HŐTECHNIKAI ANALÍZISE

Illés Tamás – Mészáros Károly Marcell – Pozsa Ákos – Bolló Betti –
Szaszák Norbert – Bencs Péter

Absztrakt: Háztartási hűtőberendezések hozzátartoznak mindennapjainkhoz. Mivel folyamatosan működő berendezésekről van szó, kiemelten fontos, hogy a felhasznált villamos energiát milyen határfokkal hasznosítják. A felhasznált energia mennyiségét több tényező együttesen határozza meg. Ilyen például a hűtőaggregát hatásfoka, a hőszigetelés hatásossága, a hűtőtérben kialakuló hőmérséklettér egyenletessége stb. A hűtőberendezések igen nagy számban készülnek, s erős a konkurenciaharc. Ezért a gyártók oldaláról felmerül az igény, hogy a lehető legjobb határfokon túl az anyagfelhasználás minél kevesebb, a gyártási technológia pedig a lehető legegyszerűbb legyen. Tehát az a cél, hogy a lehető legolcsóbban a lehető legjobb határfokú készülékek készüljenek. Ezért a berendezések minden elemét kísérleti és elméleti analízisnek kell alávetni. Jelen cikkben két hűtőberendezés vizsgálatáról számolunk be: az egyik egy fagyasztóláda, a másik viszont egy hűtőszekrény. Mindkét berendezés esetén a hűtő belsejében és a gép többrétegű falában kialakuló hőjelenségeket vizsgáljuk. A vizsgálatok során egy egyedileg fejlesztett mérőrendszert használunk. A mérési eredményeket összevetjük numerikus szimuláció előzetes eredményeivel. A vizsgálatnak nem tárgya a hűtőaggregátok modellezése.

Abstract: Household refrigerators are part of our everyday life. As it is a system of continuous operation, the electrical efficiency is a major thing. The amount of energy used is determined by several factors together. Such as the efficiency of the cooling unit, the efficiency of the thermal insulation, the uniformity of the temperature in the refrigerator compartment, etc. The refrigerators are made in a very large number and the competition among the manufacturers is strong. For this reason, there is a need on the manufacturers' side to use as less material as possible and to make production technology as simple as possible. So, the target is to make the best possible devices at the lowest possible cost. Therefore, all elements of the equipment should be subjected to experimental and theoretical analysis. In this article, we will review two chillers: one is a freezer and the other is a refrigerator. For both devices, the thermal phenomena in the interior of the refrigerator and in the multi-layer wall of the machine are examined. We use an individually developed measuring system. The measurement results are compared with preliminary results of numerical simulation. The modelling of the cooling units is not part of the article.

Kulcsszavak: hűtő, hőtechnika, szimuláció, mérőrendszer

Keywords: refrigerator, heat engineering, simulation, measuring system

1. A vizsgálatok célja és eszközei

Vizsgálataink során tehát a hűtőberendezések belsejében és hőtároló falakban kialakuló áramlás- és hőjelenségeket vizsgáltuk. Mindkét esetben először terheletlen, tehát üres hűtőberendezést vizsgáltunk. Ezután a hűtő fagyasztó terébe elhelyeztünk szabványos, illetve tipikus „élelmiszereket”, s a modellezést így végeztük el. Vizsgálatunk kiterjedt a hűtő-fagyasztó térben kialakuló sebesség- és hőmérsékleteloszlás jellegzetességeinek felderítésére, s ebből az egyes falszakaszokon a hőveszteség meghatározására. A hűtőszekrény esetén külön feladat volt a teljes lehűlési folyamat modellezése.

A numerikus szimulációkat a ANSYS FLUENT szoftvercsomag segítségével végeztük. Az eredmények validálására saját és gyári mérések szolgáltak.

A hűtőberendezések belsejében kialakuló inhomogén, időben változó hőmérséklet- és sebességmezőre felírható a Navier-Stokes mozgásegyenletből (három vetületi egyenlet, 1.1, 1.2, 1.3), a kontinuitási egyenletből (1.4) és az energiaegyenletből (1.5) álló parciális differenciálegyenlet-rendszer.

$$\rho \cdot \frac{\partial v_x}{\partial t} + \rho \cdot \left(v_x \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) = \rho \cdot \left[f_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right) \right] \quad (1.1)$$

$$\rho \cdot \frac{\partial v_y}{\partial t} + \rho \cdot \left(v_x \cdot \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_y}{\partial z} \right) = \rho \cdot \left[f_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right) \right] \quad (1.2)$$

$$\rho \cdot \frac{\partial v_z}{\partial t} + \rho \cdot \left(v_x \cdot \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) = \rho \cdot \left[f_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right) \right] \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \left(v_x \cdot \frac{\partial \rho}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial \rho}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial \rho}{\partial z} \right) = \rho \cdot \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_x}{\partial z} \right) \quad (1.4)$$

$$\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial t} + v_x \cdot \frac{\partial T}{\partial x} + v_y \cdot \frac{\partial T}{\partial y} + v_z \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) = \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial z} \right) \right] \quad (1.5)$$

Az egyenletekben:

x, y, z	a három helykoordináta,
t	az idő,
$T(x, y, z, t)$	a hőmérséklettér,
$v_x = v_x(x, y, z, t)$	a sebességtér x irányú komponense,
$v_y = v_y(x, y, z, t)$	a sebességtér y irányú komponense,
$v_z = v_z(x, y, z, t)$	a sebességtér z irányú komponense,
$\lambda = \lambda(T(x, y, z, t))$	a hővezetési tényező,
$\rho = \rho(x, y, z, t)$	a sűrűségtér,
ν	a kinematikai viszkozitás,
c_p	az állandó nyomáson értelmezett fajhő,
f_x, f_y, f_z	a tömegerőtér x, y és z irányú komponense.

Általános esetben az előző egyenletrendszerben hat ismeretlen függvény van, melyek mindegyike a három helykoordináta és az idő függvénye. Meghatározásukhoz szükség van még egy egyenletre, amely a három állapotjelző (p, T, ρ) közötti kapcsolatot írja le. Ez az egyenlet vagy az általános gáztörvény (1.6.a), vagy a természetes áramlásoknál a sűrűség és a hőmérséklet közötti kapcsolatot leíró összefüggés (1.6.b), ahol β a térfogati hőtágulási együttható és T_{ref} a vonatkoztatási hőmérséklet.

$$\frac{p}{\rho} = R \cdot T \quad (1.6.a)$$

$$\rho(T) = \rho(T_{ref}) \cdot [1 + \beta \cdot (T - T_{ref})] \quad (1.6.b)$$

A differenciálegyenlet-rendszer megoldásához ezen kívül még a kezdeti és peremfeltételi egyenletek is szükségesek.

A hűtőberendezések belsejében kialakuló áramlás modellezésekor az (1.1)-(1.6) egyenletrendszert kell megoldanunk. A szilárd határoló falak mindegyikében a sebességtér zérus, így ott csak az energiaegyenletet kell megoldani. A megoldás első lépéseként az adott geometriai kialakítás esetére, a belső térre és a határoló fal minden rétegére felírjuk a differenciálegyenleteket, leírjuk a kezdő- és peremfeltételeket. Az így kapott parciális differenciálegyenlet rendszer összetettsége miatt csak numerikusan oldható meg. A numerikus megoldás megvalósítására az általánosan használt ANSYS FLUENT szoftvert alkalmaztuk.

A vizsgálatok eszközrendszere mindkét hűtőberendezés esetében azonos volt.

2. Fagyasztóláda analízise

Vizsgálatunk célja egy AEG fagyasztóláda numerikus vizsgálatához szükséges peremfeltételek meghatározása, melyek a későbbi kiértékelések és elemzések validálásául szolgálnak.

Az 1. ábrán látható a fagyasztóláda és a mérésekhez használt műszerek. A fagyasztó oldalain és belsejében elhelyezett hőmérők helyzetét a 3. ábra mutatja.

A hőmérsékletek mérésére egy egyedileg fejlesztett mérőrendszert dolgoztunk ki. A T típusú hőelemek az ún. Thermocouple Phidget-ekhez (TMP1101_0) kapcsolódtak. Egy ilyen eszköz 4 hőelemet képes fogadni, gyári pontossága ± 2 °C, mely pontosság a tendenciavizsgálatokhoz elegendő, később kalibrálással növelhető. A számítógépes összeköttetést VINT Hub Phidget-ek (HUB0000_0) biztosították. A mérés elrendezésének vázlatát a 2. ábra mutatja.

Példaként az alábbi vizsgálatokat emeljük ki az elvégzettek közül:

- Az üres és a terhelt fagyasztóláda áramlás- és hőtani paramétereinek összehasonlítása
- A tetőszigetelés megváltoztatásának hatása

Az üres fagyasztón elvégzett mérések és numerikus szimulációk után szabványos vizsgálócsomagokkal feltöltöttük a ládát és újra elvégeztük a méréseket (4. ábra).

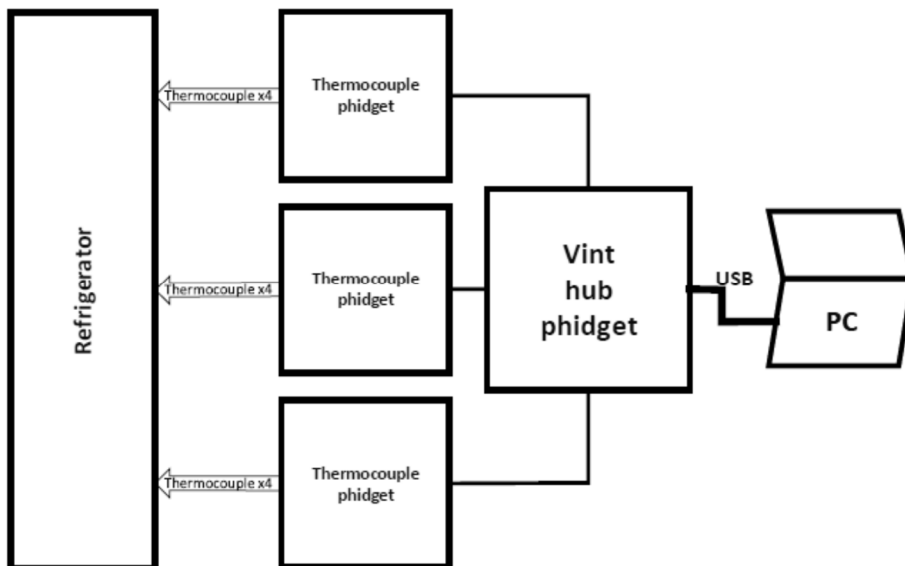
Mindkét esetben kijelenthető, hogy a numerikus szimuláció jól megközelíti a mért (döntően hőmérsékleti) eredményeket.

1. ábra: AEG ARCTIS 83400HLW0 fagyasztóláda



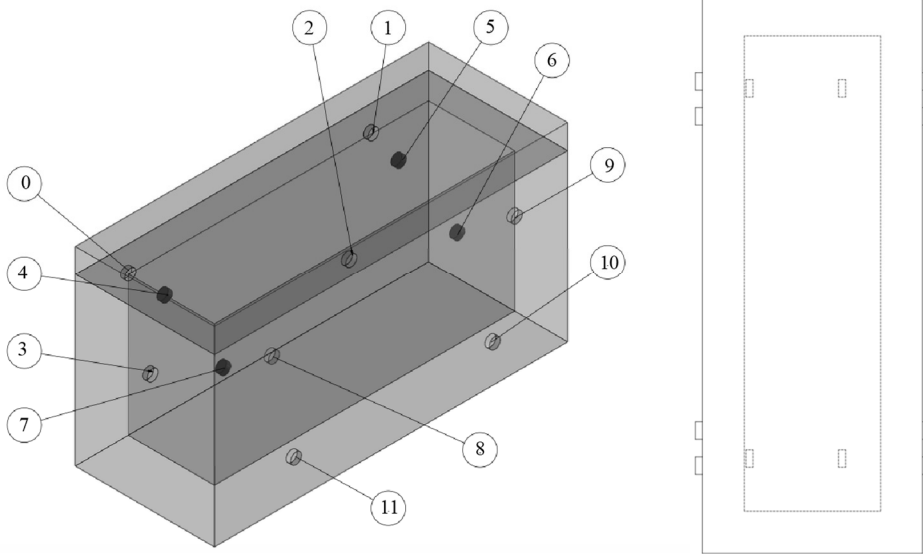
forrás: szerző saját fényképe

2. ábra: Mérés vázlat



forrás: szerző saját szerkesztése

3. ábra: Hőmérők elhelyezése



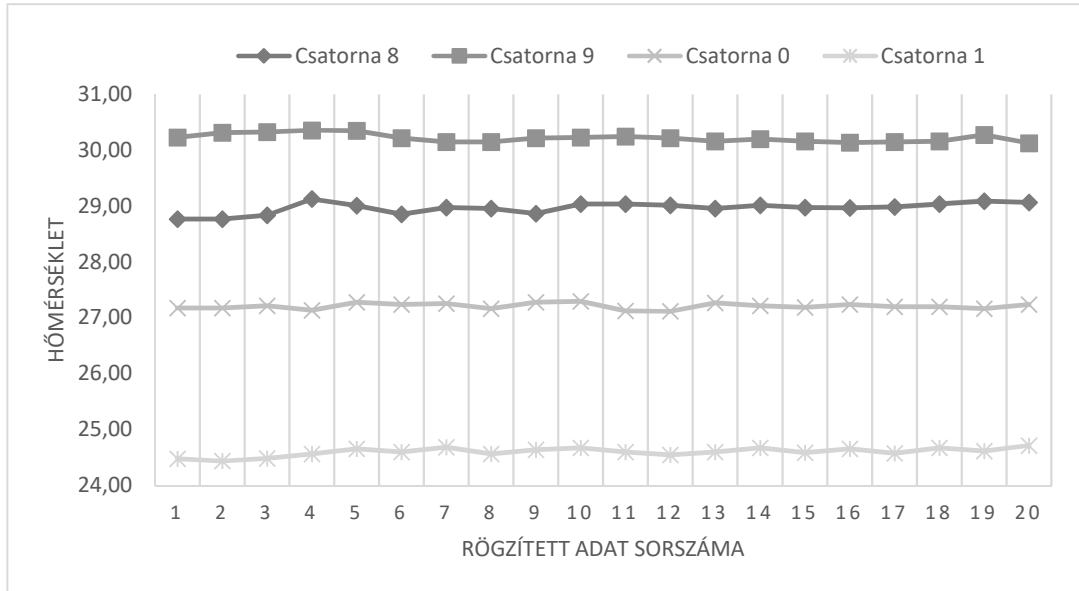
forrás: szerző saját szerkesztése

4. ábra: Vizsgálócsomagokkal feltöltött fagyasztóláda



forrás: szerző saját fényképe

5. ábra: Külső falak hőmérsékletei (°C)



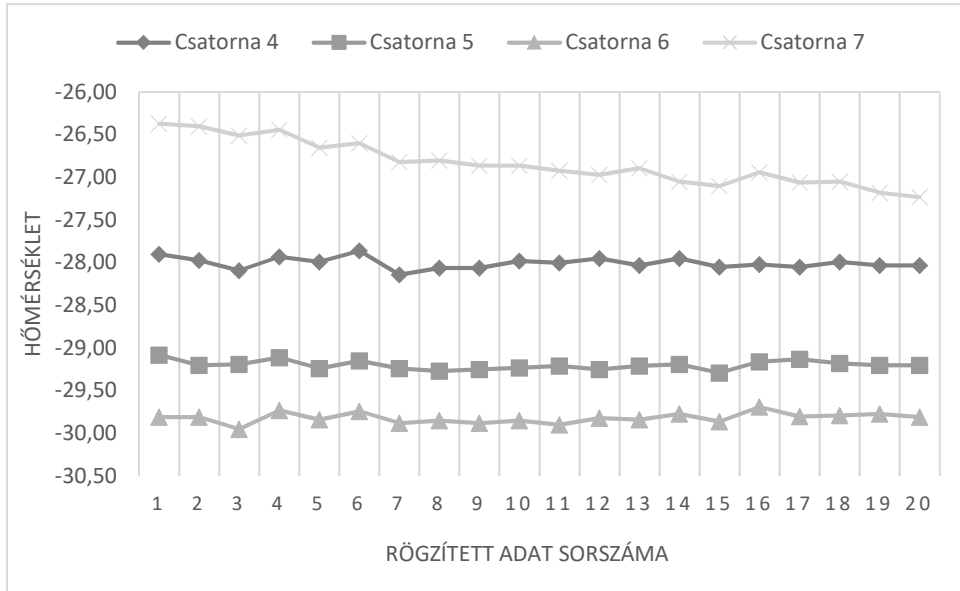
forrás: szerző saját szerkesztése

Az üres hűtőszekrényhez képeset jelentősen leszűkült az áramlási térben terhelés esetén a sebességeloszlás átstrukturálódott. Az a kellemetlen hatás viszont megmaradt, hogy a hűtőtér hűtőaggregát felőli sarkában holtter alakul ki. A hőmérsékletmező kellő idő után mind a hűtőtérben mind a falzatban beáll egy stacionárius állapotra.

Az 5. ábrán látható diagram a fagyasztóláda külső falain mért hőmérsékleteket mutatja. A mérést 10 percig végeztük, a mért adatokat 30 másodperces időközönként rögzítettük. A 8-as és 9-es csatornák hőelemei az elülső fal felső részén, a 0-ás és 1-es csatornáké a hátsó fal felső részén találhatóak. A különbségek a hőleadó felületek elhelyezkedéséből adódnak.

A 6. ábrán a vizsgálócsomagokkal feltöltött fagyasztóláda belsejében mért hőmérsékleteket ábrázoltuk. A mérés előtt a fagyasztót kellő ideig üzemelni hagytuk, így stacionárius hőmérsékleti értékeket vártunk.

6. ábra: Belső hőmérséklet (°C)



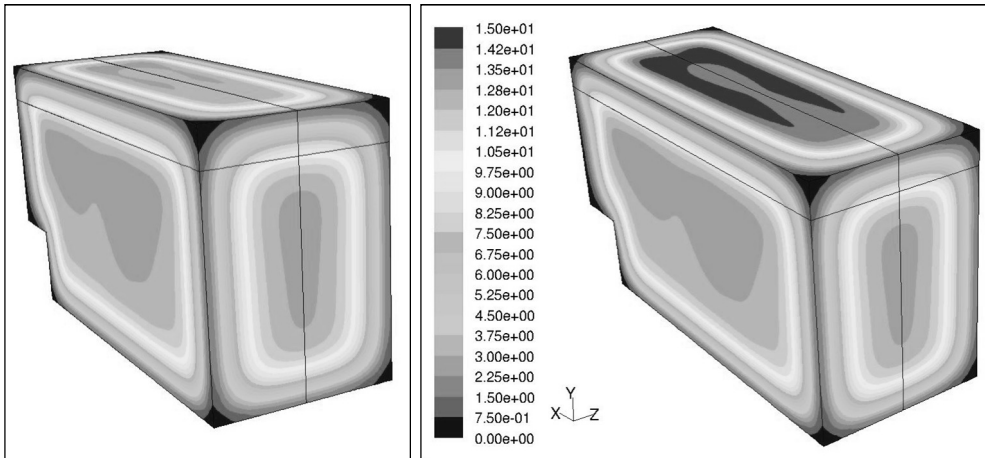
forrás: szerző saját szerkesztése

A következőkben a mérési eredmények és eljárás bemutatása mellett a kutatásunk numerikus vizsgálataink eredményeit mutatjuk be.

A numerikus vizsgálatok eredményeit az előzőekben bemutatott hőmérsékletmérési módszerrel validáltuk. A mérés és numerikus vizsgálat eredményei nagyon jó közelítést mutattak.

Numerikus vizsgálat nagy lehetőséget jelent a különböző geometriai módosítások elemzésére. Elsőként a hűtőláda tetejének hőszigetelését vékonyítottuk meg. A 7. ábrán az így kialakuló hőáramok eloszlása látható. Jól kivehető, hogy a csekélyebb hőszigetelés hatására a megnövekedett a tetőn keresztüli hőfelvétel, azaz nőtt a hűtőgép vesztesége. Numerikus vizsgálatok következő fázisában a hűtő belterében kialakuló áramlást megváltoztató geometriai kialakítások hatását vizsgáljuk majd.

7. ábra: A felvett hő eloszlása, jobbra a vékonyított szigetelés esetén



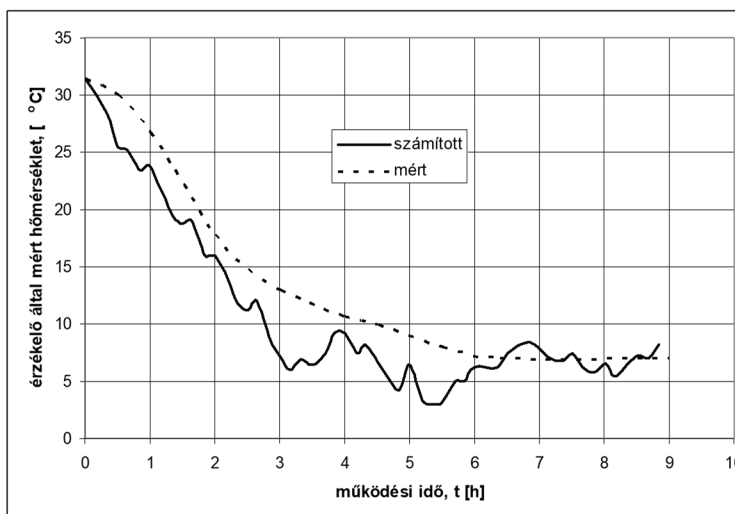
forrás: szerző saját szerkesztése

3. Hűtőszekrény analízise

A hűtőszekrény vizsgálatok a teljes hűlési folyamat vizsgálata, modellezése volt a feladatunk. A hűtő egy jellegzetes pontján elhelyezett hőmérsékletérzékelő jeléből kiindulva egy elektronikus egység kapcsolja ki-be a hűtőaggregátot. A vizsgálat során az aggregát nem került modellezésre, ezért a vezérlésnek megfelelő hőelvonás változást egy, az ANSYS FLUENT programba épített kóddal helyettesítettük. Ez egy hőátadó símba elhelyezett hőelnyelőn keresztül valósítja meg a hűtési folyamatot.

A hűlési folyamat modellezésekor jó közelítéssel sikerült a méréssel kapott értékeket elérni. A 8. ábra a hőmérsékletérzékelő pontban számított és mért értékek időbeli változását mutatja a lehülés során.

8. ábra: Mért és számított hőmérsékletek időbeli változása



forrás: szerző saját szerkesztése

A folyamat végén az egyezés már igen jó. A hűlési folyamat nagyon lassú, ezért tekinthető úgy, hogy egyensúlyi állapotok sorozatán keresztül jut el a hűtő a stacioner állapotba. Az elvont hő jó közelítéssel megegyezik a kívülről a hűtőbe beáramló hővel.

A szimuláció és a mérések eredményei azt mutatták, hogy a hűtőgép közepénél elhelyezett polc alatti térben viszonylag egyenletes a hőmérsékleteloszlás, értéke az előírt 5 – 7 °C között van. Azonban a hűtőlemez környezetében ennél lényegesen alacsonyabb, -2 – -3 °C, míg a hűtőtér tetején viszont a kelletténél magasabb a hőmérséklet.

Összefoglalás

A mérési eljárás kidolgozása a jövőbeli mérések pontosabb és gyorsabb megvalósíthatóságát teszik lehetővé. A mérési eredmények automatizált adatgyűjtésének optimalizálásán jelenleg is dolgozunk, de a kezdeti bemutatott eredmények biztatóak. A mérési eredmények és a numerikus vizsgálatok eredményei jól korrelálnak.

A fent vázolt számítások igazolják, hogy az ANSYS FLUENT szoftver kiválóan alkalmas a hűtőberendezésekben kialakuló természetes és kényszeráramlás szimulációjára. A szoftverrel végzett szimulációkkal:

- meghatározható a hűtőberendezésekben kialakuló áramlás sebesség-, nyomás-, sűrűség- és hőmérséklettere,
- kiszámítható a környezetből beérkező hőáram értéke (a hőterhelés),
- feltárható a hűtőberendezés hőszigetelésének gyenge pontjai,
- elvégezhető a lehűlési folyamat szimulációja is,
- ellenőrizhető, hogy a berendezés tervezése során különböző paraméterek megváltoztatása milyen hatást gyakorol a hűtő belsejében kialakuló áramlás sebesség-, nyomás-, sűrűség- és hőmérsékletterére.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Dr. Tolvaj Béla, Benke Mátyás: Megnövelt belső felületű hőcserélőcsövekben kialakuló hőmérsékleteloszlások modellezése *OGÉT 2004 XII. Országos Gépész Találkozó, Csíksomlyó, 2004 p. 307-309.*
- Zámborszky Betti, Benke Mátyás, Dr. Tolvaj Béla: CFD simulation of heat exchanger *OGÉT 2005 XIII. Országos Gépész Találkozó, Szatmárnémeti, 2005 p. 354-358.*
- Betti Bolló, Gábor Janiga, Szilárd Szabó: Modelling of units of fan electrically heated furnace, *Micro CAD International Computer Science Conf. kiadványa, 2006, No. E. 1-6.*
- László Gyulai, Szilárd Szabó: Hydrodynamic numerical analysis of a metallurgical exhaust hood, *Micro CAD International Computer Science Conf. kiadványa, 2006, No. E. 27-32.*

- M. Pearse: Modelling methodology for thermo-electric coolers in CFD, 2008 *2nd Electronics System-Integration Technology Conference kiadványa*, 2008 p. 1171-1174.
- M. Benke, Sz. Szabó, J. Franke: Determination of the optimal fuel-air ratio in an industrial pre-heater, *International PhD Conf. on mechanical of Mechanical Engineering, Pilsen, 2006*, 9-10.
- M. Benke, B. Záborszky, A. Klimanek: Numerical investigation of a heat accumulator tank with a spiral tube heat-exchanger inside, *Micro CAD International Computer Science Conf. kiadványa*, 2004, No. D. 97-101.
- Fluent Inc., „Fluent 12.0 User’s Guide”, *Fluent Inc*, 2009.

STIRLING MOTOR MODELLEZÉSE

Mészáros Károly Marcell – Pozsa Ákos – Illés Tamás – Tollár Sándor –
Tolvaj Béla – Bencs Péter

Abstract: A cikkben a Stirling gépekben lejátszódó termodinamikai folyamatok számítására alkalmas numerikus eljárást ismertetünk. A munkaközeg áramlását egydimenziós, instacionárius, nem izentrópius gázáramlásként modellezzük. A Stirling gépben lejátszódó körfolyamatot a mozgás-, a kontinuitási- és az energiaegyenletből álló parciális differenciál-egyenlet rendszerrel írjuk le, amelyet a karakterisztikák módszerével oldunk meg. Részletesen ismertetjük a megoldáshoz szükséges kezdeti- és peremfeltételek előállítását és az egyes térrészek összekapcsolását leíró egyenletrendszert. A módszer alkalmazhatóságának igazolására egy konkrét számítási példát is megoldunk.

Abstract: This article describes a numerical method for calculating thermodynamic processes in Stirling machines. The flow of the fluid is modeled as a one-dimensional, stationary, non-isotropic gas flow. The process in the Stirling machine is described by a partial differential equation system consisting of motion, continuity, and energy equation, which is solved by the characteristic method. The preparation of the initial and boundary conditions for the solution is described in detail and system of equations describing the interconnection of each space. A specific calculation example is also provided to prove the applicability of the method.

Kulcsszavak: *Stirling, hőtechnika, szimuláció*

Keywords: *Stirling, heat engineering, simulation*

1. Bevezetés

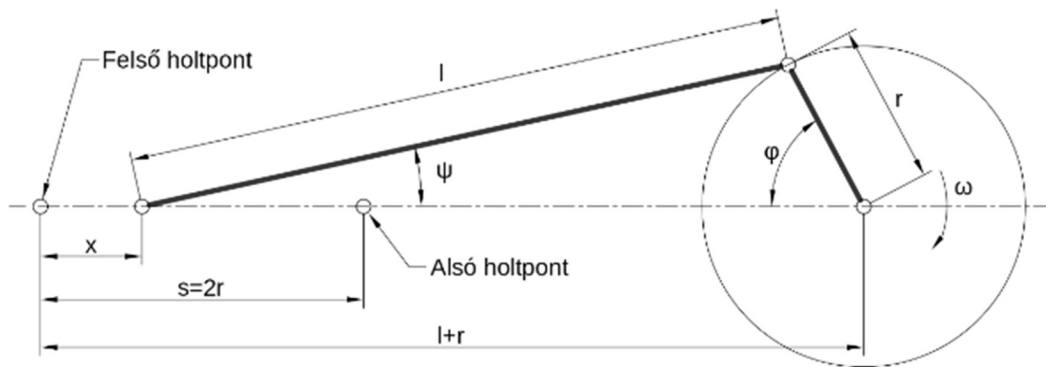
Robert Stirling lelkész találta fel 1816-ban. Az első gépeken lényeges újításokat dolgozott ki, majd beadta az első szabadalmat rá. Később segített mérnök fivérének, James Stirlingnek a további fejlesztésekben. A feltalálók szándéka az volt, hogy olyan hőerőgépet dolgozzanak ki, amely biztonságosabb, mint a korabeli gőzgépek, melyek kazánjai gyakran robbantak fel a nagy gőznyomás és a nem megfelelő anyagok használata miatt. Elterjedésük Angliában és Amerikában kezdődött meg. A gázmotorok, gőzgépek, Otto- és a Diesel-motorok megjelenésével ez a szabadalom háttérbe szorult mivel a fajlagos teljesítménye sokkal kisebb volt. Manapság újra előtérbe kerülhet ez a konstrukció a környezetvédelmi intézkedések és célok miatt. Elektromos energiát előállítani a házilag megoldható eszközökkel nem olcsó. A napelemeknek nagy a beruházási igénye és lassú a megtérülése. A szélgenerátorok kevés helyen tudnak adni megbízható teljesítményt. A Stirling motor külsőégésű, ezért az üzemanyag elégetése a motoron kívül történik. Ebből kifolyólag az égés könnyebben kontrolálható a belsőégésű motorokhoz képest. A Stirling motor működéséhez szükséges hőt, mint energiaforrást magunk is megtermelhetjük, vagy a Naptól vételezhetjük. A fűtési forró füstgázok még sok hasznosítható energiát tartalmaznak a Stirling motor számára, de a Stirling motor hulladékhője is hasznosítható a fűtés visszatérő ágában. A Stirling motor számára telepített napenergiás hőtermelő kapacitás a fűtési szezonban a lakást fűtheti, a szezon után pedig áramot termelhet. A Stirling folyamat megfordítható. Ilyenkor hőszivattyúként működik. A motor tengelyének a forгатásával jelentős hőmérséklet csökkenést, akár

abszolút nulla fokot megközelítő hőmérséklet is elérhető. Gazdaságosabb ez a módszer, mint a jelenleg használatban lévők, ehhez azonban már precízebb motorok kellene.

2. Stirling motor működése

A Stirling-motor vagy más néven hőlégmotor külső hőbevezetésű hőerőgép, általában dugattyús-forgattyús mechanizmussal készül. A forgattyús mechanizmus folyamatos körmozgást folyamatos egyenesvonalú lengőmozgássá illetve egyenesvonalú lengőmozgást körmozgássá átalakító mechanizmus. A forgattyús mechanizmust a műszaki gyakorlatban igen sok helyen használják. Erőgépek és munkagépek esetén forgattyús hajtóműnek is nevezik, mivel a mechanizmusnak ezekben az esetekben nemcsak kinematikai szerepe van, hanem energiaátadást is végez. A forgattyús mechanizmus (1. ábra) négy tagból álló síkbeli karos kinematikai lánc, melyből az egyik tag a merevnek tekintett talaj.

1. ábra: Forgattyús mechanizmus [1]



A forgattyús mechanizmus fő részei:

- **Forgattyú:** egy tengelyre szerelt vagy vele egy darabból készített kar. A kar és a tengely együttes neve forgattyústengely.
- **A hajtórúd:** egyenes rúd, mindkét végén csapágyazva, egyik csapágya a forgattyú csapjához, a másik a keresztfej csapjához illeszkedik.
- **Keresztfej:** egyenes vezetékben csúszó gépelem, melynek csapjára a hajtórúd másik csapágya csatlakozik. A keresztfej egyenesvonalú lengőmozgást végez. A keresztfejhez csatlakoztatják a gép azon részeit, melyek munkagépeknél munkavégzésre, illetve erőgépeknél energiaforrásként szolgálnak.
- **Talaj,** vagyis a szilárdnak tekintett alap vagy gépkeret, melyhez rögzített a forgattyústengely csapágya, a keresztfej illetve a dugattyú vezetéke.
- A forgattyús mechanizmus kinematikája, a keresztfej elmozdulása, sebessége és gyorsulása az idő, illetve a forgattyúskar szögének függvényében (2. ábra):

- Elmozdulás

$$x(t) = r + l - r \cos(\omega t) - l\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\omega t)} \quad (1)$$

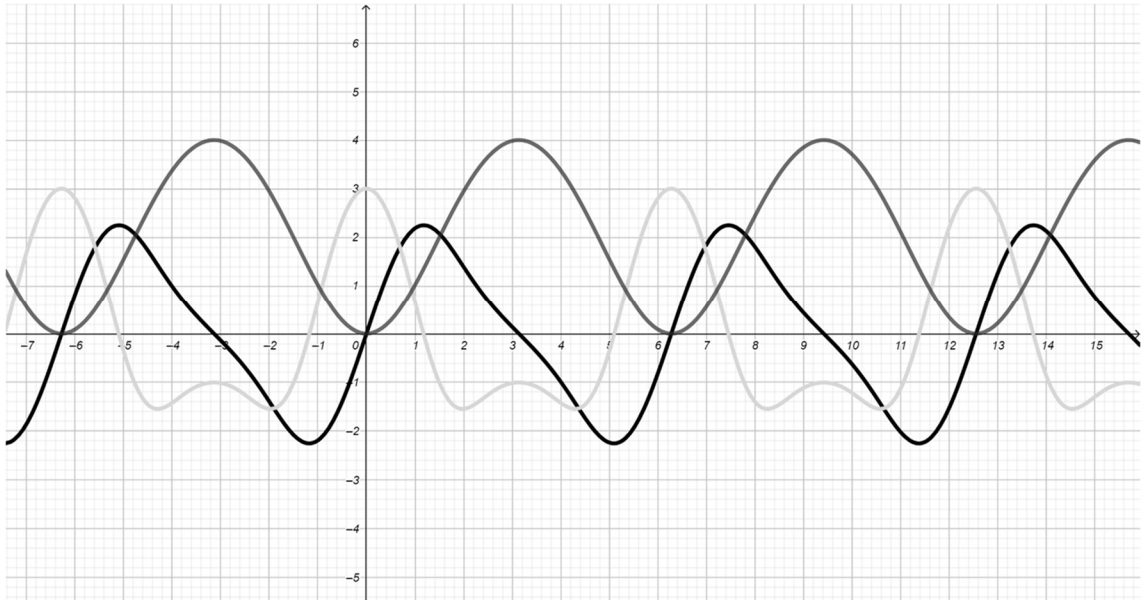
- Sebesség

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} = r \omega \sin(\omega t) \left[1 + \frac{\lambda \cos(\omega t)}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\omega t)}} \right] \quad (2)$$

- Gyorsulás

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = r \omega^2 \left[\cos(\omega t) + \frac{\lambda \cos^2(\omega t)}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\omega t)}} - \frac{\lambda \sin^2(\omega t)}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2(\omega t)}} \right. \\ \left. + \frac{\lambda^3 \cos^2(\omega t) \sin^2(\omega t)}{(1 - \lambda^2 \sin^2(\omega t))^{3/2}} \right] \quad (3)$$

2. ábra: Geogebra-ban megrajzoltatott forgattyús mechanizmus x , v , a függvényei



Forrás: A szerző saját szerkesztése.

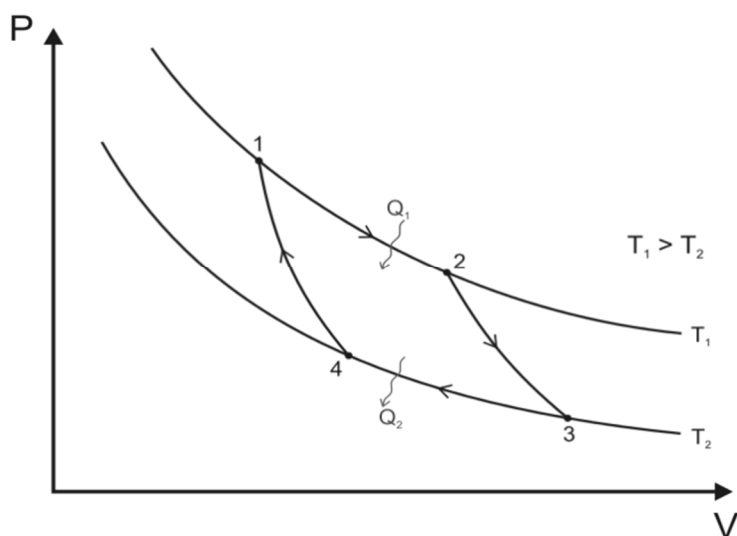
A belsőégésű motorokkal szemben a Stirling-motor hőforrása nem a hengerben elégő fűtőanyag, mint az Otto- és Diesel-motoroknál vagy a gázturbinában, hanem a motoron kívül van. A hőátadási folyamat lehetővé teszi, hogy az összes hőerőgép közül a legjobb hatásfokot nyújtsa: hatásfoka megközelítheti annak az ideális Carnot-körfolyamatnak (3. ábra) a hatásfokát, amely az alkalmazott szerkezeti anyagoknál gyakorlatilag elérhető. A termikus hatásfokot a hőmérséklet határozza meg. Bármely körfolyamat hatásfoka, mely T_H és T_C hőmérsékletek között zajlik le, nem haladhatja meg a Carnot-körfolyamat hatásfokát. Carnot tétele a következő: Egyetlen hőerőgép, mely két hőtartály között üzemel, sem tud elérni jobb hatásfokot, mint az a Carnot-hőerőgép, mely ugyanezen két hőtartály között működik. Egy

hőerőgép elméletileg elérhető legnagyobb hatásfoka a meleg és hideg hőtartályok hőmérsékletkülönbsége (az abszolút hőmérséklet Kelvinben mérve egyenlő a Celsius-fokban megadott hőmérséklet plusz 273,15) osztva a meleg hőtartály hőmérsékletével:

$$\eta = \frac{T_H + T_C}{T_H} \quad (4)$$

A képletből észrevehető, ha a hideg tartály hőmérsékletét csökkentjük (4) | jobban lehet növelni a hatásfokot, mint a meleg tartály hőmérsékletének emelésével. Ennek elérése a gyakorlatban nehézségekbe ütközik, mivel a hideg tartály hőmérséklete az esetek többségében egyszerűen az adott környezeti hőmérséklet.

3. ábra: Carnot körfolyamat p - V síkon [2]

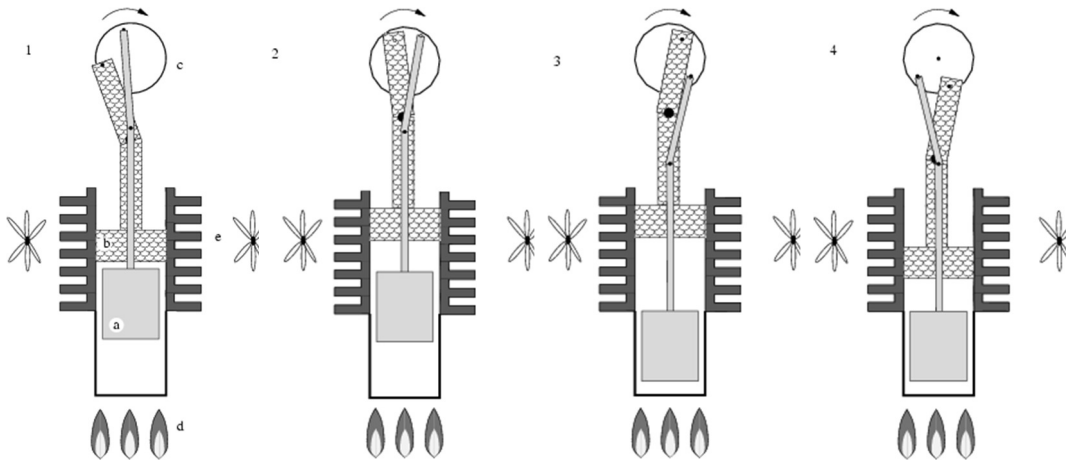


A Stirling-motorban egy adott tömegű, a környezettől tömítésekkel elzárt gáz, általában levegő, hidrogén vagy hélium van. Ennek a gáznak az állapotjelzői a gáztörvények szerint változnak. Amikor az adott térfogatú gázt melegítik, a nyomása megnő, és a dugattyú felületére hatva mechanikai munkát végez a motor munkáütemében. Amikor a gázt lehűtik, nyomása esik, ez azt jelenti, hogy kevesebb munkára van szükség a gáz összenyomására a következő ütemben, mint amit a munkáütemben szolgáltatott, így az energiamérleg nyereséges lesz, ez a motor tengelyén hasznos munkaként fog megjelenni. A gáz ciklikusan áramlik a fűtő és hűtő hőcserélők között.

A gáz nem távozik a munkáütem után, hanem állandóan a motorban marad. Nincs szükség szelepekre sem, mint más motoroknál. Egyes Stirling-motorok külön dugattyút használnak a gáz áramoltatására a meleg és hideg kamrák között. Mások úgy kapcsolják össze a munkadugattyúkat a többhengeres motorokban, hogy megfelelően áramoltassák a gázt a különböző hőmérsékletű hengerek között. A gyakorlatban a Stirling-motorokban egy regeneratív alkatrészt, általában huzalok

köteget helyezik el a hideg és meleg hengerek közé. Ahogy a gáz áramlik a hideg és meleg kamrák között, hőt ad vagy kap a regenerátortól. Egyes konstrukciókban a visszaáramoltató dugattyú maga a regenerátor. A regenerátor javítja a motor hatásfokát.

4. ábra: Stirling motor működése [7]



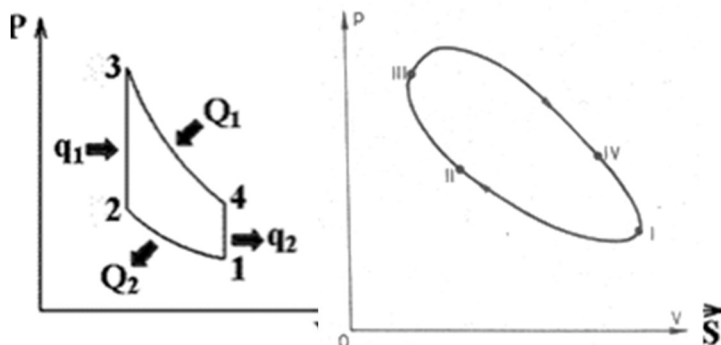
A Stirling-motor egyik változatának vázlata látható az ábrán.

- **1. ütemben** Az alsó terelődugattyú alatti térben a gáz felmelegszik, kitágul és felfelé nyomja a munkadugattyút. Ez a munkaütem.
- **2. ütem** az átáramoltás, A felső holtpont után a terelődugattyú lefelé mozdul el, és átnyomja a gázt a hideg térbe, eközben a munkadugattyú még felfelé mozog, így a hűtő henger térfogata nő.
- **3. ütemben** a hideg kamrában lévő gáz fokozatosan lehűl.
- **4. ütem** A hideg gázt a terelődugattyú átnyomja a meleg hengerbe, és a folyamat kezdődik előlről.

3. A Stirling-körfolyamat

A Stirling-körfolyamat állandó térfogatú melegítési folyamatból, izotermikus tágulási folyamatból, állandó térfogatú hűtési folyamatból és izotermikus összehúzódsági folyamatból áll. A Carnot-körfolyamatnak a legjobb a hatásfoka. A Stirling-körfolyamat megfordítható, reverzibilis, azaz külső erővel hajtva hűtőként is viselkedhet. A Stirling-motornál a gáz két, egymástól bizonyos távolságra lévő és különböző hőmérsékletű térben áramlik, és ez a hőmérsékletkülönbség nyomáskülönbséget hoz létre. Ez a két tér nagyon jól el van szigetelve a külső tértől, így nincs keveredés a külső tér levegőjével. A motor bárhol működhet, ahol hőmérsékletkülönbség van jelen.

5. ábra: Az ideális és valóságos Stirling-körfolyamat p - V diagramja [3]



A munkafolyamat tehát négy, jól elkülöníthető fázisból áll:

- I-II izotermikus állapotváltozás (az állapotváltozás alatt a hőmérséklet állandó);
- II-III izochor állapotváltozás (az állapotváltozás alatt a térfogat állandó);
- III-IV izotermikus állapotváltozás;
- IV-I izochor állapotváltozás.

4. Stirling motorok típusai:

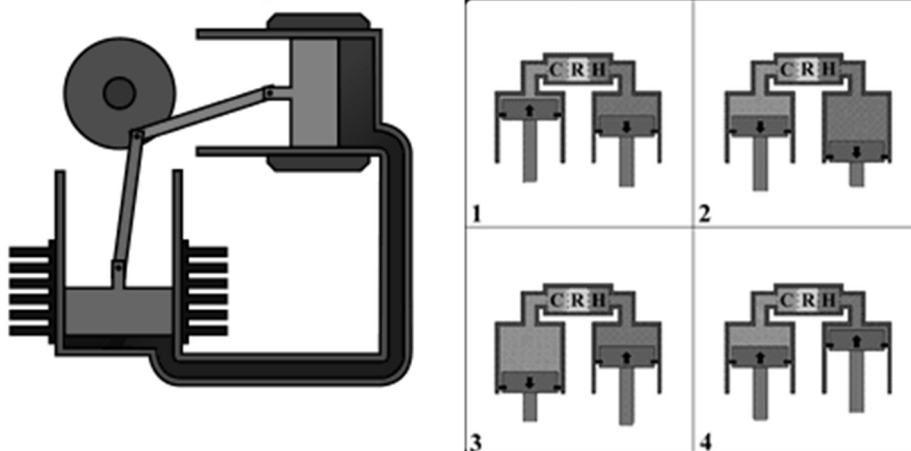
A mérnökök a Stirling-motor három fő típusát különböztetik meg:

4.1 α típusú Stirling gép

Az alfa Stirling változat két külön dugattyúval rendelkezik, egyik a meleg hőcserélőben, a másik a hideg hőcserélőben. Ennek a típusnak az egységnyi térfogatra eső teljesítménye nagy, de nehézségek merülnek fel a tömítéssel, mivel az egyik dugattyú állandó magas hőmérsékleten üzemel.

A dugattyúk közti fáziskülönbség 90° , melyet leggyakrabban a hengerek derékszögbe történő elforgatásával oldanak meg.

6. ábra: Az α Stirling motor szerkezeti felépítése és munkautemei [7]

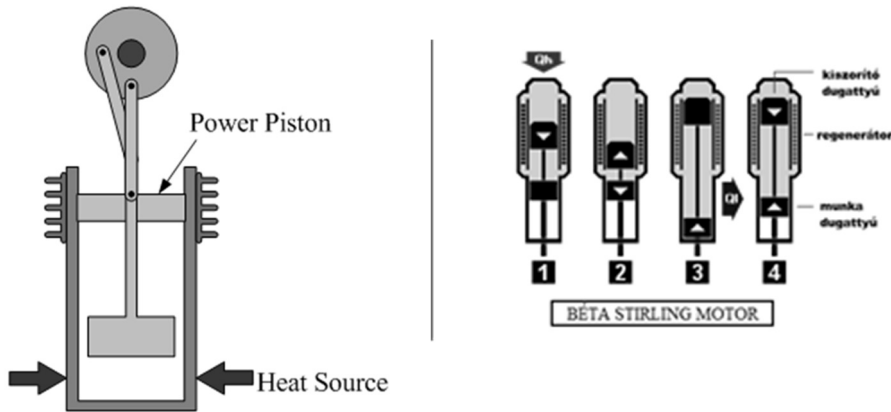


A C a hidegoldali hőcserélőt, az R a regenerátort, a H a melegoldali hőcserélőt jelöli.

4.2 β típusú Stirling gép

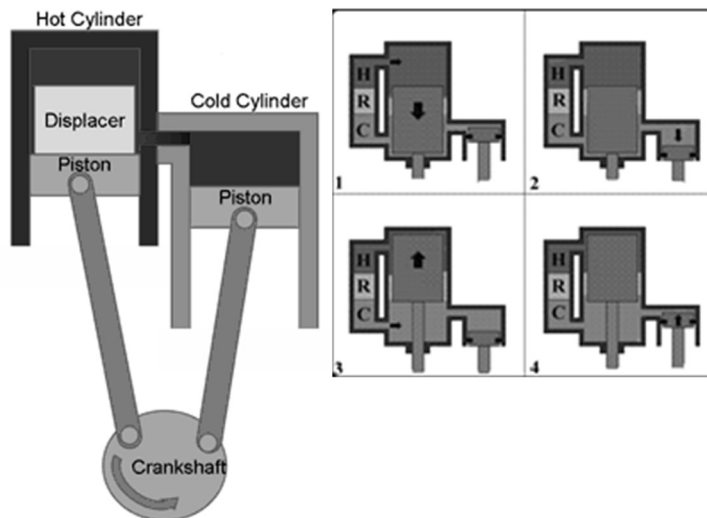
A béta Stirling-motornak egyetlen hengerben egy terelődugattyúja és ezt körülvevő munkadugattyúja van, mely a terelődugattyúval egy tengely mentén mozog. A terelődugattyú hézaggal illeszkedik a hengerbe, nem szolgáltat hasznos munkát, csupán arra szolgál, hogy a gázt a forró kamrából a hideg kamrába tolja. Amikor eléri a meleg hengervéget (a gáz a hidegben van), a lendítőkerék kis késleltetéssel átsegíti a munkadugattyút a holtpontra, amely megkezdí a hideg gáz komprimálását, és a terelődugattyú a gáz a meleg hengerbe átnyomását. Ez a konstrukció elkerüli az alfa változatnál felmerülő problémákat. Mivel azonban a kiszorító és munka dugattyú tengelyei egyvonalban helyezkednek el, ezért a készülék elkészítése nehézkes.

7.ábra: A β Stirling motor szerkezeti felépítése és munkakütemei [7]



4.3 γ típusú Stirling gép

A gamma Stirling-motor egyszerűen egy olyan béta változat, ahol a munkadugattyú és a terelődugattyú két különálló hengerben mozog, de mindkét forgattyú ugyanahhoz a forgattyús tengelyhez csatlakozik. A gáz a két henger között szabadon áramolhat. Ez a megoldás kisebb kompresszióviszonyt tesz lehetővé, de az előbbieknél egyszerűbb a szerkezete és gyakran használják többhengeres kiviteleknel.

8. ábra: A γ Stirling motor szerkezeti felépítése és munkautemei [7]

A C a hidegoldali hőcserélőt, az R a regenerátort, a H a melegoldali hőcserélőt jelöli.

5. Stirling hűtőgépek

A Stirling-motor működése megfordítható: ha a tengelyt forgatjuk, a kamrákon hőfokkülönbség mérhető. A Stirling gép ilyenkor hőszivattyúként működik. Leggyakrabban elektromos energia felhasználásával a munkadugattyú sűríteni kezdi a gázt, mely eközben felmelegszik. A gáz megnövekedett hőmérsékletét elvonjuk, amivel akár fűteni is lehet. Ezután a kiszorító dugattyú áttereli a gép hűtött oldalára a gázt, a munkadugattyú pedig visszatér a kiindulási helyzetébe. A gáz nyomása normalizálódik, közben kitágul az eredeti mértékben, de mivel az előző ciklusban hőenergiát vontunk ki belőle, így annyival alacsonyabb hőmérsékletre hűl le. A gépnek ezt a ciklusát így hűtésre is fel lehet használni. Az első Stirling-hűtőgépet a Philips fejlesztette ki az 1950-es években és többek között cseppfolyós nitrogén gyártáshoz használták. Érzékelők hűtésére sokféle kis Stirling-hűtőgépet használnak mai napig. A legmodernebb Stirling ciklusú gépek termoakusztikus elven működnek.

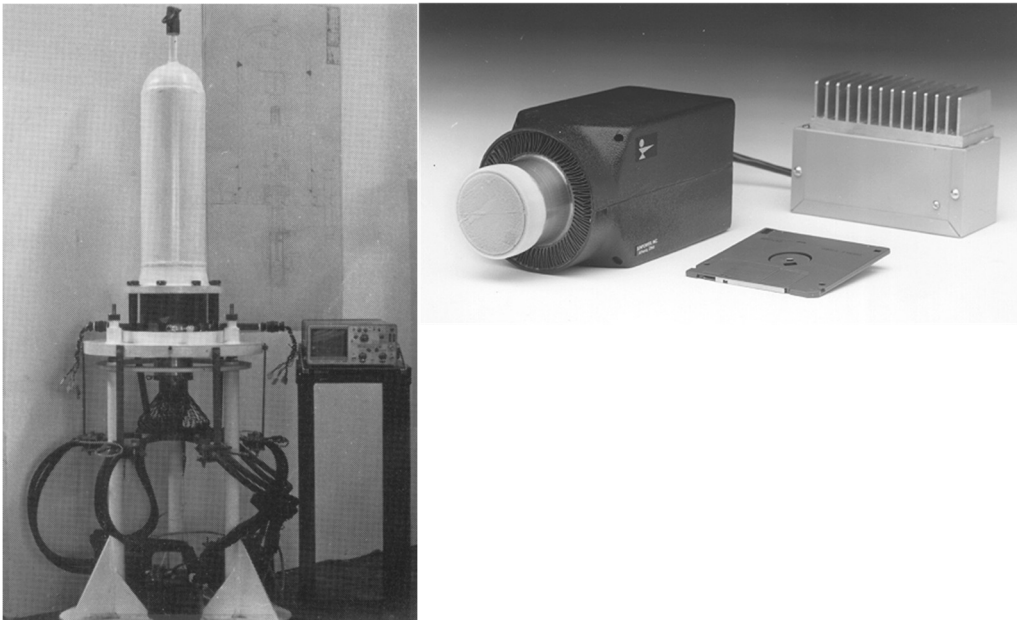
A hagyományos Stirling hűtőgépeknél több típust is használnak. Például a Stirling Cryogenics gépei 1, vagy 4 hengeresek. Képesek extrém alacsony hőfokot előállítani, -75-től, akár -250 Celsius fokig, így kiválóan lehet használni őket a gázok cseppfolyósítására.

Történelmi adatok:

- 1834 John Herschel Csillagász hűtött először Stirling-géppel.
- 1849-ben a skót származású, de Dél-Karolinába (USA) kivándorolt John Gorrie, már jeget állított elő vele.
- 1876-ból Alexander Carnegie Kirk publikációjából kitűnik, hogy akkoriban már szélesebb körben is ismerték a hűtő technológiát.

- A századfordulóra mégis, szinte teljesen feledésbe merültek a hideget előállító Stirling gépek, és csak 1940-ben, a Holland Philips cég karolja fel újra a technológiát.
- 1946-ban JWL Köhler Philips vezetésével gázt cseppfolyósítottak.
- 1964-ben, mikor William Beale, az Ohio egyetem professzora megalkotta szabad (free) dugattyús gépét.
- 1995-ben David Berchowitz, dél-afrikai mérnök, aki korábban dolgozott a Sunpowernél is elhatározta, hogy napenergiával működő hűtőt fog készíteni, de szem előtt tartja a valós felhasználói igényeket is. Megalapította saját cégét, a holland székhelyű Global Cooling Inc-t, és megkezdte a free Stirling hűtők kereskedelmi forgalmazását.
- 2001-ben a szabad dugattyús Stirling hűtőszekrények 30%-kal kevesebb energiát használtak, egyharmaddal kisebb volt a súlyuk és nem tartalmaztak az ózonrétegre káros fluorozott szénhidrogéneket, mint a Rankine rendszerű hagyományos hűtők.

9. ábra: Az első free hűtőgép, és egy kereskedelmi free Stirling hűtőgép [7]



6. Termoakusztikus működési elv

Hőenergiából állítunk elő igen erős hangot, gáz oszcillációjával, az rezegtet egy dugattyút vagy membránt, amely egy lineáris generátor segítségével elektromos energiát termel. Elérhető hatásfok állóhullámú gépnél kb. 8-20% körül, de már kevésbé fejlesztik, mert a haladó hullámú (stirling-ciklusú) 1,5-2-szer jobb hatásfokú., így ezekkel 30-35% feletti is elérhető. Olyan hőlégmotorokat, stirling gépeket akarnak csinálni, amelyek kevesebb anyagot, és alkatrészt tartalmaznak, és egyszerűbb a felépítésük. A free dugattyús stirling gépeknél látható, hogy el tudták

hagyni a forgattyús szerkezeteket (lendkereket, hatókarokat, stb.), sőt olyan gépet is bemutatnak, ahol a dugattyút, vagy dugattyúkat nem tömör szilárd anyagból, még csak nem is rugalmas membránból készítik, hanem folyadékból, vagyis vízdugattyúról beszélhetünk. Levegőből készítjük el a dugattyúkat, vagy persze olyan gázból, amivel megtöltjük a gépet. Ez nem túl bonyolult, hiszen, ha egy csőbe gáz van, akkor a benne lévő gáznak tömege és rugalmassága is van, gondoljunk csak egy autó gázrugó lengéscsillapítójára. Vagyis, ha egy csövet veszünk, akkor geometriailag rögtön kialakítottunk egy gázdugattyút benne, amit nem kellett a hengerhez pontosan esztergálni, nem kopik, nem korrodál, nem drága, de tartós.

7. Stirling gépek előnyei

- Az égés kívül zajlik le, ezért a levegő-tüzelőanyag-keveréket sokkal pontosabban lehet szabályozni.
- A hőforrás folytonos égést kíván, ezért az elégetlen füstgázok mennyisége elenyésző.
- Sok Stirling-motor csapágyazása a hideg oldalon helyezkedik el, ezért a kenést egyszerűbb megoldani, és a kenőanyag élettartama két olajcsere között hosszabb lehet.
- Az egész motor sokkal kevésbé bonyolult szerkezet, mint a belsőégésű motorok. Nincsenek szelepek, illetve a tüzelőanyag- és beömlő rendszer is sokkal egyszerűbb.
- Sokkal kisebb nyomáson üzemelnek, ezért sokkal biztonságosabbak, mint a konvencionális hőerőgépek.
- A kisebb üzemnyomás könnyebb szerkezeti elemek beépítését teszi lehetővé.
- Nagyon nyugodt járású szerkezetet lehet kivitelezni, működéséhez nincs szüksége külső levegőre, így tengeralattjárókon ideális erőgép lehet.
- Ígéretesnek tűnik alkalmazása repülőgépeken: csendesebbek, kevésbé szennyeznek a környezetet, megőrzik hatásfokukat a magasságtól függetlenül, megbízhatóbbak, mert kevesebb alkatrészből állnak, elmarad az indítóberendezés, kisebb rezgésszinten üzemelnek, az üzemanyaguk kevésbé robbanásveszélyes.

8. Stirling gépek hátrányai

- A Stirling-motor hideg és meleg oldali hőcserélői költséges szerkezetek, ezek nyomásálló és korrózióálló kivitelben kell, hogy készüljenek. Ez megnöveli a költségeket különösen akkor, ha jó hatásfokú motort kell készíteni.
- Különösen kis hőmérsékletkülönbség esetén a hideg és meleg oldal között a motor méretei sokkal nagyobbak az azonos teljesítményű belsőégésű motorokhoz képest a nagy hőcserélők miatt.
- A környezet felmelegítésekor keletkező hővesztesség a legnagyobb akadálya annak, hogy Stirling-motorokat alkalmazzanak gépkocsi hajtására. Ez

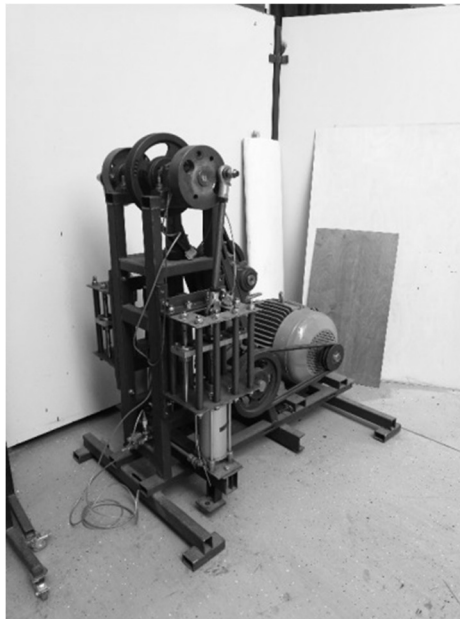
azonban nem hátrányos házaknál, ahol a hőveszteséget jól fel lehet használni melegvíz előállítására és fűtésre.

- A Stirling-motort nem lehet gyorsan beindítani, lassú felmelegedésre van szüksége. Ez ugyan a belsőégésű motorokra is igaz, de a felfűtéshez szükséges idő itt sokkal hosszabb.
- A leadott teljesítményt nehéz változtatni, gyors változtatás nem is lehetséges. A teljesítményt vagy a dugattyú lökethosszának változtatásával vagy az áramló gáz mennyiségével lehet szabályozni. Ez hibrid hajtásokban és alaperőforrásoknál, ahol állandó teljesítményre van szükség, kevésbé problematikus.
- A hidrogént kis molekulásúlya ideális munkaközeggé teszi, de a hidrogént kicsi molekulái miatt nagyon nehéz zárt térben tartani szivárgás nélkül.

9. Összefoglalás

A Stirling gépekbe rejlő potenciált a haditechnológia, és az űrkutatás is kezdi felfedezni. A haditechnikába például a modern tengeralattjárókba építhető generátorok meghajtására. [7] Az űrkutatásban a létesítmények ellátására tervezik alkalmazni. Jövőbeli tervek között szerepel egy a tanszéken található stirling gép méréses vizsgálata, amely egy szíjhajtáson keresztül kapcsolódik egy generátorhoz.

10. ábra: Tanszéken található Stirling gép



Forrás: A szerző saját szerkesztése.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutató munka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében –

az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

https://hu.wikipedia.org/wiki/Brayton_mechanizmus(2019.03.02.) [1]

<https://hu.wikipedia.org/wiki/Carnot-ciklus>, (2019.03.02.) [2]

<http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/StirlingM.htm>, (2019.03.25.) [3]

Ilan J. Organ: The air engine, Woodhead Publishing Limited (2007) [4]

William R. Martini: Stirling Engine Design Manual, National Aeronautics and Space Administration, (2004) [5]

Roy Darlington and Keith Strong: Stirling and hot air engines, The Crowood Press Ltd. (2007) [6]

<https://stirlingtechnology.blogspot.com/2012/06/epitesi-szamitasok.html> (2019.03.20) [7]

<https://aerospaceamerica.aiaa.org/departments/space-nuclear-power-seriously/?fbclid=IwAR3RKbEiuSmu1RKjzao2INF4EMUX91vbIYILTAzOHkkj44OQRldNeFqPaU> (2019.03.25) [8]

MŰANYAG KOMPOZITOK MECHANIKAI JELEMZŐINEK VIZSGÁLATA

Molnár Tamás – Bíró István – Szuchy Péter – Varnyú Ferenc – Csikós Sándor –
Gogolák László – Sárosi József

Absztrakt: A polimer kompozitok rendkívül kedvező tömegre vonatkoztatott mechanikai tulajdonságaiknak köszönhetően egyre inkább teret hódítanak számos ipari szegmensben, így többek között a repülőgépiparban is. Ezen anyagok tömeges felhasználásának egyelőre árak, valamint néhány - az egyéb szerkezeti anyagokéhoz képest - kedvezőtlen tulajdonságuk szab határt. Jelenleg már jelentős mennyiségben használnak magasabb üzemi hőmérsékletet elviselő poliimid- (polyimide) és bismaleinimid (bismaleimide) alapanyagú hőre keményedő mátrixgyantákat (Thermosetting resins), valamint hőre lágyuló polimereket (thermoplastics) az erősítőanyagok beágyazására. A vizsgálatunk célja, hogy a repülőgépiparban alkalmazható műanyag kompozitok mechanikai jellemzőinek vizsgálatával (QUASAR 100-as szakítógéppel) és elemzésével, az üzemeltetési és gazdaságossági anomáliákat elemezzük és javaslatot tegyünk olyan összetételekre, melyek ezeket a problémákat megoldja.

Abstract: Due to their exceptional advantageous mass-referred mechanical characteristics the polymer composites are gathering more and more ground in several industrial segments, for example in the aircraft industry as well. Their application in large quantities is still limited by their price and some disadvantageous attributions compared to some other structural material. Nowadays significant quantity of higher temperature resistant polyimide and bismaleimide based thermosetting matrix resins and thermoplastic polymers are used for bedding the reinforcing materials. The goal of our examination is to analyse the operational and economy efficiency anomalies with testing and analyzing (by QUASAR 100 testing machine) the mechanical characteristics of the plastic composites used in the aircraft industry, and to make a proposal for such compounds that solve these problems.

Kulcsszavak: műanyag kompozitok, anyagvizsgálat, mechanikai szilárdsági jellemzők

Keywords: plastic composites, material test, mechanical strength characteristics

1. Bevezetés

A térhálós polimer mátrixú kompozitokra általában jellemző az alacsony szakadási nyúlás, illetve a rideg tönkremenetel, mely elsősorban olyan felhasználási területeken jelent hátrányt, ahol a termék ütésszerű, vagy összetett terhelésnek is ki van téve. (Pukánszky–Móczó, 2011) A rideg viselkedés ellenőrzése és detektálása ipari szempontból kedvező eredményekkel szolgálhat. A repülőgépekre, illetve azok alkatrészei esetében folyamatos fárasztó igénybevételnek, és hirtelen behatásoknak vannak kitéve, ezért a mechanikai szilárdsági jellemzők vizsgálata döntő szempont, hogy ne viselkedjenek ridegen, vagyis ne hirtelen, kis deformáció-értékeknél menjenek tönkre. Napjainkban a könnyű sport- és általános célú repülőgépek és az új generációs katonai csapásmérő-, illetve vadászrepülőgépek, helikopterek sárkányszerkezetében széleskörűen alkalmazzák a korszerű műanyag kompozit anyagokat. (Czél et al., 2013)

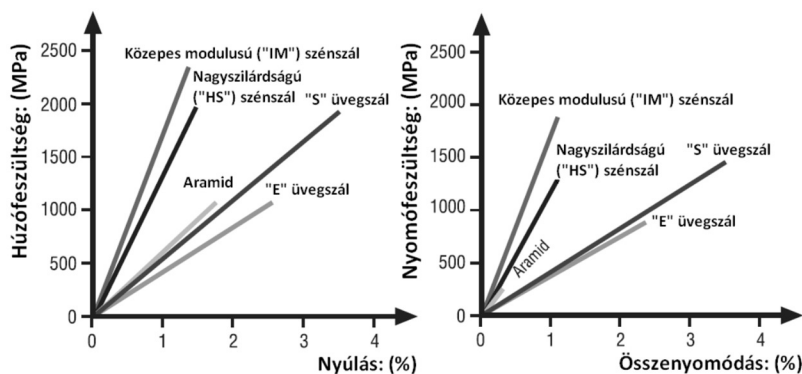
A szálerősítésű epoxi kompozitok esetében azonban elmondható, hogy megfelelő tervezés és gyártástechnológia esetén hosszú élettartammal bírnak, mert az inhomogén szerkezetüknek köszönhetően a csúcsterhelések vagy a hosszantartó változó igénybevételek hatására nem jön létre a fémek esetében ismert fáradásos

tönkremenetel, amely egy bizonyos idő után a szerkezet hirtelen és nagyarányú szilárdságvesztésével jár. (Czvikovszky, 2000) A kompozit anyagok szilárdsága nagyon kis mértékben, de folyamatosan csökken az idő és a terhelés függvényében a beágyazó anyagban keletkező mikrorepedések és az erősítőszálak elenyésző hányadának szakadása miatt. A kompozit anyagok erősítőszálai igen nagy szakítószilárdságúak és nagy a rugalmassági modulusuk, viszont a sűrűségük jóval kisebb a fémekénél emellett anizotróp szerkezetűek is lehetnek, így az azonos vagy jobb mechanikai paraméterek melletti tömegcsökkenést eredményeznek. A repülőgépiparban legelterjedtebb erősítőszálak a következők: nagyszilárdságú szénszál (HS Carbon), közepes modulusú szénszál (IM Carbon), nagy modulusú szénszál (HM Carbon), alacsony modulusú Aramidszál (Aramid LM), ultranagy modulusú aramidszál (Aramid UHM), „E” üvegszál („E” Glass). A Wöhler görbékből megállapítható, hogy a kompozitok esetében az anyagfáradás olyan kismértékű, hogy nagyság-rendileg kisebb tervezési és súlyproblémákat okoz, mint a fémek esetében. (Gáti-Koncz, 2011)

2. Anyag és módszer

A kompozit-szerkezetek húzó- és nyomószilárdsága a fémektől eltérően jelentősen eltérhet, amely üvegszál és a szénszálak nagyobb részénél 15 ÷ 30 % között van, de az extrém nagy szakítószilárdságú szénszálak esetében 50 % is lehet. Aramidszálakkal (Kevlar) erősített kompozitokban pedig a 60 %-ot is meghaladhatja, azaz a nyomószilárdságuk ennyivel gyengébb, mint a húzószilárdságuk, ezért a váltakozó irányú hajlításra terhelt szerkezeteket a nyomószilárdsági értékkel kell méretezni. A kompozit anyagok húzószilárdsága és nyomószilárdsága közötti eltéréseket szemlélteti az 1. ábra. (Vermes, 2015)

1. ábra: Egyirányú (UD) prepreg kompozitok összehasonlítása húzó- és nyomóigénybevétel hatására

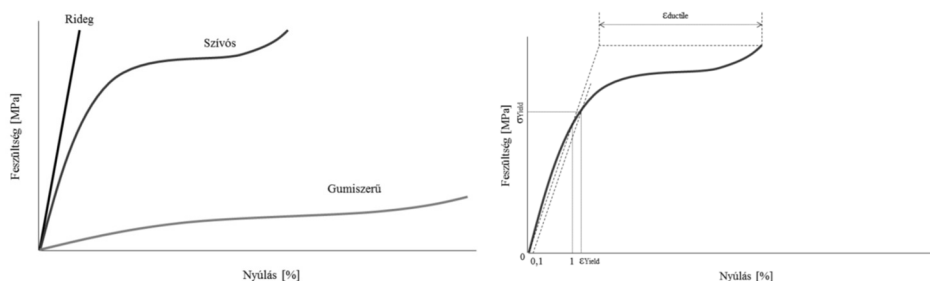


Forrás: Vermes (2015)

Az anyagok feszültség hatására deformációval válaszolnak, megkülönböztetünk a „szilárd” anyagok feszültség-nyúlás görbéje alapján: rideg, gumyszerű, szívós viselkedést, mely látható a 2. ábrán. Rideg anyag esetében, a feszültség-nyúlás síkon

megközelítőleg lineáris viselkedést mutat, az anyagok a szakadásukig jó közelítéssel rugalmasan viselkednek, vagyis a terhelés megszűnése után visszanyerik eredeti alakjukat, a tönkremenetel viszont általában kis deformáció-értéknél, hirtelen jelentkezik. A szálerősített rendszerek általában ilyen rideg viselkedést mutatnak terhelés hatására. A gumyszerű viselkedés az elasztomerekre és gumikra jellemző. (Koncz et al., 2000) A szívós viselkedés esetében a lényeg, hogy egy kezdeti reverzibilis, energi rugalmas szakasz után irreverzibilis változás következik be, amely a terhelés megszűnése után maradó deformációként, vagy a rugalmassági modulus csökkenése formájában jelentkezik. (Lukács et al., 2000) Fémeknél a diszlokációk menti elcsúszások megindulásához nagyobb feszültség szükséges, mint a későbbi egyenletes mozgáshoz. Polimerek esetén az időfüggő viselkedés miatt a lokális maximum oka lehet a túl gyors mechanikai behatás, amit az anyag nem tud késés nélkül követni szerkezete megváltozásával. (Mészáros–Varnyú, 2009) A szívósság lényegében tehát nem más, mint a tönkremeneteli folyamat kitolása magasabb deformáció értékek felé, miközben az anyag már szakadás előtt is irreverzibilis változásokon megy keresztül, károsodást szenved, és ezzel energiát nyel el. A szálerősítésű kompozitok vizsgálata során folyási feszültségként (σ_{Yield}) azt a pontot definiálták, mely a kezdeti modulus egy tized százalék deformációval eltolt egyenesének és a valós feszültség-nyúlás görbének a metszéspontjához tartozó feszültségérték., mely a 2. ábrán látható. A folyási nyúlás (ϵ_{Yield}) az ezen metszésponthoz tartozó deformáció mértéke. A szívós nyúlás ($\epsilon_{\text{ductile}}$) a szakadási nyúlás, és a kezdeti modulus egyenesén az azonos feszültségértékhez (szakadási feszültség) tartozó nyúlásértékek különbsége. (Vermes, 2015)

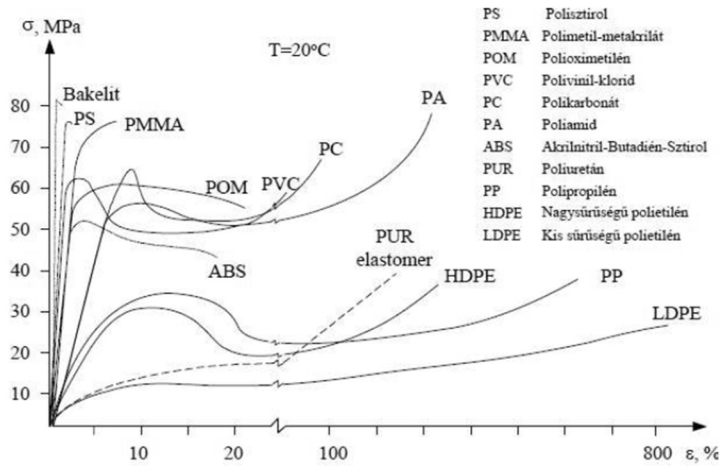
2. ábra: Tipikus feszültség-nyúlás görbék, szívósság értelmezése



Forrás: Vermes (2015)

Napjainkban a legnagyobb mennyiségben felhasznált tömeg és műszaki célú polimerek tipikus szakítógörbéit mutatja a 3. ábra. Jól látható, hogy mennyire eltérő viselkedést mutatnak az egyes polimer típusok. Vannak olyanok, amelyek azonos körülmények mellett ridegen törnek, de akadnak olyanok is, amelyek több száz %-os nyúlást képesek elviselni teljes tönkremenetel nélkül. (Gunczer, 2009)

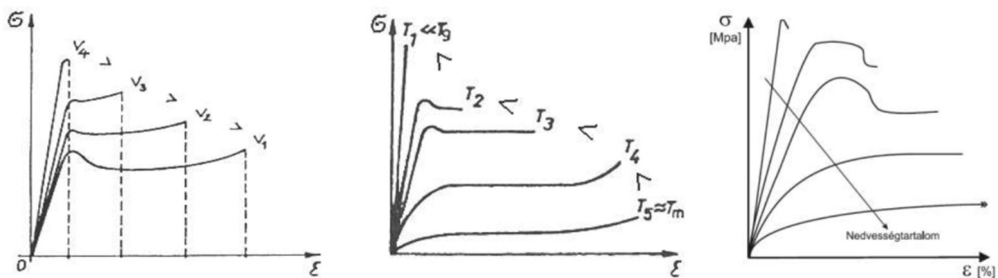
3. ábra: Különböző polimerek szakító diagramja



Forrás: Sági-Nagy (2015)

A polimerekre jellemző, hogy a vizsgálati körülmények megváltozása jelentősen befolyásolja az anyag mechanikai tulajdonságait. A főbb befolyásoló paraméterek a következők, szakítási sebesség, vizsgálati hőmérséklet, nedvességtartalom. Szakítási sebesség: nagyobb szakítási sebességek esetén a viszkoelasztikus tulajdonságokkal rendelkező anyagok (polimerek) merevebben viselkednek, általában a szilárdságuk is nagyobb értékre adódik (4/a ábra). Vizsgálati hőmérséklet: a polimerek esetén már kis hőmérsékletváltozás is jelentősen befolyásolja a merevséget, a szilárdságot, illetve a tönkremeneteli folyamat jellegét. A polimerek az ún. üvegesedési hőmérsékletük (T_g) alatt üvegszerű állapotban ridegen, míg e felett az ún. nagyrugalmas állapotban szívósabban viselkednek, valamint nagyobb a szakadási nyúlásuk is (4/b ábra). (Sági-Nagy, 2015)

4. ábra: Eltérő sebességgel (a), eltérő hőmérsékleten (b), eltérő nedvességtartalom (c) mellett felvett szakító diagram a szakító diagramok



Forrás: Sági-Nagy (2015)

Nedvességtartalom: vannak olyan polimerek, amelyek képesek a tulajdonságaikat befolyásoló mennyiségű (1-4%) nedvesség abszorbeálására (pl.: poliamidok, poliészterek, természetes polimerek, egyes szálerősített kompozitok). A

nedvességnek lágyító hatása van, azaz csökkenti a rugalmassági moduluszt, szilárdságot, növeli a szakadási nyúlást (4/c ábra). (Pék, 2000)

2.1. Szakítóvizsgálatból meghatározható mechanikai jellemzők

A szakítóvizsgálat eredményeként az adott mérési körülményekre vonatkozóan megkapjuk az anyag erő-nyúlás (F - Δl) görbéjét. Ezt át lehet paraméterezni mérnöki feszültség-relatív nyúlás (σ - ε) görbévé (5. ábra): az erő tengely helyén a mérnöki feszültséget (σ [MPa]) megkapjuk, ha az erőt (F [N]) osztjuk a próbatest kiindulási keresztmetszetével (A_0 [mm²]):

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

ahol:

σ = mérnöki feszültség

F = erő

A_0 = próbatest kiindulási keresztmetszete

A relatív nyúlás (ε) pedig a próbatest megnyúlásának (Δl [mm]; $\Delta l = l - L_0$, ahol l a próbatest aktuális hossza) és a kezdeti mérési hosszának (L_0 , [mm]) a hányadosa:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (2)$$

ahol:

ε = relatív nyúlás

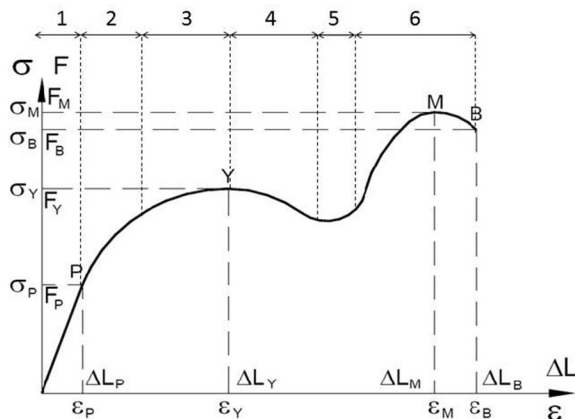
Δl = próbatest megnyúlása

L_0 = kezdeti mérési hossz

A szakító diagramot (5. ábra) az alábbi hat nevezetes szakaszra lehet felosztani:

1. szakasz: kis terheléseknél, lineáris rugalmas alakváltozás.
2. szakasz: terhelés növelésével megindul a lineárisan viszkoelasztikus deformáció (idő függvényében visszaalakul).
3. szakasz: nagyobb terheléseknél, nemlineáris viszkoelasztikus deformáció.
4. szakasz: nyakképződés szakasza, csökken a mérnöki feszültség, elkezdődik a makromelekulák lokális rendeződése.
5. szakasz: nyakképződés kiterjedése= állandósult folyás szakasza.
6. szakasz: a globális rendeződés hatására nő a szakítószilárdság (alakváltozási keményedés). Ebben a szakaszban a rendeződött szálak a szakítószilárdsági értéküket elérve egymás után elszakadnak.

5. ábra: Általános műanyag szakító diagram, jellegzetes szakaszok



Forrás: Pék (2000)

A szakítóvizsgálat során regisztrált erő-nyúlás görbéből (illetve az ebből képezhető feszültség-relatív nyúlás görbéből) a következő mechanikai mennyiségeket lehet leolvasni, illetve számítani (Sápi-Nagy, 2015):

- **σ_Y folyás határ:** az az első feszültség, amelynél a nyúlás a feszültség növekedése nélkül növekszik. A gyakorlatban bizonyos polimereknél fel sem lép a folyás jelensége, másoknál több 100 %-os folyási alakváltozás következhet be, amelyet a próbatesten nyakképződés és szerkezeti átalakulás kísérhet. A folyást bizonyos polimerek esetén az ún. feszültség fehéredés jelezheti. (Pék, 2000)
- **σ_M húzószilárdság:** a maximális erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa. A maximális erő elérésekor az anyag a leggyengébb pontjában helyileg instabil állapotba kerül, ezen a helyen megkezdődik a keresztmetszet kontrakciója, helyi keresztmetszet csökkenése. A folyamat folytatódhat nyakképződéssel, vagy hirtelen szakadással (Sápi-Nagy, 2015)
- **σ_B szakító szilárdság:** a szakadáskor mért erő és a kezdeti keresztmetszet hányadosa. A feszültség-relatív nyúlás diagram segítségével az alakváltozási mutatószámok is meghatározhatók. Ezek közül a legfontosabbak a következők:
 - a) **Nyúlás a maximális erőnél (ε_M):** ahol L₀ a próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza, L_M a próbatest vizsgált szakaszának a maximális erőnél mért megnyúlt hossza:

$$\varepsilon_M = \frac{L_M - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%] \quad (3)$$

ahol:

ε_M = relatív nyúlás a maximális erőnél

L_M = próbatest vizsgált szakaszának a maximális erőnél mért megnyúlt hossza

L_0 = próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza

- b) **Szakadási nyúlás (ε_B):** ahol L_B : a próbatest vizsgált szakaszának a szakadáskor mért megnyúlt hossza:

$$\varepsilon_B = \frac{L_B - L_0}{L_0} \cdot 100 [\%] \quad (4)$$

ahol:

ε_B = szakadási nyúlás

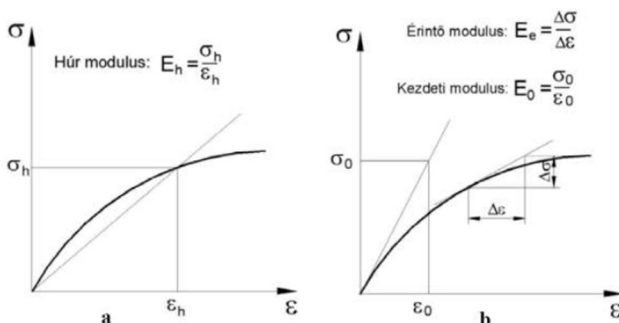
L_B = próbatest vizsgált szakaszának a szakadáskor mért megnyúlt hossza

L_0 = próbatest vizsgált szakaszának eredeti terheletlen hossza

A σ - ε görbéből a vizsgált anyagra nézve különböző rugalmassági modulusok határozhatók meg (E). Kétféle típusú rugalmassági modulusról beszélhetünk:

- **Húr modulus (E_h):** a görbe tetszés szerinti pontját az origóval összekötő egyenes meredeksége, természetesen pontról pontra változik (6. ábra). (Gáti–Koncz, 2011)
- **Érintő modulus (E_e):** a görbe tetszőleges pontjához húzott érintő meredeksége (6. ábra). Mivel a szakítógörbe nem lineáris, így érintőjének meredeksége is pontról pontra változik. A feszültség - relatív nyúlás görbe origójába húzott érintőjének meredekségét kezdeti rugalmassági modulusnak nevezzük (E_0). Ha a görbe kezdőpontjához nem pontosan húzzuk be az érintőt, akkor a pontos érintőtől való kis eltérés is nagy pontatlanságot eredményez a rugalmassági modulus értékében. A gyakorlatban a 0,05 % és 0,25 % relatív nyúlásértékhez tartozó görbepontokon átmenő egyenesnek a meredekségét tekintjük az anyag rugalmassági modulusának. (Sápi–Nagy,2015)

6. ábra: **Rugalmassági modulusok, (a): húr modulus (b): érintő modulus**



Forrás: Pék (2000)

A szakítógörbe alatti terület a szakításra fordított munka, azaz a törési munka (W_B). A törési munka rideg anyagoknál kisebb, szívós anyagoknál nagyobb. A törési munka és a rugalmassági modulus általában egymással fordítottan arányos. Mivel a gépészeti alkalmazásokban egyaránt nagy rugalmassági modulusú, ugyanakkor nagy szívósságú anyagokra van szükség, ezért a tervezésnél kompromisszumot kell kötni, és az adott szerkezetre optimalizálva kell megválasztani az adott mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyagot.

$$W_B = \int_0^{\Delta l} F \cdot \Delta l \text{ [%]} \quad (5)$$

ahol:

W_B = törési munka

Δl = próbatest megnyúlása

L_0 = kezdeti mérési hossz

A feszültségek számításánál az aktuális erőt mindig a kezdeti keresztmetszettel osztjuk, ekkor az ún. látszólagos vagy mérnöki feszültségeket kapjuk. A nyúlás során azonban a próbatest keresztmetszete csökken. Ha a pillanatnyi erőt a pillanatnyi keresztmetszettel osztjuk, akkor a valódi feszültséget kapjuk. A pillanatnyi keresztmetszet (A_p) közelítőleg számítható a térfogat megmaradás elvét feltételezve a következő összefüggéssel:

$$A_0 \cdot L_0 = A_p \cdot L_p \Rightarrow A_p = \frac{A_0 \cdot L_0}{L_p} \Rightarrow A_p = \frac{A_0 \cdot L_0}{L_0 + \Delta l_p} \quad (6)$$

ahol:

A_0 = kezdeti keresztmetszet

L_0 = kezdeti mérési hossz

A_p = pillanatnyi keresztmetszet

$L_p = L_0 + \Delta l_p$: kezdeti mérési hossz pillanatnyi hossza

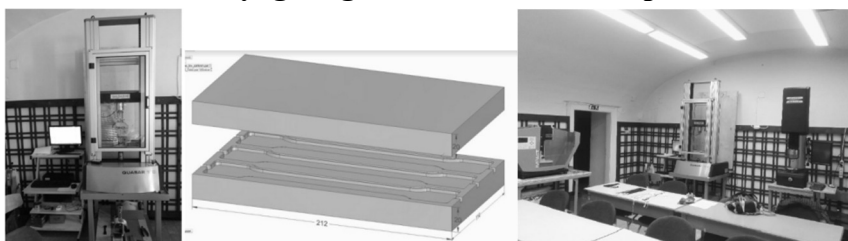
Δl_p = a kezdeti mérési hosszhoz az erő-nyúlás görbéről leolvasható pillanatnyi nyúlása

ahol: A_0 a kezdeti keresztmetszet, L_0 a kezdeti mérési hossz, L_p a pillanatnyi hossza az L_0 kezdeti mérési hosszhoz, $L_p = L_0 + \Delta l_p$, Δl_p az erő-nyúlás görbéről leolvasható pillanatnyi nyúlása a kezdeti mérési hosszhoz. Ez a számítási mód a próbatest szakítóvizsgálatának csak addig a szakaszáig használható, amíg a sűrűség állandó, illetve a próbatest keresztmetszete a hossz mentén azonosan csökken, azaz a helyi kontrakció megindulásától, illetve a nyakképződés szakaszában nem. (Pék, 2000)

3. Eredmények és értékelésük

A próbatest kialakítása és szabványos megválasztásán kívül szempont volt, hogy az SZTE-MK Anyagvizsgáló laborjában rendelkezésre álló szakítógéppel 7. ábra, (Galdabini Quasar 100) el tudjuk végezni a vizsgálatokat. A próbatestek kialakítása során a szabványban előírt legkisebb próbatest legyártására került sor, azonban a szakítógéppel a méréshatár helyes beállításával és megválasztásával el tudtuk végezni a vizsgálatainkat. Először egy próba vizsgálatot hajtottunk végre, mely során az esetlegesen felmerült problémákat tudtuk orvosolni, ilyen volt a szakadási nyúlás értékek helyes bekalibrálása. A próbatest kialakítása érdekében 3D-ben terveztük meg a próbatest sablonokat (öntőforma), mely a következő 7. ábrán látható.

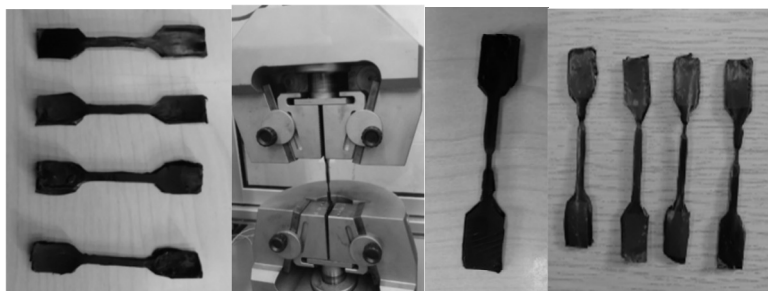
7. ábra: SZTE MK Anyagvizsgáló laborterem, 3D-s próbatest öntőforma



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A legyártásra került próbapálcák összetétele: Polimer, Polietilén PE –TIP - 7700M, kompozit: kén, agyagásvány, az alap polimer jelölése PE-K001. A minta próbapálcák (etalon) kialakítása a 8. ábrán láthatóak, Az alap polimerhez képest különböző tömegszázalékba bekevert agyagásvány és kén került beállításra, a minták jelölése a következőképpen történt (a további vizsgálatok helyes rögzítése érdekében): PE-K002: 0,5 tömeg% agyagásvány, PE-K003: 0,5 tömeg% kén, a vizsgálati eredmények a 1. táblázatban található.

8. ábra: SZTE MK Anyagvizsgáló laborterem, 3D-s próbatest öntőforma

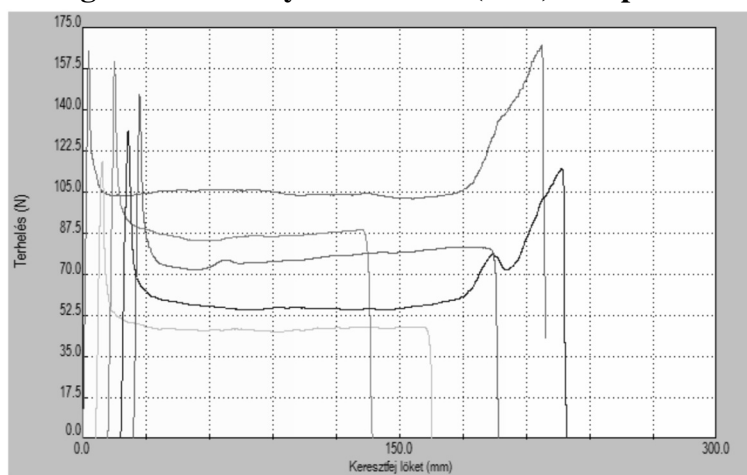


Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

1. táblázat: Vizsgálati eredmények az alkalmazott kompozitok esetében.

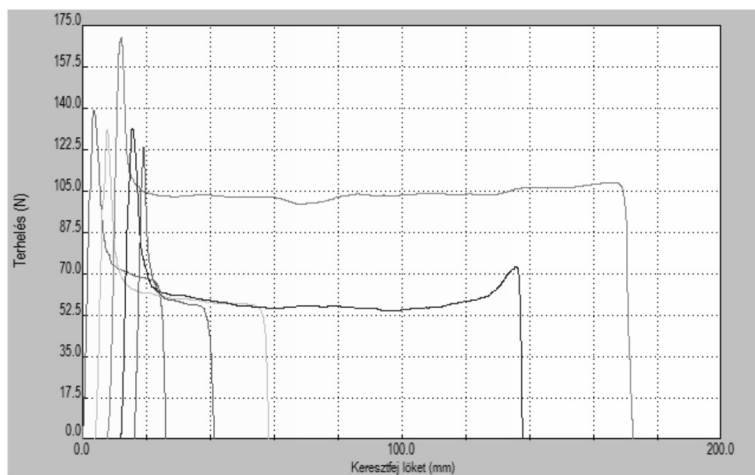
Próbatest kód	Vizsgálati dátum	Vastagság (a)	Szélesség (b)	Szakadási nyúlás	F _t	F _m	R _m
		(mm)	(mm)	(mm)	(N)	(N)	(N/mm ²)
PE-K001-1	18-02-2019	2,18	3,89	138,2	52,5	145,5	17,16
PE-K001-2	18-02-2019	2,14	3,89	122,3	58,5	131,0	15,74
PE-K001-3	18-02-2019	2,42	3,89	144,2	13,5	159,5	16,94
PE-K001-4	18-02-2019	2,09	4,00	63,2	21,5	117,0	14,00
PE-K001-5	18-02-2019	2,28	3,95	146,2	43,0	166,0	18,43
PE-K002-1	04-03-2019	2,11	3,85	25,34	63,5	123,5	15,28
PE-K002-2	04-03-2019	2,12	3,85	126,0	56,5	131,0	16,2
PE-K002-3	04-03-2019	2,11	3,85	164,6	12,5	169,5	20,96
PE-K002-4	04-03-2019	2,18	3,89	54,5	32,5	130,5	16,4
PE-K002-5	04-03-2019	2,14	3,85	26,22	52,5	139,0	17,19
PE-K003-1	04-03-2019	2,15	3,85	211,4	38,5	127,0	15,34
PE-K003-2	04-03-2019	2,15	3,85	13,28	67,5	121,0	14,62
PE-K003-3	04-03-2019	2,14	3,86	93,13	51,5	137,0	16,61
PE-K003-4	04-03-2019	2,16	3,85	93,22	49,0	139,0	16,79
PE-K003-5	04-03-2019	2,15	3,85	178,2	38,5	137,0	16,55

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

9. ábra: Vizsgálati eredmények PE-K001 (1.-5.) kompozitok esetében.

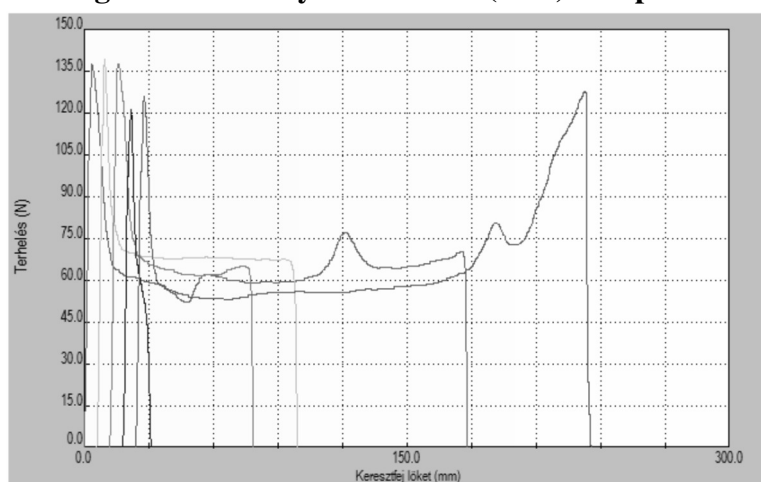
Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

10. ábra: Vizsgálati eredmények PE-K002 (1.-5.) kompozitok esetében.



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

11. ábra: Vizsgálati eredmények PE-K003 (1.-5.) kompozitok esetében.



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

4. Következtetések

A szerkezeti anyagok választékában a polimerek és kompozitjaik alkalmazása, azok kiváló mechanikai, fizikai és kémiai tulajdonságai miatt, igen elterjedt. A kis sűrűség és az ahhoz tartozó nagy szilárdság, a csillapító és szigetelőképeség, a vegyszer és korrózióállóság, a tervezhető anizotrópia stb. napjaink legnépszerűbb anyagává tették a szintetikus polimereket. Alkalmazásukkal nemcsak energiát takaríthatunk meg, hanem a fenntartható fejlődés zálog is ez az anyagcsalád. A mai polimertechnikai kutatások arra irányulnak, hogy olyan anyagokat fejlesszünk, amelyek környezetbarátabbak, csökkentik az energiafelhasználást, könnyebbé és komfortosabbá teszik a hétköznapi életünket.

Köszönetnyilvánítás:

„A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg. EFOP-3.6.1-16-2016-00014

Irodalomjegyzék

- Czél G., Jalalvand M., Wisnom, M. R. (2015): Demonstration of pseudo-ductility in unidirectional hybrid composites made of discontinuous carbon/epoxy and continuous glass/epoxy plies. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 72: 75–84.
- Czél G., Wisnom M. R. (2013): Demonstration of pseudo-ductility in high performance glass/epoxy composites by hybridisation with thin-ply carbon prepreg. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 52: 23–30.
- Czvikovszky, Nagy, Gaál (2000): *A polimertechnika alapjai*. Műegyetemi Kiadó.
- Gáti B., Koncz I. (2011): *Repülőgépek szerkezete*. A II. Nemzeti Fejlesztési Terv Társadalmi Megújulás Operatív Program TÁMOP-4.1.2/A/2-10/1-2010-0018 azonosító számú programja keretében készült jegyzet.
- Gunczer L. (2009): *Anyagszerkezettan és gyártástechnológia, Egyéb anyagok (kiegészítés)*. SZTE Univ Kiadó, Szeged.
- Gunczer L. (2009): *Anyagvizsgálatok*. SZTE MK, Szeged.
- Gunczer L. (2009): *Anyagismeret és Gyártástechnológia jegyzetmodulok*. SZTE MK, Szeged.
- Koncz, Magyarosi, Pusztai (2000): *Kompozitok és szendvicsszerkezetek – Repülőgép kompozit szerkezetjavító szakmai oktatási jegyzet*.
- Lukács, Csomós, Gácsi, Karcagi, Magyar, Tomolya (2004): Fáradásos repedésterjedés különböző típusú kompozitokban, *Anyagvizsgálók Lapja*, 14 (4)
- Megson T. H. G. (1999): *Aircraft Structure for Engineering Students*. Arnold.
- Mészáros, Varnyú (2009): *Műszaki anyagismeret*. (CooSpace elektronikus jegyzet).
- Pék L. (2000): *Anyagszerkezet és anyagismeret*. Dinasztia Kiadó, Budapest.
- Pukánszky B., Móczó J. (2011): *Műanyagok*. Typotex Kft., Budapest.
- Rácz E. (1955). *Repülőgéptervezés*. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest.
- Sápi A., Nagy L. (2015): *Segédanyag a Nanotechnológia és anyagvizsgáló laboratóriumi gyakorlathoz jegyzet*. Anyagtudományi Intézet, SZTE-TTIK, Szeged.
- Vermes B. (2015): *Megnövelt szívósságú, szénszál/epoxi kompozit főiránytól eltérő húzó tulajdonságainak meghatározása*. Tudományos Diákköri Konferencia, Polimertechnika Tanszék, BME-Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest.
- Wisnom M. R., Czél G., Fuller J. D., Jalalvand M. (2015): High performance pseudo-ductile composites. *20th International Conference on Composite Materials*, Kopenhagen.

HŐSZIVATTYÚS FŰTŐ ÉS PÁRAMENTESÍTŐ KÉSZÜLÉK TERVEZÉSE

Pozsa Ákos – Illés Tamás – Mészáros Károly Marcell – Szaszák Norbert –
Bencs Péter

Absztrakt: Számos lakóingatlanban, azokon belül is főként a fürdőszobákban alkalmaznak – akár kiegészítő jelleggel – elektromos fűtőegységeket. Ezek jellemzően igen magas hatásfokkal üzemelnek, hiszen a legtöbb esetben az elektromos áramot Joule-hővé alakítják át villamos ellenállás segítségével. Mivel a fürdőszoba levegőjének páratartalma jellemzően magas értékeket is elérhet annak használata közben, ezért célszerű lenne egy olyan fűtőkészüléket alkalmazni, amely nem csupán a levegő hőmérsékletét növeli, hanem egyúttal annak abszolút páratartalmát is csökkenti. Amennyiben egy hőszivattyút alkalmazunk fűtési célra úgy, hogy annak mind a hőfelvevő, mind pedig a hőleadó egysége ugyanazon légtérben található, úgy a hőelvonás helyszínén kialakuló – az adott légállapothoz tartozó – harmatpont alatti hőmérsékletű felületen kondenzáció jön létre, tehát a levegő páratartalmának egy része kicsapódik. Ezzel egyrészt csökkenthető a levegő abszolút páratartalma (amely higiénias szempontok miatt is célszerű), továbbá a kondenzációkor felszabaduló látens-hő következtében pedig akár jelentős hőtöbblet jelenhet meg a hőleadó oldalon, ezzel 100%-os érték felé növelve a fűtési hatásfokot. Egy ilyen elven üzemelő hőszivattyús fűtőkészülék-prototípus felépítését és működését ismertetjük jelen tanulmányban, kitérve a jellemző klimatechnikai paraméterekre, összefüggésekre, a tervezéshez elvégzett számításokra.

Abstract: Many residential building use electrical heaters mainly in bathrooms, even as a supplement heating device. These devices typically operate at very high efficiency, since in most cases, electrical current is converted into Joule-heat by means of electrical resistances. The humidity of the air in bathrooms is often very high. Therefore, it would be useful to apply such heating devices, which not only increase the temperature of the air, but also reduces the absolute humidity of it. If a heat pump is used for heating purposes where both the heat absorber and the heat exchanger are placed in the same airspace, condensation occurs at a temperature below the dew point of the given air condition at the point of heat extraction thus some of the humidity precipitates. Along with this the absolute humidity of the air can be reduced (which is also recommended for hygiene reasons). Furthermore, due to the latent heat released during the condensation a significant excess of heat appears on the heat exchanger, increasing the heating efficiency over 100%. The design and operation of a heat pump heater operating on such a principle is described in this study, addressing the typical air-conditioning parameters, correlations, calculations performed for the design.

Kulcsszavak: Peltier, hőszivattyú, harmatpont, hőtechnika

Keywords: Peltier, heat pump, dewpoint, thermodynamics

1. Bevezetés

A háztartásokon belül szinte minden esetben találkozhatunk olyan helyiségekkel, ahol mindennapi tevékenységeink során megemelkedhet a relatív páratartalom értéke (fürdőszoba, konyha). Ennek gyakoriságából adódóan hamar problémák jelentkezhetnek az adott helyiségben (penészedés, asztmatikus panaszok gyakoriságának növekedése, stb.). Így az ilyen helyiségekben célszerű lehet egy lehetőleg kompakt méretű, valamint halkan üzemelő légtechnikai eszközt alkalmazni, amely képes megfelelő hatásfok mellett csökkenteni az abszolút páratartalmat és emellett fűteni a teret, például fürdőszobai felhasználás esetén. A jelenleg használatos, magas hatásfokkal üzemelő ún. entalpia-hőcserélőket komplett,

nagyméretű légtechnikai rendszerekben alkalmazzák, így ezek bekerülési költsége a rendszer méretéhez képest igen jelentős [Zhang, L. Z., & Niu, J. L. (2002), Min, J., & Su, M. (2010)]. Jelen tanulmányban funkcionálitása és relatíve alacsony bekerülési és üzemeltetési költsége okán a Peltier-elemet hőszivattyúként alkalmazó légfűtő egység lehetséges kialakítását vizsgáljuk, amely elképzeléshez hasznos adatokkal szolgált Astrain, D., Vián, J. G., & Albizua, J. (2005) cikke.

Egy ilyen kialakítású egységnek mind a hőleadó, mind pedig a hőfelvevő része ugyanazon helyiségben található, így a páralecsapódásból nyert hőmennyiség megjelenik a hőleadó oldalon, ahol hozzáadódik a hőszivattyú működtetéséhez felhasznált villamos energiából nyert hőmennyiséghez. Így tehát a fűtési hatásfoka jobb lehet, mint egy tisztán Joule-hőt hasznosító elektromos fűtőegységnek.

Az általunk tervezni kívánt Peltier-elemes hőszivattyús eszköz ezen kritériumok kielégítésével szolgálná ezt a célt. Ezek a berendezések tehát optimálisan alkalmasak lehetnének kisméretű fűtött terek, például fürdőszobák fűtésére és ezzel egyidejűleg azok levegőjének szárítására. Továbbá például nedves ruhák beltéri szárítására használt helyiségek és pincék légkezelésére is alkalmazhatóak, ahol a szárítás intenzifikálása fontos szempont valamint bármely olyan esetben is, ahol szükségünk lehet száraz, meleg levegőre.

2. A Peltier-elem termoelektromos és hőtani folyamatai

A hőtani és elektromos folyamatok között a termoelektromos jelenségek adnak összefüggést. Ilyenek a Seebeck-, Peltier-, Thomson-hatások, a Joule-féle hő és a tisztán hőtani folyamatok. A termoelektromos jelenségek mind fémekben, mind pedig félvezetőkben felléphetnek. A gyakorlatban inkább a félvezetős kivitel terjedt el jobban, a széles körben alkalmazott Peltier-elemek is félvezetőkkel épülnek fel.

2.1. A Seebeck-hatás

Amennyiben két különböző fémből – azok összekötésével – termoelemet hozunk létre és a fémek közös pontjánál T , különálló végpontjaiknál pedig T_0 a hőmérséklet, úgy a T_0 hőmérsékleten lévő végpontjaik között (U) feszültség mérhető. Ez a Seebeck effektus. A feszültség nagysága függ a $T-T_0$ hőmérsékletkülönbségtől és a felhasznált fémek anyagi minőségétől. Ehhez hasonlóan két különböző szennyezésű félvezetőből is létrehozható termoelem. Az effektusra jellemző α állandó a következőképpen definiálható [fizipedia.bme.hu]:

$$\alpha = \left(\frac{dU}{dT} \right)_{T_0}. \quad (1)$$

2.2. A Peltier-effektus

Ha a Seebeck effektusnál használt összeállításban áram folyik, a közös ponton az áram irányától függően hő szabadul fel, vagy nyelődik el. Ennek egységnyi időre vonatkoztatott hőteljesítménye (P_P) arányos az (I) árammal, miként azt a (2) összefüggés is mutatja:

$$P_p = \frac{dQ}{dt} = \pi \cdot I = \alpha \cdot T \cdot I, \quad (2)$$

ahol a Peltier-együttható: $\pi = \alpha \cdot T$

2.3. A Thomson-effektus

Ha egy homogén vezetőben áram (I) folyik, amelyben az áram irányában dT/dx hőmérséklet gradiens mérhető, hő szabadul fel vagy nyelődik el az áram és a hőmérséklet gradiens irányától, továbbá a vezető anyagától függően. A fejlődő Thomson-hőteljesítmény arányos az áramerősséggel és a hőmérséklet gradienssel:

$$P_T = -\tau \cdot \frac{dT}{dx} \cdot I, \quad (3)$$

továbbá arányos a Thomson-állandóval (τ), amely a hőmérséklettől és a vezető anyagától függő előjeles mennyiség.

2.4. A Joule-hő

Egy elektromos árammal (I) átjárt, R ellenállású vezetőkön hő szabadul fel, amely a (4) összefüggéssel számítható. Ezt a hőt hívjuk Joule-féle hőnek, s számos elektronikai elemben ez felel a veszteségekért, amely veszteségek hőként jelennek meg, így fűtve magukat az elektromos berendezéseket.

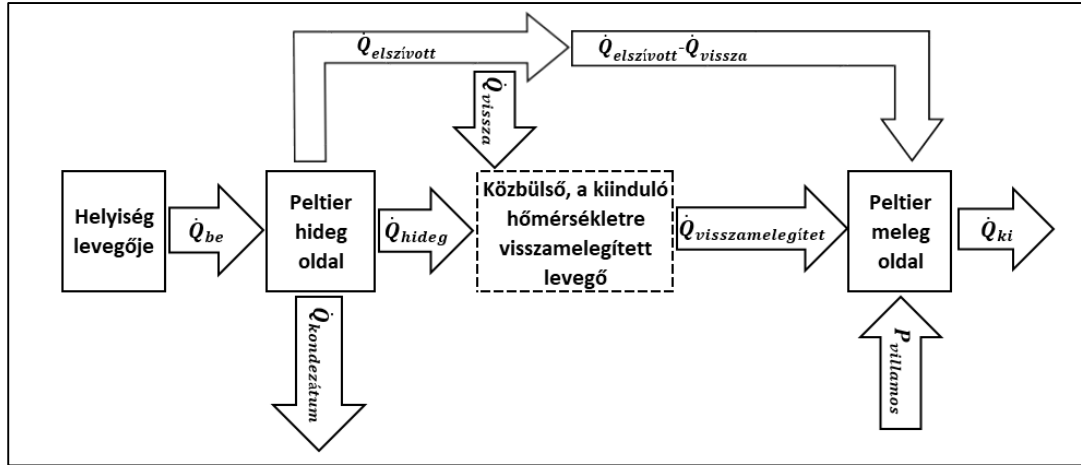
$$P_J = I^2 \cdot R \quad (4)$$

Mivel azonban a villamos energia teljes egészében átalakítható Joule-hővé, ezért az olcsó, villamos ellenálláson alapuló fűtőkészülékek jó közelítéssel 100%-os hatásfokkal alakítják át a bevezetett villamos energiát hőenergiává.

3. A tervezés során alkalmazott hőtechnikai számítások

A következőkben bemutatott hőtechnikai számítások elsődleges célja meghatározni az általunk feltételezett bemeneti paraméterekkel (szoba-állapot) rendelkező nedves levegőből, majd annak a Peltier-elemmel történő lehűtéséből, s ezt követően a bemeneti hőmérsékletre való visszamelegítéséből adódó hőteljesítménykülönbségeket különböző léghparaméter-variációk esetén. E mennyiségekből és az adott paraméterekkel bíró levegőhöz szükséges hűtési teljesítményt biztosító Peltier-elem által felvett villamos teljesítményéből számítható lesz a túlfűtött levegő hőteljesítménye, s ebből pedig az egységet elhagyó száraz levegő hőmérséklete is. Mindezen adatok meghatározása számos rész-számításból tevődik össze. A számítások főbb részeit, azok menetét az *1. ábrán* látható, hőáramokat tartalmazó blokkdiagramon szemléltetjük.

1. ábra: A folyamat blokkdiagramja



Forrás: Szerző saját szerkeztése (2019)

A bemenő levegő paramétereit mi választottuk ki. A kiválasztott értékekhez tartozó egyéb szükséges paramétereket a *CoolPack* nevű hőtechnikai szoftvercsomag segítségével tudtuk felvenni. Az általunk választott bemenő levegő paramétere a következők:

- a levegő hőmérséklete (T_{be}) [$^{\circ}\text{C}$]
- a levegő relatív páratartalma (RH_{be}) [%]
- a légnyomás (p_0) [Pa]
- a szállított levegő térfogatárama (\dot{V}) [m^3/s]

A *CoolPack* ezek alapján megadta a számításhoz szükséges hiányzó mennyiségeket:

- levegő entalpiája ($h_{(1+x),be}$) [J/kg]
- levegő abszolút páratartalma (x_{be}) [kg/kg]
- levegő sűrűsége ($\rho_{nedves,be}$) [kg/m^3]
- harmatpont hőmérséklete (T_h) [$^{\circ}\text{C}$]

E mennyiségek ismeretében számíthatóvá vált többek között a rendszerben átáramló száraz levegő tömegárama ($\dot{m}_{\text{száraz lev.}}$), amely a szállított nedves levegő térfogatáramából és a szoftver által kalkulált abszolút nedvességtartalmából (x_{be}) számítható ki az (5) összefüggés segítségével:

$$\dot{m}_{\text{száraz lev.}} = \dot{V} \cdot \rho_{\text{nedves,be}} \cdot \frac{1}{1+x_{be}}. \quad (5)$$

E mennyiség ismerete nélkülözhetetlen a további hőtechnikai számításokhoz, hiszen számos mennyiség (pl. entalpia) a száraz levegőre van vonatkoztatva, tekintve a tényt, hogy ennek tömegárama állandó a rendszeren való áthaladás során.

Így tehát a vizsgált rendszerbe beáramló levegő hőteljesítménye a (6) összefüggéssel számíthatóvá vált:

$$\dot{Q}_{be} = h_{(1+x),be} \cdot \dot{m}_{sz\acute{a}raz\ lev.} \quad (6)$$

Ezek után a Peltier-elem hidegoldali paramétereit is meg kellett választanunk. A számítások egyszerűsítése végett azt feltételeztük, hogy nincsen hőlépcső a Peltier-elem felülete és az ott áramló levegő között, tehát azok hőmérsékletét azonosra választottuk. A kalkulációink során alkalmazott hidegoldali levegő hőmérséklete ($T_{hideg}=5\text{ °C}$) tehát egy állandó értékre lett beállítva.

A *CoolPack* által a bemenő levegő adatai, továbbá a lehűtött levegő hőmérséklete alapján a következő adatokat nyertük ki a programból:

- a lehűtött levegő entalpiája ($h_{(1+x)hideg}$) [J/kg]
- a lehűtött levegő abszolút páratartalma (x_{hideg}) [kg/kg]
- a lehűtött levegő sűrűsége ($\rho_{nedves\ hideg}$) [kg/m³]
- a lehűtött levegő relatív páratartalma (RH_{hideg}) [%]

A hűtés során, a hideg felületen lecsapódott kondenzátum által a rendszerből kivett hőteljesítmény is számítható lett, ismerve az 5 °C-hoz tartozó víz állandó nyomáson vett fajhőjét (c_{pf}) és a kondenzátum tömegáramát. A kicsöpögő folyadék tömegárama ($\dot{m}_{lecsapódott\ víz}$) a bemeneti és a hidegoldali levegő abszolút páratartalmaiból adódó különbségből számítható a (7) összefüggéssel:

$$\dot{m}_{lecsapódott\ víz} = (x_{be} - x_{hideg}) \cdot \dot{m}_{sz\acute{a}raz\ lev.} \quad (7)$$

továbbá ennek ismeretében a (8) összefüggéssel számítható a rendszerből a kondenzátummal távozó hőáram:

$$\dot{Q}_{kondenzátum} = T_{hideg} \cdot c_{pf} \cdot \dot{m}_{lecsapódott\ víz} \quad (8)$$

A kondenzálódó folyadék által a rendszerből elvitt hőáramot összevetve a rendszer egyéb hőáramaival belátható volt, hogy az az arányát tekintve elhanyagolhatóan kicsiny értéket képvisel. A hűtőfelületen lehűlt és nedvességtartalmából vesztett levegő jellemzőit figyelembe véve a (9) összefüggéssel meghatároztuk a hűtött levegő hőáramát, amely annak későbbi visszafűtéséhez szükséges teljesítményigény számításához volt elengedhetetlen:

$$\dot{Q}_{hideg} = h_{(1+x)hideg} \cdot \dot{m}_{sz\acute{a}raz\ lev.} \quad (9)$$

A kezdeti (T_{be}) hőmérsékletre való visszafűtéshez szükséges hőteljesítmény számítható a száraz levegő tömegáramából és a bemeneti hőmérsékletű, de csökkent abszolút páratartalmú levegő entalpiájának és az azonos abszolút páratartalmú hidegoldali levegő entalpiájának különbségéből. Először a *CoolPack* segítségével meghatároztuk a T_{be} hőmérsékletű, a kondenzáció miatt az eredetihez képest csökkent, x_{hideg} abszolút páratartalmú levegő fajlagos entalpiáját ($h_{1+x,visszamelegített}$). A rendszeren keresztül végig állandó értékű száraz levegő tömegárama, továbbá a

hidegoldali és a visszamelegített levegő entalpiájának különbségéből megkapjuk a visszafűtéshez szükséges hőáramot:

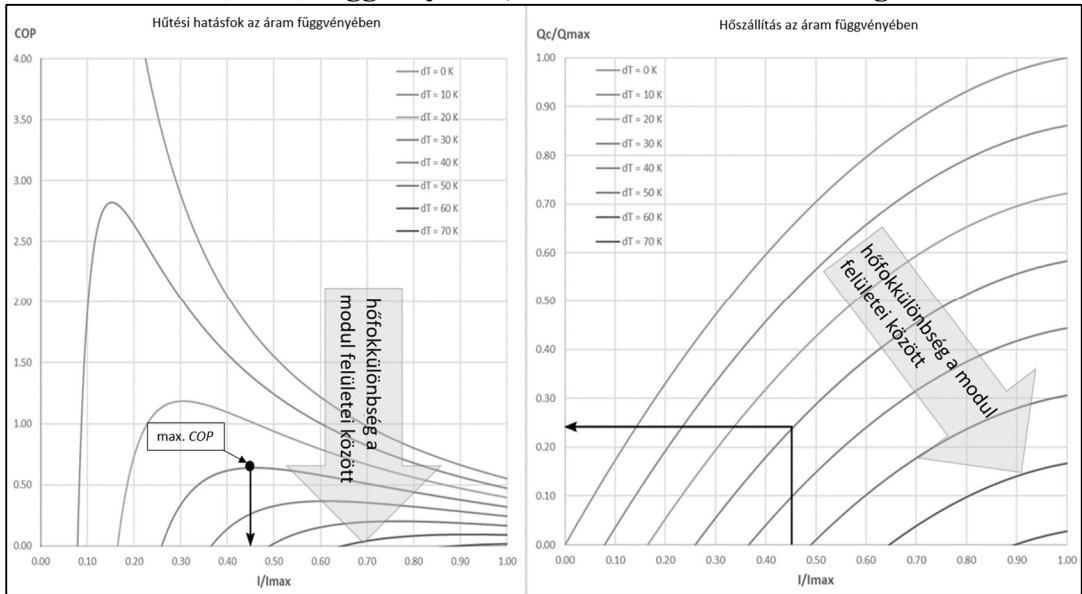
$$\dot{Q}_{vissza} = \Delta h_{1+x} \cdot \dot{m}_{száraz\ lev.} \quad (10)$$

A Peltier-elem által a hideg oldalról annak meleg oldalára átpumpált hőáram nagysága az előzőekben kalkulált mennyiségek alapján meghatározható:

$$\dot{Q}_{elszívott} = \dot{Q}_{be} - \dot{Q}_{hideg} \quad (11)$$

A Peltier-elem által elszállítandó hőáram tehát ismertté vált. Ahhoz, hogy a hőszivattyú megfelelő hatásfokkal üzemelhesen, tehát a modul által felvett villamos teljesítmény összemérhető legyen az általa átpumpált hőárammal, számításaink során annak meleg és hideg oldala közötti hőfokkülönbséget $\Delta T=30\text{ °C}$ -nak feltételeztük. Ehhez a hőfokkülönbséghez a Peltier-modul gyártója által szolgáltatott diagramok alapján meghatározható az elérhető legmagasabb hűtési hatásfokhoz (COP) tartozó relatív áramérték (III_{max}), majd ebből pedig a modul által felvett villamos teljesítmény ($P_{villamos}$). A levegő hűtésekor elszállított hőáram és Peltier-elem által – annak működéséhez – felvett villamos teljesítmény összegeként adódik a meleg oldalon a lehűtött levegőnek átadott hőáram, amely tehát az egységet elhagyó levegő hőmérséklet fogja növelni. Az általunk kiválasztott ΔT hőmérséklethez a modul karakterisztikái (2. ábra) alapján láthatjuk, hogy a legnagyobb COP érték 0,6-re adódik, ami egyben meghatározza a relatív üzemi áram értéket is: $III_{max}=0,45$. Ez a későbbi tervezés során elengedhetetlenül fontos lesz, hiszen az ebből kalkulált modul-teljesítmény alapján határozható meg az adott légáram fűtéséhez szükséges Peltier-modulok száma, továbbá az azokhoz szükséges elektronikus vezérlőegység típusa is.

2. ábra: A Peltier-modul hűtési hatásfoka és hőszállítása a felvett relatív áramának (I/I_{\max}) függvényében, különböző hőfokkülönbségek esetén



Forrás: www.meerstetter.ch

A kiinduló hőmérsékletre visszamelegített (szárazabb) levegő hőárama annak entalpiájából és a száraz levegő tömegáramából adódik:

$$\dot{Q}_{\text{visszamelegített}} = h_{1+x,\text{visszamelegített}} \cdot \dot{m}_{\text{száraz lev.}} \quad (12)$$

A Peltier-elem által elszívott hőáramtól ($\dot{Q}_{\text{elszívott}}$) kisebb mennyiség szükséges ahhoz, hogy az a kezdeti hőmérsékletre visszafűtse a kisebb abszolút páratartalmú hideg levegőt, mivel annak entalpiája kisebb az azonos hőmérsékletű, de párásabb levegőétől. Ebből az következik, hogy az itt fennmaradt hőáram már a kimeneti levegő további fűtésére fordítható, azaz a levegő páratartalmának csökkentése közvetve annak melegítésére használható fel.

A berendezésben a lehűtött levegőt a belépő hőfokára visszafűtő, majd azt tovább melegítő $\dot{Q}_{\text{fűtés}}$ hőáram jó közelítéssel megegyezik a modul által elszívott hőáram és a felvett villamos teljesítmény összegével:

$$\dot{Q}_{\text{fűtés}} = P_{\text{villamos}} + \dot{Q}_{\text{elszívott}} \quad (13)$$

A villamos fűtés teljesítménye pedig egyszerűen adódik a felvett villamos teljesítményből, hiszen a dolgozat elején tárgyaltak alapján Joule-hőről beszélhetünk:

$$P_{\text{villamos}} = U \cdot I \quad (14)$$

A Peltier elemek üzemi árama, valamint üzemi feszültsége az elszívni kívánt hőteljesítmény nagyságától és egyéb, általunk tartani kívánt paramétertől függően a Peltier elemhez tartozó karakterisztikákból meghatározható, illetve számítható.

Mivel ismert a lehűtött levegő hőárama (\dot{Q}_{hideg}), továbbá az azt fűtő $\dot{Q}_{fűtés}$ is, így kiszámítható az egységből kilépő fűtött levegő teljes hőárama:

$$\dot{Q}_{ki} = \dot{Q}_{hideg} + \dot{Q}_{fűtés} \quad (15)$$

Mivel ismert a berendezésen átáramló száraz levegő tömegárama, így meghatározható az egységet elhagyó fűtött, nedves levegő entalpiája (h_{ki}), amelyből a hőtechnikai programcsomag segítségével megkapjuk a fűtött levegő hőmérsékletét:

$$h_{ki} = \frac{\dot{Q}_{ki}}{\dot{m}_{száraz\ lev.}} \quad (16)$$

Ez a hőmérséklet a különböző paraméter-variációk esetén több esetben is meghaladta a számításaink során rögzített ΔT hőfokkülönbségből adódó kimeneti léghőmérsékletet, tehát a Peltier-modul ilyen esetben nem tud az általunk feltételezett üzemállapotban működni. Ahhoz, hogy ezt a problémát kiküszöböljük, ötletként felmerült másodlagos hűtési levegő alkalmazása a modul hőleadó oldalánál. A megfelelő mennyiségű másodlagos levegő segítségével így tehát tartható a számításokhoz használt hőfokkülönbség.

Ahhoz, hogy a berendezés fűtési hatásfokát számítani lehessen, azt először is definiálnunk kellett, amelyet a (17) összefüggés ad meg:

$$\eta_{fűtési} = \frac{P_{villamos} + \dot{Q}_{extra}}{P_{villamos}}, \quad (17)$$

ahol \dot{Q}_{extra} az a fennmaradó hőáram, amely a belépő levegő lehűtésekor felszabaduló hő és a levegő T_{be} hőfokra való visszafűtéséhez szükséges hőáram különbsége, amely párakicsapódás esetén pozitív értékű:

$$\dot{Q}_{extra} = \dot{Q}_{be} - \dot{Q}_{vissza} \quad (18)$$

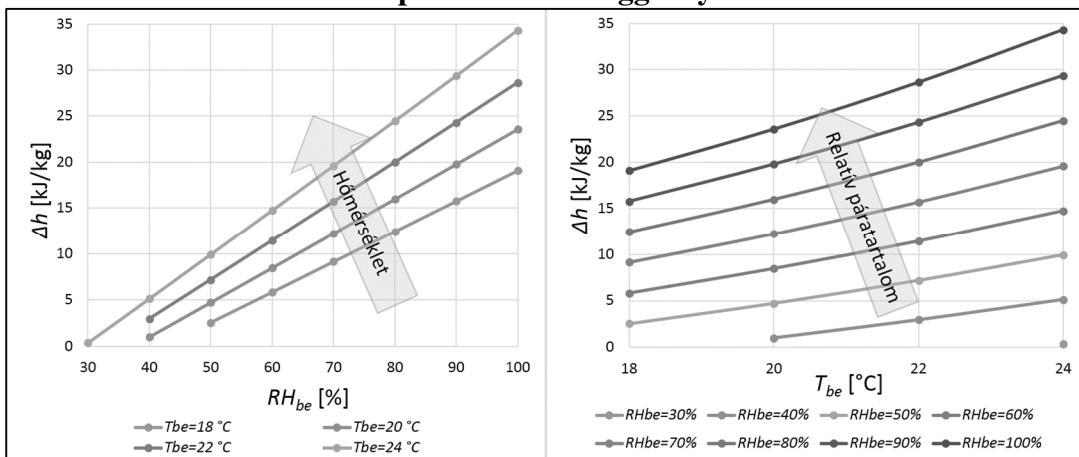
Az előzőekben bemutatott számításokat több különböző bemeneti hőmérsékletű és páratartalmú levegő esetében is elvégeztük: $T_{be} = \{18, 20, 22, 24 \text{ °C}\}$, továbbá $RH_{be} = \{10, 20, 30 \dots 100\%\}$. Mindegyik esetben $p_0 = 101.330 \text{ Pa}$ -os légköri nyomást feltételeztünk, továbbá az egyes hőáramok és teljesítmények számíthatóságához $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ bemeneti nedves levegő térfogatárammal kalkuláltunk. A különböző légállapot-variációk esetén kapott eredményeket diagramokon ábrázoltuk, amelyeket a következőkben mutatunk be.

4. Az eredmények alapján szerkesztett diagramok kiértékelése

A berendezés elsődleges célja az, hogy a helyiségben található levegő páratartalmának csökkentése mellett egyúttal minél jobb hatásfokkal növelje a levegő hőmérsékletét. Ennek meghatározásához megvizsgáltuk azt, hogy a különböző légállapototok esetén hogyan változik a levegő entalpiája, továbbá az előzőekben definiált fűtési hatások.

Mivel az elsőként lehűtött, majd aztán a belépő hőfokra visszamelegített levegő páratartalma – a belépő légállapot függvényében – a harmatponti hőmérséklet elérése miatt a legtöbb esetben csökkent, ezért annak adott hőmérsékletre tartozó fajlagos entalpiája is csökkent. Ebből következik, hogy az állandónak tekinthető száraz levegő tömegáram esetén a nagyobb nedves és a száraz levegő entalpiakülönbsége lesz az a mennyiség, amely okán a Peltier-modul hőleadó oldalára átszállított hőáram miatt magasabb hőfokra fog felmelegedni a szárazabb levegő, mint a belépési hőmérséklete volt. Érdekes tehát elemezni azt, hogy milyen entalpiakülönbségek tartoznak az egyes bemeneti léghőmérsékletekhez és páratartalmakhoz, amennyiben rögzített hidegoldali hőmérsékletre hűtjük le a levegőt, s ennek megfelelően veszít a páratartalmából. A 3. ábra a nedves és a száraz levegő entalpiakülönbségét (Δh) szemlélteti abban az esetben, amikor az általunk választott $T_{hideg}=5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hőmérsékletre hűtjük le a levegőt, majd onnan melegítjük vissza a kezdeti hőfokra. A bal oldali diagram állandó, de különböző bemeneti hőmérsékletek mellett szemlélteti az entalpiakülönbség-változását a relatív páratartalom függvényében, miközben a jobb oldali diagramon az állandó relatív páratartalomhoz tartozó entalpiakülönbség-görbék alakulása látható a hőmérséklet függvényében.

3. ábra: A páracskökkentéssel nyert extra entalpia értéke a hőmérséklet, és a relatív páratartalom függvényében



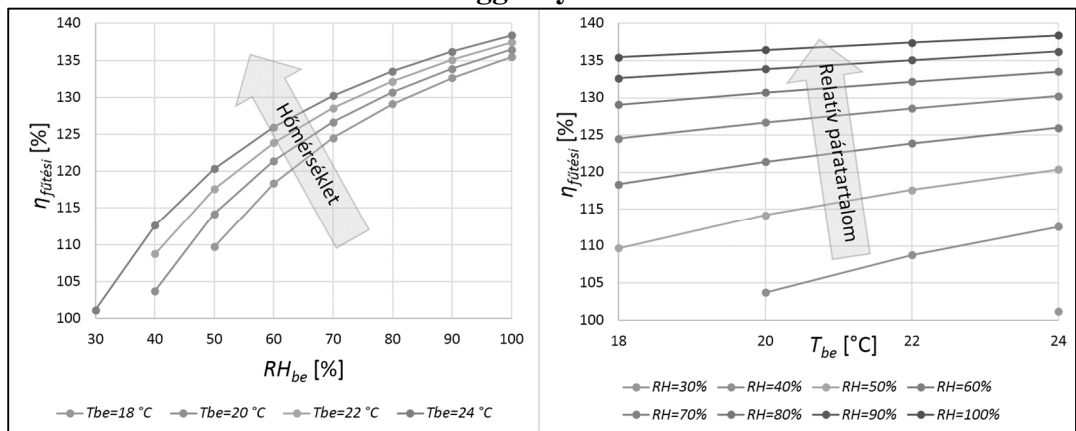
Forrás: Szerző saját szerkeztese (2019)

A 3. ábra diagramjai alapján látható, hogy a nagyobb entalpiakülönbségek (tehát a berendezés hatékonyabb működése) a magasabb páratartalmú, és/vagy a magasabb hőmérsékletű levegő esetén várhatók. Ennek oka az ilyen állapotú levegő nagyobb nedvességtartalma, amely nagyobb mennyiségű kondenzátumot eredményez a

lehűtések, így tehát szignifikánsabb különbség alakul ki a páras és a szárított levegő nedvességtartalmának, s így entalpiájának különbségben. A vizsgált 30%-os relatív páratartalmú és 24 °C-os hőmérsékletű levegő esetén közel zérus entalpiakülönbség adódott. Ennek magyarázata az, hogy az ilyen paraméterekkel rendelkező levegő 5 °C-ra való lehűtések a párakicsapódás közel zérus (mivel a harmatponti hőmérséklete 5,38 °C), tehát nem változott az abszolút páratartalma, így tehát visszamelegítés után az entalpiája sem térhetett el az eredetitől.

A fűtési hatások (17) összefüggése alapján annak számításához szükséges a Peltier-modul által felvett villamos teljesítmény ($P_{villamos}$). Ennek értéke a bemeneti levegőnek az általunk megkívánt $T_{hideg}=5$ °C-ra történő lehűtéshez szükséges hűtési teljesítmény és a modul adott üzemállapotához tartozó COP értékből számítható. A (17) összefüggés számlálójában lévő extra hőáram (\dot{Q}_{extra}) pedig a száraz levegő tömegáramának és az előzőekben bemutatott entalpiakülönbségnek a szorzatából számítható. A vizsgált paraméter-kombinációkhoz tartozó hatásfokértékeket a 4. ábra szemlélteti: a bal oldali diagramon ábrázolt görbék egy-egy adott bemeneti léghőmérsékletre tartoznak, a jobb oldali diagramon pedig az azonos relatív páratartalmú esetek görbéi láthatók.

4. ábra: A fűtési hatások a hőmérséklet és a relatív páratartalom függvényében



Forrás: Szerző saját szerkeztése (2019)

A diagramok alapján több fontos megállapítás is tehető. Megfigyelhető, hogy a vizsgált paramétervariációk rendre 100%-tól nagyobb hatásfokú üzemet eredményeztek, amely hatásfok a 100%-os relatív páratartalmú és legmelegebb esetben elérte az igen jelentős 138%-os értéket. Ebben az esetben tehát egységnyi villamos energia felhasználásával 1,38 egységnyi hő fog arra fordítódni, hogy a már bemeneti hőmérsékletre visszafűtött, de alacsonyabb páratartalmú levegő hőmérsékletét növelje. Mivel azonban ez a levegő szárazabb, így kisebb a fajlagos entalpiája, tehát adott mennyiségű hővel magasabb hőfokra melegíthető fel, amely tehát ennek a berendezésnek további előnye. Megfigyelhető az is, hogy a hatásfok szempontjából legrosszabb eset is 100%-os érték felett adódott (ez esetben elhanyagolható mértékű volt a párakicsapódás a hűtési hőfokon), így tehát ekkor

csupán a villamos teljesítmény alakul át hővé, s fűti a levegőt. Szembetűnő, hogy a hatásfok erősen függ a levegő páratartalmától állandó hőmérséklet esetén (bal oldali diagram), azonban kevésbé függ a levegő hőmérsékletétől abban az esetben, amikor annak relatív páratartalma állandó értékű. Mindezek alapján tehát belátható az, hogy egy ilyen készülék olyan környezetben alkalmazható a legjobb hatásfokkal, ahol a páratartalom közel 100%-os, továbbá a levegő hőmérséklete is magas. Például zárt térben, magas hőfokon történő szárításhoz kifejezetten alkalmas lehet az eszköz, mivel ilyenkor a magasabb hőfokú levegő nagyobb mennyiségű párát képes felvenni, amely aztán a berendezésben lekondenzálódik, s hőjét a levegő jó hatásfokú fűtésére és szárítására használja fel.

5. Következtetések

A dolgozatban bemutatott számításokon alapuló meggyőző eredmények alapján belátható, hogy az eszköz érdemes lenne továbbfejlesztésre, tervezésre, a prototípusának elkészítésére és ezt követően annak klímakamrában történő mérésére. Ehhez azonban a későbbiekben pontosabb, egyéb hatásokat is figyelembe vevő összefüggésekkel kell számolni, hogy a számításaink minél pontosabb, a valóságoshoz közeli eredményeket adhassanak. Miként azt a dolgozatban is jeleztük, a hűtési és fűtési felületeknél kialakuló hőfoklépcsőkkel nem számoltunk, továbbá a visszafűtéskor a Peltier-modul hőfokkülönbségének tartásához extra légáramra van szükség, amely további fejlesztési irányokat jelöl ki. Továbbá fontos megoldani a modulok megfelelő vezérlésének problémáját is, amely az üzem közben elérhető legmagasabb hatásfokú működést garantálná.

Köszönetnyilvánítás

Az ismertetett kutatómunka az EFOP-3.6.1-16-00011 jelű „Fiatalodó és Megújuló Egyetem – Innovatív Tudásváros – a Miskolci Egyetem intelligens szakosodást szolgáló intézményi fejlesztése” projekt részeként – a Széchenyi 2020 keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

- Min, J., & Su, M. (2010). Performance analysis of a membrane-based enthalpy exchanger: effects of the membrane properties on the exchanger performance. *Journal of Membrane Science*, 348(1-2), 376-382.
- Zhang, L. Z., & Niu, J. L. (2002). Effectiveness correlations for heat and moisture transfer processes in an enthalpy exchanger with membrane cores. *Journal of Heat Transfer*, 124(5), 922-929.
- Astrain, D., Vián, J. G., & Albizua, J. (2005). Computational model for refrigerators based on Peltier effect application. *Applied Thermal Engineering*, 25(17-18), 3149-3162.
- https://fizipedia.bme.hu/index.php/F%C3%A9lvezet%C5%91_termoelem_%C3%A9s_Peltier-elem_vizsg%C3%A1lata?fbclid=IwAR3RajO89p3qNLHS6IvfHU7f3lhTw1GJBz9cAeV8AGQAgVU3SBL2bAoymNI (2019.03.15.)
- <https://www.meerstetter.ch/compendium/tec-peltier-element-design-guide> (2019.03.15.)

FORGÁSSZIMMETRIKUS SZABAD LEVEGŐSUGÁR TURBULENS JELLEMZŐINEK KÍSÉRLETI ÉS NUMERIKUS VIZSGÁLATA

Szabó Szilárd – Bolló Betti – Baranyi László – Tollár Sándor – Szaszák Norbert

Absztrakt: A szakirodalomban vizsgált szabad folyadék- és gázsugarak a legkülönbözőbb átmérőjű, kialakítású és geometriai helyzetű fúvókákon érkeznek a szabadba. A kiömlési keresztmetszetre jellemző Reynolds szám is igen különböző. Amiben a közlemények megegyeznek, az az, hogy a szabad sugár áramlási jellemzőit, úgy, mint a sebességeloszlást és a turbulenciát jellemző mennyiségeket dimenziótlanítva, hasonlósági tulajdonságokat mutatnak ki. Jelen dolgozatban megvizsgáljuk, hogy e hasonlóságok igazak-e egy speciális fúvóka esetén, ahol három irányból érkező levegősugár egy keverőtérben egyesül és így hagyja el a fúvókát. A vizsgálatok párhuzamosan folytak laboratóriumi sebességmérésekkel (Constant Temperature Anemometry, CTA) és numerikus szimulációval (ANSYS-FLUENT). A mérési és a számítási eredményeket összevetettük és kellő egyezést találtunk. Továbbá eredményeinket összehasonlítottuk a szakirodalomban található, más fúvókákra és más körülmények között végzett mérések eredményeivel.

Abstract: Axisymmetric liquid and gas jets have been investigated in the literature issuing from nozzles of different diameters and different geometry. Reynolds numbers (calculated from the parameters at the exit of the nozzle) are also usually very different. What is common in these papers is that the dimensionless velocity distributions and turbulence properties in the axisymmetric jet show self-similar features some distance downstream of the nozzle. In this paper, we investigate whether these self-similar features are held for a special nozzle where three jets of different directions are merged and mixed in a chamber before leaving the nozzle. Experimental velocity measurements (by constant temperature anemometry, CTA) and numerical simulations (by ANSYS Fluent) were carried out simultaneously. Computational and experimental results showed satisfactory agreement. Our results also compared reasonably well with those in the literature, considering that they are based on different nozzles and different flow conditions.

Kulcsszavak: forgásszimmetrikus levegősugár, turbulencia, CTA, Ansys FLUENT

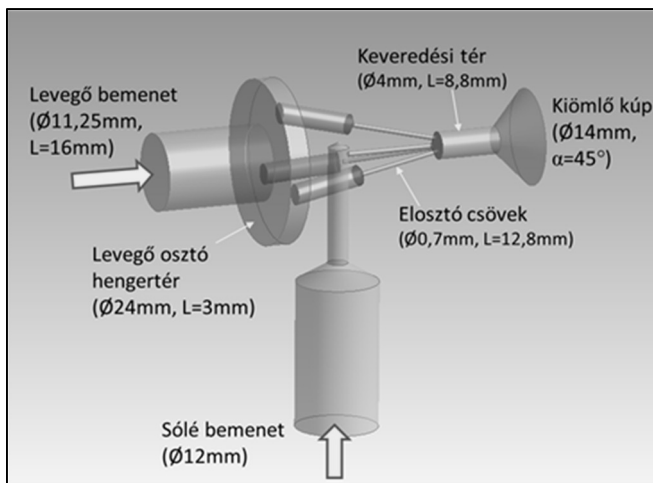
Keywords: axisymmetric air jet, turbulence, CTA, ANSYS Fluent

1. Bevezetés

A vizsgálat tárgya egy speciális fúvóka, amely kompresszor levegő (primer közeg) működtetésével sólevet (szekunder közeg) szállít. Az áramlási járatokat és a főbb geometriai jellemzőket az *1. ábrán* tüntettük fel. A folyamat részletes megismeréséhez a primer levegő áramlását vizsgáltuk a szekunder sugár útjának lezárásával. A következőkben erről számolunk be. A levegő három irányból 0,7 mm átmérőjű csöveken a 4 mm átmérőjű keveredési térbe érkezik, amelyből egy nagy kúpszögű nyíláson áramlik a szabadba.

A kitűzött célunk a fúvókából kilépő levegősugár áramlási adatainak, különös tekintettel a turbulenciát jellemző mennyiségeknek a meghatározása volt. A vizsgálatokat laboratóriumi és numerikus modellezéssel végeztük. A mérésekkel párhuzamosan, azokkal azonos körülmények közötti numerikus szimulációt hajtottunk végre a mozgás- és turbulencia paraméterek meghatározására. A mérési és számítási eredmények validálása után lehetőség lesz a numerikus modellekkel további fúvókák tervezésére.

1. ábra: A vizsgált fúvóka áramlási terei



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

2. Irodalmi áttekintés

A turbulens forgásszimmetrikus összenyomhatatlan vagy összenyomható folyadéksugár vizsgálatával gyakorlati fontossága miatt igen sok kutatócsoport foglalkozott. Reichardt (1942) igazolta, hogy a szabadsugarokban a fúvóka előtti különböző síkokban a dimenziótlan sebességeloszlások egymáshoz hasonlóak. Wygnanski és Fiedler (1969) kísérleti vizsgálatai során egy vízszintes tengelyű levegősugár jellemzőit Pitot-csővel és olyan hődrótos anemométerrel mérte, ahol a drót hőmérsékletét energia-betáplálással állandó értéken tartották. A korábbi vonatkozó vizsgálatokkal szemben ők linearizált állandó hőmérsékletű (CTA) hődrótos anemométert használtak annak kiderítésére, hogy a sebességprofilok és a turbulens jellemzők hasonlósága a fúvóka kilépő keresztmetszetétől mért milyen távolságban teljesülnek. A sebességeloszlás időátlagára vonatkozó eredményeik jó egyezést mutatnak Hinze és Van Der Hegge Zijnen (1949) eredményeivel. A fúvókából kilépő sugár sebessége többnyire 51 m/s volt, a fúvókából kilépő levegő sebességén, a fúvóka átmérőjén és a közeg kinematikai viszkozitási tényezőjén alapuló Re Reynolds-szám 10^5 nagyságrendű volt, a fúvóka átmérője pedig $D=1,04$ inch (26,416 mm) volt. A levegősugár hőmérsékletét 1 °F ($0,556\text{ °C}$) pontosságon belül állandó értéken tartották és a kilépő sugár turbulencia ingadozása $0,1\%$ alatt volt. A mérés precizitására jellemző, hogy a levegőből eltávolították a $0,04\text{ }\mu\text{m}$ átmérőjűnél nagyobb porszemeket is. Bár azóta a mérési technikák jelentősen fejlődtek, Wygnanski és Fiedler (1969) eredményeit ma is elsőszeretettel használják a szerzők saját mérési és számítási eredményeik validálására.

Panchapakesan és Lumley (1993) álló levegőbe érkező, függőlegesen felfelé áramló, forgásszimmetrikus levegősugárra vonatkozó nagy pontosságú kísérleti kutatás eredményeit mutatja be. A $6,1\text{ mm}$ átmérőjű fúvókából kilépő levegő sebességeloszlása homogénnek tekinthető (angolul „top-hat” sebességprofil), és a fúvóka kilépő keresztmetszetében lévő áramlás jellemzőin alapuló Reynolds-szám

$Re=11000$. A kísérleti berendezés kialakításánál ügyeltek arra, hogy minimális legyen az áramlási tér megzavarása és a hőmérséklet változása. A fúvókából kilépő levegősugár sebességét 0,05%-os pontossággal tudták állandó értéken tartani, és ugyanott a turbulencia intenzitása mindössze 0,01% volt. A hődrótos anemométerrel mért három irányú sebességingadozásra, a Reynolds sebességre, a turbulens kinetikus energiára, illetve annak disszipációjára vonatkozó másod-, harmad- és negyedrendű korrelációkat tartalmazó mérési eredményeiket összehasonlítva Capp és szerzőtársai (1990), Rodi (1975) és Wagnanski és Fiedler (1969) eredményeivel, jó egyezést tapasztaltak. Az általuk nyert magasabb rendű korrelációk előnyösen felhasználhatók a turbulenciamodellek továbbfejlesztésére.

Mi és szerzőtársai (2001) dolgozatukban azt vizsgálják, hogy a fúvókából kilépő sebességprofil alakjának milyen hatása van a dimenziótlan átlagsebesség és egyéb turbulens jellemző eloszlások hasonlóságainak kialakulására. Az egyik vizsgált eset a homogén sebességeloszlás (angolul „top-hat”), a másik pedig a teljesen kialakult csőáramlás sebességprofilja. Az $Re=16000$ Reynolds-szám esetén végrehajtott kísérleti vizsgálat során kimutatták, hogy a fúvóka közelében a két kilépő sebességprofil esetén jelentősen különböznek egymástól a dimenziótlan jellemzők. Ez a tanulmány alátámasztja George (1989) vizsgálati eredményeit abban, hogy a kilépő sebességprofil a teljes áramlási teret befolyásolja, és abban is, hogy az eloszlások hasonlósága csak a fúvókától távolabb lehetséges.

A kísérleti tanulmányok mellett számos numerikus vizsgálat is létezik a forgásszimmetrikus folyadéksugarak tulajdonságainak vizsgálatára. Ezek egyik jelentős példája Boersma és szerzőtársai (1998) dolgozata, amelyben direkt numerikus szimuláció (DNS) felhasználásával számítják a fúvókából nyugalomban lévő közegbe függőlegesen kilépő osszenyomhatatlan közeg áramlási viszonyait $Re=2400$ Reynolds-szám esetén. A szerzők a Navier-Stokes mozgásegyenletet és a kontinuitási egyenletet numerikus diszkrétizáció alkalmazásával, turbulencia modellek alkalmazása nélkül oldják meg. Számítási eredményeiket más szerzők (például Wagnanski és Fiedler, 1969) Panchapakesan és Lumley, 1993) mérési eredményeivel összehasonlítva jó egyezést találtak.

Fukushima és szerzőtársai (2002) a forgásszimmetrikus szabad sugarakban lévő szennyezőanyag terjedésének kísérleti vizsgálatával foglalkoznak $Re=2000$ Reynolds-szám esetén. A vízcsatornában végzett vizsgálatához a PIV (Particle Image Velocimetry) és a LIF (Laser Induced Fluorescence) módszerek kombinációját használják. A fúvókától távolabb (a d fúvókaátmérő (30-60)-szoros tartományában) egy dimenziótlan sugár függvényében ábrázolva a mennyiségeket, azok eloszlásai a fúvókától mért távolságtól függetlenül egyetlen görbére estek, azaz a különböző keresztmetszetekben mért eloszlások egymáshoz hasonlóak. Mérési eredményeiket saját direkt numerikus szimulációs számítási (DNS) eredményeikkel és más szerzők kísérleti eredményeivel is összehasonlították és nagyon jó egyezést találtak.

Jelen dolgozatban azt kívánjuk megvizsgálni, hogy a fúvóka után, a különböző távolságokban lévő keresztmetszetekben fennáll-e a dimenziótlan turbulencia jellemzők hasonlósága egy olyan speciális fúvóka esetén, ahol a három irányból érkező levegősugár egy keverőtérben egyesül és így hagyja el a fúvókát.

3. A vizsgált mozgásjellemzők

Amennyiben az áramlási tér egy pontjában n darab sebességmérést végzünk a v sebesség mindhárom (v_x , v_y , v_z) komponensének meghatározására, akkor a mérési eredményekből az adott pontban az alábbi mozgásjellemzőket tudjuk kiszámítani:

A sebességértékek tekintetében:

- A sebességkomponensek átlagértékei:

$$\begin{aligned} v_{x,mean} &= \bar{v}_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{x,i}, & v_{y,mean} &= \bar{v}_y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{y,i}, \\ v_{z,mean} &= \bar{v}_z = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{z,i}. \end{aligned} \quad (1)$$

- A sebességkomponensek ingadozásai:

$$v'_{x,i} = v_{x,i} - \bar{v}_x, \quad v'_{y,i} = v_{y,i} - \bar{v}_y, \quad v'_{z,i} = v_{z,i} - \bar{v}_z. \quad (2)$$

- A sebességingadozások átlagértékei:

$$\bar{v}'_x = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v'_{x,i}, \quad \bar{v}'_y = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v'_{y,i}, \quad \bar{v}'_z = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v'_{z,i}. \quad (3)$$

- A sebességkomponensek szórásai, egyben az ingadozások négyzetes középértékei (rms):

$$\begin{aligned} \sigma_x &= v'_{x,rms} = \sqrt{v_x'^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{x,i}'^2}, \\ \sigma_y &= v'_{y,rms} = \sqrt{v_y'^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{y,i}'^2}, \\ \sigma_z &= v'_{z,rms} = \sqrt{v_z'^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n v_{z,i}'^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

- A sebesség átlagértéke:

$$v_{mean} = \sqrt{v_{x,mean}^2 + v_{y,mean}^2 + v_{z,mean}^2}. \quad (5)$$

Az áramlás turbulencia jellemzői közül:

- A fajlagos turbulens kinetikus energia [J/kg]:

$$k = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2) = \frac{1}{2} \cdot (\overline{v_x'^2} + \overline{v_y'^2} + \overline{v_z'^2}). \quad (6)$$

- A turbulens sebesség lépték [m/s]:

$$v' = \sqrt{k}. \quad (7)$$

- A turbulencia fok:

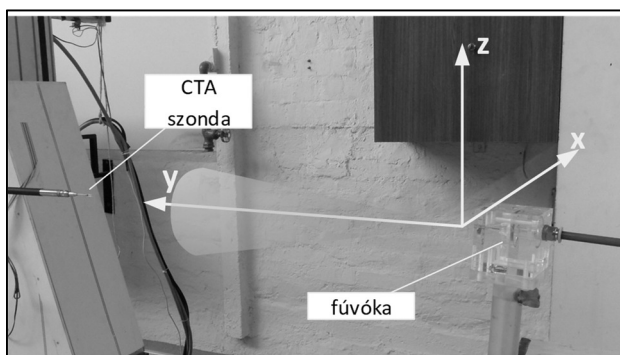
$$T_u = \frac{1}{v_{mean}} \cdot \sqrt{\frac{1}{3} \cdot (\overline{v_x'^2} + \overline{v_y'^2} + \overline{v_z'^2})}. \quad (8)$$

A méréseink és numerikus vizsgálataink során a fúvókából kilépő szabadsugárban e mennyiségek meghatározására helyeztük a hangsúlyt.

4. A mérési elrendezés

Méréseink során a hődrótos mérés technikát (HWA), azon belül pedig az állandó hőmérsékletű légsebességmérő technikát (CTA) alkalmaztuk annak előnyös tulajdonságai miatt: alacsony zaj/jel arány, több kHz-es mintavételi frekvencia. A szonda pozicionálásához 3 tengelyű traverz-rendszert használtunk, amellyel 0,1 mm-es térbeli felbontás is elérhető. A méréseket 2 dimenziós (két sebességkomponenst mérő) ún. szál-film szondával végeztük, 200 Hz-es mintavételezési frekvenciával, amivel pontonként 1000 pillanatnyi sebesség-komponens értéket rögzítettünk. Az alkalmazott StreamWare nevű CTA mérés technikai programból az időátlagolt sebességértékeket exportáltuk az egyes mérési pontok helykoordinátái szerint rendezve. Az adatok feldolgozása Excel-ben történt. A mérési elrendezést az alkalmazott koordináta rendszerrel a 2. ábra mutatja.

2. ábra: A fúvóka és a mérőszonda elhelyezése



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A fúvókához a levegőt egy kompresszor szolgáltatja, a kompresszor és a fúvóka között egy nyomásszabályozó került beépítésre, amellyel konstans p_k működtető nyomás volt beállítható.

A szélesebb körű analízis céljából a működtető nyomás hatását is vizsgáltuk $p_k = 1,5$ bar, $2,0$ bar és $2,5$ bar értékek esetén.

A vizsgálatok során két sebességkomponens mérése történt; egyrészt a légsugár tengelyének irányában (y koordináta), másrészt arra merőlegesen (x koordináta). A vizsgálat során három mérési sorozat készült:

- a légsugár tengelyében, a fúvókától távolodva ($y=20$ mm-től $y=600$ mm-ig) a sebességcsökkenés detektálása;
- a fúvókától 200, 400 és 600 mm távolságra a vízszintes tengelysíkban, kereszt irányban (x irányban) sebességprofil mérések;
- a fúvókától 20, 100, 200, 300, 400, 500 és 600 mm távolságokban a függőleges tengelysíkban (z irányban), sebességprofil mérések.

5. A numerikus szimuláció felépítése

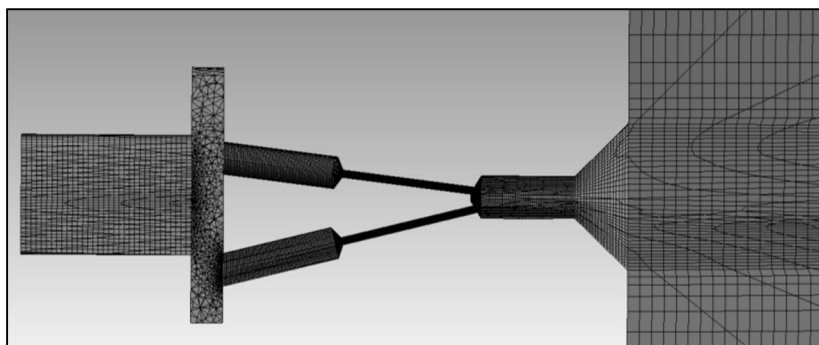
A fúvókában és az azt követő térrészben kialakuló áramlás modellezésére az Ansys-FLUENT programrendszer platformján készítettük el a modellt. A vizsgált térrész felépítése: egy hengeres kialakítású ($\text{Ø}80 \times 140$ mm) térrészen érkezik a levegő a fúvókához, amelyen az keresztülhalad, majd a fúvókát elhagyó levegő vizsgálatára (a mérések adatait már figyelembe véve) egy $\text{Ø}500 \times 800$ mm méretű hengeres térrészt alakítottunk ki.

A kialakított térrészt különböző típusú és elemszámú (1,9–3,5 millió cella) háló esetén megvizsgáltuk. Az érzékenységvizsgálat másik elemeként az időlépést változtattuk: $\Delta t=5 \cdot 10^{-3}$ s, 10^{-3} s, $5 \cdot 10^{-4}$ s és 10^{-4} s. Vizsgáltuk továbbá a turbulencia modellek hatását is.

A számításaink során - a szakirodalom alapján - kezdetben a standard $k-\varepsilon$ modellt alkalmaztuk, de egyes kutatók (Moore és szerzőtársai (2017), Montazeri és szerzőtársai (2015)) szerint a „realizable $k-\varepsilon$ ” modell jobb közelítést ad, ezért a további turbulencia modelleket is megvizsgáltunk: a standard-, realizable- és az RNG $k-\varepsilon$ modellt, valamint a standard és SST $k-\omega$ modellt.

A mérésekkel való egyezést (validáció), a reális futtatási időt, a numerikus modell stabilitását is figyelembe véve a végleges modell fő jellemzői a következők: 3,4 millió cella, $\Delta t=10^{-3}$ s időlépés és standard $k-\varepsilon$ modell. A hálókialakítás egy részletét a 3. ábra mutatja.

3. ábra: A hálófelépítés részlete

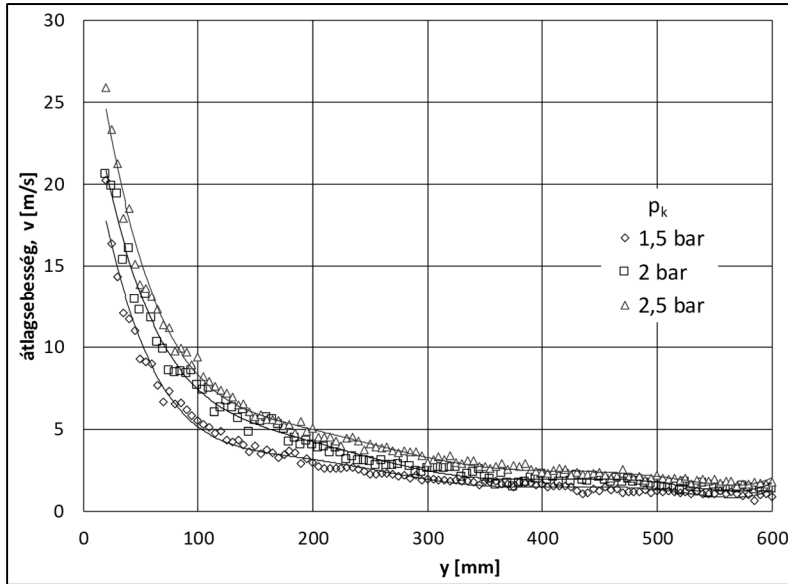


Forrás: A szerzők saját szerkesztése

6. Mérési eredmények

Elsőként tekintünk az 1,5 bar, 2,0 bar és 2,5 bar nyomásokon a légsugár tengelyében a fúvókától távolodva ($y=20$ -tól 600 mm-ig) az átlagsebesség eloszlását (4. ábra). Megállapítható, hogy a fúvókától távolodva a sebesség mindhárom nyomáson exponenciálisan csökken.

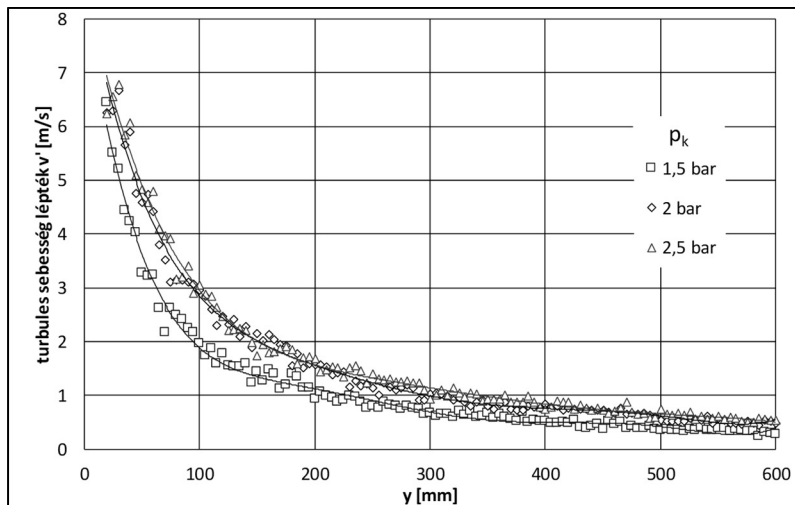
4. ábra: A sebességeloszlás a fúvóka tengelyében



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A v' turbulens sebesség lépték ugyanitt a sebességcsökkenéssel arányos csökkenést mutatott a fúvókától távolodva, úgy ahogy azt az 5. ábra mutatja.

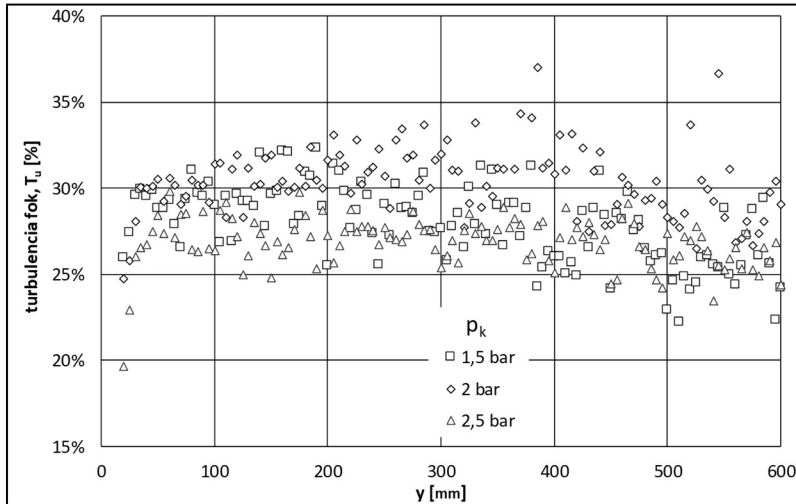
5. ábra: A fúvóka tengelyében a turbulens sebesség lépték változása



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A turbulenciafok viszont a fúvókától mért távolsággal alig változott, értéke a működtető nyomástól függetlenül 25 és 32% között alakult, amint az a 6. ábrán is látható.

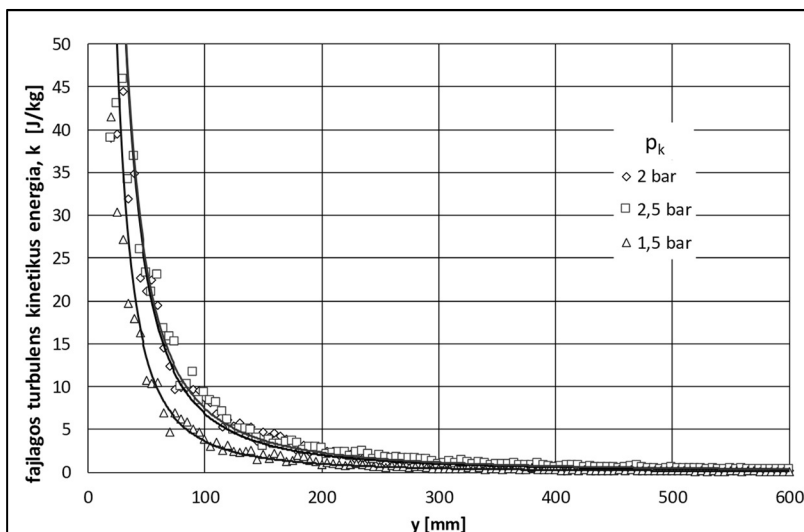
6. ábra: A fúvóka tengelyében a turbulenciafok változása



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A k fajlagos turbulens kinetikus energia meredek csökkenés után, ~200 mm-re a fúvókától, már gyakorlatilag 2 J/kg alatti értékre csökkent és ezt követően már igen kevésbé változott. Igaz ez mindhárom vizsgált nyomásszint esetén, ezt igazolja a 7. ábra diagramja.

7. ábra: A fúvóka tengelyében a fajlagos turbulens kinetikus energia változása

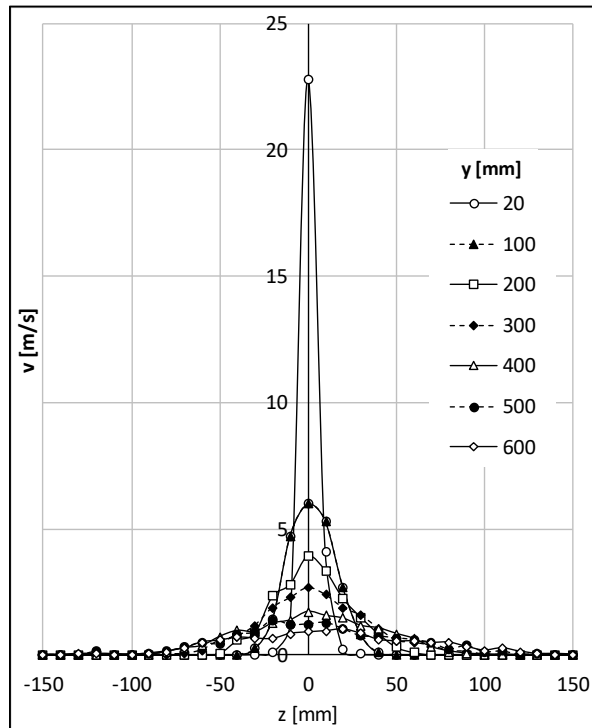


Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A számítási eredményekkel való egyezés tekintetében utalunk a következő fejezetben a 14. ábrára.

A tengelybeli sebességek mérése után a fúvókától távolodva $y=20, 100, 200, 300, 400, 500,$ és 600 mm távolságokban a függőleges középsíkban (y,z sík a 2. ábrán) végeztünk méréseket a sebességprofil meghatározására. Az adatok feldolgozása során figyelembe vettük a Fukushima és szerzőtársai (2000) cikkben ismertetett feldolgozási irányokat is. Eredményeinket 2 bar működtetési nyomás esetére ismertetjük. A sebességprofilokat a 8. ábra mutatja.

8. ábra: Sebességprofilok a fúvókától távolodva ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A keresztirányban mért sebességeloszlás tekintetében megállapítottuk, hogy esetünkben is teljesül az idézett cikkben ismertetett hasonlóság, vagyis megfelelően dimenziótlanított koordináták esetén a sebességprofilok a fúvókától mért távolságtól függetlenek. A dimenziótlanítás a sebesség tekintetében a sebességprofil közepén érvényes v_0 átlagsebességgel történik. A tengelytől mért dimenziótlanított koordináta pedig:

$$\eta = \frac{z}{y-y_0}, \quad (9)$$

ahol a fúvóka kilépő $d=4$ mm átmérőjével az irodalmi adatok szerint

$$y_0 = 6,75 \cdot d. \quad (10)$$

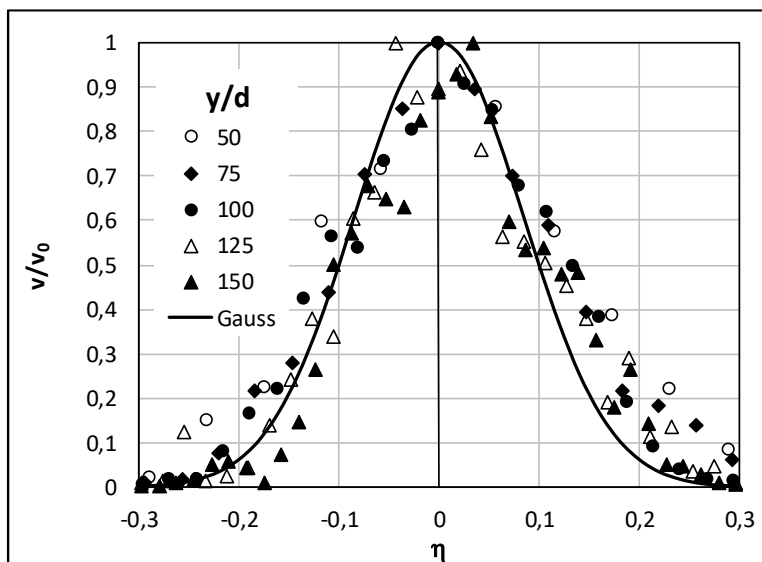
A 9. ábrán a dimenziótlan sebességprofilokat látjuk. Az ábrából két dolog következik, egyrészt a mérési idő rövidege miatt az adatok viszonylag nagy szórást mutatnak, másrészt a fúvóka némi geometriai aszimmetriája miatt a sebességprofil nem teljesen szimmetrikus. A méréseket ezért a későbbiekben az itt szerzett tapasztalatok alapján meg kívánjuk ismételni.

A dimenziótlan sebességprofil az irodalmi adatok szerint az alábbi Gauss-eloszlást követi:

$$\frac{v}{v_0}(\eta) = e^{-K_U \cdot \eta^2}. \quad (11)$$

Panchapakesan és Lumley (1993) mérései alapján $K_U = 75,2$ érték adódott, míg Boersma és szerzőtársai (1998) DNS numerikus szimulációval $K_U = 76,1$ értéket számoltak. A 9. ábra tanúsága szerint esetünkben is az említett aszimmetriától eltekintve az egyezés kimutatható $K_U \approx 70$ érték mellett.

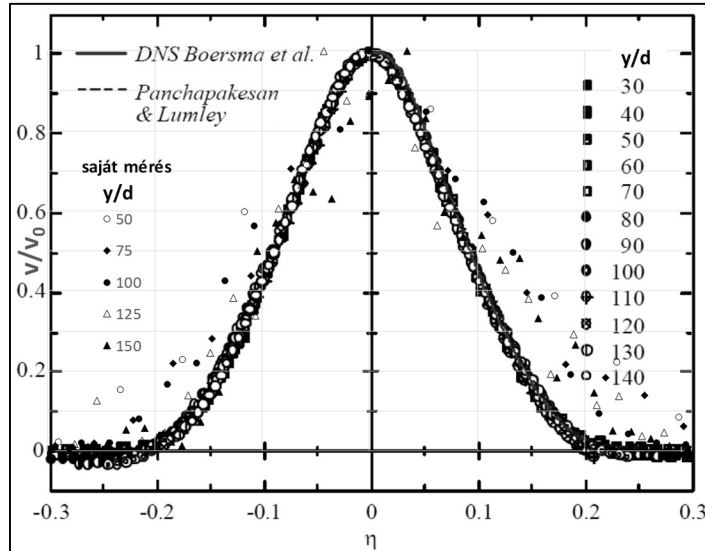
9. ábra: A fúvóka tengelyében különböző y távolságokban mért sebesség profilok a Gauss-eloszlást követik ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A tapasztalt aszimmetria a következőkben ismertetett jellemzőkre is öröklődik. Az aszimmetriától és a szórástól függetlenül a jellemzők jól illeszkednek az irodalmakban bemutatott eloszláshoz, ahogy azt a 10. ábrán nyomon követhetjük.

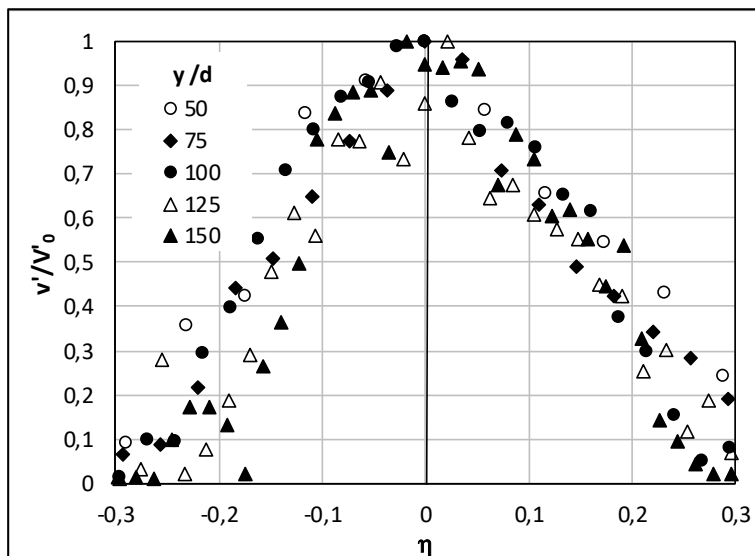
10. ábra: A fúvóka tengelyében különböző y távolságokban mért sebességprofilok összehasonlítva irodalmi adatokkal



Forrás: Fukushima és szerzőtársai (2002) felhasználásával a szerzők saját szerkesztése

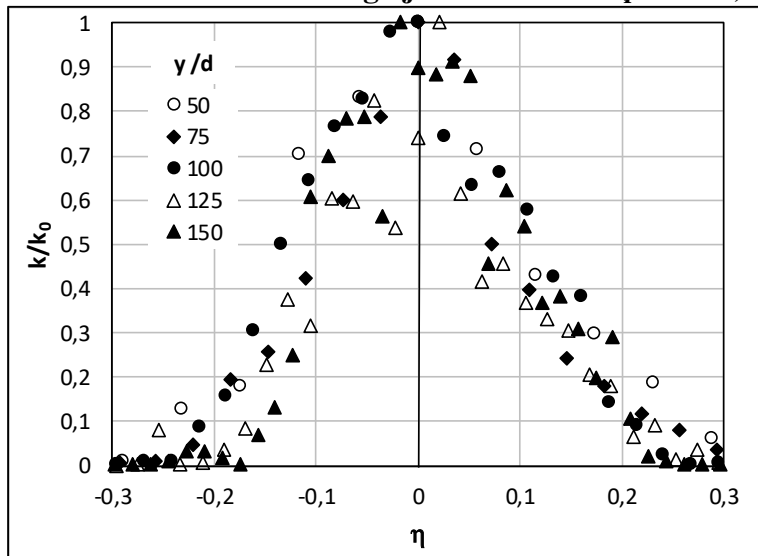
A turbulens sebességléptéket a sugár középpontbeli értékkel dimenziótlanítva szintén a fúvókától mért távolságtól döntően független eloszlást kapunk (lásd 11. ábra). Igaz ez a turbulens kinetikus energiára is (amennyiben a dimenziótlanítást hasonló módon oldjuk meg), mint ezt a 12. ábra diagramja is mutatja.

11. ábra: A fúvóka tengelyében különböző y távolságokban mért sebességprofilok turbulens sebességléptékei ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

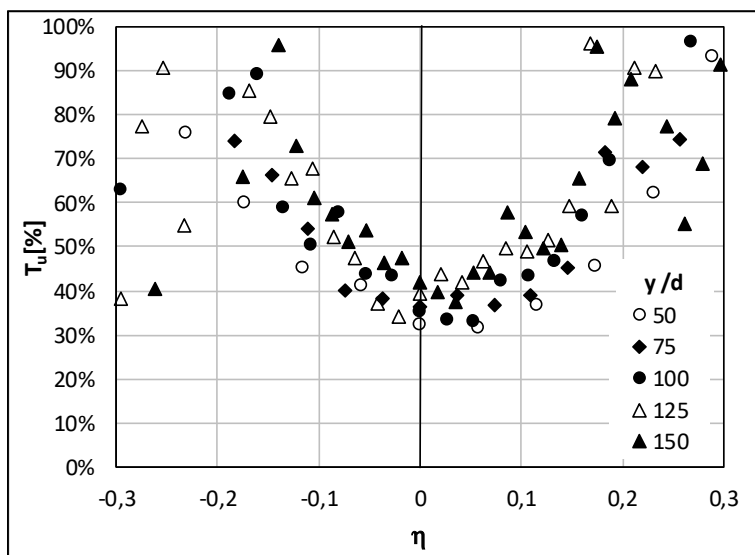
12. ábra: A fúvóka tengelyében különböző y távolságokban az áramlás turbulens kinetikus energiájának eloszlása ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A turbulenciafok adott y távolság esetén a sugár tengelyében a legalacsonyabb, jellemzően 30-50% közötti a különböző esetekben. A tengelytől távolodva kezdetben enyhén növekszik, majd $|\eta| > 0,15$ tengelytől mért dimenziótlan távolság értéktől kezdve intenzíven nő, sőt nagyobb η értékek esetén jelentős ingadozást mutat. Mindezek oka a sugárszéleken jelentkező intenzív keveredés a környezeti levegővel. Ezt mutatja a 13. ábra.

13. ábra: A turbulenciafok eloszlása a fúvóka tengelyében különböző y távolságokban ($p_k=2$ bar)

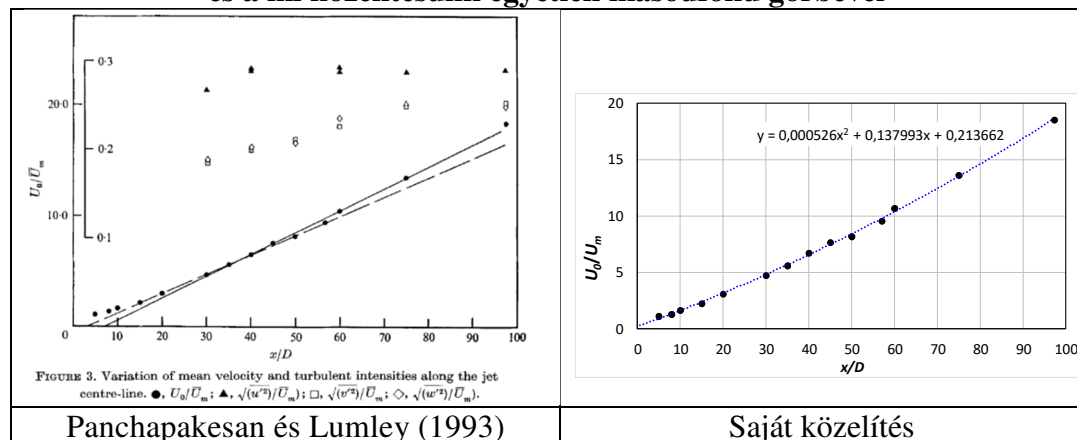


Forrás: A szerzők saját szerkesztése

Úgy tűnik, hogy a fentiekben bemutatott hasonlóság nem függhet jelentősen azon Reynolds-számtól, amelyet a fúvókából kilépő gázsebességből, a fúvóka kilépő átmérőjéből és a kilépő levegősugár viszkozitásából számolunk. Panchapakesan és Lumley (1993) bemutatott cikkében 5 különböző szerző esetén a fúvókából kilépő sugár sebessége $U_0=27-101$ m/s között változott, az alkalmazott fúvókák átmérője $d=6,1-25,4$ mm volt, a Re szám pedig 10^4-10^5 tartományba esett. Fukushima és szerzőtársai (2002) szintén ezt a hasonlóságot igazolták megint más üzemi körülmények között: $U_0=2$ m/s, $d=1$ mm, $Re=2000$. Esetünkben ezen adatok $U_0=20$ m/s, $d=4$ mm, $Re=5200$, tehát jelentősen különböznek.

Panchapakesan és Lumley (1993) foglalkozik azzal a kérdéssel, hogy a levegősugár tengelyében az U_0/U_m dimenzióatlan reciprok sebesség (U_0 a kilépő sebesség, U_m pedig a sugártengelyben a sebesség) hogyan változik a fúvókától távolodva a levegősugár tengelyében. Erre szabályt mutat be: két egyenes szakasszal írja le az eloszlást. Megvizsgáltuk az adatrendszerüket és megállapítottuk, hogy egyetlen másodfokú görbével sokkal jobban közelíthető a vonatkozó eloszlás. Mindezt mutatja a 14. ábra.

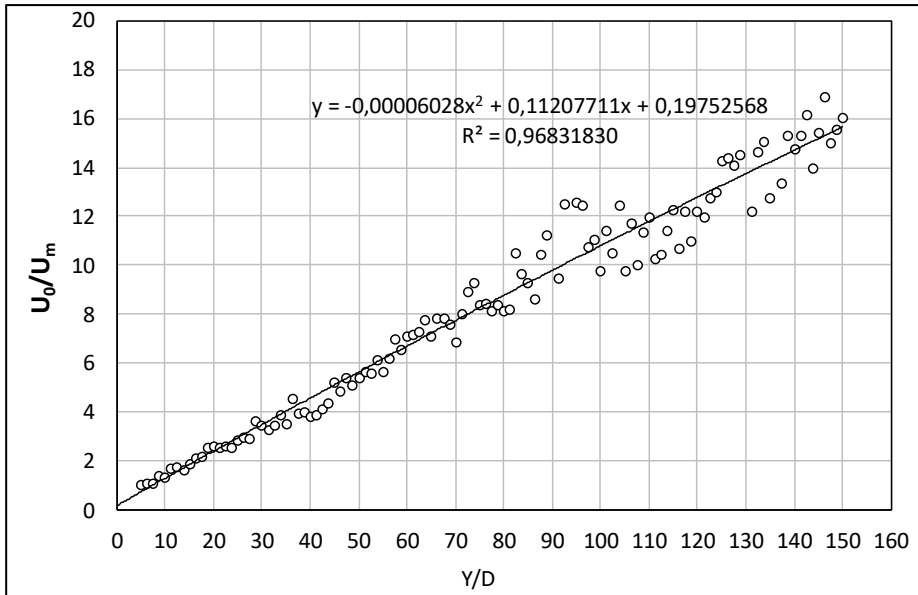
14. ábra: A reciprok sebességeloszlás közelítése két egyenessel az irodalomban, és a mi közelítésünk egyetlen másodfokú görbével



Forrás: Panchapakesan és Lumley (1993) felhasználásával a szerzők saját szerkesztése

A mi mérési eredményeinkre is meghatároztuk ezt a görbét mindhárom kompresszornyomás esetére. Itt a 15. ábra 2 bar működtető nyomás esetére mutatja a mérési adatokat és a rá fektetett másodfokú görbét. A mérési adatok a fúvókától távolodva, a sugár gyengülésével egyre nagyobb szórást mutatnak, de a tendencia kellően felismerhető.

15. ábra: A reciprok sebességeloszlás ($p_k=2$ bar)

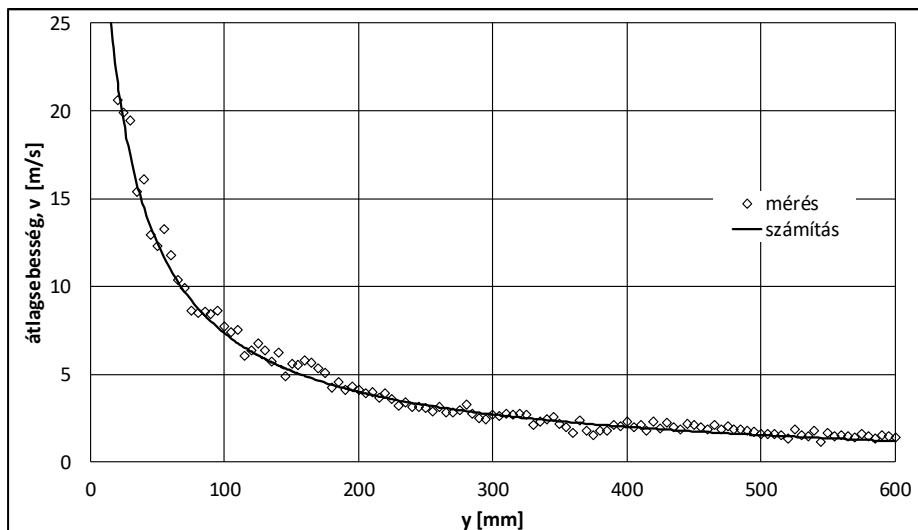


Forrás: A szerzők saját szerkesztése

7. A numerikus modellezés eredményei

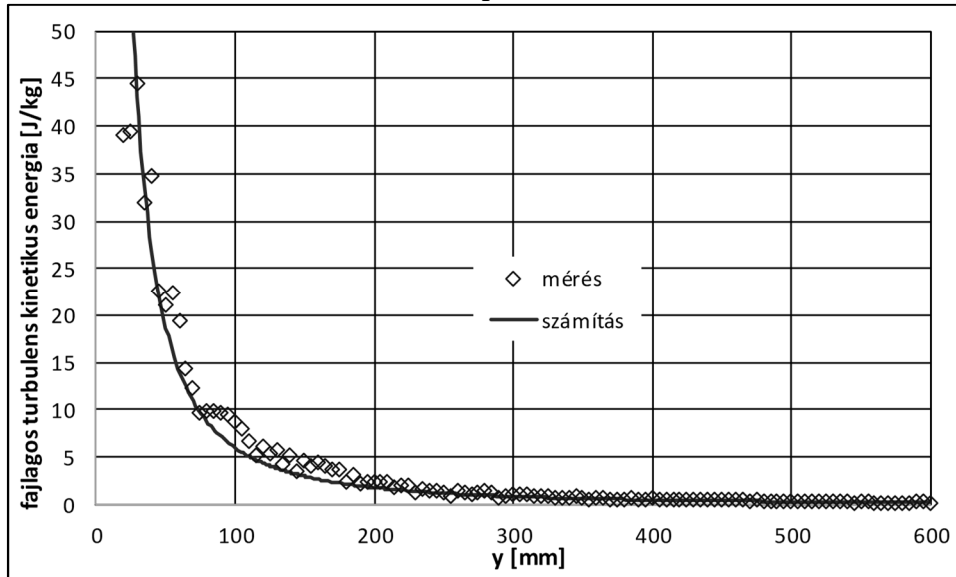
Itt közöljük a mérés és a numerikus számítás összevetéséből adódó eredményeket, amelyek a tengelybeli sebességek tekintetében kiváló egyezést mutatnak, ahogy azt 2 bar működtető nyomás esetére a 16. ábra diagramján követhetjük. A turbulens jellemzők közül a fajlagos turbulens kinetikus energia tengelybeli eloszlását láthatjuk a mérési és a számítási eredmények alapján a 17. ábrán. Az egyezés itt is meggyőző.

16. ábra: A fúvóka tengelyében a mért és a számított sebességek eloszlása ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

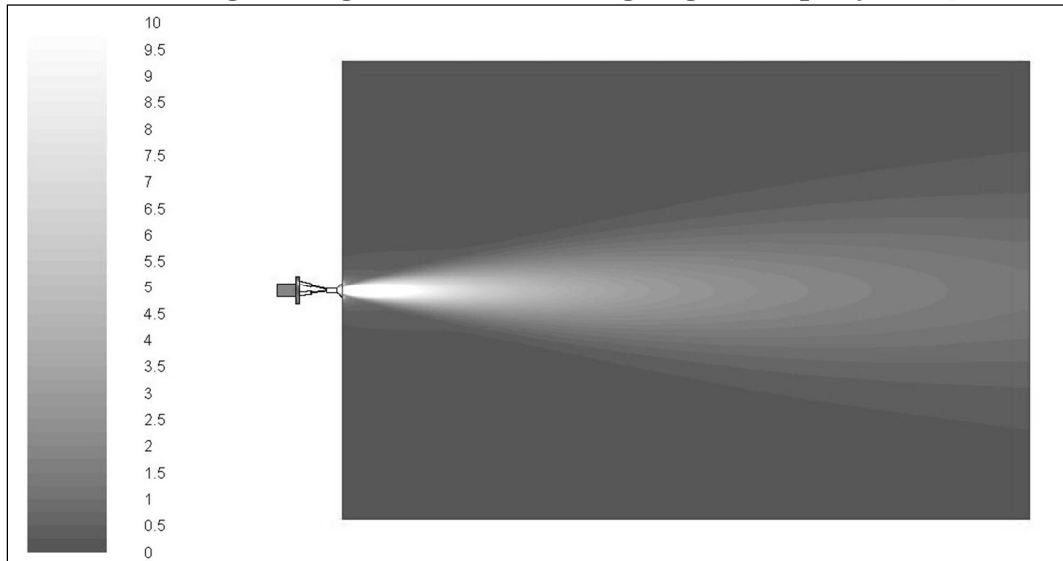
17. ábra: A fajlagos turbulens kinetikus energia alakulása a fúvóka tengelye mentén ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

Ezekon túlmenően a numerikus szimuláció lehetőséget biztosított az áramlás finomsztruktúrájának megismerésére is. Példaként a 18. ábrán az áramlás középsíkjában a sebességeloszlás látható 2 bar működtető nyomás esetén. Jól követhető a sugárhatár és a sugár magjában a sebesség intenzív csökkenése.

18. ábra: Az átlagsebességeloszlás [m/s] a levegősugár középsíkjában ($p_k=2$ bar)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

8. Összegzés

A vizsgált különleges kialakítású fúvóka tekintetében is megállapítható volt az irodalomban számos szerző által tapasztalt – a sebesség és a turbulencia jellemzők eloszlására vonatkozó – hasonlóság. E fúvóka tekintetében viszont a mérési értékekben jelentősebb szórás és aszimmetria mutatkozott. Ennek több valószínűsíthető oka is van. Az első az, hogy az egyedi gyártású fúvóka belső szerkezete sem tökéletesen szimmetrikus, a kisméretű járatok geometriai jellemzői (a 3 tápcsatorna átmérője és dőlésszöge) is szórást mutatnak. A másik ok az alkalmazott mérési eljárásban keresendő. Valószínűsíthető, hogy a némileg pulzáló áramlás átlagértékeinek pontos meghatározásához hosszabb mintavételezési időre lett volna szükség. Ezt igazolták a vizsgálatot követő mérési kísérletek is melyeket szintén 200 Hz-es mintavételezési frekvenciával, de pontonként 2000 pillanatnyi sebesség-komponens rögzítésével végeztünk. E tapasztalat alapján a vizsgálataink folytatásaként a mintavételezés kellő megválasztására nagyobb hangsúlyt kívánunk fektetni. Bár a számítások a mérésekkel kellő egyezést mutattak, a numerikus elemzéseket is folytatni kívánjuk. Ennek kiemelt iránya a levegősugarhoz a szekunder fúvókán folyadék hozzákeverése lesz.

Köszönetnyilvánítás

A kutató munka 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.

Irodalomjegyzék

- Boersma, B.J., Brethouwer, G. and Nieuwstadt, F.T.M. (1998): A numerical investigation on the effect of the inflow conditions on the self-similar region of a round jet. *Physics of Fluids* 10 (4), 899–909.
- Capp, S.P., Hussein, H.J., and George, W.K (1990): Velocity measurements in a high Reynolds number, momentum-conserving, axisymmetric, turbulent jet. *Tech. Rep.* 123., Turbulence Research Laboratory, University at Buffalo, SUNY.
- Fukushima, C., Aanen, L., Westerweel, J. (2002): Investigation of the Mixing Process in an Axisymmetric Turbulent Jet Using PIV and LIF. in: *Laser Techniques for Fluid Mechanics: Selected Papers from the 10th International Symposium Lisbon, Portugal July 10–13, 2000*, (Eds.: Adrian, R.J., Durao, D., Heitor, M.V., Maeda, M., Tropea, C., Whitelaw, J.H.), pp. 339–356. Springer, 2002.
- George, W. K. (1989): The self-similarity of turbulent flows and its relation to initial conditions and coherent structures. In *Recent Advances in Turbulence* (ed. R. E. A. Arndt & W. K. George), pp. 39–73. Hemisphere.
- Hinze, J.O., and Van Der Hegge Zijnen (1949): Transfer of heat and matter in the turbulent mixing zone of an axially symmetrical jet. *Flow, Turbulence and Combustion* 1 (1949), 43–
- Mi, J., Nobes, D.S., and Nathan, G.J. (2001): Influence of jet exit conditions on the passive scalar field of an axisymmetric free jet. *Journal of Fluid Mechanics* 432, 91–125.
- Montazeri, H., Blocken, B., and Hensen J.L.M. (2015): Evaporative cooling by water spray systems: CFD simulation, experimental validation and sensitivity analysis. *Building and Environment* 83, 129–141.

- Moore, B., Nabhani, F., Askari, V. (2017): Sensitivity analysis of spray painting process to input parameters: Validation of CFD jet impingement model against an experimental dataset. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 47, 11–16.
- Panchapakesan, N.R. and Lumley, J.L. (1993): Turbulence measurements in axisymmetric jets of air and helium. Part 1. Air jet. *Journal of Fluid Mechanics* 246, 197–223.
- Reichardt, H. (1942): Gesetzmäßigkeiten der freien Turbulenz. *VDI-Forschungsheft* 414.
- Rodi, W. (1975): A new method of analyzing hot-wire signals in highly turbulent flow and its evaluation in a round jet. *DNA Information* 17.
- Wyganski, I. and Fiedler, H. (1969): Some measurements in the self-preserving jet. *Journal of Fluid Mechanics* 38 (3), 577–612.

AZ ELEKTROMOS HAJTÁSÉ A JÖVŐ? MIKOR, HOL, HOGYAN ÉS MENNYIÉRT?

Tóth István Tibor

Abstract: Az a meglátásom, hogy sajnos elég sok elfogult, valamely szempontból prekonceptuális „elemzés” létezik és születik a témában, melyek számításában jelentős hiányosságokra utaló eredmények is szerepelnek. Mindez alkalmas az arra fogékony érdeklődőket félrevezetni, gondolataiban összezavarni, esetleg irányítani. Mert könnyebb az érdemi kritikai értékelésnél egy hivatkozás alkalmazása. Céloom nem a meggyőzés és az irány megjelölése, inkább ellenkezőleg, a szükséges mértékű elbizonytalanítás, az elmélkedésre ösztönzés, hogy próbáljuk meg több szempontból is megvizsgálni a címbe, korunkban egyre inkább divat- és üzletijelleget öltő témakört. Ezt szolgálják a kérdések és a kérdésekben megfogalmazódó következtetések sora is. Több szem többet lát, ha kinyitják, talán a veszélyekből és a lehetőségekből egyaránt.

Abstract: My view is that, unfortunately, there are a lot of biased, somewhat preconceptual “analyses” exist and are born on the subject electric vehicle. The calculations of these theories also show significant shortcomings, and with their partial truths they are capable of misleading, confusing, or guiding those who are receptive to it. It is more convenient and unfortunately, in many cases seems to be sufficient, to use a well-known, or often used, trendy reference instead of meaningful critical evaluation and thought. My goal is not to persuade and to direct the direction, rather to the extent of the uncertainty needed, to encourage reflection, to try to examine the subject matter, which is becoming more and more fashionable in our age. This is also served by a series of questions and conclusions in the questions. Several eyes see more when they open them, perhaps from the dangers and opportunities as well. That is why I deliberately interpret the directions of development differently and make a somewhat different principle comparison than usual.

Kulcsszavak: határfok, fejlesztési irányok, feltételek, következmények

Keywords: efficiency, development directions, conditions, consequences

1. Bevezetés

Hogyan lehet javítani a közlekedés határfokát? Mi a közlekedési eszközök és a közlekedés határfoka? Hatékonyság=határfok?

A határfok egy pontosabban definiált fogalom, mégis vitatható, amíg a hozzá hasonló hatékonyság egy másik, jóval szélesebb körben használt és kevésbé szigorúan behatárolt értelmezés. A hatékonyság változatos szakterületi skálán használatos, eltérő definíciókkal. A különbségek a megtevesztésre itt is kiválóak. Erre egy érdekes példa az internetből (ami persze, mint a példák általában, sántít, de hátha elgondolkodtat). „A kerékpárral közlekedés határfoka mondjuk a befektetett energia 80%-a. Ha egy kerékpáros elindul egy 300 km-es túrára és naponta 8 órát teker, 16-ot pihen, akkor a hatékonysága 33,3%.” (gyakorikerdesek.hu).

A közlekedés, személyek és áruk szállítását különböző műszaki eszközökkel végző gazdasági, szolgáltató tevékenység. (Révai új lexikona)

A közlekedés azon intézmények és eszközök összessége, amely személyek, javak és hírek szállítására szolgálnak, céljuk üzleti érdekekben, művelődési, vagy politikai tekintetben szükséges kapcsolatokat lehetővé tenni. (Révai nagy lexikona)

Az utazás azon cselekvés, amikor valaki utazik valahová (Magyar értelmező kéziszótár). Ilyen értelemben a közlekedés szinonimája. Személyek vagy tárgyak

mozgását jelenti. A közlekedés egyik célja a szállítás, amikor egy közlekedési eszköz segítségével embert, árut, vagy szállító vezetőket segítségével információt, energiahordozókat meghatározott helyre továbbítanak.

A fenti ízelítő gondolatok is jól mutatják, hogy mennyi független irány választható a közlekedés jobbra, a kor szellemében szólva, fenntarthatóvá tételéhez. Ezek közül csak az egyik irány az eszközök hajtásrendszerének a fejlesztése, ami szinte biztosan nem is a leghatékonyabb eleme a rendszernek, de ez már egy másik elemzés lehet például a „Smart Traffic” keretein belül.

1.1. A hajtásrendszerek fejlesztési irányait befolyásoló tényezők.

A hajtásrendszerek alatt itt a tradicionális belsőégésű motoros és az alternatív üzemű hajtások teljes körét értem. Ez a változatosság, az érdekeltségek, irányelvek stb. háttérével garantálja a meghatározás bonyolultságát, de a csoportosítás segíthet, legalább új szemzők feltárásával.

A lakonikus, vagy ironikus, esetleg ikonikus válasz a befolyásoló tényezőkre egyszerűen: pénz, pénz, pénz és pénzek.

1. Pénz a szükséges ráfordítások oldaláról nézve, azaz melyik megoldás lenne a legolcsóbban, leggyorsabban kifejleszhető, melyik valószínűleg meg a legkisebb beruházási és várható gyártási költségekkel, melyiknek a legolcsóbb a piacra lépési költsége.
2. Pénz a finanszírozás oldaláról nézve, azaz melyikhez szerezhető egyéb forrás, támogatások, pénzügyi befektetők stb.
3. Pénz a bevételi és nyereségtermelő oldalról nézve, azaz melyik a leggyorsabban, legtöbb hasznot biztosító, esetleg melyiket lehet a legkisebb ráfordítással a leghosszabb ideig kihasználni, vagyis melyik a várható legnagyobb nyereségtömeget adó.
4. Pénz az egyéb jövedelmező kapcsolódó, kapcsolható termékkörök, valós és virtuális üzletek létrehozásának költségei és várható eredményei oldaláról nézve.

Ezeket a szempontokat műszaki, társadalmi, környezetvédelmi stb. kérdések kizárólag „forintosítva”, „monetáris szinten” érintik és egyáltalán nem feltétel, hogy technikailag és/vagy más szempontból is hasznos, előre mutató, és fenntartható legyen a létrehozott termék.

Mivel egyik tényező sem kötődik szignifikánsan a másikhoz, sőt akár ellentétes feltételeket is igényelhetnek (például nagyobb intenzitású támogatást nyerhetett hamarabb egy kimutathatóan nem eredménytermelő beruházás, mint egy nyereségorientált), ezért kívülről nézve bizonytalan a kimenet.

Az 1. csoportnál is lehet tovább csoportosítani, azaz rendszerszinten, vagy adott, saját hatáskörön belül keresni a legolcsóbb, leggyorsabb megoldást, autonóm, szigetjellegű, vagy kiterjedt hálózati felhasználást feltételezve. Lehet kizárólag a motor működését fejleszteni, de lehet átalakítani a rendelkezésre álló saját, vagy rendeletileg szabályozott egyéb üzemanyag felhasználására. Első hallásra ez inkább „sufni tuningnak” tűnhet, de az innováció egyik természetes generátora, sokszor elképesztő (+/-) eredmények forrása. A szükség, nagyjár. Születtek, születnek

optimalizált üzemű motorok, vezérlések jelentősen kevesebb fogyasztással, de alternatív üzemanyagú (gőz, gáz, biogáz, biodízel, etanol, bioetanol stb.) hajtások egyaránt, amik közül különböző okok miatt (időhiány, érdektelenség, szabadalmi terhek...) a legtöbb el sem jut, el sem jutott a piacig.

A 2. csoportnál komoly szerepet kap a politika, az aktuális gazdasági helyzet, de a kockázati tőke állapota is. Még ebben a csoportban sem feltétlenül a piaci megjelenés a cél. A forrás elnyeréséhez kapcsolódó feltételek elég határozottan meghatározhatják a fejlesztés irányát és mértékét egyaránt, ami környezetvédelmi szempontokat is célul tűzhet.

A 3. csoport az egyértelműen piaci indíttatású fejlesztések. Itt sokat számít a finanszírozói háttér, ami a megtérülést és a nyereséget követeli. Az időtényező miatt sokszor nem az adott irányban elérhető legjobb valósul meg, a különböző előírásoknak is csak éppen, vagy trükkösen megfeleléség lehet a cél, melyet szentesít az így hamarabb jelentkező értékelhető mértékű profit.

A 4. csoport a legbonyolultabb. Itt már olyan rendszerszintű összefüggések alapján indulnak és folynak fejlesztések, amelyek közvetlen eredménye önmagában akár érdemtelen lenne a megvalósításra, mégis a közvetett eredmények miatt piacra kerül, sőt jelentős termelési mértéket is elérhet. Gondoljunk arra, hogy monopol szereplőként a világpiacon jól előkészítve, megfelelő „csomagolásban” komoly felárral, hozzáadott értékkel értékesíthető egy termék a kezdetekben. Amennyiben ez, ráadásul egyéb külső, pl. EU-s támogatásokkal, hosszabb ideig fenntartható, akkor a kezdő országnak megéri finanszírozni, akár állami támogatásokkal és megrendelésekkel is a foglalkoztatottság és a vele járó másodlagos bevételek, polgári (választói) elégedettség több mint elegendő indok. Ezzel csak az a gond, hogy egyeseknek, egyes termékekkel, egyszer és korlátozott időre adatik meg. A következmények pedig teljes tévútra terelhetik a műszaki fejlesztést gazdasági és környezetvédelmi oldalról egyaránt. Miután egy csoport meggazdagszik egy termékkörön, és mások is el tudják kezdeni gyártani azt, rá kell ébredniük, hogy ilyen méretekben már csak veszteséges és akár környezetterhelő is az adott megoldás. Lehet, hogy ez a törvényszerű? Hasonló játszódott le a lovaskocsikkal, a gőzgépekkel, a pneumatikus hajtású járművekkel és az elektromos járművekkel egyaránt a XX. század elején. Akkor a belsőégésű motorok győztek, sőt váltak megoldássá, megmentővé. Az okokat lehet elemezni, mert következtethetünk belőlük a mai trend későbbi alakulására, de ez megint egy másik értekezés lenne.

1.2. A tisztán elektromos hajtású járművek.

Napjaink nagy reményének kikiáltott, nagy múlttal rendelkező, de történelmében egyszer már komoly veszteséget elszenvedő konstrukció. 1828-ban építette Jedlik Ányos az első villanymotort, 1830-ban már működött az első elektromos hajtású hintó, 1899-ben az első 100 km/h-nál gyorsabb autót villamos hajtás repítette, 1900-ban az USA-ban gyártott 4192 autóból 1575 db villamos hajtású volt az 1681 db gőzautó és 936 db benzines mellett. (factually.gizmodo.com) 1912-ben az üzemeltetett elektromos autók száma elérte a 30000 darabos csúcst és feltalálták az önindítót, ami akkorát rántott a belsőégésű motorok terjedésén, hogy „az 1930-as

évek közepére az árammal hajtott gépkocsik voltaképpen eltűntek a föld színéről”. (alternativenergia.hu) Az 1970-es évekig csak elszigetelt kisebb próbálkozások voltak, amikor is az újabb olajválság megrázta az elektromos közúti járműfejlesztést, de az igazi feléledést csak a XXI. század hozta.

Részben párhuzamos a villamosvasút, a villamosmozdony és a trolibusz életpályája is, de a hálózati jelleg és a közösségi közlekedés miatt talán kevésbé, bár esetenként éppen még inkább hullámzó. A fő, hogy ezek is megélhették a reneszánszukat korunkban.

Ahogy a történelem is megmutatta el kell különíteni a hálózatról működtetett és az önjáró, autonóm járműveket, igaz az utóbbi években már többen azon dolgoznak, hogy egymásra találjon a két struktúra, amivel közösíteni szeretnék mindkét rendszer előnyeit. Azért felmerül a kérdés, hogy lehet-e csak az előnyöket közösíteni a hátrányok nélkül? Az elkülönítés alapvetően az üzemi feszültségben és a hatótávban jelentkezik, de ott az eszköz és az energiaellátás, illetve az egyéb infrastrukturális beruházási-, fenntartási-, karbantartási- és pótlási költségek, követelmények, a hasznos térfogat és terhelhetőség, a forgalmi flexibilitás, az érintésvédelem, rendelkezésre állási képesség, hatásfok, rekuperációhasznosulás, üzemeltetést korlátozó egyéb feltételek is.

Az autonóm elektromos hajtás kezdeti előretörésének a végét egyrészt az alternatív megoldások térnyerése, másrészt az energiatárolás korlátjai gátolták és törték meg közel száz évvel ezelőtt.

Akkor nehezek voltak az akkumulátorok, rövid volt a hatótáv és túl sok időt vett igénybe az újratöltés. Mi a helyzet most?

Most, nehezek az akkumulátorok, rövid a hatótáv és sok időt vesz igénybe az újratöltés. Ezen felül, bonyolult vezérlésre (BMS) és hőfokszabályozásra van szükség, a jármű árában jelentős tétel az akkumulátor ára és bizonytalan a várható élettartama.

Az akkumulátor technológia fejlődése vitathatatlan, de az alapvető gondok mintha nem változtak volna az elmúlt évszázadban. Az elért és belátható időn belül elérhető energiasűrűség az általánosan elterjedésben lévő lítium alapú akkumulátorok esetében is nagyságrendekkel alacsonyabb a fosszilis üzemanyagokénál.

Az akkupakk komplett tömegével számolva, figyelembe véve a hűtés-fűtést és más kiegészítő elemeket is, jelenleg jó, ha az energiasűrűség 120 Wh/kg, míg a dieselőljaj esetén ez az érték 8-9000 Wh/kg. Igen, tudom, figyelembe kell venni a felhasználás hatásfokát is, hogy össze lehessen vetni a kettőt.

Mivel rendelkezésre állnak valós mért fogyasztási értékek, ezért az elmélet helyett, mellett ezekhez a valós Wh/km értékekhez folyamodom az összevetés érdekében. Mondhatnám azt is, hogy saját mérések alapján, de idézhetnék itt száz és száz publikált mérésadatot úgy az elektromos, mint a diesel autók fogyasztásáról. A közkezen forgó adatok szerint a kisebb teljesítményű személyautóknál az elektromosok 100-150 Wh/km, a dieselek 4-5 l/100km (388-486 Wh/km) fogyasztást mutatnak. A nagyobb teljesítményűeknél ez az érték 180-230 Wh/km, illetve 7-10 l/100km (680-972 Wh/km).

Ez azt jelenti, hogy durván négyszer kisebb a fajlagos energiaszükséglete az elektromos autónak a dieselhez képest, míg az „üzemanyag” energiasűrűségében a különbség nyolcvanszoros. 4 kontra 80, azaz azonos hatótáv érdekében hússzor akkora tömegben kell energiahordozó egy elektromos autóba, mint egy dieselbe. Ez azonban még mindig nem fedí a valóságot, mert a lítium akkumulátor teljes lemerítése az élettartamát jelentősen csökkentheti, ezért gyártótól függően előírják, vagy eleve szoftveresen lehatárolják a kapacitás 20-50 %-át, ami a tömeg szempontjából további 25-100 %-ot jelent. A dieselnél erre az aránytartalékra nincs szükség, de ha a 60 literes tankban hagyunk 1 litert, nincs komolyabb következmény.

1.táblázat: „Üzemanyag” adatok

	Energia sűrűség Wh/kg	Megújuló	Ára	Infrastruktúra
Ólomakkumulátor	100	Részben	Irreleváns	Részben
Lítium akkumulátor	140	Részben	Jelentős	NINCS
Metál hibrid akkumulátor	100	Részben	Irreleváns	Részben
Hidro-pneumatikus	600-1200	IGEN	Ismeretlen	Részben
Mechanikus KERS	120	IGEN	Ismeretlen/Irreleváns	VAN
Fosszilis	8-9000	Részben	Megszokott	VAN

Forrás:Saját szerkesztés (2019)

2.táblázat: Összehasonlító adatok

	Fajlagos fogyasztás [Wh/km (l/100km)]	Szükséges „üzemanyag” tartalék [%]	„üzemanyag” tömege 1000 km úthoz [kg] (140/8-9000)	Töltésidő [h] (e 3kW-170kW)
Kis e-autó	100-150	20-50	893-2143	0,58-50
Kis diesel	388-486 (4-5)	1-5	43,5-64	0,03-0,05
Nagy e-autó	180-230	20-50	1607-3286	1,06-76,7
Nagy diesel	680-972 (7-10)	1-5	76,1-128	0,05-0,1

Forrás:Saját szerkesztés (2019)

És jöhet az ide vonatkozó „fajsúlyos” kérdések sora. Mi van a környezetterheléssel? Mi lesz, ha elfogy az olaj? Melyik a fenntartható? Well to wheel összevetésben melyiknek milyen a hatásfoka, emissziója? ... A sokszor használt externáliák internalizálása módszerei.

Igen messze vezetnek ezek a kérdések is és nagyon vitás az értékelésük, ami megint újabb értekezést érdemelne.

1.3. Elektromos infrastruktúra és egyéb vonatok.

A plug-in elektromos hibrid és az autonóm elektromos hajtás egyaránt igényli a töltéshez a megfelelő energiaellátást. A felsővezetékéről működtetett közpártnál pedig alapfeltétel a megfelelő hálózat kiépítése. Ez utóbbi rendszerekről jelentős adatbázis és sokéves tapasztalat áll rendelkezésre az elektromos közösségi közlekedést fenntartó társaságoknál. Az egyik ok, ami miatt a fajlagos költsége magasabb a trolibusznak a buszénál, az éppen az elektromos ellátással kapcsolatos költségelemek. Ez motiválja azt is, hogy az EU Horizon 2020 és a CIVITAS 2020 programok részeként az ELIPTIC projekt egyik kiemelt kutatási témája a buszvonalak kiváltása trolibuszvonalak meghosszabbításával felsővezeték építés nélkül hibrid trolibuszok alkalmazásával. (elliptic-project.de)

A már létező, kiépített rendszerek esetében egyenlőre gyökeres változás nem várható, nem terveznek meghatározó mértékű bővítést, vagy fejlesztést. Azonban, éppen a menetrend betartása, a megállók és a városi közlekedés miatt, pontosan ezen a területen kamatoztatható leginkább az elektromos hajtás rekuperációs képessége, ezért egyre erősödik a szándék a hibrid és autonóm elektromos hajtású buszok bevezetésére, ami nagyságrendje miatt mégis magával vonja az energiaellátó hálózat fejlesztésének a kérdését, ami a járműkoncentráció miatt egyszerűbben kivitelezhető, ha elegendő kizárólag a buszgarázsban, busztelepen elvégezni az akkumulátorok töltését. Amennyiben a vonalakon is töltésre lesz szükség, akkor az már érintheti a városi elektromos hálózatot, annak fejlesztését is igényelheti a jelentősebb töltési teljesítményszükségletű töltőpontok miatt. Akár egy önálló új elektromos hálózat kiépítésére is sor kerülhet, ami a közösségi közlekedés érdekében támogatható lehet, csak legyen hozzá akarat és forrás.

A városi terítő teherfuvarozás elektromosítása is racionálisnak tűnik első pillantásra. Ha ott is megvalósítható a telephelyi töltés, akkor a cégek telephelyén valószínűleg megvalósítható a nagyobb elektromos teljesítmény biztosítása, bár ez is függ a helyi adottságoktól, a járműpark méretétől.

Összehasonlíthatatlanul több és nagyobb a kérdőjel a személyautókkal kapcsolatban. Milyen mennyiségre kell felkészülni? Hány töltési pontot kell kialakítani? Milyen teljesítményűek lesznek ezek a pontok? Milyen kiegészítő szolgáltatások, juttatások kapcsolódnak a töltéshez? Mennyibe kerül a kialakítás és mennyibe kerül az üzemeltetés? Ki, milyen feltételekkel fogja fenntartani?

Jelenleg is jogosak ezek a kérdések, de az alacsony járműszám, politikai és marketing célok miatt még nem kerültek terítékre. Az elektromos autók száma pedig nő. A magyarországi zöld rendszám bevezetése hasznos ebből a szempontból, mert jól mutatja a változást, lehetővé teszi a tervezést. A rendszámhoz kapcsolódó meghirdetett kedvezményekről azonban már most látható, hogy nagyobb számok mellett nem lesznek fenntarthatók.

1. ábra: Zöld rendszám



Forrás: vezess.hu

De mekkorák is ezek a nagyobb számok és mikorra várható a megjelenésük? Napjaink legagresszívabb elektromosautó gyártója bejelentette, hogy 2020-tól már évi 500000 e-autót fog legyártani. A többi, jóval nagyobb autógyártónál is rendelkezésre áll már régóta a technológia, csak veszteségessége miatt nem erőltették a forgalmazást. „Marchionne úr reméli, minél kevesebbet sikerül értékesítenie a vállalatnak a Fiat 500e nevű – a sima 500-asra épülő – tisztán elektromos árammal működő kisautóból, mert az 14 ezer dolláros (3,1 millió forintos) veszteséget jelent a cégnek darabonként.” (autoblog.hu) Most azonban rá vannak kényszerítve a piacrész megőrzése érdekében, így 2020-tól évente akár évi 3-5 millió e-autó is készülhet. Ezekből ugyan nem kerül sok Magyarországra, de ami jön, az nagy valószínűséggel a fővárosban koncentrálódik.

Mi lenne, ha az ösztönzés érdekében Budapesten telepíteni kellene 1000 db gyorstöltőt és 100 db villámtöltőt?

A jogi feltételeket, bármily érdekesek is, itt és most nem feszegetem.

A fizikai feltételeket is több csoportra kell bontani:

- Fizikai hely biztosítása. A töltőoszlopoknak helyet kell biztosítani. Egy oszlophoz érdemes legalább kettő parkolóhelyet rendelni, ami 1100 oszlop esetén 2200 db parkolóhelyet jelent (a jelenlegi közel 65000 parkolóhelyből), lehetőség szerint a magasabb kihasználtságú „közkedvelt” zónákban. Amennyiben a közbiztonsági és vagyonvédelmi elveket is figyelembe kívánjuk venni, akkor ezeket a helyeket jól megkülönböztethetően el kellene határolni és értékvédelmi rendszerrel ellátni. Másik kérdés, hogy kizárólag e-autók töltésére képes töltőberendezéseket telepítsenek, vagy multifunkciós egységeket, amikkel e-kerékpárok és egyéb eszközök is tölthetők lennének. Ebben az utóbbi esetben a helyigény is megváltozik, úgy a méret szempontjából, mint elhelyezkedés, hozzáférés és funkcionális kialakítás (fedett, elkerített, őrzött...) terén.

2. ábra: Egy töltő két parkolóhelyhez.



Forrás: galeria.totalcar.hu

- Hálózati kapcsolódás. A töltőoszlopokhoz megfelelő teljesítménnyel bíró tápvezetéket kell rendelni. A vezetékek telepítése földkábeles legyen, lehetőleg a legrövidebb hosszon, a meglévő közművek megzavarása nélkül, minimális telepítési munkával kivitelezhetően.
- Energia biztosítása. A töltőoszlop teljesítményéhez igazodó táp rendelkezésre bocsátása. A gyorsöltő esetében kettő jármű egyidejű töltéséhez, 4 óra alatt legalább 40 kWh-át kell leadni, ami 10 kW teljesítményt feltételez minimum. A villámöltő esetében ez legalább 100 kW teljesítmény szükséglet. Ez a hálózati kapcsolódás szempontjából is meghatározó lehet a gerincvezetékek hálózatához illeszkedés miatt. Fontos meghatározni továbbá, hogy adott területen rendelkezésre áll-e az áramszolgáltató részéről elegendő kapacitás, vagy komolyabb beruházást igénylő bővítésre lenne szükség. Csak erre az 1100 töltőoszlopra 20 MW feletti teljesítmény szükséges!
- Informatikai kapcsolat. A töltőoszlopokat közös informatikai hálózatba érdemes kötni az elérhetőség, elszámolás, biztonság stb. támogatása érdekében. Ez megoldható GPRS alapon, de megbízhatóbb, ha kábeles csatlakozás kerül kiépítésre.

A gazdasági feltételeket a fizikai feltételek szerinti csoportosítás mentén sorolom.

A fizikai helybiztosítás első, közvetlen gazdasági hatása a helyek funkciómódosulásának a következménye. Egy parkolóhely éves bevételképző képessége jó helyen több mint 1 millió forint, ami alapján a 2200 hely miatt a kiesés éves szinten 2-2,5 milliárd forint. Amennyiben nem történik díjfizetés valamilyen címszóval és a terület eddigi haszonélvezője felé nem jelentkezik térítés, akkor ezt is pótolni kell a költségvetésben valamilyen módon. Ha térítéses lesz a töltő használata, akkor meg kell határozni a tarifaképzés elvét, valamint az üzemeltető és a terület tulajdonosa közötti bevételmegosztást, vagy egyéb térítési elvet is rögzíteni kell.

A beszerzés költségeit jelentős mértékben befolyásolja a töltő típusa. A legolcsóbb konstrukciók is 4 millió forint körül vannak, amik nem tudják teljesíteni a villámöltés, azaz a 20 percen belüli 80%-os töltöttség feltételeit. A pontos értéket csak hivatalos ajánlatkérés alapján lehet meghatározni, de irányszámként az 1000

oszlopra komplexitás, funkcionalitás függvényében 4-10 milliárd forint között lehet tervezni. Fontos lenne meghatározni az arányokat is, hogy milyen arányban legyen esetlegesen multifunkciós eszköz, amihez a fedett, elkerített, őrzött területrészt további költségigényt jelent. Ugyanakkor ezt okosan kialakítva, a helyszín jó kiválasztása mellett, további funkciók bevonásával, akár bérbeadással, vagy kapcsolt tevékenység fenntartásával lehet az üzemeltetést egyrészt javítani, másrészt részfinanszírozni.

A kivitelezési költségeket csak a pontos helymeghatározás után lehet érdemben megtervezni. Illeszteni kell a töltőegységeket az elektromos hálózat megfelelő teljesítménnyel bíró részeihez, és a közmű többi eleméhez, különben a bekötés szélsőséges esetben akár az eszköz értékének többszörösébe is kerülhet.

Az informatikai kapcsolat megteremtése az egyszerűbb kérdés. A GPRS kialakítás olcsóbb a beruházás szempontjából, töltőnként megoldható akár 50.000 Ft-ból is, ami összességében ugye 55 millió forint, de ez később az üzemeltetés során bosszulja meg magát úgy költség, mint üzembiztonság és karbantartás terén. A kábeles kapcsolat kialakítása egyértelműen függ az elhelyezéstől. Javasolt az elektromos bekötéssel egy időben megvalósítani a kivitelezését.

Irányszámnak az 1100 egység bekötésére, kivitelezésére legalább 1,5 milliárd forintot érdemes venni.

Az energia biztosítás kiépítés költségei jelen alapadatok mellett, azaz információ hiányában nem tervezhetők. Amennyiben az energiaszolgáltatónak új transzformátorokat kell telepítenie, vagy nagyobb teljesítményű transzformátort kell üzembe helyeznie, akkor az összes eddigi költséget meghaladó többletköltség jelentkezhet, de szerencsés esetben, jó helyválasztás mellett még el is kerülhető a többséget jelentő gyorstöltők esetében. A 100 db villámtöltő 100 kW-os teljesítményszüksége azonban akár saját transzformátor telepítést is eredményezhet, ami könnyen további 1 milliárd forint feletti érték is lehet, ráadásul a jelentős teljesítmény miatt az üzemeltetési költségei is fajsúlyosabbak lesznek.

Az üzemeltetési költségek meghatározásánál figyelembe kell venni az eszközök elektromos hálózati alapdíját, a várható energia felhasználást, a szükséges műszaki személyzet és technika költségeit, a takarítási és karbantartási anyagköltségeket és nem utolsó sorban a várható eszközpótlást biztosító amortizációs költségeket, illetve az egyéb, pl. biztosítási, engedélyeztetési, bérleti, ráosztott üzemi, és központi költségeket is.

A várható energiafelhasználás kezdetben nem lesz jelentős a Budapest területén fellelhető elektromos flotta kis száma miatt (kezdetben 500 zöld rendszám lett kiadva). A tervezésnél azonban egy reálisnak is tekinthető maximális kapacitást javasolt figyelembe venni, például 80%-os kihasználtság esetén, oszloponként 2-2 járművel, járművenként 4 órás, illetve 20 perces (villámtöltő) töltési idővel $0.8 \cdot (1000 \cdot 10 \text{ kW} + 100 \cdot 100 \text{ kW}) \cdot 24 \text{ h} = 0.8 \cdot 480.000 = 384.000 \text{ kWh/nap}$, ami 365 nappal számolva $384.000 \cdot 365 = 140.160.000 \text{ kWh/év}$ fogyasztás. 40 Ft/kWh bruttó áron számolva ma még talán soknak hangzó éves 5,606 milliárd forintos bruttó energiaköltséget jelent.

Ez naponta $24.000 \cdot 80\% = 19.200$ db kisebb hatótávú és $14.400 \cdot 80\% = 11.500$ db nagyobb hatótávú igénybe vevő járműszámot feltételez, ami a Jedlik Ányos terv célszámai és a fentebbi gondolatmenetem szerint is megteremtődhet, akár csak belföldi háttérből is. Az ilyen mennyiségű eszköz azonban már újabb kérdéseket vet fel az úthasználat és a beígért ingyenes parkolás miatt! Ha például ezt, az esetünkben másodlagos, mondhatni externális hatást, is figyelembe vesszük, akkor városi szinten akár $(19.200 + 11.500) \text{db} \cdot 10 \text{h} \cdot 231 \text{nap} \cdot 450 \text{Ft} = 31.912.650.000 \text{Ft}$, azaz 32 milliárd forint parkolási bevétel kiesés is keletkezhet, amit több, mint nehéz lesz kompenzálni!

Amennyiben ezek alapján határozzuk meg az igénybevételi költségtérítést, akkor kérdés, hogy sokan veszik-e majd igénybe a töltőoszlopok és az elektromos autók eme kapcsolatát. Ha nem ezek szerint számítunk, határozunk meg árat, akkor pedig a közpénzek egy részét a tehetősebbeknek ajándékozzuk a környezetvédelem hangoztatása mellett. Persze ki lehet még számolni, hogy mekkora CO₂ kvóta bevétel jön létre, de azon túl, hogy az inkább a kutya vacsorája kategória, mert nem kerül oda, ahol a hiány, vagy a költség keletkezik, még biztosan kevés is lesz, és nem fogja fedezni a veszteségeket.

2. Összegzés

Komoly szerepe lehet az elektromos hajtásnak a jövőben. A műszaki logika éppúgy támogatja a fejlődését, mint egyes politikai és gazdasági érdekek, de sok megoldandó feladat és eldöntendő kérdés van, amik rossz megoldás esetén ismét előidézhetik a száz évvel ezelőttihez hasonló, vagy annál is súlyosabb hanyatlást.

Biztos, hogy a jelen akkumulátor technológia a jövő?

Meddig lesz elegendő a lítium, a kobalt és milyen áron?

Mennyire környezetbarát ebben a formában az e-autózás?

Képesek vagyunk kiépíteni akár egy 1 milliós hazai e-autó járműpark háttérét?

Képesek leszünk elegendő energiát biztosítani a személyautók, teherjárművek és tömegközlekedési eszközök töltésére?

Ha ezt az akkumulátorteknikát használjuk, akkor tényleg a nagy hatótávra nagy akkupakk elv lesz a megoldás és nem egy hibrid?

Megéri kidobni a meglévő globális szénhidrogénes infrastruktúrát és ez nem pazarlás?

Magyarország, mérete miatt a globális trendre nem bír hatással, de saját érdekünk, hogy ne tegyünk olyat, amit később megbánunk.

Irodalomjegyzék

<http://factually.gizmodo.com/about-40-of-american-made-cars-in-1900-were-steam-powe-1597522738>

http://galeria.totalcar.hu/kozelet/2016/02/03/soul-tura_osszegzo/15?openwith=10967587

<http://mno.hu/autopult/egyelore-befellegzett-a-levegos-hibrideknek-1269553>

<http://szkt.hu/jarmuveink#villamosok>

http://totalcar.hu/magazin/hirek/2013/04/27/lendkerekes_hajtason_dolgozik_a_volvo/

<http://www.alternativenergia.hu/az-elektromos-autozas-rovid-tortenete/68280>

<http://www.autoblog.hu/hirek/a-fiat-14-ezer-dollart-veszit-minden-elektromos-500-ason/>

<http://www.douglas-self.com/MUSEUM/LOCOLOCO/airloco/airloco.htm#h>

<http://www.eliptic-project.eu/thematic-pillars>

http://www.gyakorikerdesek.hu/tudomanyok__alkalmazott-tudomanyok__7351548-hatekonysag-hatasfok

<http://www.vezess.hu/app/uploads/2016/03/zold-620x414.jpg>

https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_J._Sprague

<https://sg.hu/cikkek/83328/egy-elektromos-fl-lokest-adna-az-elektromos-autoknak>

Magyar értelmező kéziszótár (Budapest, 1972) 1435. o.

Révai nagy lexikona 12. kötet (Budapest, 1915) 234 o. (a fogalom korszerűsítésével)

Révai új lexikona XII. (Klc–Ky). Főszerk. Kollega Tarsoly István. Szekszárd: Babits. 2003. 730. o.

ISBN 963-955-607-6

FORGÓGÉPEK EGYTENGELYŰSÉGI HIBÁINAK VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ TENGELYKAPCSOLÓK ALKALMAZÁSÁVAL

Vecseri András

Absztrakt: A forgógépek rendellenes működését leggyakrabban kiegyensúlyozottsági vagy egytengelyűségi hibára vezethetjük vissza. Ezek a hibák a tengelyek, csapágyak, tengelykapcsolók túlterhelődését okozhatják. Az alkatrészek károsodása mellett számolni kell a nagyobb terhelés miatt bekövetkezett többlet energiafelhasználásról. A téma aktualitását a komplex gépek és a hozzájuk tartozó magas fenntartási költségek adják. Az alábbi cikkben egy rezgéstani vizsgálatokra kialakított berendezésen módszeresen beállított tengelyhibák mellett, különböző tengelykapcsolókat felhasználva kerül mérésre a villamos hálózathoz felvett teljesítmény. A tengelyhibák rezgésméréssel is könnyen felismerhetők, vizsgálat alá kerülnek a rezgésmérésből származó spektrumok az ISO 10816 szabvány alapján.

Abstract: The abnormal operation of rotating machines is most often caused by balance error or misalignment. These faults can cause overloading of the shafts, bearings and couplings. In addition to part damage, extra energy consumption due to increased load should be considered. The topicality of the article is due to the complex machines and their high maintenance costs. In this paper, the power absorbed is measured with various couplings in addition to errors on a special equipment. Misalignments can also be easily detected by vibration measurement, and spectra from vibration measurement are tested according to ISO 10816.

Kulcsszavak: egytengelyűség, tengelyhiba, tengelykapcsoló, rezgésmérés

Keywords: misalignment, maintenance, vibration, measurement

1. Bevezetés

Az ipari termelés megköveteli, hogy a bonyolult és komplex berendezések üzembiztosan működjenek. Egy adott üzemnél fontos szerepet tölt be a karbantartási rendszer, amely biztosítja a kívánt produktivitást. Napjainkban előtérbe került a szabványos és megelőző karbantartási stratégia, amelyek alkalmazásával egy olyan gondolatmenet jött létre, amely segítségével jelentős mértékben tudjuk optimalni a termelést. A gépek kifogástalan működtetéséhez rendszeres diagnosztikai vizsgálatok szükségesek (Dömötör F. et al., 2008).

Létfontosságú az esetlegesen felmerülő hibák időbeni diagnosztizálása, mivel gondoskodnunk kell a termelőrendszer zökkenőmentes folyamatáról. A műszaki diagnosztika az egyes alkatrészek állapotáról nyújt átfogó információt a berendezések szétszerelése nélkül (Nagy. I., 2006).

A technológiai fejlődés egyre összetettebb gépeket eredményez, amelyek magukkal vonzzák a magasabb fenntartási költségeket. Ezen berendezések rendszeres ellenőrzése modern, fejlett diagnosztikai eszközök alkalmazásával érhető el. Az így meghatározott élettartam- és energiafelhasználási vizsgálatok kitűnően tükrözik a téma aktualitását.

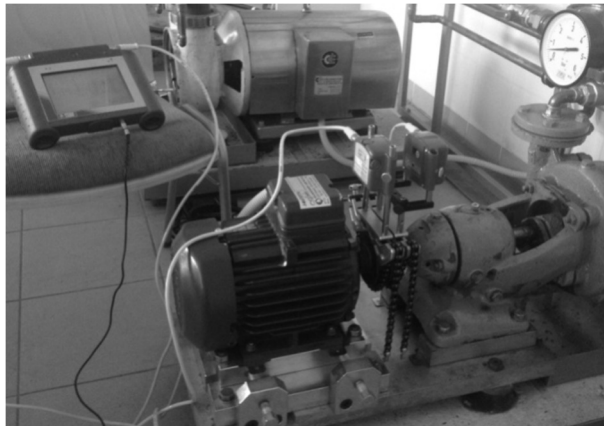
A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán található kísérleti berendezésen előre meghatározott, módszeresen beállított tengelyhibákat valósítottam meg. Munkám során olyan tengelybeállítási hibákat vizsgáltam, amelyben a két gépegység

geometriai tengelyvonala adott hibát zár be. Minden egyes beállított hibánál elvégeztem a kapott eredmények matematikai-statisztikai elemzését, továbbá vizsgáltam a csapágyrezgéseket és a tengelybeállítás gazdasági hatásait. A mérnöki gyakorlatban leggyakrabban az összetett tengelyhiba valósul meg, de esetemben a laboratóriumi körülmények lehetővé teszik a tiszta szög- és párhuzamossági hiba diagnosztizálását.

2. A vizsgált gépcsoport

A kísérletek egy 2,2 kW névleges teljesítményű háromfázisú aszinkronmotorból és egy bakcsapágyas szivattyúból álló speciális berendezésen (1. ábra) kerültek mérésre, az erőgép és a munkagép közötti tengelykapcsolatot egy tengelykapcsoló biztosítja. A külön rezgésdiagnosztikai vizsgálatokra tervezett gépláncban lévő szivattyú zárt rendszerben egy tartályon keresztül keringteti a vizet. A gépcsoport beton alapon és gumiból készült rezgéscsillapító elemeken nyugszik. A nyomócsonkon elhelyezkedő szelep segítségével a szivattyút a névleges szállítómagasság mellett üzemelt.

1. ábra: Kísérleti berendezés



A tengelybeállításnál és a rezgésmérések során használt mérőeszközök:

- FixturLaser lézeralapú tengelybeállító eszköz
- SPM Leonova Infinity rezgésmérő műszer
- FLUKE 435 Series II hálózatanalizátor

3. Lézeres egytengelyűség beállítás

Az erőgép és munkagép geometriai középvonalainak tökéletes egybeesése kulcsfontosságú mind a berendezések élettartamára, mind az adott gépegység energiafelhasználására vonatkozóan. Az optimális tengelybeállítás elvégzésére különböző mérőórák, műszerek állnak rendelkezésünkre. A leggyorsabb és legpontosabb tengelybeállítási módszer a lézeres egytengelyűség beállítás.

A mérések során a lézertektorokat a tengelykapcsoló egy-egy felére kellett rögzíteni, mivel a villanymotor és a bakcsapágyas szivattyú rövid tengelyei nem

tették lehetővé a tengelyre való felrögzítést (L. Hodossy, 2012). Következő lépésként meg kellett adni a tengelyállás kalkulációjához szükséges paramétereket, távolságokat. A készülék kijelzőjén található dőlésmérő és vízmérték használatával a lézer adó-vevőket először 9, majd 3, végül 12 órába kellett forgatni, ezzel meg lehet határozni a függőleges és vízszintes eltolódást a tökéletes egytengelyűséghez képest (A. Simm et al., 2016).

4. Rezgésmérés

A mérések előtt meg kellett határozni a mérőpontok helyzetét. Forgógépek esetén a rezgéseket a csapágyházaknál célszerű mérni, mivel a magasfrekvenciájú jelek itt mérhetők a legpontosabban. A villanymotor és a szivattyú is 2-2 db csapágyat tartalmaz, ezért csapágyanként 3 mérési pont került kialakításra, vízszintes, függőleges és axiális irányban. A villanymotorban 6205 FAG, míg a szivattyúban 6305 MGM radax típusú csapágyak vannak.

A rezgésérzékelő menetes orsóval rendelkezik, ezért az egyes mérési pontokon menetes furatok vannak, ahová a rezgésmérőfej stabilan rögzíthető.

2. ábra: Fordulatszám és rezgésmérés a Leonova Infinity mérőműszerrel



Az SPM cég Leonova Infinity rezgésmérő készülékével az alábbi adatokat mértem:

- tengely fordulatszáma
- ISO 2372 VIB axiális (tengelyirányú rezgésebesség mérése)
- ISO 10816 szabvány szerinti vízesés diagramok

A villanymotor hőmérsékletétől függően 2800 és 3000 1/min között ingadozott. A fordulatszám mérése a 2. ábrán, a mért értékek pedig a 3. ábrán láthatók. Minden egyes mérésnél a fordulatszám rögzítésre került, ami átlagban 2878 1/min-re adódott. Az aszinkronmotor adatai szerint a névleges fordulatszám 2855 1/min, tehát a mérések közel pontosak voltak. A melegedési fázisban a fordulatszám értéke jelentősen változott (Juan L. F. Chacon et al., 2014).

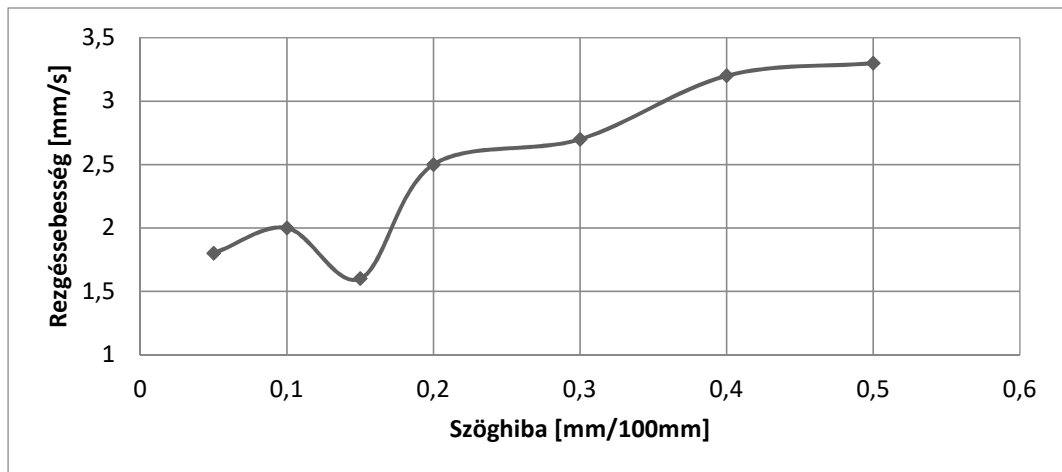
3. ábra: Mérésekénti fordulatszám



4.1. ISO 2372 szabvány szerinti mérések

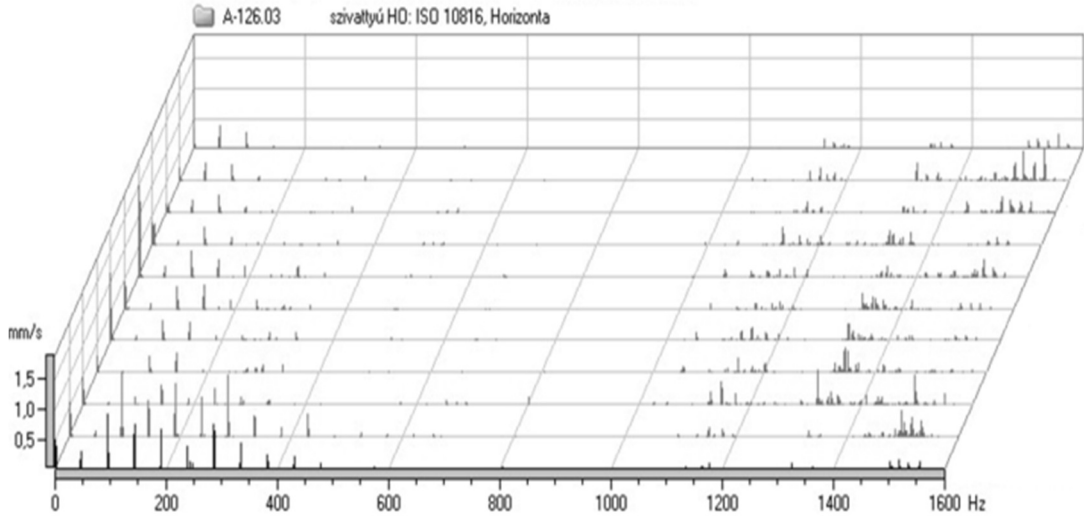
A kísérleti berendezést a szabvány szerint egy olyan csoportba soroltam, ahol 15 kW névleges teljesítmény alatti villanymotorok vannak (C. Verucchi et al., 2016).

4. ábra: Rezgésebbesség változása a tiszta szöghiba függvényben tengelyirányban



A 4. ábrán látható tengelyirányú mérésnél a rezgésebbesség kb. 0,2 mm/100mm szöghibától folyamatosan emelkedett. A (C. Verucchi et al., 2016) és (J. Yao et al., 2016) szakirodalom szerint az axiális irányú méréssel kimutathatjuk a szögbeli eltéréseket. Esetemben ezt a megállapítást meg tudom erősíteni, a vízszintes és függőleges irányú mérések nem mutattak jelentős rezgésebbesség változást a tengelybeállítási hiba változtatásával, amennyiben a szöghibát 0,6 mm/100mm értékig vizsgáljuk.

5. ábra: Vízésés diagram



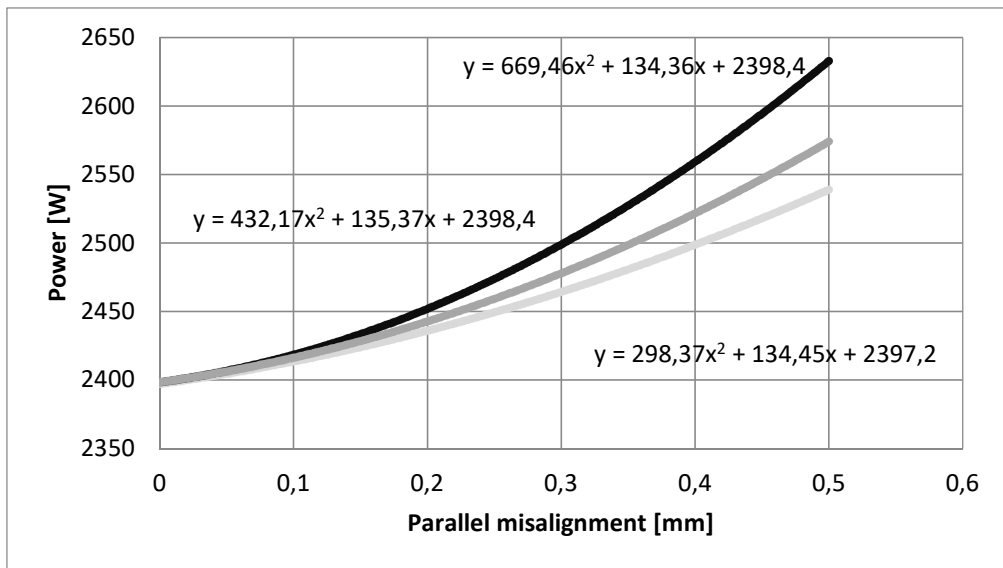
Az 5. ábrán egy ún. vízésés diagram látható. A vízszintes x tengelyen a frekvencia, míg a függőleges y tengelyen a rezgéssebesség került feltüntetésre. A „z” irányban kifelé haladva pedig az egyre növekvő tengelyhibák mérései kerültek ábrázolásra. A kis frekvencia értékeken létrejövő nagy amplitúdójú jelek a párhuzamos és szöghibákat jelölik (V. Barzdaitis et al., 2004) és (Z. Abidin et al., 2014). Az 1000 Hz feletti frekvencia tartományban lévő jelek az aszinkronmotor kalickarúdjainak illetve a gördülőelemek elhaladási frekvenciáit ábrázolják.

5. Teljesítményfelvétel mérése

Ha egy gépegység – teljesítményétől és szabványtól függően - jelentős mértékű tengelyhibával rendelkezik, akkor a csapágyakban ébredő erők nagysága megnő, a tengelykapcsoló feszül, a zajhatás nagyobb lesz (L. Hodossy, 2012) A karbantartási költségek elemzését szem előtt tartva egy hálózatelemző segítségével mértem a hálózatról felvett teljesítményt miközben előre meghatározott tengelyhibákat állítottam be.

Esetemben a FLUKE cég 435 teljesítmény analizátorát használtam méréseim során, amely áramerősség, feszültség, impedancia, teljesítmény és frekvencia mérésére alkalmas.

6. ábra: Különböző tengelykapcsolók viselkedése tiszta párhuzamossági hibánál

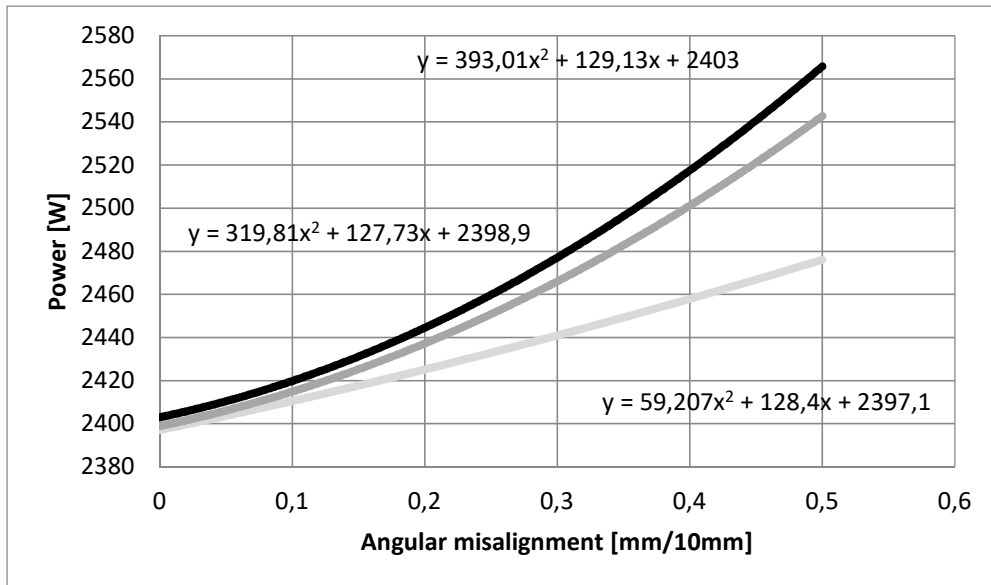


A 6. ábrán három különböző tengelykapcsoló alkalmazásával mérésre került a hálózathoz felvett teljesítmény. Minden egyes tengelykapcsolónál ugyanakkora egytengelyűségi hiba került beállításra és így könnyen összehasonlítható az egyes tengelykapcsolók közötti különbség. Mindhárom típusnál a tökéletes tengelybeállításnál a villanymotor kb. 2400 W teljesítményt vesz fel. Ahogy növeljük a párhuzamossági hibát az egyes tengelykapcsolók más-más jelleggörbét vesznek fel a hiba függvényében.

Az alsó vonal a négyelemes gumidugós, a középső az Oldham-, a felső pedig a hatelemes gumidugós tengelykapcsoló jelleggörbáját jelöli. Jól látható, hogy a négyelemes gumidugós kivitel viseli el legjobban a párhuzamossági hibát, ennél a típusnál a legkisebb a hálózathoz felvett teljesítmény változása. A mért értékekhez trendvonalat rendeltem, amelyen másodfokú görbét állítottam be. A (V. Barzdaitis et al., 2004) szakirodalom is másodfokú egyenlettel közelíti a teljesítményfelvételt a tengelyhiba függvényében.

A másodfokú ismeretlen együtthatója remekül tükrözi az adott tengelykapcsolóhoz tartozó állandót. Ennek segítségével egy „k” tengelykapcsoló tényezőt is be lehet vezetni.

7. ábra: Különböző tengelykapcsolók viselkedése tiszta szöghibánál



A 7. ábrán az előző diagramhoz képest tiszta szöghiba mellett történtek a mérések. Itt is jól elkülönül a három tengelykapcsoló típus, a diagram szerint a tiszta szöghibát is a négyelemes gumidugós tengelykapcsoló viseli el a legjobban. A két diagram összehasonlításából következik, hogy a szögbeli eltérést mindhárom tengelykapcsoló jobban viseli illetve kisebb a hálózatból felvett teljesítmény.

Mivel a villanymotor névleges teljesítménye alacsony, ezért a minél kisebb elemszámú gumidugós tengelykapcsoló lenne a megfelelő (M. Nakhaeinejad et al., 2009). A kísérletek során a négyelemes volt a legkisebb, de háromelemes is kapható kereskedelmi forgalomban. Utóbbi típus alkalmazásával még kedvezőbb eredményeket érhetünk el. A hatelemes gumidugós tengelykapcsoló a merev kialakítása miatt nehezebben viseli el az egytengelyűségi hibát, ez kiválóan látszik a diagramokon.

6. Összefoglalás

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karának diagnosztikai laboratóriumában található villanymotorral hajtott szivattyú kísérleti berendezésen egytengelyűségi hibából adódó rezgésdiagnosztikai méréseket végeztem el. A kutatás során a tengelyhibák berendezésre gyakorolt hatásainak elemzését tűztem ki célul. A mérések során előre meghatározott tengelyhibákat állítottam be speciális egytengelyűség beállító készülékkel.

A gépegység folyamatos üzemelése mellett mértem az egyes csapágyak rezgéssel kapcsolatos paramétereit. A rezgésmérő mérőműszer rögzítette a mért adatokat és egy külön szoftver segítségével pontos képet kaptam az egyes csapágyak állapotáról. A csapágyakat lökésimpulzus módszerrel is vizsgáltam, ennek segítségével megállapítottam, hogy a bakcsapágyas szivattyú mindkét csapágya cserére szorul. A különböző tengelykapcsolók alkalmazásával megállapítottam,

hogy a tiszta szögbeli tengelyeltéréseket jobban viseli a géplánc. Az felszerelt tengelykapcsolók közül mind a párhuzamossági, mind a szögbeli hibákat a négyelemes gumidugós tengelykapcsoló viselte el a legjobban. Az Oldham ill. a hatelemes gumidugós tengelykapcsoló merevnek bizonyult. A felállított jelleggörbék egyenleteinek köszönhetően sikerült egy, a tengelykapcsoló típushoz tartozó ún. „k” tengelykapcsoló tényezőt meghatározni.

A rezgésdiagnosztika egyre nagyobb jelentőséggel bír, sokan kezdik felismerni jelentőségeit és a benne rejlő lehetőségeket. Érdemes ezzel foglalkozni, hiszen a megfelelő tengelybeállítással jelentős karbantartási költségek takaríthatók meg. A javítás, alkatrészek cseréje előre ütemezhetővé válik, így jelentősen csökkenni fog a váratlan leállások valószínűsége. Kijelenthető, hogy az ideális tengelybeállítás hosszú távon gazdasági előnyökkel jár.

Irodalomjegyzék

- Dömötör F. et al.(2008): *Rezgésdiagnosztika I. kötet*, Dunaújváros, Dunaújvárosi Főiskola Kiadói Hivatal, 1-139. p. 277–361. p.
- Nagy. I. (2006): *Műszaki Diagnosztika I.*, Paks, Delta-3N Kft., 156-200. p.
- L. Hodossy (2012): *Elektrotechnika I.*, Edutus College, Tatabánya, p. 47–91.
- Juan L. F. Chacon, E. Artigao Andicoberry, V. Kappatos, G. Asfis, T.Gan, W. Balachandran (2014): Shaft angular misalignment detection using acoustic emission, *Applied Acoustics* 85, p. 12–22
- A. Simm, Q. Wang, S. Huang, W. Zhao (2016): Laser based measurement for the monitoring of shaft misalignment, *Journal of the International Measurement Confederation, Measurement* 87, p. 104–116.
- C. Verucchi, J. Bossio, G. Bossio, G. Acosta (2016): Misalignment detection in induction motors with flexible coupling by means of estimated torque analysis and MCSA, *Mechanical Systems and Signal Processing* 80, p. 570–581.
- J. Yao, B. Tang, J. Zhao, (2016): A Fault Feature Extraction Method for Rolling Bearing Based on Pulse Adaptive Time-Frequency Transform, Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration, p. 1–12.
- V. Barzdaitis, V. Zemaitis, K. Zebelys, Z. Pocius, P. Mazeika (2004): Condition monitoring of roller bearings using different diagnostic methods, *Diagnostyka* 30' Kaunas University of Technology, Lithuania
- Z. Abidin, A. I. Mahyuddin, W. Kurniawan, (2014): Rolling bearing damage detection at low speed using vibration and shock pulse measurements, *ASEAN Engineering Journal Part A*, Vol4 No 2, p. 6–21.
- M. Nakhaeinejad, S. Ganeriwala, (2009): Observations on dynamic responses of misalignments, TechNote, SpectraQuest Inc., Issuu, Digital Publishing Platform
- ISO 2372: Mechanical vibration of machines with operating speeds from 10 to 200 rev/s
- ISO 10816: Mechanical vibration – Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts

KÖRNYEZETTUDOMÁNY ÉS BIOTECHNOLÓGIA

KRITIKUS NYERSANYAG STRATÉGIA

Horváth Ágnes

Absztrakt: Az Európai Unióban 2002-ben megjelent WEEE (az elektromos és elektronikus berendezések hulladékairól szóló) irányelv, valamint az azt követően megjelent stratégiák, a Kritikus Nyersanyagok és a Körforgásos Gazdaság Stratégiái a másodnyersanyagok növekvő használatát célozták meg, ezáltal erősítve Európa nyersanyag politikai helyzetét. A cikk a kritikus nyersanyag stratégiát foglalja össze, ad rálátást a kritikusnak ítélt nyersanyagok módszerére, hátterére.

Abstract: WEEE directive (Waste of Electrical and Electronic Equipment) published in 2002 and strategies like Critical Raw Materials and Circular Economy has focused to improve recycling of secondary raw materials to strengthen Europe's raw material status. This article intends to summarize the critical raw material strategy, overview how criticality is defined.

Kulcsszavak: elektronikai hulladék, hulladékgazdálkodás, gyűjtés, hasznosítás, nyersanyag, készlet, vagyon, becslés

Keywords: WEEE, e-waste, waste management, collection, recycling, mineral, resource, reserve, estimation

1. Bevezetés

„Az elmúlt években az árupiacokat fokozott volatilitás és korábban soha nem látott ármozgások jellemezték. 2007-ben az árak valamennyi nagyobb árupiacon – így az energia, a fémek és az ásványok, a mezőgazdasági termékek és az élelmiszerek piacán – hirtelen fellendültek, majd miután 2008-ban elérték csúcspontjukat, 2008 második felétől erős hanyatlásba kezdtek. Az említett fejlemények hátterében az áll, hogy a globális keresleti és kínálati viszonyokban több változás is bekövetkezett, és számos rövid távú sokkhatás sújtotta a jelentősebb áru- és nyersanyagpiacokat. 2002 és 2008 között feltűnően megnövekedett a nyersanyagok iránti kereslet, aminek oka abban az intenzív globális gazdasági növekedésben keresendő, amely különösen Kínában és más feltörekvő országokban volt megfigyelhető. Ezek a fejlemények olyan időszakban jelentkeznek, amikor az európai ipar versenyképességéhez elengedhetetlen a nyersanyagokhoz való hatékony és biztonságos hozzáférés (Európai Bizottság, 2011).

Európa a globális fémérc termelés 25-30%-át használja, de csak 3%-át adja, számos jelentős ércet egyáltalán nem termel ki. Ennek eredményeként Európa kitétsége egyre nő nyersanyagforrás terén. A probléma súlyát felismerve az Európai Bizottság 2008-ban megjelentette nyersanyag-politikai kezdeményezését a nyersanyag kereskedelem átláthatósága, a hulladékcsökkentés, a nyersanyag megőrzés, a szaktudás erősítése, új technológiák fejlesztése, egységes ásvány politika létrehozása érdekében (Defra, 2012).

„A nyersanyagokra vonatkozó kezdeményezés a következő három pilléren nyugszik: egyenlő versenyfeltételek biztosítása a harmadik országokban található erőforrásokhoz való hozzáférés tekintetében; az európai forrásokból származó nyersanyagok fenntartható kínálatának előmozdítása, valamint az erőforrás-

hatékonyság fejlesztése és az újrahaznosítás előmozdítása” (Európai Bizottság, 2011).

E kezdeményezés eredményezte a kritikus fontosságú nyersanyagok körének meghatározását, mint a nyersanyag-politika egyik pillérének elemét.

Az Európai Unió egyes tagállamai saját országukra vonatkozó tanulmányokat is végeztek, szabályozásokat vezettek be mérlegelve nyersanyag kockázatukat saját gazdasági helyzetükhöz képest, amelyet a **Fraunhofer 2013-as** tanulmánya összegez.

Franciaország - French Strategic Metals Plan (2010): Azonosították azon kritikus anyagokat/fémeket, amelyek hiánya jelentős gazdaságukra tekintve.

Finnország - Finland’s Minerals Strategy (2010): Stratégiát állítottak fel az ismert és lehetséges ásványvagyon készletek kiaknázására 2050-ig.

Németország - German Government’s Raw Materials Strategy (2010): Céljuk a fenntartható ellátás biztosítása, valamint kutatásfejlesztési terveket határoztak meg.

Hollandia - Dutch Policy on Raw Materials (2011): Három fő célt határoz meg; biztosítani a folyamatos ellátást; fejleszteni a fenntarthatóságot; csökkenteni a nyersanyag igényt, hatékony nyersanyag felhasználással.

Egyesült Királyság - United Kingdom’s Resource Security Action Plan (2012): Felismerve a nyersanyag hiány kockázatát, a kormány az üzleti szegmensekkel együttműködve határoz meg akciókat.

Svédország - Sweden’s Minerals Strategy: Jelenlegi bányászati helyzetének erősítése az Európai Unión belül.

A helyzet kritikusságát felismerve az Unión kívül is számos kezdeményezés látott napvilágot, bár különböző megközelítéseken keresztül; Japán a kutatások terén, Dél-Korea az újrahaznosítás, Ausztrália a fenntartható bányászat, Kanada a feltárások növelésében lát potenciált. Oroszország készletfelhalmozásban és exportkorlátozásban hisz, hasonlóan Kínához ritkaföldfémek esetében. USA stratégiája pedig szintén készletfelhalmozás a kritikusnak ítélt anyagokra (**Ad hoc Working Group, 2014**), továbbá stratégiájában három célt határoz meg; helyettesítők fejlesztése, újrafeldolgozás, újrahaznosítás fejlesztése; hatékony anyagfelhasználás (**Defra, 2012**).

2. Kritikus nyersanyag definiálás módszere

A módszert 2010 évben az **Ad hoc** munkacsoport dolgozta ki, 41 lehetséges anyagot értékelve definiálták a kritikusakat, melyeknek kínálati hiányából eredő kockázata magas, ezáltal a gazdaságra kifejtett hatása nagy, más nyersanyagokhoz képest. A kritikusság vizsgálati időintervallumát 10 évben határozták meg, ennél rövidebb távot a politikai befolyás, hosszabb táv kizárását a bizonytalansági tényezők indokolták. A nyersanyagok kritikus minősítését az alábbiakban részletezett tényezők szerint értékelték.

Gazdasági jelentőség: A nyersanyagok gazdasági jelentőségét az egyes fő gazdasági ágazatokban (megaszektorokban) betöltött szerepük, hozzáadott értékük alapján rangsorolták.

Ellátási hiány: Az ellátási hiány megállapításához a nyersanyagok termelési adatait elemezték, a nyersanyagok világtermelési eloszlását az Ad hoc csoport 2010-es tanulmányában utalt Herfindahl-Hirschman Index (HHI) alapján értékelték. A HHI index emelkedése jelzi a piaci versenyerőt, ezáltal jelezve a magasabb ellátási kockázatot is. A HHI indexet összevetették a termelő országok politikai és gazdasági stabilitásával. A politikai és gazdasági stabilitást a Világbank indikátora alapján becsülték meg, amely egy a kormányzatot értékelő indikátor, hat elem alapján értékelve.

Az ellátási hiányt meghatározó másik faktor, a helyettesíthetőségi index, azaz adott anyag helyettesíthetősége más anyaggal, számszerű értékelése a Fraunhofer Intézet által megadott értékek szerint a következők: 0 - helyettesíthető költség nélkül; 0,3 - helyettesíthetőség lehetséges, aránylag alacsony költség mellett; 0,7 - helyettesíthető magas költséggel, 1 - nem helyettesíthető, vagy nagyon nehézkes. Az értékelés során nem csak az elsődleges, hanem a másodlagos nyersanyagokat is értékelték, ezért az újrafeldolgozás arányát is vizsgálták. Mivel a visszaforgatott anyag az ellátás egy másik forrása, ezért minél magasabb az újrahasználat aránya, annál kisebb a kockázat.

Fentiek alapján elmondható, hogy az ellátási hiányt összességében befolyásolja a termelés koncentrálttsága, a nyersanyag termelő ország politikai-gazdasági stabilitása, adott nyersanyag helyettesítési korlátai és újrahasznosítási lehetőségei.

Környezeti ország kockázat: Az országok környezet védelmének érdekében tett intézkedése által az Európai Unió nyersanyagellátás veszélyeztetésének kockázata. Az egyes nyersanyagok környezeti ország kockázat számításánál, a környezeti teljesítményt értékelték a termelő országokra összesítve, súlyozva a termelési mennyiségekkel. Az index 163 országot rangsorol 25 teljesítmény indikátort értékelve 10 irányelv alapján, mind az ökoszisztémára, mind a közegészségügyre, meghatározva, melyek a legjobban teljesítő országok a fellépő környezeti nyomások ellen, amellyel minden nemzet szembesül.

A 2010-es elemzés során a 41 eredetileg értékelt anyagból 14-et minősítettek kritikusként, melynek listája 2011-ben jelent meg (**Európai Bizottság, 2011**) és tartalmazza a következőket:

Antimon, Indium, Berillium, Magnézium, Kobalt, Nióbbium, Fluorit, Platina csoport elemei, Gallium, Ritkaföldfémek, Germánium, Tantál, Grafit, Volfrám;

Platina csoport elemei: Platina, Palládium, Irídium, Róbbium, Ruténium, Ozmium

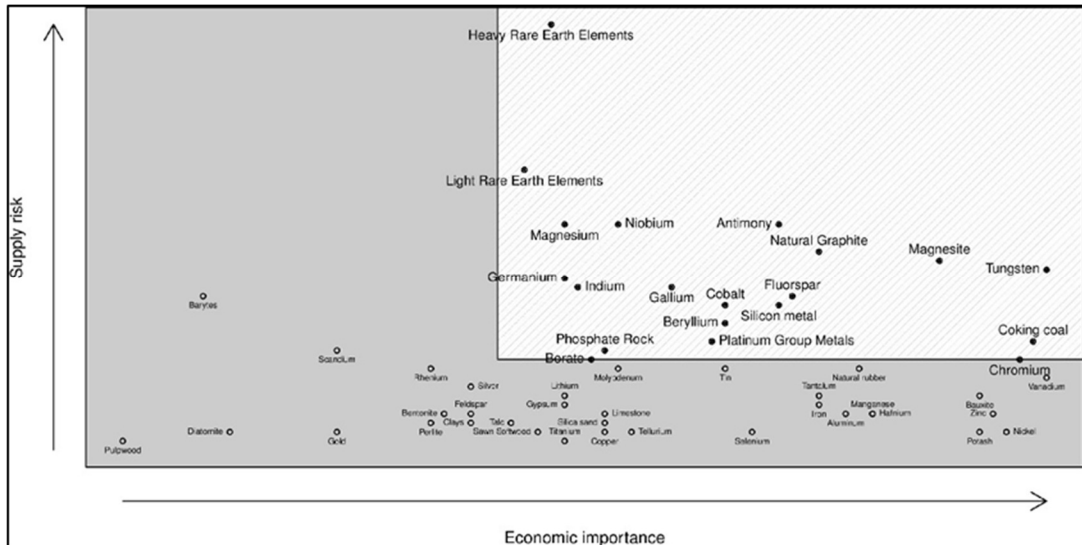
Ritkaföldfémek: Ittrium, Szkandium és a Lantanoidák (Lantán, Cérium, Prazeodímium, Neodímium, Prométium, Szamárium, Euróbbium, Gadóbbium, Terbbium, Diszpróbbium, Holbbium, Erbbium, Túbbium, Itterbbium and Lutécium)

A piac okozta változások és technológiai fejlődések a jegyzék folyamatos nyomon követését és időszakos felülvizsgálatát követelik meg, mely eredménye a 2014-ben megjelent új jegyzék. 2013-ban felülvizsgálták a korábban megjelent jegyzéket, a vizsgált nyersanyagok körét 54-re módosították, melyből 20-at minősítettek kritikusként (lásd: *1. ábra*):

A 2014-es jegyzék a következő nyersanyagokkal bővült a lista; Borátok, Króm, Koksztűn, Magnezit, Nyersfoszfát, Szilíciumfém, a ritkaföldfémek könnyű és nehéz osztályra lettek bontva.

A Tantál az alacsonyabb ellátási kockázatának köszönhetően kikerült az eredeti 14 nyersanyag közül (Európai Bizottság, 2014).

1.ábra: Nyersanyagok kritikus minősítése



Forrás: <http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/images/critical-importance-risk.jpg>

3. Kritikus nyersanyagok előfordulása

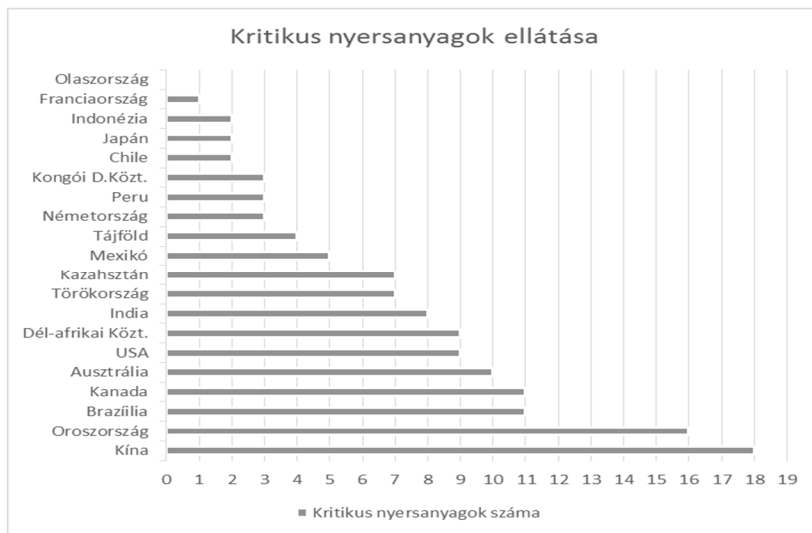
A kritikus nyersanyagok elsődleges termelési eloszlását áttekintve kijelenthető, hogy a kritikus elemek forrása csupán néhány országra korlátozódik. Európa kitettsége a források százalékos arányainak áttekintésével egyértelművé válik, csupán néhány százalékban, néhány elemnél jelenik meg Uniós tagállami forrás (lásd: 2. 3. ábra). Összességében Kína az első helyen szerepel, mind mennyiségek, mind pedig a kritikus anyagok számának tekintetében, amely arány a korábbi jegyzékhez képest nem változott. Amennyiben elemenként tekintjük át a jelentős forrásokat, megállapítható, hogy Brazília a Nióbium, USA a Berillium, Dél-Afrika a Platina, Kína a Ritkaföldfémek, Antimon, Magnezium és Volfrám meghatározó ellátói, 80% feletti termeléssel rendelkeznek.

2.ábra: Kritikus nyersanyag ellátásának eloszlása



Forrás: Fraunhofer (2013) adatok alapján szerző saját szerkesztése

3.ábra: Kritikus nyersanyag ellátásának száma



Forrás: Fraunhofer (2013) adatok alapján szerző saját szerkesztése

4. Záró gondolatok

A kritikus fontosságú nyersanyagok, „azaz az ellátás szempontjából magas kockázatot jelentő és kiemelkedő gazdasági jelentőségű nyersanyagok” (Európai Bizottság, 2014) jegyzékét először 2011-ben jelentette meg az Európai Bizottság az Unió versenyképességének növelése céljából, melynek „nyomán várhatóan növekedni fog az uniós gazdaság általános versenyképessége, összhangban a Bizottság azon törekvésével, hogy az ipar GDP-hez való hozzájárulása 2020-ra 20 %-ra nőjön. A jegyzék továbbá ösztönözni fogja Európában a kritikus fontosságú

nyersanyagok előállítását és elő fogja segíteni új bányászati tevékenységek beindítását” (Európai Bizottság, 2014).

Irodalomjegyzék

Ad hoc Working Group (2010), Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials Critical raw materials for the EU, Version of 30 July 2010

Ad hoc Working Group (2014), REPORT ON CRITICAL RAW MATERIALS FOR THE EU: on defining critical raw materials May 2014

Defra (2012), Department for Environment, Food and Rural Affairs, A Review of National Resource Strategies and Research, March 2012, Available: <http://www.defra.gov.uk/environment/economy/>

Európai Bizottság (2011), Brüsszel, 2011.2.2. COM (2011) 25. A Bizottság közleménye az Európai Parlamentnek, a Tanácsnak, az Európai Gazdasági és Szociális Bizottságnak és a Régiók Bizottságának, Az árupiacokkal és a nyersanyagokkal kapcsolatos kihívásokkal való szembenézés

Európai Bizottság (2014), Az EU számára kritikus fontosságú nyersanyagok jegyzékének felülvizsgálatáról és a nyersanyag-politikai kezdeményezés végrehajtásáról, 2014.5.26

Fraunhofer ISI (2013), Study on Critical Raw Materials at EU Level Final Report, A report for DG Enterprise and Industry, 16 December 2013

<http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/images/critical-importance-risk.jpg>

MIKROHULLÁMÚ ENERGIAKÖZLÉssel KOMBINÁLT FENTON-ELJÁRÁS HATÉKONYSÁG-VIZSGÁLATA A SZENNYVÍZTISZTÍTÁSBAN

Jákói Zoltán – Hodúr Cecilia – Szalay Dóra – Vágvölgyi Andrea –
Beszédes Sándor

Abstract: Kutatásunk során a mikrohullámmal intenzifikált Fenton-reakció alkalmazhatóságát vizsgáltuk húsipari szennyvíz kezelése esetén. A kísérletek során figyeltük a Fenton-reakcióhoz szükséges reagens (Fe^{2+} és H_2O_2) adagolási dózisének és a közölt mikrohullámú energiának a kémiai oxigénigény (KOI) csökkentésére (és így a szervesanyag-tartalom csökkentésére) gyakorolt hatását. A kutatási eredményeink igazolták, hogy a szervesanyag-eltávolítási hatékonyság az alkalmazott $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ aránytól és az összes közölt MW energiától is függ. Magasabb dózísú Fenton-reagens nagyobb mértékű KOI-csökkenést eredményezett, a mikrohullámú energiaközlés pedig képes az oxidációs reakció hatékonyságát növelni – magas közölt MW energia esetén adott KOI-érték csökkenéshez jóval kevesebb reagens is elegendő volt. A kísérletek során azt is igazoltuk, hogy a dielektromos veszteségi szög tangens mérésével a szervesanyag-eltávolítás pontosan és könnyen nyomon követhető.

Abstract: Our experimental work focused on the applicability of microwave-assisted Fenton-reaction for wastewater treatment. We investigated the effects of Fenton's reagent dosage and irradiated MW energy on the removal efficiency of chemical oxygen demand (COD). The results verified that organic matter removal efficiency is influenced by the $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ ratio and the microwave energy as well. Higher reagent dosage caused higher COD-removal, and it was proved that the microwave irradiation can enhance the efficiency of the oxidation process; the higher the MW energy was, the less reagent concentration was needed for reaching a given organic compound removal effectiveness. The experimental results also showed that measuring the dielectric loss tangent can be used to monitor the change in organic matter removal, i.e. the change in chemical oxygen demand.

Kulcsszavak: szennyvíz, Fenton-reakció, mikrohullám, dielektromos paraméterek

Keywords: wastewater, Fenton-reaction, microwave, dielectric parameters

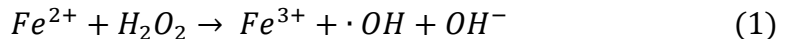
1. Bevezetés

Az élelmiszeripari gyakorlatban jelentős mennyiségben, a húsfeldolgozás, tisztítási és működtetési folyamatok során keletkező húsipari szennyvizek számottevő szerves- és szervesanyag-tartalommal rendelkeznek. A feldolgozástechnológiától és az alapanyagoktól függően a keletkező húsipari szennyvíz mennyiségi és minőségi jellemzői - különösen tekintettel a környezetre is veszélyes toxikus anyagokra és szennyezőkre - nagyban változhatnak, pontos előrejelzésük gyakran nem is lehetséges. Emiatt a csatornarendszerbe, esetleg környezetbe való kihelyezésük előtt a szennyvizeket ártalmatlanítani szükséges megfelelő szennyvízkezelési eljárások alkalmazásával.

Számos korábbi tudományos kutatás igazolta, hogy bizonyos, oxidációs-redukációs reakciókon alapuló vegyi folyamatokkal a szennyvizek és iszapok szerves szennyezőanyag-tartalma eredményesen lecsökkenthető. Ezek közül a napjainkban egyre nagyobb figyelmet kapó Fenton- és Fenton-típusú reakciók tekinthetők az egyik legeredményesebb és leghatékonyabb alternatívának, köszönhetően az

alacsony anyag- és működtetési költségeknek, valamint az ipari szinten is egyszerű kivitelezhetőségük miatt.

A Fenton-reakciók során használt reagens H_2O_2 és egy disszociációra képes $Fe(II)$ ion tartalmú vegyület adott arányú oldata, amely felhasználható szerves komponensek és egyéb szennyezőanyagok oxidálására. A Fenton és foto-Fenton-reakciók egyik legfőbb előnye, hogy kémiai-fizikai tulajdonságaikból adódóan felhasználhatók csökkentett energetikai igény mellett a víz- és szennyvízkezelésben, szobahőmérsékleten és atmoszferikus nyomás mellett is. A lejátszódó reakció általános sémáját a következő egyenlet írja le (Turney, 1995):



A Fenton-típusú reakciók másik előnye, hogy - például az ózonalapú előkezelésekkel szemben - a reakció során képződő szabad hidroxil-gyökök képesek a hidrofil és hidrofób szerves szennyezők degradálására is (Jung et al., 2016). A Fenton-reakció alkalmazásakor sok anyag és/vagy berendezés esetében a hosszú tartózkodási idő nem előnyös. A reakcióidő lecsökkentése tehát az ipari gyakorlatban is gyakran megoldandó feladat

Számos korábbi kutatás foglalkozott a mikrohullámú energiaközlés, mint intenzifikáló eljárás alkalmazásaival. A mikrohullámú (MW) sugárzás bizonyítottan felhasználható különböző környezettechnológiai és tisztítási folyamatokban, mint például extrakciós műveleteknél (Prevot et al., 2001), radioaktív hulladékok remediációjában (Wicks & Schulz, 1999) és kémiai katalízisekben (Zhang et al., 2005), illetve biológiai hasznosíthatóság fokozásában (Ahn, 2009 és Yang et al., 2013).

A szennyvízkezelésben a mikrohullám, mint önálló kezelési eljárás is hatékonyan alkalmazható (Lin et al., 2009), ugyanakkor a legfrissebb tudományos eredmények alapján a mikrohullámú energiaközlés kombinálása más folyamatokkal vagy anyagokkal (pl. oxidálószerekkel, híg savval/lúggal, fotokatalitikus folyamatokkal) tűnik a leghatékonyabb megoldások egyikének. A mikrohullámú hőkeltés speciális tulajdonságai miatt alkalmas a katalitikus degradációs határfok növelésére (Jones et al., 2002). Az önállóan alkalmazott Fenton-reakcióhoz képest a mikrohullámú kombinációban használt folyamat jobb tisztítási határfokot eredményezett metilénkék színezőanyag eltávolításakor (Liu et al., 2013). Továbbá a gyógyszergyári szennyvizek szervesanyagterhelésének csökkentésére is hatékonynak bizonyult (Yang et al., 2009).

A mikrohullámú sugárzásnak az anyaggal való kölcsönhatásának jellemzésére szolgál a dielektromos állandó, illetve a dielektromos veszteségi tényező. A veszteségi tényező és a dielektromos állandó hányadosa adja az úgynevezett veszteségi szög tangensét ($\tan\delta$) (Clark et al., 2000). Egy adott frekvencián a dielektromos paraméterek értéke függ az anyag hőmérsékletétől és fizikokémiai struktúrájától, ezáltal alkalmasak egyes fizikai és kémiai változások detektálására is (Kovács et al., 2018).

Jelenlegi kutatásunk a húsipari szennyvizekben jelenlévő szervesanyag-tartalom csökkentésének mikrohullámmal kombinált Fenton-típusú reakcióval történő lehetőségét célozta, illetve a szerves anyagok eltávolításának nyomon követhetőségét a dielektromos jellemzők mérésével.

2. Anyag és módszer

A kísérleteinkhez helyi üzemből származó húsipari szennyvizet használtunk fel. A szennyvíz főbb jellemzőit - kémiai oxigénigény (KOI), össz. szilárd anyag tartalom (TS) és biológiai oxigénigény (BOI₅) és pH. – az 1. táblázat foglalja össze. A kémiai oxigénigény spektrofotometriás-, az ötnapos biológiai oxigénigényt respirometriás módszerrel mértük.

1. táblázat: A felhasznált szennyvíz főbb jellemzői

Jellemző	Érték	Mértékegység
KOI	1570 ± 36	mgO ₂ /L
TS	2,3 ± 0,1	w%
BOI ₅	407 ± 53	mgO ₂ /L
pH	6,8 ± 0,2	-

A mikrohullámú kezeléseket egy 2,45 GHz frekvenciájú magnetronnal ellátott Labotron 500 típusú berendezésben végeztük két teljesítménylépcsőben (500 W és 250 W). A Fenton-típusú oxidációs folyamathoz 30%-os H₂O₂ (VWR, Magyarország) és 88%-os FeSO₄ (VWR, Magyarország) különböző arányú keverékét használtuk fel. Az oxidációs kísérleteknél a minták pH-ját előzetesen 3,0 értékre állítottuk. A közölt összes mikrohullámú energiát a kezelési idő [s] és a mikrohullámú teljesítmény [W] szorzatával egységtérfogatra adtuk meg, a kísérleti beállításokat a 2. táblázat foglalja össze:

2. táblázat: A közölt összes MW energia a teljesítmény és az idő függvényében

MW teljesítmény [W/mL]	MW energia [J/mL]			
	300	450	600	750
2.5	120 s	180 s	240 s	300 s
5	60 s	90 s	120 s	150 s

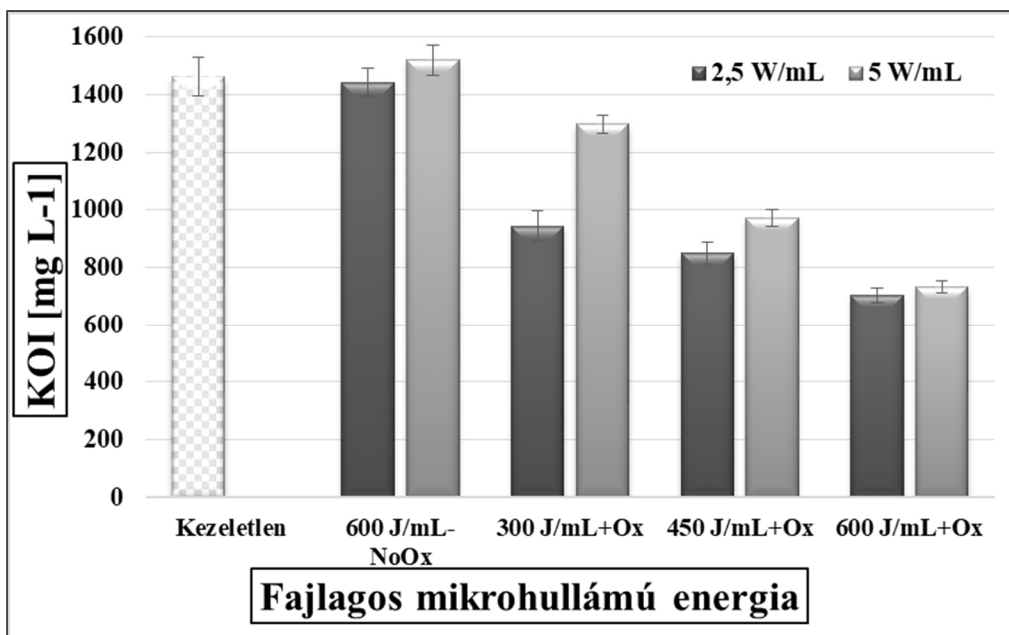
3. Eredmények és értékelésük

A kísérletek során meg kívántuk határozni, hogy a mikrohullámú energiaközlés milyen hatással bír a Fenton-reakció hatékonyságára a szennyvízminták kezelése során. Megállapítható, hogy a mikrohullámú kezelés önmagában nem okozott

számottevő csökkenést a kémiai oxigénigény mértékében (i.e. nem csökkentette szignifikánsan a minták szervesanyag-tartalmát), azonban a Fenton-típusú oxidációs reakció hatékonyságát megnövelte a KOI-csökkenést tekintve.

Rögzített $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ dózis (rendre 150/120 mg/mg) esetében az MW energia növelése rendre magasabb KOI-érték csökkenést eredményezett. A kombinált folyamatban a mikrohullámú teljesítmény szervesanyag-tartalom csökkenésre gyakorolt hatása a besugárzott MW energiától függött; azonos közölt energiamentiségnél a nagyobb (5 W/mL) fajlagos teljesítmény magasabb KOI értéket eredményezett, így a kisebb, 2,5 W/mL fajlagos teljesítmény alkalmazása bizonyult az előnyösebbnek (1. ábra).

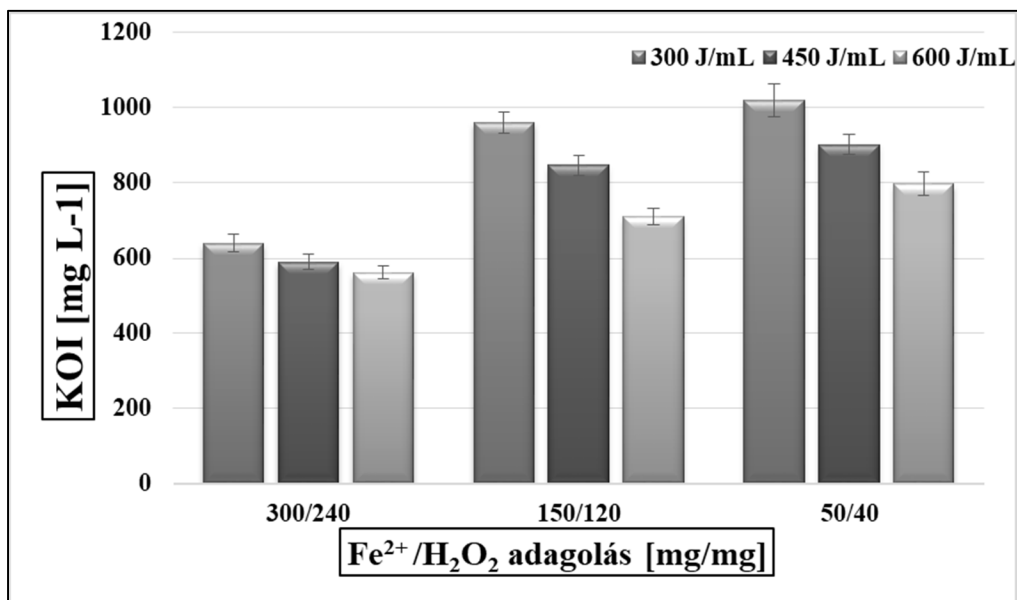
1. ábra: A KOI értékek változása a fajlagos MW energia függvényében



Adott mértékű (300 J/mL, 450 J/mL, 600 J/mL) besugárzott mikrohullámú energia esetében a szervesanyag-tartalom csökkenés mértéke észrevehetően függött az adagolt $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ aránytól.

Magas koncentrációban (300/240 mg/mg) alkalmazott $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ reagens esetén a közölt MW energiától függetlenül kisebb volt a mért kémiai oxigénigény a folyamat végén, mint a kisebb koncentrációk esetén, vagyis az oxidációs folyamat hatékonyságának szempontjából a magasabb koncentrációk alkalmazása bizonyult az előnyösebbnek. Ugyanakkor a közölt MW energia megnövelésével megközelítőleg azonos KOI érték érhető el úgy is, ha az adagolt $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ koncentrációt lecsökkentjük, vagyis a mikrohullámú kezeléssel a folyamathoz szükséges reagens mennyisége számottevően redukálható (2. ábra).

2. ábra: A KOI értékek változása az alkalmazott $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ arány függvényében



Korábbi kutatásaink során igazoltuk, hogy szennyvíziszapok mikrohullámmal történő kezelése során a lebontási hatékonyság a dielektromos paraméterek mérésével nyomon követhetővé válik (Lemmer et al., 2017). A különböző anyagok dielektromos viselkedésére hatással van a frekvencia, a hőmérséklet és az alapanyagmátrix fizikokémiai tulajdonságai (Jha et al., 2011).

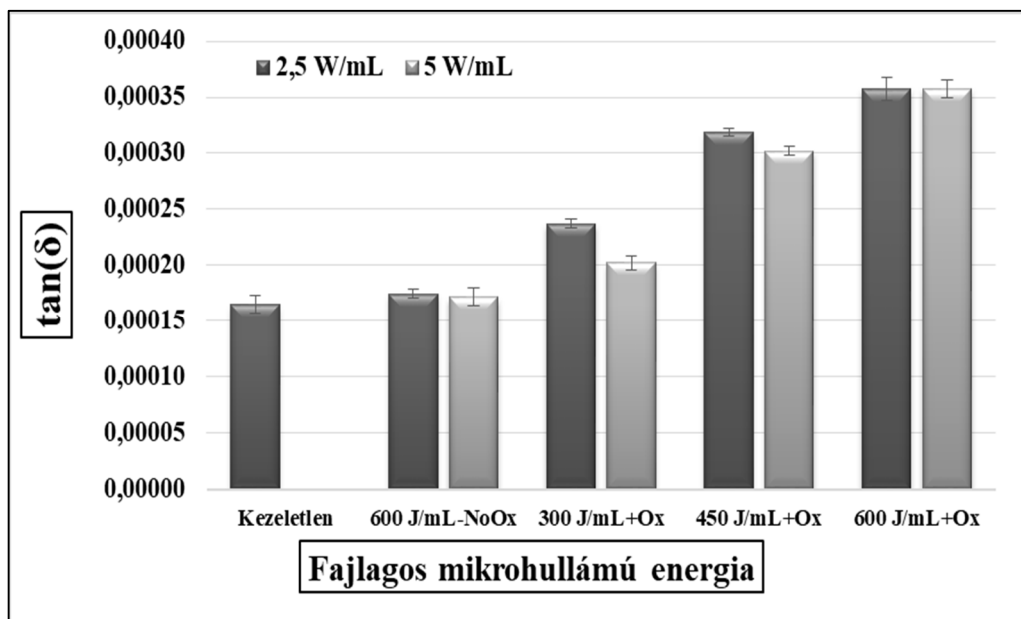
Amikor valamilyen kémiai és/vagy termikus kezelés során a szennyvíz oldhatatlan formájú szerves anyagai vízoldható formába kerülnek, akkor a dielektromos jellemzők megváltozását várjuk. Ennek igazolására, illetve hogy a dielektromos jellemzők és a szervesanyag-tartalom csökkenés között korreláció van, a mikrohullámmal kombinált Fenton-típusú reakció után ellenőriztük a minták dielektromos veszteségi szög tangensét ($\tan\delta$).

A dielektromos paraméterek mérésekor a 200-2400 MHz frekvenciaintervallum került végigpásztázásra. Nyugvó közegű és 25°C-on rögzített mintahőmérsékletű mérés esetén a nagyobb különbség a különböző minták dielektromos paraméterei között az alacsonyabb frekvenciatarományban adódott.

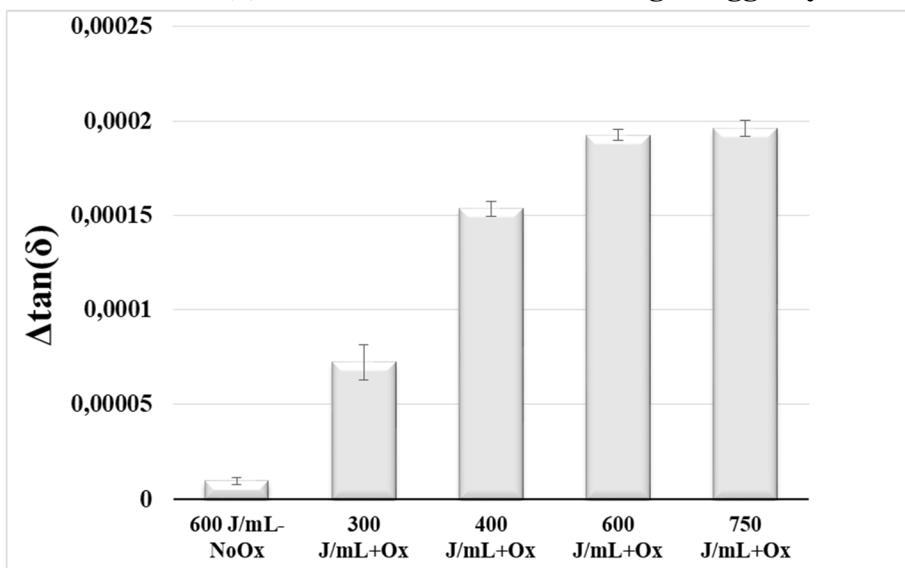
A dielektromos tulajdonságok (dielektromos állandó, veszteségi tényező, veszteségi szögtangens, reflexiók együttható, stb.) közül a veszteségi szög tangense bizonyult a legmegfelelőbbnek a kezelt szennyvíz szervesanyag-koncentráció változásának a meghatározására. Ezen megfigyeléseink alapján a veszteségi szögtangens ($\tan\delta$) értékeit 200 MHz-en mértük a kezelések után.

A dielektromos mérések igazolták, hogy a $\tan\delta$ értéke alkalmas a mikrohullámú-oxidációs reakció által előidézett szervesanyag-tartalom csökkenés nyomon követésére. A KOI értékek csökkenésével a $\tan\delta$ arányosan megnőtt, és a különböző kísérleti beállítások (közölt MW energia, reagens dózis stb.) során kapott KOI értékek változásával hasonló tendenciát mutat (3. ábra).

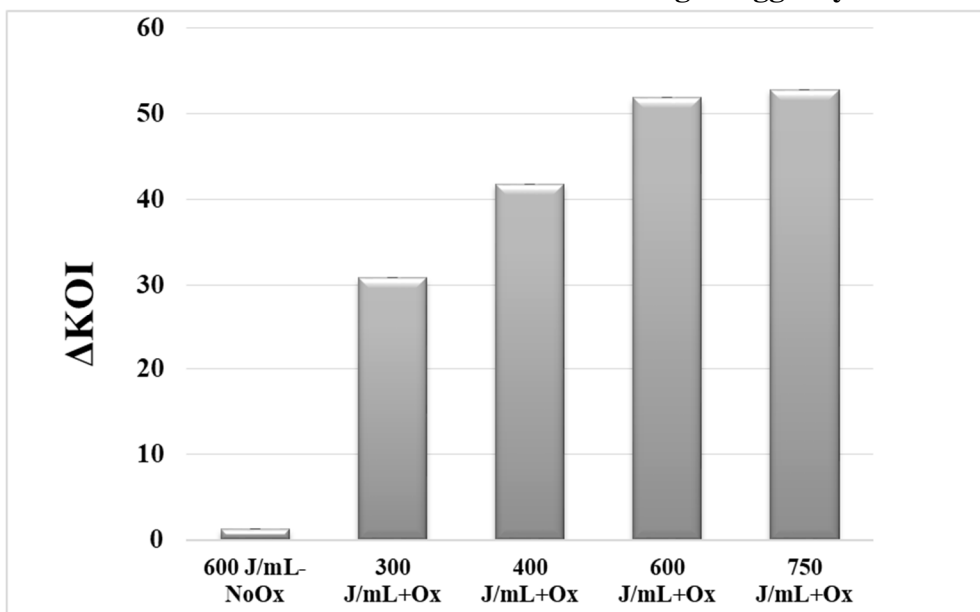
3. ábra: A $\tan(\delta)$ értéke a fajlagos MW energia függvényében, rögzített $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ arány esetén



A 4. ábra szemlélteti a dielektromos veszteségi szögtangens ($\Delta \tan \delta$), az 5. ábra pedig az oxidációs folyamat alatt bekövetkező kémiai oxigénigény értékeinek változását (ΔKOI). A két ábrán látható, hogy a két vizsgált paraméternél a változási tendencia hasonló, így a kettő között (i.e. a dielektromos veszteségi szögtangens és a szervesanyag-tartalom csökkenés) feltételezett korreláció bizonyítható.

4. ábra: A $\tan(\delta)$ változása a közölt MW energia függvényében

5. ábra: A KOI változása a közölt MW energia függvényében



4. Következtetések, összegzés, záró megjegyzések, záró gondolatok

A kísérleti eredmények alapján igazolható, hogy a szennyvízkezelés során, annak szervesanyag-tartalmát csökkenteni igyekvő eljárások közül a Fenton-típusú reakció egy új és ígéretes alternatívának mutatkozik. A Fenton reakció során mikrohullámú energiaközlést alkalmazva, a kapcsolt eljárás szervesanyag eltávolítási hatékonysága tovább növekedett, lecsökkent műveleti időszükséglet mellett.

Magas közölt mikrohullámú energia esetében az alkalmazott $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2$ dózis lényegesen csökkenthető ugyanolyan mértékű KOI-csökkenés elérése mellett; a

mikrohullámú fajlagos teljesítmények közül pedig adott energiaszinten a kisebb (2,5 W/mL) bizonyult az előnyösebbnek. A dielektromos paraméterek mérésével igazolni tudtuk, hogy a vizsgált húsipari szennyvíz esetében, a mikrohullámmal kombinált Fenton reakció során a szervesanyag-tartalom változás, a 300-600 J/mL fajlagos kezelési energiaintenzitás tartományban, a veszteségi szögtangens mérésével pontosan és egyszerűen nyomon követhető volt.

Köszönetnyilvánítás

A kutatócsoport köszönetet mond az EFOP-3.6.2-16-2017-00010 azonosító számú „Fenntartható nyersanyag-gazdálkodás tematikus hálózat fejlesztése – RING 2017 által nyújtott anyagi támogatásért.

Irodalomjegyzék

- Turney, T. A.: 1995. Oxidation Mechanisms. Butterworths and Co, London, p. 196.
- Jung C. – Deng Y. – Zhao R – Torrens K.: 2016. Chemical oxidation for mitigation of UV-quenching substances (UCQS) from municipal landfill leachate: fenton process versus ozonation. *Water Research* 108, 260-270.
- Prevot A. B. – Gulmini M. – Zelano V. – Pramauro E.: 2001. Microwave-assisted extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from marine sediments using non-ionic surfactant solutions. *Analytical Chemistry* 73, 3790-3795.
- Wicks G. G. - Schulz R. L.: 1999. Microwave Remediation of Hazardous and Radioactive Wastes. WSR-MS-99-00762.
- Zhang H. - Hayward D. O. - Mingos D. M. P.: 2003. Effects of microwave dielectric heating on heterogeneous catalysis. *Catalysis Letters* 88, 33–38.
- Ahn J. H. - Shin S. G. - Hwang S.: 2009. Effect of microwave irradiation on the disintegration and acidogenesis of municipal secondary sludge. *Chemical Engineering Journal* 153, 145–150.
- Yang Q. - Yi J. - Luo K. - Jing X. - Li, X. - Liu Y. & Zeng G.: 2013. Improving disintegration and acidification of waste activated sludge by combined alkaline and microwave pretreatment. *Process Safety and Environmental Protection* 91, 521–526.
- Lin L. - Yuan, S. - Chen, J. - Xu Z. - Lu X.: 2009. Removal of ammonia nitrogen in wastewater by microwave irradiation. *Journal of Hazardous Materials* 161, 1063–1068.
- Liu, S.-T. - Huang J. – Ye Y. - Zhang A.-B. - Pan L. - Chen X.-G.: 2013. Microwave enhanced Fenton process for the removal of methylene blue from aqueous solution. *Chemical Engineering Journal* 215–216, 586–590.
- Yang Y. – Wang P. - Shi S. - Li Y.: 2009. Microwave enhanced Fenton-like process for the treatment of high concentration pharmaceutical wastewater. *Journal of Hazardous Materials* 168, 238–245.
- Clark D. E. - Folz D. C. - West J. K.: 2003. Processing materials with microwave energy. *Materials Science and Engineering A* 287 (2), 153–158.
- Kovács P. V. - Lemmer B. - Keszthelyi-Szabó G. - Hodúr C. - Beszédes S.: 2018. Application of dielectric constant measurement in microwave sludge disintegration and wastewater purification processes. *Water Science and Technology* 77 (9), 2284–2291.
- Jha, S. N. - Narsaiah K. - Basedya A. L. - Sharma R. - Jaiswal P. - Kumar S. – Bhardwaj R.: 2001. Measurement techniques and application of electrical properties for non-destructive quality evaluation of foods-a review. *Journal of Food Science and Technology* 48, 387–411.
- Lemmer B. - Veszelszki-Kovács P. - Hodúr C. - Beszédes S.: 2017. Microwave-alkaline treatment for enhanced disintegration and biodegradability of meat processing sludge. *Desalination and Water Treatment* 98, 130–136

AZ AMMÓNIA KIBOCSÁTÁSÁNAK CSÖKKENTÉSE ÉS A NITROGÉNMENTENEDZSMENT PROBLÉMÁJA NAPJAINKBAN

Tárnok Balázs – Kujáni Katalin

Abstract: Az ammónia (NH₃) a nitrogéntartalmú szerves vegyületekből, elsősorban a karbamid és a fehérjék biológiai lebontásakor jön létre. A mezőgazdasági eredetű kibocsátások közvetlenül és közvetve az állati emésztőrendszerből, a trágya tárolásából és a talajból származhatnak. Az állattartó telepekből származó kibocsátásokra az állatfajok, a takarmány (N-kiválasztás hatása), az épület jellemzői (padló, szellőzés, hőmérséklet) és a trágya tárolása (külső hőmérséklet, a lefedettséghez használt anyag) hatással vannak. Az egyes légköri szennyező anyagok nemzeti kibocsátásainak csökkentéséről szóló 2284/2016-os, napjainkban is hatályos EU irányelv 2010-től kezdődően állapítja meg a kapcsolódó határértékeket. Ezen irányelv Magyarország tekintetében többek között (kén-dioxid, nitrogén-oxid), előírja az ammónia kibocsátásának a csökkentését, amely az agrár-ágazat szempontjából a legjelentősebb. Az előírt határértékek a 2005-ös értékekhez viszonyítva 2020-ra 10%-os, míg 2030-ra 32%-os csökkentést jelentenek. Összegezve, az ammónia mitigációja (csökkentése) globális méretű, agrárágazati probléma. Kutatásommal egy átfogó képet kívánok alkotni a jelenleg hatályos kibocsátás-csökkentési szabályozásról nemzeti és nemzetközi szinten. A publikáció egy szakirodalmi áttekintést kíván adni az ammónia-emisszió csökkentésével foglalkozó nemzetközi tudományos értekezésekről.

Abstract: Ammonia (NH₃) is derived from nitrogen-containing organic compounds, primarily from biological degradation of urea and proteins. Agricultural emissions can originate directly and indirectly from the animal's digestive tract, from the manure storage and from the soil. Emissions from livestock farms are affected by animal species, feed (N-effect), building characteristics (floor, ventilation, temperature) and manure storage (outside temperature, material used for coverage). The Directive on National Emission Ceilings, which is still in force today, sets the relevant limit values for emissions of certain air pollutants from 2010 onwards. This directive requires, among other things, Hungary (sulfur dioxide, nitrogen oxide) to reduce emissions of ammonia, which is the most significant for the agricultural sector. The required limits are 10% by 2020 and 32% by 2030 compared to 2005 values. In summary, reducing ammonia mitigation is a global problem. With my research, I intend to create a comprehensive picture of the current emission reduction regulations at national and international level. The publication is intended to provide an overview of international scientific discussions on ammonia emission reduction.

Kulcsszavak: ammónia, kibocsátás-csökkentés, légszennyezés, környezetvédelmi politika

Keywords: ammonia, emission reduction, air pollution, environmental policy

1. Bevezetés

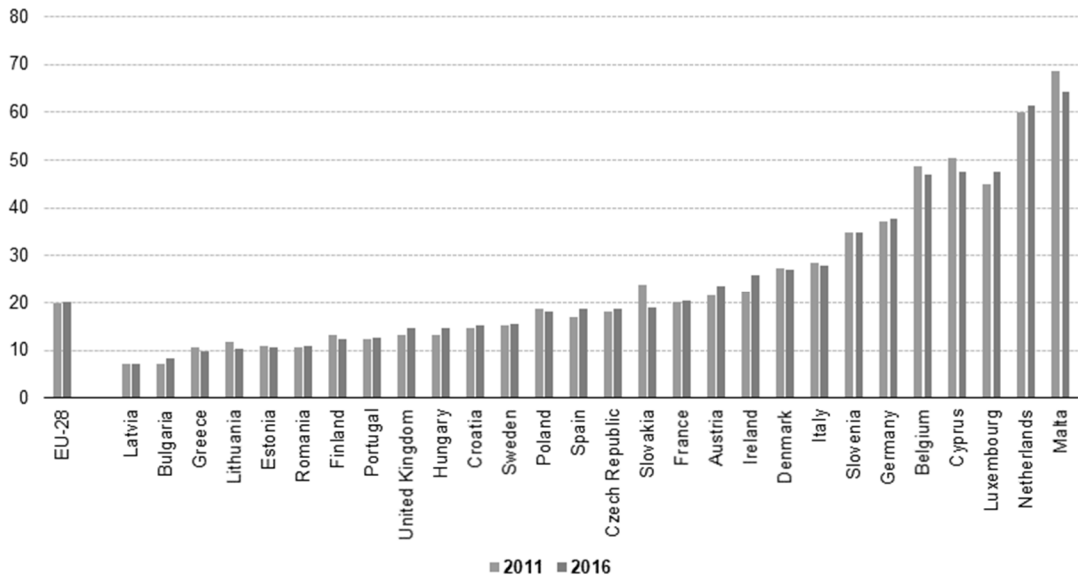
Az ammónia kibocsátásának csökkentésével kapcsolatban a NECD (Nemzeti kibocsátási határértékekről szóló 2284/2016-os EU irányelv) hatályos. Az irányelv nemzeti kibocsátási határértékeket határoz meg bizonyos levegőszennyező anyagok összes kibocsátásaira, amelyeket a tagállamoknak tiszteletben kell tartaniuk. Az e tárgyban jelenleg hatályos irányelv 2010-től kezdődően állapít meg határértékeket, melyek az elmúlt években elősegítették a kén-dioxid (savas esőket okozó anyag), az ammónia, a nitrogén-oxidok és az illékony szerves vegyületek (oldószerekből, közúti járművekből, háztartási fűtő- és áramtermelő rendszerekből származó szennyező anyagok) kibocsátásainak csökkentését. A fentiek alapján a magyar agrár-ágazat szempontjából legjelentősebb az ammóniakibocsátás csökkentése, melyek

mértéke a 2005-ös értékekhez viszonyítva 2020-ra 10%-os, míg 2030-ra 32%-os emisszió csökkentés.

Az ammónia (NH_3) a nitrogéntartalmú szerves vegyületekből, elsősorban a karbamid és a fehérjék biológiai lebontásakor jön létre. Az emlősállatok szervezete kiválasztja a nitrogén többletet, mint karbamidot a vizeletben. Azonban az ürülék is tartalmaz nitrogént fehérjeként, valamint különböző szerves vegyületekként. A legtöbb ammónia-kibocsátás a karbamid hidrolíziséből származik, az ammóniát termelő ureáz enzim jelenlétében (Bernhard Osterburg, 2018).

Az állattartó telepekből származó ammónia-kibocsátás csökkentésére irányuló intézkedések közé tartozik a trágya korszerűbb kezelése az épületben, mint például a vizelet elválasztása, a trágya hűtése, a légszűrők használata és a trágya tárolóinak lefedése. Ezen túl a kijuttatásból származó kibocsátás csökkentésére vonatkozó szabályozások a trágya talajba történő bedolgozására, vagy a hígtrágya talajba injektálására, és a hígításra, valamint savanyításra irányulnak (Bernhard Osterburg, 2018).

2. ábra: A mezőgazdaságból származó ammónia-kibocsátás országoként, 2011-ben és 2016-ban (kg / ha hasznosított mezőgazdasági területeken)



Forrás: Eurostat, 2019.

2. Anyag és módszer

Kutatásommal egy átfogó képet kívánok alkotni a jelenleg hatályos kibocsátás-csökkentési szabályozásról, valamint a tudományos eredményeken alapuló útmutatókról nemzeti és nemzetközi szinten. A publikációban egy szakirodalmi áttekintést kívánok adni az ammónia-emissziócsökkentéssel kapcsolatos eljárásokról, valamint a kibocsátás-csökkentési intézkedésekről Magyarország vonatkozásában.

Jelen tanulmányban három ország (név szerint Hollandia, Dánia és Finnország) jelenleg is hatályos intézkedéseit mutatom be. Az országokra a választás azért esett, mert jelenleg az Unió szinten zászlóshajónak mondhatóak a mezőgazdasági eredetű káros anyagok csökkentésének tekintetében.

3. Eredmények

3.1. Hollandia integrált szemléletű szabályozása

Hollandiában 1984 óta nemzeti intézkedéseket hoztak a trágya és a műtrágya felhasználás környezeti hatásainak csökkentésére. A jelenlegi holland megközelítés olyan intézkedések kombinációját jelenti, amelyek a termelést és a talajok és a vizek terhelésének csökkentésére irányuló intézkedéseket szabályozzák. 2008-ban lépett hatályba az Európai Unió (továbbiakban EU) ammónia emissziós határértékek elérése érdekében az állategységre vonatkozó kibocsátási normákra vonatkozó irányelve. A 2010-2019-es időszakra maximum 128 kilotonna ammóniát írtak elő. A 2020-2024 közötti időszakban 13%-al a 2025-2029 közötti időszakban pedig 25% -kal tervezik csökkenteni a kibocsátási szintet a 2005-öshöz képest (Hans J.M. Van Grinsvena et. al. 2016)

A holland kutatások megerősítették azt a korábbi következtetést, hogy az alacsony kibocsátású gyepgazdálkodási technikák hatékonyan csökkentik az ammónia veszteséget miközben növelik a gyepnövekedéshez szükséges nitrogén rendelkezésre állását (Hans J.M. Van Grinsvena et. al. 2016).

A fentiekén túl a holland trágyázási és műtrágyázási törvény (holland nevén: Meststoffenwet) az uniós szintű Nitrát Direktíva holland végrehajtásának szerves része. A szabályzás többek között meghatározza a kijuttatható nitrogén és foszfát mennyiségét, valamint a kijuttatás módját is, amelyet műtrágya és szerves trágya formájában lehet alkalmazni gyep- illetve szántóterületen.

3.2. Dánia állattenyésztéssel kapcsolatos intézkedései

A dán mezőgazdasági szabályozás egyik központi célkitűzése a nitrogénciklus optimalizálása az agrártermelési rendszeren belül azáltal, hogy növeli a szerves forrásokból származó tápanyagok felhasználását, pl. az állati hígtrágyát a rendszerben, és korlátozza a műtrágyák rendszerbe való beépítését egy fenntartható mennyiségre, miközben csökkenti a rendszerből származó veszteséget környezetileg kompatibilis szintre (Ministry of Environment and Food of Denmark, 2017).

A szabályok előírják, hogy a terület minimális méretére vonatkozóan az állattartó gazdaságnak rendelkezésre kell állnia az üzemmérethez mért trágyatárolóval is. A követelmény az élőállat-egységek hektáronkénti (Állategység (ÁE) / ha) korlátozása. Az állattenyésztés egyes szakaszaihoz (pl.: tárolás) kapcsolódó nitrogén tartalom alapján, a legjobb modern termelési rendszernél a legalacsonyabb ammónia-kibocsátással, 1 állategységnél (ÁE) a 100 kg N-ről lehet beszélni. Ezáltal végrehajtják a nitrátokról szóló irányelv (91/676 EGK Irányelv) azon követelményét, mely szerint a hektáronkénti trágya mennyisége max. 170 kg nitrogén hatóanyag (továbbiakban N), ami a legjobb termelési rendszerben 1,7 ÁE /

ha. 2017 augusztusától az ÁE követelményeket kg-ban hektáronkénti korlátként definiálják. Ha az állati trágyát a gazdaságon kívül szállítják, az átruházott állattenyésztési egységek számát a nitrogéntartalom alapján kell kiszámítani (Ministry of Environment and Food of Denmark, 2017).

3.3. Finnország kibocsátást csökkentő szabályozása

Finnországban az ammónia-kibocsátás több mint 90 százaléka származik mezőgazdasági szektorból, ezért a kibocsátás csökkentésére irányuló intézkedések nagy részét az ágazatra kell irányítani. A mezőgazdaságban az ammónia az állattenyésztésből: a trágya tárolásából és kijuttatásából származik. A mezőgazdaságban az ammónia-kibocsátás csökkentését célzó leghatékonyabb intézkedések az állati trágyázásra és az azzal kapcsolatos tevékenységekre vonatkoznak. Az ammónia-kibocsátás csökkenthető az állatok takarmányozásával kapcsolatos intézkedésekkel is, de ezek szabályozása és az elért hatások felmérése nehezebb, mint a trágyakezeléssel kapcsolatos intézkedések esetében. (Ministry of Agriculture and Forestry of Finland, 2018).

A Finnország ammónia-kibocsátási leltárának elkészítéséhez használt korábbi modell dokumentációját csak finn nyelven tették közzé. A jelentés magába foglalja az ammónia-kibocsátásról, az ammónia-párolgásáról, az emissziós forrásokról, a korábbi, a mezőgazdaságból származó ammónia-kibocsátás Finnországra és más országokban történő becslésére vonatkozó adatok dokumentációjának alapos irodalmi áttekintését, valamint a lehetséges csökkentési intézkedésekről szóló információkat. A kiadvány egy aktualizált és a termelők számára is könnyen használható modellt is dokumentál a trágyagazdálkodásból származó ammónia-kibocsátás kiszámításához az állattartó teleptől a trágya kijuttatásáig. A kiadvány tartalmazza a különböző ammónia-modellekben alkalmazott paramétereket Finnországban és más országokban is, mint például az állattartó telepekben történő kipárolgást (Ministry of Agriculture and Forestry of Finland, 2018).

3.4. Ammóniacsökkentési intézkedések Magyarországon

A Magyarországon végbemenő rendszerváltozást és az abból következő (drasztikusnak mondható) állatállomány csökkenése következtében 1990 és 2016 között 42%-kal csökkent az ammónia emisszió. Emellett jelentős a szennyeződés a műtrágya-felhasználásból is. (Eöry és Kujáni, 2019a). Ez azonban jelentősen függ olyan tényezőktől, mint a műtrágya típusa, az időjárás, vagy a talaj adottságai. Jó példa rá, hogy a karbamid alapú műtrágyákból következő kibocsátás sokkal jelentősebb más műtrágyatípusukhoz képest (Eöry és Kujáni, 2019b).

Az ammónia csökkentésére 2015 óta nemzeti program előkészítése folyik az Agrárminisztériumban a NEC Irányelv végrehajtásaként. Az egyeztetésben részt vettek egyes kutatóintézetek, a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara, az Országos Meteorológiai Szolgálat, valamint egyéb szakmai szervezetekkel. A szakpolitikai célként egy olyan program elkészítése van megjelölve, amely elősegíti a nitrogénfelhasználásból eredendő költségek csökkentését, és egészséges fenntarthatóbb agrárágazat létrehozását (Eöry és Kujáni, 2019a).

Az Országos Levegőterhelés Csökkentési Program, Mezőgazdasági Alprogramja a következő területek szabályozására fog kitérni:

- helyes mezőgazdasági gyakorlat
- alacsony fehérje tartalmú takarmányozás
- modern trágyatárolás
- emisszió-csökkentett kijuttatási módszerek
- műtrágya felhasználás

Magyarország számára a legkiemeltebb intézkedési területek a karbamid-alapú műtrágyák, a szerves trágya kijuttatás és az alacsony fehérjetartalmú takarmányozás környezetvédelmi szempontból felelős és termelőbarát szabályozása.

Végezetül egy táblázatban foglaltam össze a vizsgált országok ammónia-csökkentési intézkedéseit. Ez alapján megállapítható, hogy a trágyatárolók lefedése, és a kijuttatással kapcsolatos kibocsátáscsökkentés általánosan bevett módszerek. Ezzel szemben az alacsony fehérjetartalmú takarmányozás, valamint a karbamid-alapú műtrágyák kiváltása nem jellemző minden országra.

ország/intézkedés	Trágyatárolók lefedettségének növelése	Közös tápanyagmenedzsment szabályozás	Modern kijuttatási technológiák	Alacsony fehérjetartalmú takarmányozás	Karbamid-alapú műtrágyák kiváltása
Hollandia	X	X	X	X	
Dánia	X	X	X		
Finnország	X		X	X	X
Magyarország	X		X		

Forrás: saját szerkesztés

4. Következtetések

A nemzeti szabályozások legfontosabb elemeit áttekintve a mezőgazdaságban az ammónia-kibocsátás csökkentését célzó leghatékonyabb intézkedések az állati trágyázásra és az azzal kapcsolatos tevékenységekre vonatkoznak. A nemzeti szabályozások vizsgálata alapján elmondható, hogy az ammónia-kibocsátás csökkenthető az állatok takarmányozásával kapcsolatos intézkedésekkel is, de ezek szabályozása és az elért hatások felmérése nehezebb, mint a trágyakezeléssel kapcsolatos intézkedések esetében.

Az ammónia-kibocsátás csökkentésére vonatkozó legfontosabb intézkedések a következők:

- a hígtrágya és a vizelet injektálásos és csúszócsoroszlyás kijuttatása
- trágyatárolók fedése.

A fontosabb irányelvek ökológiai céljainak nagy az átfedése, ezért a különböző tápanyagforrások csökkentése több országban egységes szabályozott politikákban zajlik, amely holisztikus megközelítést igényel.

A fentiekén túl az intézkedések megvalósításához kulcsfontosságú tényező lenne a költségek újraelosztása az érintett termelők között, amely egyúttal a Közös Agrárpolitika (KAP) és a környezeti irányelvek jobb integrációját is jelentené.

Irodalomjegyzék

- Bernhard Osterburg, (2018), Policy and administrative measures to prevent ammonia emissions, TAIEX-EIR PEER 2 PEER Multi Country Workshop on ammonia emissions from agriculture, 2018 10. 30.
- Hans J. M. Van Grinsvena, Aldrik Tiktaka, Carin W. Rougoorb (2016) Evaluation of the Dutch implementation of the nitrates directive, the water framework directive and the national emission ceilings directive). pp. 69-84 NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences 78. szám, 2016 szeptember
- Ministry of Environment and Food of Denmark (2017): Overview of the Danish regulation of nutrients in agriculture & the Danish Nitrates Action Programme, pp. 1-23, 2017. június
- Ministry of Agriculture and Forestry of Finland, (2018): Action plan to reduce ammonia emissions from agriculture in Finland . pp:7-23. 1B/2018, ISBN: 978-952-453-973-9 Helsinki
- Eőry Viktória, Dr. Kujáni Katalin (2019a): Ammónia-kibocsátás csökkentése: nem csak a gazdának fontos (<https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2019/02/aktualis/ammonia-kibocsatas-csokkentese-nem-csak-a-gazdanak-fontos>).pp. 25-26. 2019. február, Agronapló
- Eőry Viktória, Dr. Kujáni Katalin (2019b): A műtrágyázás is felelős a levegőszennyezésért! Mit tehetünk ellene? (<https://agronaplo.hu/szakfolyoirat/2019/03/aktualis/a-mutragyazas-is-felelos-a-levegoszennyezesert-mit-tehetunk-ellene>) pp. 15-16. 2019. március, Agronapló
- Eurostat (2019)
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Ammonia_emissions_from_agriculture,_by_country,_2011_and_2016_\(kg_per_ha_of_utilised_agricultural_area\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Ammonia_emissions_from_agriculture,_by_country,_2011_and_2016_(kg_per_ha_of_utilised_agricultural_area).png). Utolsó elérés: 2019. március 27.)



SZÉCHENYI  2020

EFOP-3.4.3-16-2016-00014

**A SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM OKTATÁSI ÉS SZOLGÁLTATÁSI
TELJESÍTMÉNYÉNEK INNOVATÍV FEJLESZTÉSE A MUNKAERŐ-
PIACI ÉS A NEMZETKÖZI VERSENY KIHÍVÁSAIRA VALÓ
FELKÉSZÜLÉS JEGYÉBEN**

A fejezetben található tanulmányok a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával megvalósított projekt keretében készültek. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

Szegedi Tudományegyetem
Cím: 6720 Szeged, Dugonics tér 13.
www.u-szeged.hu
www.szechenyi2020.hu



MAGYARORSZÁG
KORMÁNYA

SZÉCHENYI  2020

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFÉKTETÉS A JÖVŐBE

SAJÁTOS NEVELÉSI IGÉNYŰ HALLGATÓK KÉPZÉSE AZ SZTE MÉRNÖKI KARÁN

Gál József – Panyor Ágota – Farkas Ferenc

Munkánk során az vezényeljen bennünket, hogy „a legcsekélyebb ember is teljes lehet, teljes annyiban, amennyiben eljut saját lehetőségeinek csúcsára.” (Goethe)

Abstract: Az SZTE Méréni Karán első lépésként felmértük a speciális nevelési igényű hallgatókat, helyzetképet kaptunk, és megcéloztuk a lemorzsolódást csökkentő program beindítását. Jelen tanulmányban a 2017/2018. tanév 2. szemeszterének kezdetén, aktív hallgatók véleményét mértük fel, kiemelten foglalkozva a Kar leginkább nagy létszámú szakjaival (gépész- ill. élelmiszermérnök). Megállapítottuk, hogy fejlesztésre mindenképpen szükség van, hiszen ennek során az egyénhez igazított követelmények meghatározása evidens, emellett a kortárs csoportokba tartozók beilleszkedését elő kell segítenünk és sikerélményt kell biztosítani hallgatóinknak. Rávilágítottunk arra is, hogy szükséges annak feltárása, hogy milyen problémák állhatnak tanulmányi szempontból a tanulási nehézségek hátterében, úgymint diszlexia, diszgráfia, hallási vagy látási problémák, koncentráció zavar, stressz, vagy egyéb okok.

Abstract: At University of Szeged Faculty of Engineering we have studied students with special needs, we got a picture of the situation and we aimed at launching a drop-out program. In this paper at the beginning of 2017/2018 academic year we surveyed active status students' opinions in spring semester, underlined the most large-scale professions (mechanical and food engineering). We have found that development is absolutely necessary since the definition of tailor-made requirements is evident in addition, we need to facilitate the integration of people in contemporary groups and we must provide our students with a sense of success. We also highlighted it, how to explore it, what problems can be faced in terms of learning in the context of learning difficulties, like dyslexia, dysgraphia, hearing or vision problems, concentration disturbance, stress, or other causes.

Kulcsszavak: tanulási nehézségek, lemorzsolódás, speciális nevelési igényű hallgatók

Keywords: learning difficulties, dropouts, students with special educational needs

1. Bevezetés

Az UNESCO (1994) ajánlása szerinti alapelv, hogy „az iskolák minden gyermeket befogadjanak, függetlenül testi, értelmi, szociális, érzelmi, nyelvi vagy egyéb állapotuktól: beleértve a fogyatékos és a tehetséges gyermekeket és kiskorú foglalkoztatottakat, nomád körülmények között élő, a nyelvi, etnikai, vagy kulturális kisebbséghez tartozó gyermekeket és más hátrányos helyzetű, vagy peremterületen élő csoportok gyermekeit.” (http://www.unesco.org/education/pdf/SALAMA_E.PDF, 2019.01.05.)

Az egyetemi oktatásba belépők közül azokat a hallgatóinkat érinti, akik a felvételi eljárás alapján aktív részeseivé váltak a Méréni Karon tanulóknak, de valamilyen vonatkozásban hátrányos helyzetűnek minősülnek. Jelenleg az ilyen irányú nevelést igénylők aránya mindössze 3%.

Az ajánlás azt tartalmazza, hogy „az inkluzív nevelés olyan megközelítési mód, amely arra ad választ, hogyan lehet az oktatási rendszereket átalakítani annak érdekében, hogy kezelni tudják a tanulók közötti különbségeket. (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134785>, 2019.01.05.)

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán első lépésként felmértük a speciális igényű hallgatókat, helyzetképet kaptunk, és megcéloltuk a lemorzsolódást csökkentő program beindítását. (Lendvai et al., 2018)

A tanulmányban a 2017/2018. tanév 2. szemeszterének kezdetén aktív hallgatók véleményét mértük fel, kiemelten foglalkozva a Kar leginkább nagy létszámú szakjaival.

2. A lemorzsolódás okai és a hátrányos helyzetű hallgatók nehézségei

A lemorzsolódás ismert okai közül meghatározó az alapozó tárgyak nehezen teljesíthetősége. Az eddigi oktatási tapasztalataink alapján megerősíthetjük, amit a felmérés is figyelmünkbe ajánlott, hogy egyre nagyobb problémát jelent a koncentráció, az elhangzottak értelmezése, illetve a számonkérés során a nyelvhelyesség használata.

E körbe tartozók között - főleg az írásbeli számonkérés során - nem tudják helyesen értelmezni a feltett vizsgakérdéseket illetve számos esetben értelmetlen mondatokat alkotnak. Igyekeztünk megismerni mind reál, mind humán tárgykör esetén a hallgatók hozzáállását az adott tantárgyhoz, illetve szerintük az egyes tantárgyak teljesítésének realitását. Nemcsak a hallgatói oldalról célszerű feltérképezni a helyzetet, mivel lehetséges, hogy néhány kurzus esetén a számonkérés módja is túl nehéz az adott szakon. Ez abból is adódhat, hogy különböző társadalmi helyzetből, illetve eltérő minőségi színvonalú közép fokú oktatásból származnak a hallgatók. Azt tapasztaljuk, hogy a középiskolák megítélése, érdekeltsége abban van, hogy végzett tanulóik minél nagyobb arányban kerüljenek be valamilyen felsőfokú képzésbe. Gyakori, hogy a középiskolák jelentősen felülértékelik diákjaik tudását. Ez valószínűleg egyfajta tévesen megfogalmazott szemléletből adódódik, vagy sajnálatból, a speciális igényű hallgatók esetében ez még inkább jellemzőbb. Fontos szerepe lehet olyan tényezőknek is, mint a külön tanárok, felkészítő órák, családtagok iskolázottsága, melyek mind befolyásolják egy-egy tantárgy sikeresebb teljesítését.

Emellett szükséges továbbgondolni és felmérni, hogy a hallgatóinknak melyek a főbb problémáik, milyen nehézségekkel szembesülnek adott tantárgyak esetében.

Például:

- túl sok az anyag,
- nem érti az órán elhangzottakat,
- számára nem dolgozható fel a tananyag, nem tudja, hogyan kell értelmezve, hatékonyan tanulni,
- magas a követelmény,
- az oktató-hallgató viszony,
- nem tanult eleget,
- elhanyagolta a tanulást.

Fontos a hallgatók szemszögéből azt is vizsgálni, hogy miben láthatják a tanulási problémáikra a megoldást, hogyan tudjuk őket segíteni a lemaradás elkerülésében.

Először is fontos lenne, hogy a hallgató el akarja végezni a képzést, ennek érdekében hajlandó legyen – legalább – a minimális együttműködésre (pl. Coospace

üzenetek elolvasása, értelmezése, a határidők betartása stb.). Nem ritka, hogy a szülő jobban szeretné a diplomát, mint a fiatal, akinek fogalma sincs arról, hogy mit is csinál, mi a különbség, ha lesz diplomája, vagy ha nem. Az is előfordul, hogy a szülő – egyfajta túlzott szeretettől vezérelve – túlzott mértékben megértő és nem állít gyermeke elé elvárást, követelményt. A hibákat az oktatókban, az oktatási rendszerben látja, azzal nem foglalkozva, hogy a hallgató megtesz-e minden tőle telhetőt a sikeres teljesítés érdekében.

Az oktatók segítsége csak a hallgatóval történő együttműködéssel lehet eredményes, ehhez az alábbiak szükségesek:

- a kurzus látogatása,
- odafigyelés az órákon,
- extra segédanyag összeállítása,
- oktató többféleképpen magyarázzon,
- összefoglalások adott témakör után,
- részletesebb, gyakorlatiasabb jegyzet,
- jobb hallgató-oktató viszony,
- szemléletesebb előadások,
- több tanulásra fordított idő, vagy
- egyáltalán nincs probléma, csak a hallgató vallja be, hogy nem fordít elég időt a tanulásra, nem érdeklí stb.

Az elmúlt években már jellemző, hogy egyfajta „kiskapu” alternatívaként a szülő és a hallgató együtt törekszik arra, hogy találjon valamilyen problémát, és arról hivatalos dokumentumot is szerezzen. Ebben az esetben elveszik a realitásérzék, pl. diszkalkulia igazolására törekszik – már nem is érettségizett matematikából – de mérnök szeretne lenni, ahol alapvetőek a matematikai ismeretek. Nem foglalkoznak a későbbi munkaerő-piaci értékével, így determinálják és stabilizálják a hallgató számára a folyamatos kudarcot.

A lemorzsolódás csökkentése érdekében célszerű új módszereket kifejleszteni, amellyel ösztönözni lehet a hallgatókat a tanulásra. Az új módszertanok pedagógiai szempontból is új kihívásokat jelenthetnek adott esetben, amelyre az oktatóknak is fel kell készülni.

Hangsúlyoznunk kell, hogy segíteni csak azokon tudunk, akik elfogadják a felajánlott lehetőségeket, akik el akarják végezni az egyetemi tanulmányaikat.

Főleg olyanoknál, akiknek:

- családi háttér/vállalkozás miatt kötelező elvégezni a szakot,
- nem tudja még, mivel szeretne foglalkozni,
- csak azért jár egyetemre, hogy ne kelljen még dolgoznia.

Ez esetben megmutatjuk hallgatóinknak, hogy adott végzettséggel milyen munkakörben tudnak elhelyezkedni. Kiemeljük nekik a jövőbeni tanulmányaik érdekességeit, és azokat a plusz egyedi lehetőségeket, amelyekkel sikeresebben tudják a tanulmányaikat teljesíteni. Azok számára, akik pályát tévesztettek, felajánlunk olyan tanulási lehetőségeket, ahol nem a matematika, kémia, fizika a determináló, ahol még lehet sikerélményük.

Jelen tanulmányunkban kiemelten a műszaki képzési területhez tartozó Gépészmérnök szakos és az agrár képzési területhez tartozó Élelmiszermérnök szakos elsőéves hallgatók megkeresése volt a leginkább releváns (a legjelentősebb a képzésben résztvevők létszáma), hiszen a problémák mögött a fenti (alapozó) tantárgyak nehezen teljesíthetősége jelentkezik.

A lemorzsolódás okait vizsgálva a tanulmányi (tanulási) problémák mögött további fontos tényezők is megjelennek:

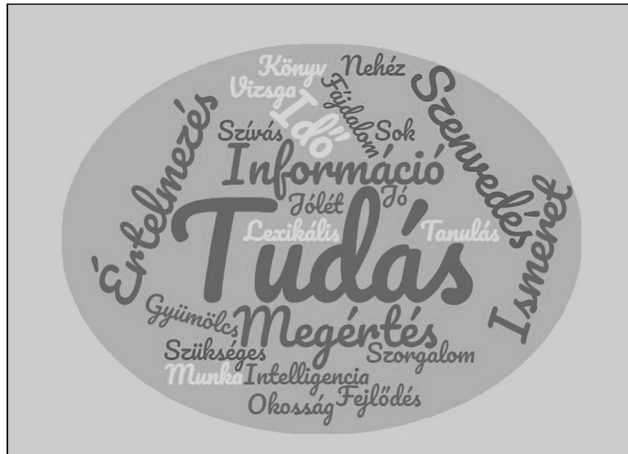
- szociális háttér (család, barátok, tanulók közötti viszony, kényszer, oktatási intézmény légköre),
- gazdasági helyzet (önköltséges képzésre való átsorolásból adódó pénzügyi nehézségek, tanulmányok melletti munkavégzés az önfenntartás/részbeni családi finanszírozás miatt),
- jövőkép hiánya,
- egészségi állapot.

3. Tanulási problémák hátterének elemzése

A tanulás olyan akarati megnyilvánulás, amely erőfeszítést kíván. Az oktatóknak/tanároknak a tanulás kifejezés mögött az ismeretbővítés, hatékony tanítás-tanulás szavak jutottak eszükbe. Mindez a hallgatók esetében sokkal összetettebb módon jelentkezik. Az EFOP-3.4.3-16-00014 projekt keretében az AP1-IE-8(AP1_MK) a „Speciális igényű hallgatók felmérése a Mérnöki Karon” tanulmány az alábbi eredményeket hozta.

A felmérésben részt vett Gépészmérnök szakos hallgatók a tanulás kifejezésre az *1. ábrán* látható szófelhőben megjelenő tartalmakat gondolják. A felhőben található szavak közül a piros színű szavak pozitív tartalmúak, míg a sötétkékek kimondottan negatív érzelmi töltetűek. Világos kékkel lettek jelölve azok a szavak, melyek érzelmileg semlegesek. A szavak mérete pedig arányos az előfordulásuk mértékével. A kapott válaszok alapján megállapíthatjuk, hogy a Gépészmérnök szakos hallgatók között leginkább pozitív töltetű szavak jutnak a hallgatók eszébe a tanulásról. Legtöbbször a *tudás* szóval vontak párhuzamot, amit a pozitív szavak közé soroltunk. A következők az *értelmezés*, a *megértés*, az *információ* és az *ismeret* voltak. Hat negatív hangzású szó jelent csak meg a válaszokban a tanulókkal kapcsolatban, ezek közül a *szenvedés* emelkedett ki a többi közül. Összességében levonható az a következtetés az esetükben, hogy a tanulás, mint szó többükben pozitív érzelmet vált ki (Lendvai et al., 2018; Gál et al., 2019).

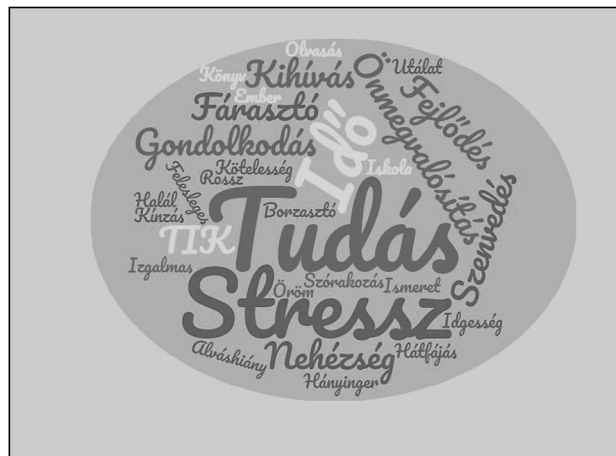
1. ábra: A megkérdezett Gépészmérnök szakos hallgatók asszociációi a tanulás szóra



Forrás: Lendvai et al., 2018

Az Élelmiszermérnök hallgatók esetében megjelenő tanulás szóra történő asszociációkat a 2. ábrán látható szófelhő szemlélteti azonos megfeleltetési módon. Az ábra alapján megállapíthatjuk, hogy az Élelmiszermérnök szakos hallgatók esetén nem lehet egyértelműen meghatározni, hogy kik vannak többségben, azok, akikből a tanulás pozitív, kellemes érzést vált ki vagy azok, akikből negatív. A pozitív töltetű *tudás* hasonló számú hallgatónak jutott eszébe, mint a negatív jelentésű *stressz*. A tanulás, mint szó többükben inkább negatív érzelmet vált ki: 9 féle pozitív jelentésű szó került a kérdőívekre, míg 15 negatív asszociáció. Ez azt sugallja, hogy valami oknál fogva ezen hallgatók többségében a tanulás negatív, rossz érzéssel párosul. (Lendvai et al., 2018; Gál et al., 2019)

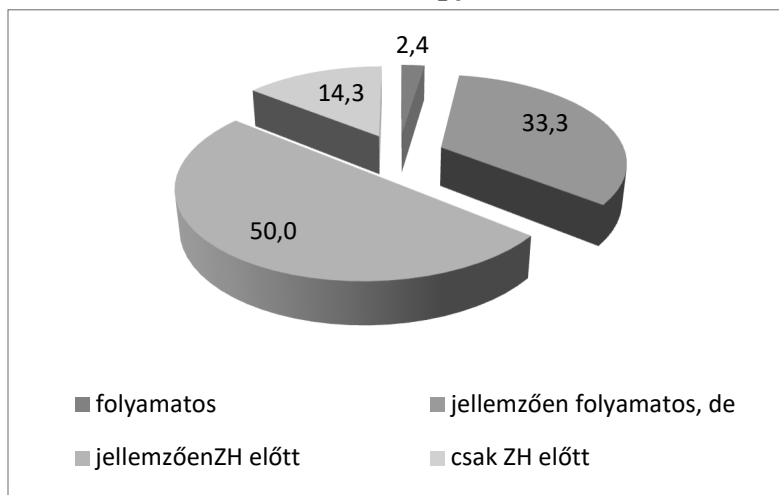
2. ábra A megkérdezett Élelmiszermérnök szakos hallgatók asszociációi a tanulás szóra



Forrás: Lendvai et al., 2018

Feltételezésünk szerint nagyon kevesen vannak, akik folyamatosan és rendszeresen óráról-órára tanulnak. Így túlzottan nagy mennyiségű az a tananyag, amelyet nagyon rövid idő alatt kell elsajátítaniuk és ez számos felkészülési problémához vezet. A hivatkozott felmérés ezen kérdése kapcsán a hallgatók az általuk leginkább igaznak gondolt válaszokat jelölték meg. A Gépészmérnök szakos hallgatók által megjelölt válaszokat a 3. ábra szemlélteti. A diagramról leolvasható, hogy a hallgatók fele a jellemzően csak ZH/ vizsga előtti tanulásra specializálódott, ugyanakkor 1/3 részük inkább a folyamatosan, de néhány tárgyból csak a ZH/vizsga előttre voksolt. Sajnos a napról-napra történő tanulás egyáltalán nem jellemző, csupán 1 hallgató érzi ezt a leghatékonyabb eljárásnak. (Lendvai et al., 2018; Gál et al., 2019)

3. ábra: A megkérdezett Gépészmérnök hallgatók megoszlása a tanulási módszerük alapján (%)



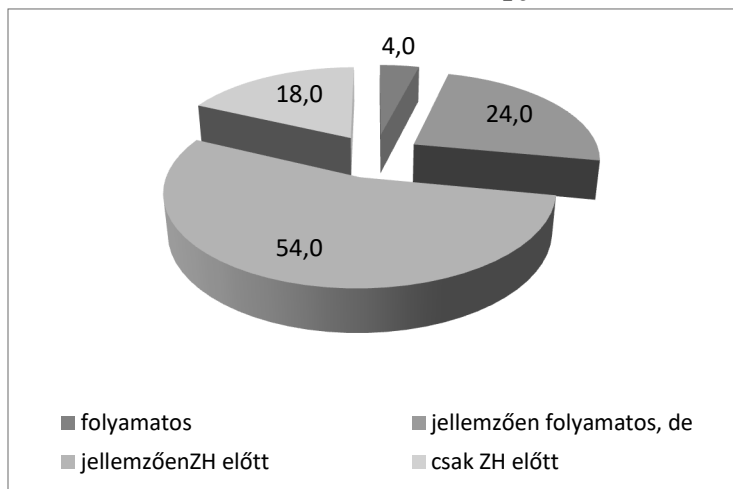
Forrás: a Mérnöki Kar oktatóinak felmérése alapján (2017/2018)

Ezen tárgykörben az Élelmiszermérnök szakos hallgatók tanulással kapcsolatos módszereire kapott válaszokat a 4. ábra szemlélteti. A diagram jól összefoglalja azt, hogy a hallgatók kicsivel több mint fele (54%) a jellemzően csak a ZH/ vizsga előtti tanulásra specializálódott, ugyanakkor 24%-uk inkább a folyamatosan, de néhány tárgyból csak a ZH/vizsga előtt-re voksolt. Sajnos a napról-napra történő tanulás szinte egyáltalán nem jellemző, csupán 2 hallgató érzi ezt a leghatékonyabb eljárásnak. A megkérdezettek 18%-a pedig bevallja, hogy csak a ZH-ra, vizsgára készül. Tehát a tanulással kapcsolatos módszerek változtatása is szükséges lehet, amelyre a figyelmet fel kell hívni. Ezt a célt szolgálhatják az oktatói mentorálási programhoz kapcsolódó támogató elemek minél teljesebb körű alkalmazása is.

A napi készülés mennyiségét kellett megjelölni a szorgalmi, illetve a vizsgaidőszakban, attól függően, hogy lesz-e ZH vagy sem. A Gépészmérnök szakos hallgatók által megjelölt értékeket mutatja az 1. táblázat adatai. A vastagon kiemelt számok a legjellemzőbb tanulási intervallumokra utalnak. Az előző kérdésre adott válaszokkal egybeeszenek a mostaniak, vagyis a hallgatók jellemzően

kampányszerűen készülnek, a szorgalmi időszakban sokan gyakorlatilag semmit, bár figyelemre méltónak tekinthető az a 3 fő, aki ekkor is minimum 3 órát foglalkozik a tananyaggal naponta. A vizsgaidőszakban pedig kiemelkedő azok aránya (kb. 1/3), akik vállaltan minimum 9 órát töltenek a tanulással. (Lendvai et al., 2018; Gál et al., 2019)

4. ábra: A megkérdezett Élelmiszermérnök szakos hallgatók megoszlása a tanulási módszerük alapján



Forrás: a Mérnöki Kar oktatóinak felmérése alapján (2017/2018)

A hivatkozott felmérés további részében felmérésre került az is, hogy a hallgatók mennyi időt fordítanak tanulásra.

1. táblázat: A megkérdezett Gépészmérnök szakos hallgatók megoszlása a tanulásra fordított idő alapján (%)

	0-1 óra/nap	1-3 óra/nap	3-6 óra/nap	6-9 óra/nap	9-12 óra/nap	12 óránál több/nap
szorgalmi időszak, ZH nélkül	69,0	23,8	7,1	-	-	-
szorgalmi időszak ZH esetében	9,5	42,9	35,8	11,9	-	-
vizsgaidőszak, könnyebb tárgy esetében	11,9	38,1	35,7	14,3	-	-
vizsgaidőszak, nehezebb tárgy esetében	-	11,9	19,0	33,3	26,2	9,5

Forrás: a Mérnöki Kar oktatóinak felmérése alapján (2017/2018)

Az Élelmiszermérnök szakos hallgatók esetében a tanulásra fordított idő tekintetében a napi készülés mennyiségét a szorgalmi, illetve a vizsgaidőszakban -

attól függően, hogy lesz-e ZH/vizsga vagy sem - a 2. táblázat foglalja össze. A vastagon kiemelt számok a legjellemzőbb tanulási intervallumokra utalnak. Láthatjuk, hogy a szorgalmi időszakban a hallgatók kicsivel több, mint fele kampányszerűen készül, elő sem veszi a jegyzeteket, míg kb. 1/3-uk a szorgalmi időszakban is minimum 1 órát foglalkozik a tananyaggal naponta. 7 hallgató pedig úgy nyilatkozott, hogy napi 3 órát vagy annál is többet készül. A vizsgaidőszakban természetesen nő az egyre többet tanulók aránya. Ez azonban már sok esetben csak a kampányszerű, felületesebb tudást jelenti, sőt számos esetben az alapok kellő mélységű ismerete nélkül sok esetben kudarchoz vezetnek a vizsgák. Az elért eredmények egyáltalán nem tükrözik a ráfordított tanulási időt, melynek egy része akár csak „bemagolást” jelent és mivel nem értik a tanultakat, nem is képesek megfelelő eredményt produkálni. (Lendvai et al., 2018; Gál et al., 2019)

2. táblázat: A megkérdezett Élelmiszermérnök szakos hallgatók megoszlása a tanulásra fordított idő alapján (%)

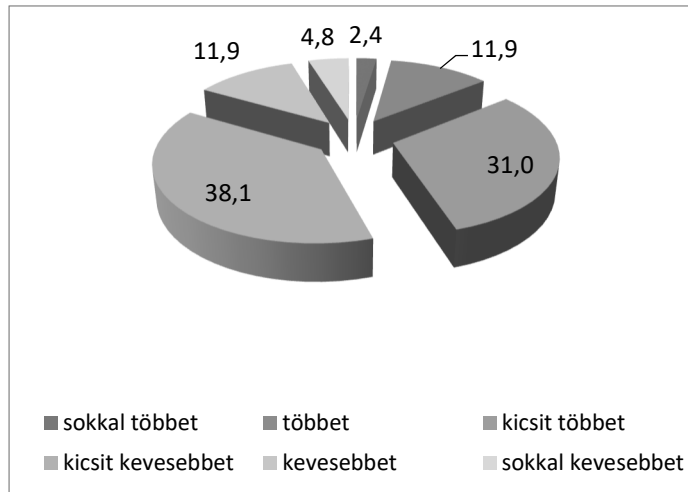
	0-1 óra/ nap	1-3 óra/ nap	3-6 óra/ nap	6-9 óra/ nap	9- 12 óra/ nap	12 óránál több/ nap
szorgalmi időszak, ZH nélkül	56,0	30,0	12,2	2,0	-	-
szorgalmi időszak ZH esetében	6,0	34,0	32,0	24,0	4,0	-
vizsgaidőszak, könnyebben teljesíthető tárgy esetében	8,0	40,0	34,0	14,0	4,0	-
vizsgaidőszak, nehezebben teljesíthető tárgy esetében	8,0	24,0	34,0	26,0	8,0	-

Forrás: a Mérnöki Kar oktatóinak felmérése alapján (2017/2018)

Amennyiben a lemorzsolódás hátterében nem állnak fenn egészségügyi, vagy gazdasági, vagy tanulási problémák, akkor jelentős mértékben képesek ösztönzőleg is hatni az egyes hallgatókra a társaik tanulási akarata és képessége. Ezért a jelzett tanulmány arra is kitért, hogy a megkérdezettek hogyan helyezik el a tanulásukat a többi hallgatóhoz képest (többet, kevesebbet vagy ugyanannyit tanulnak).

A gépészmérnökök esetében csupán 1 fő gondolja úgy, hogy sokkal többet tanul a többiekénél, további 43% érzi azt, hogy többet tanul, mint a társai. Ugyanakkor a válaszadók megközelítőleg fele (54%) jelölte meg azt a válaszlehetőséget, hogy kevesebbet. A kapott adatokat az 5. ábra szemlélteti.

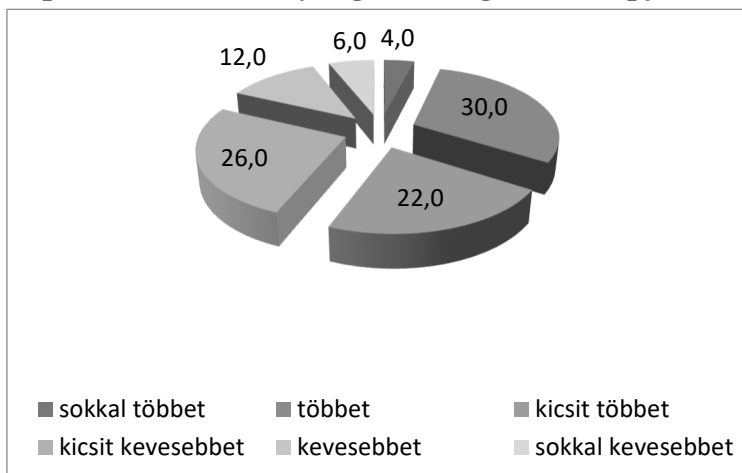
5. ábra: A megkérdezett gépészmérnök hallgatók megoszlása a társaikhoz képesti tanulás mennyiségének megítélése alapján (%)



Forrás: a Mérnöki Kar oktatóinak felmérése alapján (2017/2018)

Az élelmiszermérnökök esetében a csoporttársakhoz viszonyítva csupán 2 fő gondolja úgy, hogy sokkal többet tanul a többiekénél, és további 52% érzi azt, hogy többet tanul, mint a társai. Ugyanakkor 44% nyilatkozott úgy, hogy szerinte kevesebbet tanul (6. ábra).

6. ábra: A megkérdezett élelmiszermérnök hallgatók megoszlása a társaikhoz képesti tanulás mennyiségének megítélése alapján (%)



Forrás: a Mérnöki Kar oktatóinak felmérése alapján (2017/2018)

Amennyiben van rá mód, szükséges feltárni, hogy milyen problémák állhatnak tanulmányi szempontból a tanulási nehézségek háttérében, úgymint diszlexia, diszgráfia, hallási vagy látási problémák, koncentráció zavar, stressz vagy egyébek. A felmérésben résztvevők közül csak néhányan voltak, akik diszlexiás, diszgrafiás, illetve hallással kapcsolatos problémával küszködnek.

4. A hallgatók fejlesztésének lehetőségei

A fejlesztés mindenképpen szükséges, hiszen a fejlesztések során az egyénhez igazított követelmények meghatározása evidens, emellett a fejlesztésre szorulókat a kortárs csoportokba tartozók beilleszkedését elősegítenünk, sikerélményt biztosítani kell hallgatóinknak.

A sajátos képzést igénylő hallgatóinknak további lehetőségeket szükséges felajánlani, meg kell őket szólítani, érdeklődésüket felkelteni. Abból induljunk ki, hogy „amit elmondok, azt elfelejtem, amit látok azt megfigyelem, amit csinálok, azt megtanulom” – hangzik a közmondás. Ebben vannak segítségünkre az alábbi oktatási formák:

- Nagyon fontos a sokoldalú szemléltetés, cselekedtetés. Jól tudjuk, hogy azt tudja igazán a hallgató elsajátítani, amit testi mozgás közben dolgoz fel.
- A jó iskola az élményt ad; ezzel mi is igyekszünk Karunkon élni az oktatás során, és ezzel valamilyen fokon örömet szerezni hallgatóinknak, de legalábbis erőt adni a felkészüléshez.
- Ahol csak mód van rá nem a szorongást, hanem az érdeklődést próbáljuk felkelteni a legkülönbözőbb cselekedetekkel, cselekvésben elérhető sikerekben segítségükbe lenni.
- A valamilyen formában hátrányos helyzetű hallgatók az átlagosnál érzékenyebbek is. Fokozottan vigyáznunk kell, hogy az ő esetükben a lassúbb fejlődés is eredmény. Kedvét szegi, ha a tehetetlenség tudatát tápláljuk belé.
- Jellemző rájuk, hogy egyesek túl gyorsan és korán akarnak eredményt elérni és gyakran így válik munkájuk eredménytelenné. Ilyen esetekben a negatív visszajelzés helyett pozitív visszajelzést állítjuk stratégiánk középpontjába. Saját életútjukon próbáljuk fejleszteni fejlesztő együttélésben őket, a kívánt eredményekhez eljuttatni.
- Azt tapasztaljuk, hogy a személyes törődés később biztatássá fordulhat. Esetükben kevés eredménynek is örülni kell.

Mindezt érdemes a Mérnöki Karon tanított szakterületekre értelmezni, hiszen a gyakorlati képzés fontossága egyre növekszik, viszont elméleti megalapozottság nélkül nem valósítható meg. Egyre jelentősebb társadalmi igényként jelenik meg, hogy a kész ismeretek átadása helyett a megismerés eszközeit kell elérhetővé tenni lehetőleg mindenki számára. Vagyis az oktatást termelés közelbe kell vinni, életszerűbbé kell tenni. E cél megvalósítása kapcsán kiemelt hangsúlyt kapnak az üzemplátogatások, a kirándulások, a termékbemutatók, a mérnöki képzéshez szorosan kapcsolható vállalatlátogatások. Tovább szélesíti a lehetőségeket a duális és kooperatív képzésben megjelenő gyakorlati ismeretek széleskörű vállalati kapcsolatrendszeren keresztüli bővítése.

Összegezve, egyre nagyobb jelentőségre tesz szert az elméleti tudásanyag minél szélesebb körének gyakorlatba való átültetése. Erre komoly anyagi forrásokat is szükséges megteremteni és tovább kell bővíteni a forrásbevonás lehetőségeit a gyakorlatias képzések vonatkozásában.

5. A hallgató, az oktató és az intézmény együttműködésétől elvárható eredmények

Mivel a legcsekélyebb ember is lehet teljes, amennyiben eljut saját lehetőségének csúcsára – fogalmaztuk meg korábban - éppen ezért türelemmel kell lennünk azoknál a hallgatóknál, akik lassabban fejlődnek az átlagnál, vagy az érdeklődési körük fellobbanását nehezebb kivárni, bízva abban, hogy a befektetett energiánk előbb-utóbb kamatozni fog.

Ellentmondást érzünk abban a tekintetben is, hogy egyre több helyen megfogalmazzák azt a társadalmi igényt, hogy mit kíván a termelés (a gyakorlat) az oktatótól? Egyértelmű, hogy az igény a gyakorlatiasabb képzést szorgalmazza, a használható ismeretek elsajátítását kéri. Ezzel szemben az erre fordítható összeg azt megközelítőleg sem biztosítja.

Sok hallgató van, akik nem ismerik az egyetemi élet tanulási szokásait. Az él a tudatukban, hogy csak kollokviumokból, beszámolókból és zárthelyi dolgozatokból áll az egyetemi tanulmány. Úgy ítélik meg, hogy közben elhagyható a folyamatos tanulás. Ismert, hogy az olyan tantárgyak esetében, mint a matematika, kémia, fizika, biológia – az elsődleges a bevézés, rögzítés, így nélkülözhetetlen, elmaradhatatlan kell, hogy legyen az óra utáni gyakorlás, a tanultak áttekintése. Az egyes szakokon, mint például az Élelmiszermérnöki szakon a biológia, a kémia; a Gépészmérnöki szakon a matematika és a fizika a legnehezebb tárgyak. Az oktatásban résztvevőknek pedig szükséges feleleveníteni, illetve pótolni a korszerű pedagógiai ismereteket.

Arról meg vagyunk győződve, hogy a jövő a tehetségeké, a tanultaké, a kitartó, szívós, terhelést jól bíróké lesz. „A tehetség fejlesztésében lényeges az energiákat jól felhasználni; hasznos feladatokra terelni a figyelmeket.” (Csíkszentmihályi, 2010) Tehát a feladatunk kettős. Egyfelől úgy kell kezelnünk a hallgatóinkat, hogy mindenki tehetséges, még akkor is, ha teljesítőképesség szempontjából nagyon különbözőek. Másfelől tudatosítani kell hallgatóinkban azt is, hogy a felzárkóztatás nélkülünk, az oktatók aktív részvétele nélkül eredménytelen törekvés.

Tapasztaljuk azonban azt is, hogy nem mindenki igényli a segítségünket. Ezekben a hallgatókban fel kell keltenünk a tanulási igényt, ez pedig összehasonlíthatatlanul nehezebb feladat, mint az egyszerű tanulmányi segítség. Törekednünk kell arra, hogy a lemorzsolódás minél kevesebb legyen a Mérnöki Karon.

Mi arra teszünk kísérletet tanulmányunkban, hogy megfogalmazzuk a Mérnöki Kar sajátos szerepét a különböző képességű hallgatóink felzárkóztatása érdekében. A képességfejlesztés és tehetséggondozás egymástól elválaszthatatlan. Ennek fontos tényezői: az adottság, rátermettség, hajlam, képesség, tehetség, intelligencia, kreativitás. A velünk született adottságok csak lehetőséget jelentenek a képességek pozitív, vagy negatív irányú kifejlődéséhez. A lehetőség még nem valóság, valósággá csak tanulás, gyakorlás útján válik. A kreatív személyiséget a könnyedség, a mozgékonyosság, a kidolgozottság, a problémák iránti érzékenység, a problémák újra fogalmazása jellemzi. Az alkotó emberek jobb megfigyelők; azt is látják, amit mások látnak, de azt is, amit mások nem látnak. Hajlamosabbak arra, hogy megbirkózzanak a nehézségekkel, minthogy tehetetlenné váljanak azokkal szemben. Ilyen

megnyilvánulások tapasztalhatók hallgatóink jelentős részénél. Az alkotó személy kíváncsi, vállalkozó szellemű, kezdeményezőkézséget mutat. Uralni akarja a problémát. Ezek a hallgatók kiemelkedő munkateljesítményt nyújtanak, csak menedzselni kell őket. A hallgatók másik részénél ez hiányzik, vagy csak részben működik. Itt kell motiváló erővel belépünk és az egyénre lebontva a segítséget megadunk. Sokszor ez esetben nekünk is külön felkészülést jelent e feladatnak eleget tenni. Úgy érezzük, hogy e tehetséggondozást iskolánkunk biztosítani kell minden hallgatónk számára, hogy önmaga lehetőségeinek legfelsőbb szintjét elérje, legyen átlag alatti, átlagos, vagy kiemelkedő képességű.

Jókai Anna Kossuth-díjas írónk útravalóként a következőt hagyta e tekintetben számunkra. „Az teszi jól, aki közeledésben oldódik és elfelejti a különállást.” (Jókai Anna)

6. Felzárkóztatás és tehetséggondozás

Szólni kell még a tehetségesek „képességgondozásáról”, vagyis meg kell tanítani őket élni a saját lehetőségeikkel. Együtt élni társaikkal és a felnőttekkel, és mindenekelőtt biztatni őket, hinni bennük. Ez különösen azok esetében lehet fontos, akik családi helyzetüknél fogva hátrányosak és annak következtében nem képesek erre.

A tehetségek elkallódása legtöbbször nem képességük kifejtetlensége miatt szokott bekövetkezni, hanem személyiségük „gondozatlansága” miatt. Az oktatási intézmény legspeciálisabb és legfontosabb tehetséggondozási feladatát – pszichológiai megközelítésben – ebben látjuk.

Az oktatás természetesen nem fejeződhet be azzal, hogy az oktató kimegy az előadóteremből. A törődés számtalan formában él tovább, amely speciális feladatokat jelent. Szükség van az érzelmi ráhangoltság megteremtésére is. Minden adott lehetőséggel élnünk kell a hallgatókkal való kommunikáció tekintetében. Adjunk át élményeket és tegyünk lehetővé élményszerű megnyilatkozásokat.

Az élet közelségnek a duális és kooperatív képzési forma határozottan motiváló tényezője. A gyakorlati étellel való kapcsolat kialakítása, megteremtése különösen fontos szerepet kap, amikor a hallgatót egyoldalúan nagyon sok elméleti tudás éri.

A továbbiakban még néhány gondolatban kell szólnunk a család szerepéről, ami a nyugodt tanulás hátterét jelenti. A pénz uralkodó szerepe megnőtt, ezzel együtt a hajszolt életvitel is megjelent. Ezen életmód sok családnál nem tudja biztosítani a gyerekeknek azt a hátteret, amely a kiegyensúlyozott, nyugodt egyetemi tanulmányokhoz szükséges. Számos esetben ez párosul a stresszel, a kapkodással, a figyelemzavarral. Mindezek a mai rohanó világunk fogyasztói társadalmában rendkívül értékromboló hatással bírnak. Mindezeket tetézi az egyébként is halmozottan hátrányos családokból kikerülő egyetemi hallgatók problematikája.

A mindennapi élet során kialakult helyzetek is számos kihívás elé állítják a hallgatókat, amelyekkel akár tudatosan, akár tudatlanul kerülünk szembe. Gyakran kerülnek egyetemi tanulmányaik során is váratlan helyzetekbe, ezeket tudni kell kezelni. A hallgatóink nem csak különböznek egymástól, de különböző élethelyzetekben maguk is különbözően cselekednek. Találkozunk olyannal is,

amikor a személyiség igényei nincsenek összhangban a képességükkel. Minden kérdésben döntő, hogy mi a felfogása a kötelességről, milyen a lelkiismerete. Ez etikai kérdés. Az is nehezíti helyzetünket, hogy ilyen esetben nem a hallgató akar mérnök lenni, hanem a család egzisztenciális elvárásaként jelentkezik az igény. Ezt kezelni nagyon nehéz.

Minden szerephez elvárások kapcsolódnak. Egyes hallgatók olyan feladatokkal is találkozhatnak, amelyek végrehajtására nem tartják magukat alkalmasnak, amikor a feladat lényegesen megterhelőbb, mint amire számított. A felmerülő problémák esetén segítséget kell, hogy adjon az oktató, mindamelllett, hogy a feladatokat mindenkinek magának kell megoldania. Nem szabad a menetközben keletkezett konfliktusokat figyelmen kívül hagyni, ezeken át kell segíteni az érintetteket.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014.

Irodalomjegyzék

- Salamanca Statement on Principles Policy and Practice in Special Needs Education UNESCO (1994), <http://www.unesco.org/education/pdf/SALAMA_E.PDF> (2019.01.05.)
- Overcoming Exclusion through inclusive Approaches in Education. A challenge and a vision Conceptual Paper for the Education Sector, UNESCO (2001), <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134785>> (2019.01.05.)
- Lendvai E., Pappné Sziládi K., Vidács A.: (2018): A Szegedi Tudományegyetem oktatási és szolgáltatási teljesítményének innovatív fejlesztése a munkaerő-piaci és a nemzetközi verseny kihívására való felkészülés jegyében (EFOP-3.4.3-16-2016-00014), AP1 Hallgatói diplomaszerezést segítő szolgáltatások, AP1_MK lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MK-n az MTMI területeken. Speciális igényű hallgatók felmérése a Mérnöki Karon, 2018 – Széchenyi 2020 Európai Unió Európai Szociális alap – Befektetés a jövőbe.
- Gál J., Panyor Á., Farkas F. (2019): Sajátos nevelési igényű hallgatók képzése a Mérnöki Karon, A Szegedi Tudományegyetem oktatási és szolgáltatási teljesítményének innovatív fejlesztése a munkaerő-piaci és a nemzetközi verseny kihívására való felkészülés jegyében (EFOP-3.4.3-16-2016-00014), AP1 Hallgatói diplomaszerezést segítő szolgáltatások, AP1_MK lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MK-n az MTMI területeken. Speciális igényű hallgatók felmérése a Mérnöki Karon, 2018 – Széchenyi 2020 Európai Unió Európai Szociális alap – Befektetés a jövőbe.
- Csikszentmihályi Mihály (2010): Tehetséges gyerekek – Flow az iskolában. Nyitott Könyvműhely, Budapest.

NŐI HALLGATÓK SZÁMÁNAK NÖVELÉSE A MÉRNÖKI KARON

Zsótér Brigitta – Gál József

Abstract: A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán a 2018. november 1. és 2019. január 31. közötti időszakban kétszer is megrendeztük a „A természettudományos, mérnöki szakok területén a női hallgatók számának növekedése” című eseményt, amely az EFOP-3.4.3-16-2016-00014 azonosító számú, „A Szegedi Tudományegyetem oktatási és szolgáltatási teljesítményének innovatív fejlesztése a munkaerőpiaci és a nemzetközi verseny kihívásaira való felkészülés jegyében” című pályázat AP1 Hallgatói diploma-szerzést segítő szolgáltatások; AP1_MK Lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MK-n az MTMI területeken c. alprojekt keretén belül került megvalósításra. A rendezvények célja az volt, hogy a mérnöki tudományokat és a Mérnöki Kar képzéseit népszerűsítse a középiskolás diáklányok körében, ezáltal a mérnökhallgató lányok arányát növelje a jövőben a karon.

Abstract: The Faculty of Engineering, University of Szeged organized twice in the period between 1 November, 2018 and 31 January, 2019 an event called „Increasing the number of female students in the field of natural sciences and engineering”, which has been accomplished as a subproject – called AP 1 Services to help students graduate; AP1_MK Developing a program at the Faculty of Engineering to reduce dropout in STEM – of an application EFOP-3.4.3-16-2016-00014 with the title ”The innovative development of the educational and service performances of University of Szeged in order to get prepared for the challenges of the labour market and the international competition”. The purpose of the events was to make engineering sciences and trainings of the Faculty of Engineering more appealing for girls in secondary schools, thus increasing the number of female students at the Faculty in the future.

Kulcsszavak: Mérnöki Kar, képzési választék, laborok látogatása, női hallgatók számának növelése

Keywords: Faculty of Engineering, trainings, visits to laboratories, increasing the number of female students

1. Bevezetés

Egy felsőoktatási intézmény életében kiemelt fontosságú a beiskolázás kérdése. Kun András kutatási eredményei (2018) igazolják, hogy a jelentkezőket, amikor az intézményválasztás kritériumairól döntenek (tudatosan vagy sem) valamilyen mértékben befolyásolhatja, hogy milyen kulturális közegbe szeretnének tartozni. Tehát az intézmény imázsa a javarészt meghatározó. Az imázs kialakításának egyik módja lehet a digitális kultúra eszközeinek igénybevétele (Fabulya, 2004; Hampel, 2018), így például az intézmény honlapja (Kiss–Kun, 2018), közösségi oldala is. Továbbá sokat számít, hogy a képzés során megkapott ismeretekkel milyen esélyekkel lépnek majd ki a munkaerőpiacra (Kiss et al., 2017) és mennyire gyorsan tudnak elhelyezkedni (Kiss–Barizsné, 2016). A tanítási módszerek (Mocan et al., 2016) az iskolaválasztás (Turi et al., 2016) során csak jóval ezek után következnek a fontossági sorrendben.

A sikeres beiskolázás, sőt mi több a női hallgatói arány jövőbeli növelése érdekében a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán a 2018. november 1. és 2019. január 31. közötti időszakban kétszer is megrendezésre került a „A természettudományos, mérnöki szakok területén a női hallgatók számának

növekedése” című esemény, amely az EFOP-3.4.3-16-2016-00014 azonosító számú, „A Szegedi Tudományegyetem oktatási és szolgáltatási teljesítményének innovatív fejlesztése a munkaerőpiaci és a nemzetközi verseny kihívásaira való felkészülés jegyében” című pályázat AP1 Hallgatói diploma-szerzést segítő szolgáltatások; AP1_MK Lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MK-n az MTMI területeken c. alprojekt keretén belül került megvalósításra.

2. Anyag és módszer

A sikeres rendezvények lebonyolítása érdekében meg kellett terveznünk a szakmai programokat, megírni a részletes forgatókönyvet, előkészíteni és kiküldeni a meghívót. A rendezvény szervezése során felvettük és folyamatosan tartottuk a kapcsolatot azon kollégákkal és segítő hallgatókkal, akik a lebonyolításban részt vettek. Középiskolás lányokat toboroztunk, akiknek szóltak a rendezvényeink, a projekt. Felkerestük a Bagó Ildikót, a szegedi Eötvös József Gimnázium tanárát és a Soroptimist Club Szeged alelnökét, Baranyi Irént, akik segítettek érdeklődő középiskolás lányokat toborozni az eseményekre.

3. Eredmények és értékelésük

A rendezvények célja, hogy a mérnöki tudományokat és a Mérnöki Kar képzéseit népszerűsítsék a középiskolás diáklányok körében, ezáltal a mérnökhallgató lányok arányát növeljék a jövőben a karon. A következő fotón az érdeklődők fogadását láthatjuk (1. ábra).

1. ábra: Az érdeklődő középiskolások fogadása



Forrás: A szerzők saját készítésű fényképe.

A rendezvény résztvevői betekintheztek a kar képzési választékába, majd tájékoztatást kaptak az SZTE MK Hallgatói Önkormányzat által szervezett programokról, valamint a hallgatói mobilitásról (pl. CEEPUS) külföldi egyetemekre

Laurinyecz Nórától, a HÖK alelnökétől, aki a hallgatói mobilitásban már többszörösen részt vett (2. ábra).

2. ábra: Tájékoztató a Hallgatói Önkormányzat programjairól és hallgatói mobilitásról



Forrás: A szerzők saját készítésű fényképe.

A középiskolás vendégek érdeklődéssel hallgatták Bencsik Dóra tanársegéd előadását a Dr. Huszka Tibor Élelmiszeripari Szakmai Klub működéséről (3. ábra).

3. ábra: Előadás a Dr. Huszka Tibor Élelmiszeripari Szakmai Klub működéséről



Forrás: A szerzők saját készítésű fényképe.

A vendég középiskolás lányok Dr. Kertész Szabolcs, tudományos munkatárs (4. ábra), valamint Csikós Sándor egyetemi tanársegéd és Mészáros Attila szakmai szolgáltató irányításával végig látogatták a Mérnöki Kar laborjait.

4. ábra: Labor látogatás



Forrás: A szerzők saját készítésű fényképe.

5. ábra: Pneumobil bemutató



Forrás: A szerzők saját készítésű fényképe.

Érdeklődést felkeltő, információban gazdag, színes laborvezetést kaptak. Ezeken felül megismerkedhettek a pneumobil autók tervezésével, kivitelezésével (5. ábra).

4. Összegzés

A vendég középiskolás lányok nem csak végig látogatták a Mérnöki Kar laborjait és betekintést kaptak a kar képzési választékába, hanem rendszeresen visszajárnak konzultálni, kísérleteket végrehajtani a kollégákhoz egyénileg, valamint csoportosan is. Ezen jó kapcsolatot a továbbiakban is szeretnék fenntartani a helyi középiskolákkal és a Soroptimist Club Szegeddel. Ettől is reméljük, hogy az SZTE MK-n a mérnökhallgató lányok aránya növekedni fog a jövőben.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a Szegedi Tudományegyetemen készült AZ Európai Unió támogatásával. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014.

Irodalomjegyzék

- Fabulya Z. (2004): A digitális kultúra szerepe a gépészmérnök hallgatók műszaki tervezés oktatásában a Szegedi Tudományegyetem Élelmiszeripari Főiskolai Karán: Role of the digital culture in the computer aided design teaching of the students at the University of Szeged College Faculty of Food Engineering. In: Hodúr C., Kovács E., Véha A., Szűcs E. (szerk.): *A VI. Nemzetközi Élelmiszertudományi Konferencia előadásainak és posztereinek összefoglalói: 6th International Conference on Food Science, Szeged, Magyarország.* Szegedi Tudományegyetem Élelmiszeripari Főiskolai Kar. 239–240.
- Hampel Gy. (2018): Information and Information Systems as Keys to Success. *Quaestus Multidisciplinary Research Journal*, 13: 71–82.
- Kiss M., Kun A. I. (2018): Milyen imázst közvetítenek a magyar felsőoktatási intézmények honlapjai? *International Journal of Engineering and Management Sciences/ Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények*, 3 (3): 355–370.
- Kiss Zs., Barizsné Hadházi E. (2016): Műszaki diplomások munkerő-piaci sikeressége. *International Journal of Engineering and Management Sciences/ Műszaki és Menedzsment Tudományi Közlemények*, 1 (1).
- Kiss Zs., Barizsné Hadházi E., Kun A. I. (2017): A leendő munkavállalás hallgatói szemmel: egy a Debreceni Egyetem alapszakos hallgatói körében végzett felmérés eredményei. *Taylor: Gazdálkodás- és Szervezéstudományi Folyóirat: a Virtuális Intézet Közép-Európa Kutatására Közleményei*, 9 (1): 183–190.
- Kun A. I. (2018): *Intézményválasztás, szakválasztás, szervezeti kultúra a felsőoktatásban.* In: Tóth D. A. (szerk.) *Az oktatás gazdagsága: Tanulmányok Polónyi István tiszteletére.* CHERD, Debreceni Egyetem, Debrecen. 107–115.
- Mocan M., Turi A., Ivascu L., Artene A., Feniser C. (2016). *Analyzing and Improving Teaching Methods in Higher Education: Case Study on Romania.* MakeLearn International Scientific Conference on Management of Knowledge and Learning, Temesvár.
- Turi A., Mocan M., Pujol F. X. (2016). *Teacher-student perception differences on ethical issues in higher education.* 13th International Conference on Efficiency and Responsibility in Education (ERIE), Prága. 592–601.

A MÉRNÖKI KAR AGRÁR ÉS MŰSZAKI KÉPZÉSI TERÜLETEIN TÖRTÉNŐ LEMORZSOLÓDÁS OKAINAK FELTÁRÁSA TÁRGYÁBAN KÉSZÜLT KÉRDŐÍVES FELMÉRÉS EREDMÉNYEI

Lendvai Edina – Panyor Ágota – Hampel György

Absztrakt: Az EFOP-3.4.3-16-2016-00014 AP 1.2.3 „Lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MTMI területeken” című pályázat keretében kérdőívet készítettünk, mellyel fel kívántuk mérni a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán tanuló egyetemisták között a lemorzsolódás okát. A kérdőívek kitöltésére 2017. november 10. és november 20. között került sor. Az eredmények szerint a hallgatók számára tanulmányaik során a legjelentősebb gondot a matematika, a kémia, a biológia és az elektrotechnika (alapja a fizika) kurzusok teljesítése jelenti. A nehézségek oka elsősorban a hiányos középiskolai tudásban keresendő. A hallgatók emiatt nem értik az előadásokon, illetve gyakorlatokon elhangzottakat. A hallgatók sikeresebb felkészülését jelentős mértékben támogathatná a felzárkóztató kurzusokon való részvétel, melynek lényege a középiskolai tananyag vonatkozó részeinek magasabb szintű elsajátítása. Javaslatunk tehát, hogy készüljenek el a matematika, a kémia, a biológia és a fizika felzárkóztató kurzusok tematikái és tananyagai, amelyek segíteni tudják a hallgatók eredményesebb felkészülését, csökkentve ezzel a hallgatói lemorzsolódás mértékét.

Abstract: We have prepared a questionnaire within the framework of EFOP-3.4.3-16-2016-00014 AP 1.2.3 “Development of programmes to reduce dropouts in the areas of science, technology, engineering and mathematics” to measure the reasons for the dropouts among students studying at the University of Szeged Faculty of Engineering. The questionnaires were completed between 10th November and 20th November 2017. According to the results, the most difficult subjects to complete for students are mathematics, chemistry, biology and electrical engineering (which is based on physics). The reason for the students’ difficulties is mainly the lack of knowledge that should have been acquired in high school. Therefore, students do not comprehend what has been said at the lectures and seminars. Catch-up courses could significantly support the successful preparation of the students, where the main goal would be to learn the relevant parts of the high school curriculum at a higher level. Therefore, we suggest that the curricula for the mathematics, chemistry, biology and physics catch-up courses be prepared which can help students prepare more effectively, reducing student dropout rates.

Kulcsszavak: lemorzsolódás, felsőoktatás, kérdőív, felmérés

Keywords: dropout, higher education, questionnaire, survey

1. Bevezetés

Az Európai Bizottság kiemelten fontosnak tekinti a lemorzsolódás elleni küzdelmet, tehát elmondhatjuk, hogy jelentős kérdés, nemcsak nálunk, hanem az EU-ban is, ugyanakkor a lemorzsolódásnak nincs egyetlen, általánosan alkalmazott meghatározása (Vossensteyn et al., 2015).

A 2016-ban kiadott Fokozatváltás a felsőoktatásban című középtávú szakpolitikai stratégia célzottan foglalkozik a felsőoktatás átalakításával. A tanulmányból kiderül, hogy az alap- és osztatlan képzések esetén – vagyis, ahol a képzési idő hosszabb, és általában az első képesítés megszerzéséről van szó – a lemorzsolódók aránya jelentős, 36-38%. Mesterképzésen és a szakirányú

továbbképzések esetén már jóval alacsonyabb ez az arány, 14-17% között mozog. A lemorzsolódást szakok szerint is megvizsgálták, és arra az eredményre jutottak, hogy magas lemorzsolódás jellemző az agrár, a műszaki, az informatikai, valamint az orvosi-egészségtudományi területen.

Több, e témával foglalkozó tanulmány, pl. Pusztai–Szigeti (2018), Lukács–Sebő (2015) is említi Tinto kutatását, melyben a kutató az alábbiakat fogalmazza meg: a lemorzsolódás legtöbbször nem egyik pillanatról a másikra bekövetkező váratlan esemény, hanem annak számos előjele lehet, ezért a jelenséget érdemes folyamatában is vizsgálni.

A kutató 3 fő típusát különbözteti meg a lemorzsolódott hallgatóknak:

- egoista típus, akit nem képes integrálni az egyetem struktúrája
- anémiás típus, aki a felsőoktatásba lépés átmeneti válságából nem tud kilépni,
- fatalista típus, aki a túlszabályozott környezet miatt esik ki.

E rövid áttekintés alapján is egyértelművé válik, hogy napjainkban fontos kutatási terület az egyetemisták lemorzsolódásának vizsgálata. Ezen kutatás részeredményeit ismertetjük a tanulmányban.

2. Anyag és módszertan

Célunk elérése érdekében kérdőíves felmérést végeztünk az EFOP-3.4.3-16-2016-00014 AP 1.2.3 *Lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MTMI területeken* című pályázathoz. A vizsgálatunk során kérdőívet készítettünk, mellyel fel kívántuk mérni a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Karán (SZTE MK) tanuló egyetemisták között a lemorzsolódás okát. Vizsgálatunkat kiterjesztettük az MK minden alapszakára, nappali tagozaton. Felmérésünkben az agrár képzési területről az élelmiszermérnök, a gazdasági és vidékfejlesztési agrármérnök, valamint a mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnök szakos hallgatók vettek részt. A műszaki képzési területről a műszaki menedzser, a gépészmérnök és a mechatronikai mérnök szakos hallgatók kerültek megkérdezésre. A kérdőívek kitöltetésére 2017. november 10. és november 20. között került sor. A kapott eredményeket Microsoft Excel programmal értékeltük ki.

3. Eredmények és értékelésük

3.1. Szekunder kutatás

A lemorzsolódás problémája természetesen nemcsak a mi egyetemünket érinti, hanem a többi hazai felsőoktatási intézményben is gondot okoz. Az egyes egyetemeken elvégzett kutatások közül először a Debreceni Egyetemen (DE) végzett vizsgálatot emelnénk ki, hiszen a nemrég közzétett adatok alapján (www.eduline.hu) idén ez a legnépszerűbb vidéki egyetem, megelőzve a Szegedi Tudományegyetemet.

A DE kimutatása szerint, amikor a 2014-16 közötti időszakot vizsgálták a Gazdaságtudományi Karon, megállapításra került, hogy az öt félév közül a legmagasabb hallgatói létszám a 2014-es őszi félévben volt, miközben a passzív hallgatók száma is ebben a félévben volt a legkiemelkedőbb, ami az összes hallgatói

létszám 13,31%-át jelenti. Kimutatták azt is, hogy a vizsgált öt félév alatt összesen 3 994 főt vettek fel, melynek 95,57%-a, azaz 3 817 fő iratkozott be. A végzett hallgatók létszáma a 2014-es őszi félévben volt a legmagasabb, ekkor 619 fő sikeres záróvizsgát tett, míg 37 fő csak abszolválta (Fenyvesy et al., 2017).

Budapesten is történtek kutatások a lemorzsolódást illetően; másodikként Miskolci és munkatársai (2018) eredményeit ismertetjük röviden. A kutatók a vizsgálatuk során az alábbi főbb megállapításokat tették – jellemzően szakirodalmi áttekintés révén:

- a pénzügyi nehézség kiemelkedően fontos lemorzsolódási ok, így jó lenne, ha az egyetem támogatást tudna adni a hallgatóinak;
- csökkentené a lemorzsolódás arányát, ha az intézmény a középiskolások számára nyílt előadásokat, foglalkozásokat, próbanapot, vagy akár nyári egyetemet szervezne;
- szintén a célt segítené, ha a felsőoktatási intézményekbe csak felkészült, szelektált hallgatók kerülnének;
- jót tenne a hallgatóknak, ha karrier-tanácsadáson, illetve közösségépítő programokon vehetnének részt.

3.2. Primer kutatás

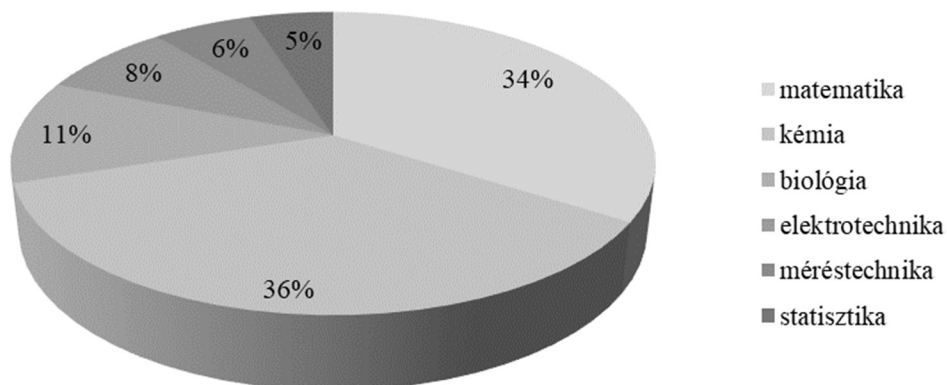
Jelen tanulmányunkban az agrár képzési területen tanuló hallgatóink körében elvégzett felmérés eredményeit ismertetjük.

A felmérésben részt vett hallgatóktól elsőként aziránt érdeklődtünk, hogy a felvételi eljárás során hányadik helyen jelölte meg azt a szakot, amelyen jelenleg a képzését folytatja. A válaszadók 80%-a első helyen, míg 11%-a a második helyen írta be az adott szakot.

A hallgatókat megkérdeztük arról is, hogy milyenek találják az adott képzésüket, mennyire egyeznek meg az elvárásaik a képzésük során tapasztaltakkal. Ennek keretében a tanult ismeretekkel, a tananyag nehézsége, az oktatás színvonala, a követelmények teljesíthetősége és a számonkérésre való felkészülés feltételeinek szempontjából kértük ki a véleményüket. Az egyes faktorokat 1-5-ig terjedő skálán értékelhették, ahol az ötös érték az elvárások és a tapasztalatok teljes mértékű egyezőségét jelentette, míg az egyes az egyáltalán nem egyezik meg válaszokat jelenti. Jellemzően a *megegyeznek* (45%-50%), valamint a *bizonytalan vagyok a megítélésében* (40%-50%) válaszok voltak túlsúlyban.

A következőkben a kurzusaikkal kapcsolatosan tettünk fel néhány kérdést. Elsőként azt, hogy melyik teljesítése jelentett számukra nehézséget. A matematika, a kémia, az elektrotechnika és a biológia neveket említették a legtöbben (*1. ábra*).

1. ábra: A hallgatók megoszlása a legnehezebben teljesíthető kurzusok alapján (N=202)

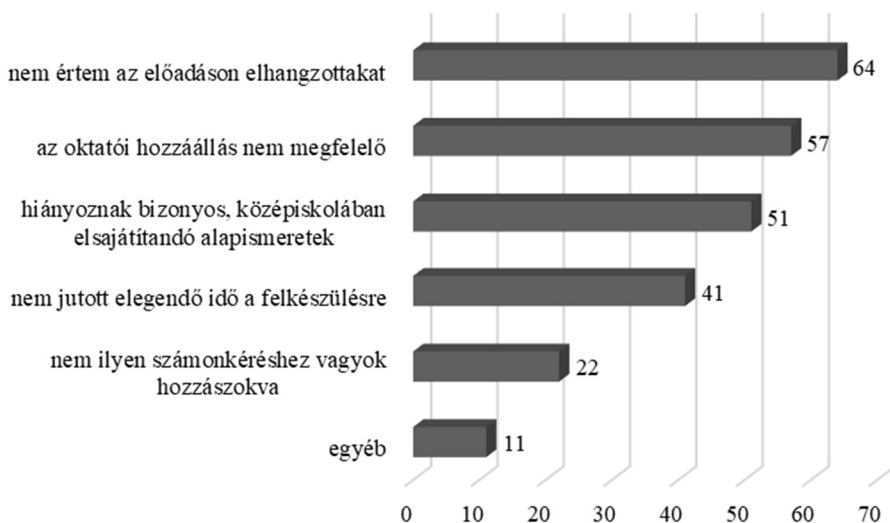


Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A nem teljesíthetőség okaként több lehetőséget is felsoroltunk, amiből választhattak a megkérdezettek. Ezek közül a legjellemzőbbek az alábbiak voltak: távol áll az illetőtől a tantárgy (79 db), rosszul felmért felkészülési idő (71 db), túl nagy stresszt okoz a vizsgahelyzet (64 db), teljesíthetetlenek az elvárások (40 db).

A következőkben azt igyekeztünk feltárni, hogy mi okozhatja a legnagyobb gondot számukra (2. ábra).

2. ábra: A válaszok száma a nehezen teljesíthető kurzus teljesíthetőségének okai szerint (N= 202)



Forrás: A szerzők saját szerkesztése

A legtöbb jelölés a „nem értem az előadásokon/ gyakorlatokon elhangzottakat” lehetőségre érkezett.

Az előzőekben leírt problémát kell tehát megoldanunk, közösen a diákoknak és az oktatóknak. A kérdőívben – az általunk megadott javaslatok közül – a

leggyakrabban megjelölt válaszként az szerepelt, hogy a hallgatók az intézményen belüli ingyenes felzárkóztató kurzust preferálnák. Ez – meglátásunk szerint – egy olyan alapozó jellegű tananyag összeállítását és oktatásba bevonását jelenti, amellyel lehetővé tennék egy-egy adott tantárgy hatékonyabb tanulását elősegíteni.

4. Összegzés

Felmérésünk alapján az alábbi főbb megállapításokat tehetjük: A hallgatók számára tanulmányaik során a legjelentősebb gondot a Matematika, a Kémia, a Biológia és az Elektrotechnika (alapja a fizika) kurzusok teljesítése jelenti. A nehézségek oka elsősorban a hiányos középiskolai tudásban keresendő. A hallgatók emiatt nem értik az előadásokon, illetve gyakorlatokon elhangzottakat, mivel az feltételezi az alapozó tárgyak magas szintű ismeretét.

A hallgatók sikeresebb felkészülését jelentős mértékben támogathatná a felzárkóztató kurzusokon való részvétel, melynek lényege a középiskolai tananyag vonatkozó részeinek magasabb szintű elsajátítása, összekapcsolva az egyetemi szintű tudással.

Javaslatunk tehát, hogy készüljenek el a matematika, a kémia, a biológia és a fizika felzárkóztató kurzusok tematikái és tananyagai, amelyek segíteni tudják a hallgatók eredményesebb felkészülését, csökkentve ezzel a hallgatói lemorzsolódás mértékét.

Köszönetnyilvánítás

Jelen felmérés a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

Irodalomjegyzék

- Eduline (2019): Itt a lista: ez a 10 legnépszerűbb egyetem a 2019-es felvételin, több tízezren jelentkeztek <http://eduline.hu/erettsegi_felveteli/20190403_tiz_legnepszerubb_egyetem?fbclid=IwAR07kKIQPJutf4U58c1rWCi-m14M_dJRCSmhmw9CbiDhD6uo09ZZzVmOIte> (2019.04.03.)
- Fenyves V., Bácsné Bába É., Szabóné Szőke R., Kocsis I., Juhász Cs. Máté E. Pusztai G. (2017): Kísérlet a lemorzsolódás mértékének és okainak megragadására a Debreceni Egyetem Gazdaságtudományi Kar példáján. *Neveléstudomány*, 5 (3): 5–14.
- Fokozatváltás a felsőoktatásban középtávú szakpolitikai stratégia, 2016 <<http://www.kormany.hu/download/b/fa/11000/EMMI%20fokozatv%C3%A1lt%C3%A1s%20fels%C5%91oktat%C3%A1s%20cselekv%C3%A9si%20terv%20Sajt%C3%B3%20%C3%A9s%20Kommunik%C3%A1ci%C3%B3s%20F%C5%91oszt%C3%A1ly%2020170627.pdf>> (2019.04.03.)
- Lukács F., Sebő T. (2015): Az egyetemi lemorzsolódás kérdőíves vizsgálata. *Iskolakultúra*, 25 (10): 78–86 <<http://real.mtak.hu/34871/1/08.pdf>> (2019.04.03.)
- Miskolci P. Bársony F. Király G. (2018): Hallgatói lemorzsolódás a felsőoktatásban: elméleti, magyarázati utak és kutatási eredmények összefoglalása. *Iskolakultúra*, 28 (3-4): 87–105. <<http://www.iskolakultura.hu/index.php/iskolakultura/article/view/22790/22512>> (2019.04.03.)
- Pusztai G., Szigeti F. (2018): *Lemorzsolódás és Perzisztencia a felsőoktatásban*. Debreceni Egyetemi Kiadó, Debrecen.
- Vossensteyn, H., Kottmann, A., Jongbloed, B., Kaiser, F., Cremonini, L., Stensaker, B., Hovdhaugen, E. Sabine W. (2015): Dropout and Completion in Higher Education in Europe: Executive

Summary. European Commission [Európai Bizottság].
<<https://research.utwente.nl/en/publications/dropout-and-completion-in-higher-education-in-europe-main-report>> (2019.04.04.)

LEMORZSOLÓDÁS CSÖKKENTÉSÉRE IRÁNYULÓ FELMÉRÉS – A TANULÁSI PROBLÉMÁKKAL KÜSZKÖDŐ HALLGATÓK KÖRÉBEN

Lendvai Edina – Pappné Sziládi Katalin – Vidács Anita

Absztrakt: Kutatásunk során fel kívántuk mérni, hogy a Mérnöki Kar hallgatóinak esetében milyen tényezők okozhatják a hallgatói létszám csökkenését. A felmérés során a korábban készült EFOP-3.4.3-16-2016-0001 számú alprojektre építve szerettünk volna további vizsgálatokat lefolytatni. A kérdőíves megkérdezés során célul tűztük ki, hogy kiderítsük, a fenti felmérésben kimutatott fizika, illetve biológia kurzusok mely hallgatói réteg számára jelentenek különösen nagy nehézséget. Elsősorban, kiemelkedő arányban, az élelmiszermérnökök között találtunk tanulási problémával küszködő hallgatókat. A megoldást – véleményünk szerint – egy olyan jegyzet jelenthetné, amelyben az oktató az előadásokon elmondottakat/elhangzottakat érthetően összefoglalja.

Abstract: During our research, we wanted to investigate the reasons behind the drop-out of the students of the Faculty of Engineering. Doing so, based on the former EFOP-3.4.3-16-2016-0001 subproject, we wanted to broaden our research with further studies. Our main goal with the questionnaires was to find out that the biology and physics courses being set forth with the survey mentioned above represent great difficulties to which class of students. It was shown that primarily – in significant proportion – amongst Food Science Engineering classes can be found students who have learning difficulties. In our point of view the solution would be to create a lecture note that summarizes the information the lecturer says and what is shown during the course in an understandable way.

Kulcsszavak: tanulási nehézség, lemorzsolódás, nappali tagozatos hallgatók, kérdőíves felmérés

Keywords: learning difficulties, dropouts, full-time students, survey

1. Bevezetés

A Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar (SZTE-MK) számára is fontos kihívás új hallgatók bevonása a kínált műszaki és élelmiszertudományi szakokra. Érdekes jelenség, hogy a középiskolák megítélésében – szinte kizárólagos – értékelési szempont a felvett, és a felsőoktatásban tanulmányaikat folytató hallgatók aránya. Az utóbbi időben azonban megfigyelhető, hogy a felvételt nyert, és tanulmányait elkezdő hallgatók egy része a képzés elején abbahagyja tanulmányait és kiiratkozik. Egyénenként megvizsgálva a helyzetet, feltételezhető, hogy nem minden hallgatónak kellene abbahagynia tanulmányait és elhagyni a felsőoktatás rendszerét. Hátrányos helyzetben lévő hallgatók jelenléte sem rendkívüli eset. A hátrányos jelző ebben az esetben a fogyatékkal élő, illetve tanulási nehézséggel küszködő hallgatókat jelenti. Vannak olyan diákok is, akik irreálisan mérték fel képességeiket, illetve nem sikerült ráhangolódniuk az egyetemista létre: azaz a felsőoktatásban elvárható mennyiségű és minőségű tananyag feldolgozására, vagy nem tudnak az elvárható formában élni az önálló beosztású napirenddel, így személyes kudarcként élik meg egyetemi létüket, sikertelenségüket. Hisszük azt, hogy az okok minél teljesebb feltárását követően a Mérnöki Kar is tud megfelelő segítséget, szükség esetén alternatívát kínálni a nehézségekkel küzdő hallgatóinak.

2. Elméleti háttér, szakirodalmi feldolgozás

A speciális igényű hallgatók esetében külön kell választanunk a testi fogyatékkal élő hallgatókat, akik számára – adott esetben – technikai megoldások is szükségesek lehetnek (pl. akadálymentesítés, hallássérült hallgató esetén speciális eszközök alkalmazása, a látásukban korlátozottaknak beszélő szoftverek stb. biztosítása). Hipotézisünk szerint nagyobb létszámban vannak a tanulási nehézségekkel rendelkező diákok, akik a felvételi eljárásban erre – akár – többletpontot is kaptak. Érdekes a „hozott” nehézségek mellett az egyetemi évek alatt „szerzett” problémák megoldása is.

Tekintsük át a különböző tanulási nehézségeket, mint például a diszlexia, diszgráfia, hallási vagy látási problémák, koncentráció zavar, stressz.

Diszlexia: olvasási nehézség olyanok között, akiknek megvolt a pontos és folyékony olvasáshoz szükséges intelligenciája, motivációja és iskolázottsága. Neurobiológiai eredetű speciális zavar, mely során a pontos és vagy gördülékeny szófelismerés nehezített és gyenge a betűzési és dekódolási képesség. Ennek a háttérében a nyelvi rendszer fonológia komponensének hiányosságai és szokatlan kapcsolatok állnak egyéb kognitív képességekkel, illetve az iskolai oktatás hatékonyságával.

Diszgráfia: írászavar. Az írás mozgások kivitelezésének problémája áll a betegség háttérében (kézírás zavara), más részt a helyesírási szabályok alkalmazásában állnak fent problémák (diszortográfia). A koncentrációs zavar esetében többféle háttér is lehet, de az eredmény ugyan az, a hallgató nem tud figyelni az órákon és a tanulásra sem tud összpontosítani. A koncentráció szorosan párosulhat a stresszel is.

Diszkalkulia: különböző számtani műveletek, matematikai jelek, kifejezések, szabályok megértésének, a számjegy, számkép felismerésének, egyeztetésének, grafikus ábrázolásának, számok sorrendiségének, számneveket szimbolizáló vizuális alakzatok azonosításának nehézsége. Ezekkel találkozunk leggyakrabban. (Salamanca–UNESCO)

A szociális beilleszkedési zavarok is hozzákapcsolódhatnak a korábban említett nehézségekhez és máris eljutottunk a halmozottan problémás, nehézségekkel küzdő hallgatókhoz. Ennek következtében létrejön az alulteljesítés, melynek kiváltó okai között önkritikát kellene az egyetemi oktatóknak is gyakorolniuk. Eleget adunk-e hallgatóinknak? Eleget teszünk-e értük?

A fejlesztések során az egyénhez igazított követelményrendszer szükséges, emellett segítenünk kell a fejlesztésre szoruló beilleszkedését a kortárs csoportokba, sikerélményt kell biztosítani hallgatóinknak. Reményeink szerint érdemes kitérnünk arra is, hogy hogyan tudunk vonzó, motiváló célt biztosítani ebben a helyzetben a sajátos képzést igénylő hallgatóinak, valamint további lehetőségek felajánlásával megszólítani őket, érdeklődésüket felkelteni. (Overcoming–UNESCO)

Társadalmi igényként is jelentkezik az, amit úgy fogalmazhatunk meg, hogy a kész ismeretek átadása helyett a megismerés eszközeit kell elérhetővé tenni lehetőleg mindenki számára. Másfelől „termelés közelbe” kell vinni, életszerűbbé kell tenni az oktatást. E cél megvalósítása során hangsúlyt kapnak az üzemlátogatások, a

kirándulások, a termékbemutatók, a mérnöki képzéshez szorosan kapcsolható vállalatok megtekintése.

3. Anyag és módszer

Célul tűztük ki, hogy kiderítsük, az EFOP-3.4.3-16-2016-0001 számú alprojektben kimutatott fizika, illetve biológia kurzusok mely hallgatói réteg számára jelentenek különösen nagy nehézséget. Mivel a tanulási nehézség megállapítása „ránézésre” nehézségekbe ütközik, így elsősorban az önbeismerésen működő elvet próbáltuk alkalmazni. Ennek érdekében egy kvantitatív felmérést végeztünk, melyet kérdőíves kutatás formájában valósítottunk meg. Ezt a módszert ajánlja az Európai Unió is a stratégiai programjai között.

A kutatási témának megfelelően a kvantitatív eljárást, azon belül is a kérdőíves felmérést választottuk.

A megbeszélések során az alábbiakban állapodtunk meg:

- a nappali tagozatos, BSc-s hallgatókkal kell kitöltetni a kérdőívünket
- a Mérnöki Karon tanuló BSc-s hallgatók két nagy csoportra oszthatók:
 - o az agrárképzéshez köthető Élelmiszermérnökök
 - o a műszaki képzéshez köthető Mechatronikai mérnökök, Gépészmérnökök, Műszaki menedzserek, illetve a Mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnökök.

A fentieket figyelembe véve a Tanulmányi Osztálytól kapott adatok alapján (1. táblázat) elkészítettük a mintaszámokra vonatkozó tervünket (2. táblázat).

1. táblázat: A vizsgált szakok hallgatói létszáma

Szak megnevezése	Hallgatói létszám (fő)
Élelmiszermérnök szak	81
Gépészmérnök szak	67
Mechatronikai mérnök szak	30
Műszaki menedzser szak	32

Forrás: www.mk.u-szeged.hu

2. táblázat: A kutatás során megkérdezett hallgatók száma, aránya

Szak megnevezése	Megkérdezettek száma (fő)	Megkérdezettek aránya – az összlétszámhoz viszonyítva (%)
Élelmiszermérnök szak	50	61,73
Gépészmérnök szak	42	62,69
Mechatronikai mérnök szak	18	60,00
Műszaki menedzser szak	20	62,50

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A hallgatókat az előadásokon kértük fel a kérdőív kitöltésére. A kitöltetés időszaka 2018. április 26-május 10. között volt.

4. Várható eredmények és feladatok

A kérdőíves felmérések összeállítása során – szakok szerint – néhány eltérő kérdést is feltettünk. Valószínűleg a tanulási nehézségek egy része összefüggésbe hozható a felsőoktatás tárgyi és személyi feltételeivel is. A sajátos igényű hallgatók esetében fokozottan indokolt a készségszintű begyakoroltatás, amelyre – gyakran – sem idő, sem anyagi lehetőség sincs, a személyi állomány így is túlterhelt.

Másik pillére e rendszernek maga a hallgató. Sok szó esik arról, hogy csökken a tanulás hatékonysága, és fokozódik a közömbösség, gyakori a szakmai érdeklődés hiánya, valamint egyre elterjedtebb a minimális, de még eredményes teljesítményre való törekvés. Ennek megváltoztatása jelentős odafigyelést igényel, illetve személyre szabott módszerek alkalmazását tenné szükségessé. Sajnos, a mérnökképzésben részt vevő oktatók többsége nem rendelkezik semmilyen pedagógiai ismerettel. Különösen hiányosak a speciális igényű hallgatókkal kapcsolatos módszertani ismereteik.

Egyrészt a minőségi követelmények emelkedésének, másrészt az esélyegyenlőség szempontjai szerint történő érvényesülésnek vagyunk tanúi. Érdekes a hallgatók családjának támogató, megértő vagy éppen a kudarcra tévesen reagáló hatása. Ez könnyen a gyermek tanulmányainak megszakítása irányában mozdíthatja el a folyamatokat, ha nem érzik a teljesíthetőséget gyermekük esetében. (Csíkszentmihályi, 2010)

Meg kell említenünk a tanulási módok, stílusok, formák és szokások közötti különbözőséget. Bizonyára nem mindenki számára alkalmas a kollégium tanulási környezetként, de az egyetemi szolgáltató létesítmények sem biztos, hogy a megfelelő megoldást jelentik (pl. könyvtár, kávézó). Sajnos, a családok anyagi lehetőségei is korlátozhatják a sikerességet, hiszen vannak olyan lakások (albérletek), melyek nem tudnak megfelelő színhelyet biztosítani a fiatalnak a tanulásra.

A speciális igényű hallgatók esetében – előfordul – hogy fokozott anyagi terhet jelent a felsőfokú tanulmányok finanszírozása. Ezek a hallgatók ugyan pályázhatnak kiegészítő támogatásokra (pl. szociális vagy fogyatékosági alapon), de ennek mértéke nem biztos, hogy arányban van a többletköltségekkel.

A felmérés során igyekeztünk gondot fordítani arra, hogy a hallgató érdekesnek találja a kérdőívet. Így különböző feladatokkal próbáltuk rávenni őket a válaszadásra.

Ilyen volt például az első, ráhangoló kérdés, amikor arra kértük a kitöltőket, hogy írják le az első szót, amire asszociálnak a *tanulás* szó hallatán.

Jelen cikkünkben szeretnénk kiemelni azt az eljárást, mikor már konkrétan a kurzusokkal kapcsolatosan tettünk fel kérdéseket a vizsgálatunk alanyainak.

A cikkünk további részében a hallgatói csoportok közül az Élelmiszermérnökökkel kapcsolatos analízisünket mutatjuk be részletesen.

Kérdőívünkben arra kerestük a választ, hogy mennyire tudták teljesíteni az adott kurzusokat. A 3. táblázatban összegeztük az értékeléseiket. A számok jelentése: (1: nagyon nehezen teljesítettem, 2: nehezen teljesítettem 3: átlagosan teljesítettem 4: könnyen teljesítettem 5: nagyon könnyen teljesítettem)

3. táblázat: A hallgatók által adott értékek statisztikai eredményei, az egyes kurzusok esetén – teljesíthetőség (n=50)

Kurzusnév	Átlag	Medián	Modus	Modus gyakorisága	Szórás
Biológia	2,40	2	2	18	1,049781
Informatika	3,80	4	4	23	0,832993
Fizika	2,50	2	2	17	1,111168
Kémia	2,98	3	3	20	0,979171
Közgazdaságtan	3,92	4	5	17	0,944155

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A fizika és a biológia jelentette a legnagyobb problémát a hallgatók számára, míg az informatika és a közgazdaságtan volt számukra a legkönnyebben teljesíthető.

Ha csak azokat a hallgatókat vizsgáljuk meg, akik korábban jelezték a tanulási problémáikat (29 fő), akkor még árnyaltabb képet kapunk (4. táblázat).

4. táblázat: A tanulási problémákkal küszködő ÉM hallgatók által adott értékek statisztikai eredményei, az egyes kurzusok esetén – érzések (n=29)

Kurzusnév	Átlag	Medián	Modus	Modus gyakorisága	Szórás
Biológia	2,55	3	3	11	0,985111
Informatika	3,38	3	3	10	1,236752
Fizika	1,83	1	1	16	1,136064
Kémia	2,59	2	1	9	1,476416
Közgazdaságtan	3,17	3	3	9	1,415954

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

Láthatjuk, hogy ennek a 29 főnek még nagyobb problémát okoz a kurzusok teljesíthetősége. (Lendvai et al., 2018)

5. Összefoglalás

Kutatásunkban a Mernöki Karon tanuló hallgatók kaptak kiemelt figyelmet. A tanulmányunkban meghatározott szakokon tanuló hallgatók közül – a korábbi felmérés alapján – az első évfolyamosok megkeresése volt a leginkább releváns, hiszen a problémák mögött az alapozó tárgyak nehezen teljesíthetősége húzódott meg.

A felmérés kiértékelése után világosan láttuk, hogy elsősorban az élelmiszermérnök szakos hallgatóknál jelentkeznek a tanulási problémák. Különösen a biológia és a fizika kurzusok esetében jelent nekik ez – őket is zavaró - nehézséget. Úgy gondoljuk, hogy számukra egy speciális jegyzetet kellene összeállítania a tárgyat oktató kollégáknak, melyben részletesebben, a nehezebb témaköröket alaposabban kifejtve segíthetnék a nehézségekkel küszködő hallgatókat.

Kiemelten lényegesnek tartjuk, hogy a mérnöki képzés gyakorlati oldalát, a minőségi ismeretek javítása érdekében tovább erősítsük. Fontos, hogy a kikerülő szakemberek minél használhatóbb gyakorlati ismeretekhez is jussanak, ez a

képzésekben prioritást élvezzen. Ennek érdekében a laboratóriumainkban folyó munkára, a különböző gyakorlatokra, amelyek rendkívül anyagigényesek, a jövőben célszerű lesz többletforrásokat biztosítani.

Köszönetnyilvánítás

Jelen felmérés a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

Irodalomjegyzék

- Csikszentmihályi Mihály (2010): Tehetséges gyerekek – Flow az iskolában. Nyitott Könyvműhely, Budapest.
- Lendvai E., Pappné Sziládi K., Vidács A. (2018): A Szegedi Tudományegyetem oktatási és szolgáltatási teljesítményének innovatív fejlesztése a munkaerő-piaci és a nemzetközi verseny kihívására való felkészülés jegyében, API MK lemorzsolódást csökkentő program kifejlesztése az MK-n az MTMI területeken. SPECIÁLIS IGÉNYŰ HALLGATÓK FELMÉRÉSE A MÉRNÖKI KARON (2018) – Széchenyi 2020 Európai Unió Európai Szociális alap – Befektetés a jövőbe.
- Overcoming Exclusion through inclusive Approaches in Education. A challenge and a vision Conceptual Paper for the Education Sector, UNESCO 2001.08 <<http://unesco.org.pk/education/icfe/resources/res42.pdf>> (2019.04.03.)
- Salamanca Statement on Principles Policy and Pactice in Special Needs Educations UNESCO 1994.03. <http://www.unesco.org/education/pdf/SALAMA_E.PDF> (2019.04.03.)

KOMPETENCIA ÉS TUDÁSIGÉNY FELMÉRÉSE SZAKMÁK SZERINT

Kis Krisztián – Nagy Valéria – Benkő-Kiss Árpád

Abstract: Kérdőíves felmérést végeztünk a Mérnöki Kar négy alapszakának nappali tagozatos hallgatóinak körében. A felmérés részét képezi annak a négy évre kiterjedő felmérésnek, amelyben a Mérnöki Kar hallgatóinak kompetencia és tudásigényét kívánjuk felmérni. A felmérés célja, hogy a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kara a (gyakorlatcentrikus) képzéseinek fejlesztéséhez (melynek része pl. az oktatás-módszertan megújítása, illetve a tanulási eredmény alapú szemlélet kialakítása) átfogó képet kapjon a hallgatók kompetenciáiról és tudásigényéről.

Abstract: We have conducted a questionnaire survey among full-time students of the Faculty of Engineering. The survey is part of a four-year long survey where the aim is to assess the competences and the future purposes of students of the Faculty. Another goal of the survey is to provide a comprehensive picture of students' competencies and knowledge needs for the development of trainings which include the renewal of the educational methodology and the development of a learning outcome-based approach at the University of Szeged.

Kulcsszavak: kompetencia, munkaerőpiac, hallgatók, vállalati elvárások, kérdőíves felmérés

Keywords: competency, labour market, students, company expectations, questionnaire survey

1. Bevezetés célkitűzés

Célunk, hogy a Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kara a (gyakorlatcentrikus) képzéseinek fejlesztéséhez képet kapjunk a hallgatók kompetenciáiról és tudásigényéről, motivációjáról.

Az eredmények ismeretében könnyebb az oktatási portfólióban – a lehetőségek határain belül – lényegi változtatásokat, korszerűsítéseket végezni.

2. Anyag és módszer

Munkacsoportunk tevékenysége a fent megnevezett altémával kapcsolatban a következő projektfeladatok elvégzésére terjedt ki:

A hallgatók kérdőíves megkérdezésére 2018 októberének első hetében között került sor.

A felmérés többek között a hallgatók szak- és intézményválasztási szempontjaira, a képzési idő struktúrájával kapcsolatos elképzeléseikre, az általuk elérni kívánt végzettségre, képzési szintre, elhelyezkedési területre, a kar által nyújtott szolgáltatások megítélésére, a hallgatók kompetenciáira, valamint a releváns információforrások értékelésére terjedt ki.

Gyorsjelentésünk mellékletként csatoljuk a felmérés alapjául szolgáló kérdőíveket, valamint a fontosabbnak ítélt kérdések aggregált, diagramokkal szemléltetett értékelését.

A felmérés részletes adatainak rögzítése, kiértékelése az alapstatisztikák elemzése Excel programmal történt.

Rövidítések:

- GM=Gépészmérnök

- MÉG=Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépészmérnök
- MECHA=Mechatronikai Mérnök
- ÉMI=Élelmiszeripari Mérnök
- MM=Műszaki Menedzser

3. Eredmények

Az alapadatok elemzése esetén a legfontosabb adat, hogy a hallgatók (bármelyik szakirányi is választották) zömében frissen végzett gimnazisták (1. táblázat).

A GM és MECHA szakra jelentkezők között gimnáziumból a hallgatók fele érkezett, és nagyobb arányú a szakközépiskola, illetve a technikus előélet, illetve végzettség.

Az ÉMI az MM és a MÉG (kis létszámú szak) esetében azonban a gimnáziumi előélet dominált. Emellett jellemző a férfitúlsúly az egész Karon, ez alól az ÉMI a kivétel, ahol a női hallgatók száma 75 % feletti, az MM szakon pedig kissé több mint egyharmad. (1. táblázat)

1. táblázat: Hallgatói alapadatok

	Gépészmérnök N=52	Mezőgazd és Élelmiszeripari Gépészmérnök N=4	Mechatronikai mérnök N=38	Élelmiszer mérnök N=73	Műszaki menedzser N=22
1. kérdés: Kitöltő életkora					
18 év	19,23%	50,00%	18,42%	24,66%	9,09%
19 év	40,38%	25,00%	36,84%	53,42%	45,45%
20 év	23,08%	25,00%	31,58%	16,44%	27,27%
21 év	9,62%	0,00%	13,16%	2,74%	9,09%
22 év	3,85%	0,00%	0,00%	1,37%	4,55%
idősebb	3,85%	0,00%	0,00%	1,37%	4,55%
2. kérdés: Kitöltő neme					
Férfi	90,38%	100,00%	97,37%	23,29%	63,64%
Nő	9,62%	0,00%	2,63%	76,71%	36,36%
3. kérdés: Végzettség?					
Gimnázium	53,85%	100,00%	52,63%	83,56%	86,36%
Szakközépiskola	13,46%	0,00%	13,16%	5,48%	0,00%
Szaggimnázium	11,54%	0,00%	10,53%	9,59%	9,09%
Technikus	21,15%	0,00%	18,42%	1,37%	4,55%
Egyéb	0,00%	0,00%	2,63%	0,00%	0,00%

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A hallgatók bekerülési, jelentkezési eredményeit is összefoglaltuk a 2. táblázatban. A kiemelkedő értékeket vastagított kiemeléssel jelöltük. A bejutási pontok alapján látható, hogy a hallgatók zöme közepes, vagy jó pontszámmal került be (a lekérdezés során a többletpontok eredete nem került lekérdezésre).

Biztató, hogy a jelentkezés során az első-helyes jelentkezők száma igen magas minden szakon, kivéve az MM szakon, ahol csak 50 %-os. (2. táblázat)

2. táblázat: Bejutási feltételek

	Mezőgazd és Élelmiszeripari Gépészmérnök N=52	Mezőgazd és Élelmiszeripari Gépészmérnök N=4	Mechatronikai mérnök N=38	Élelmiszer mérnök N=73	Műszaki menedzser N=22
Hány pontot ért el a felvételi eljárásban?					
280-300 + többletpontok	21,15%	50,00%	18,42%	23,29%	13,64%
301-320 + többletpontok	17,31%	25,00%	13,16%	13,70%	9,09%
321-340 + többletpontok	23,08%	0,00%	21,05%	19,18%	36,36%
341-360 + többletpontok	23,08%	25,00%	13,16%	19,18%	9,09%
361-380 + többletpontok	1,92%	0,00%	18,42%	9,59%	13,64%
381-400 + többletpontok	13,46%	0,00%	15,79%	15,07%	18,18%
Hányadik helyen jelölte meg a Mérnöki Kar képzését?					
Első	94,23%	50,00%	50,00%	86,30%	90,91%
Második	5,77%	0,00%	39,47%	5,48%	9,09%
Harmadik	0,00%	25,00%	5,26%	5,48%	0,00%
Negyedik	0,00%	25,00%	0,00%	1,37%	0,00%
Ötödik					
Hatodik					

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A hallgatók részére az egyetem karai előkészítő, felzárkóztató kurzusokat tartanak. Nem kivétel ez alól a Mérnök Kar sem.

A lekérdezés során erre a területre is készítettünk kérdéseket. A válaszok (3. táblázat) alapján kiderült, hogy nagyobb hangsúlyt kell fektetni az előkészítő kurzusokon való részvételre, a hallgatókat jobban kell motiválni, hiszen a válaszok alapján kijelenthető, hogy a hallgatók utólag már bánják, hogy időben nem jártak a felajánlott kurzusokra.

Ez minden szakirány hallgatói esetében megfigyelhető. (3. táblázat)

3. táblázat: Az előkészítő oktatás hasznossága

Hogyan ítéli meg az előkészítő, külőra hasznosságát az egyetemi tanulmányi előmenetelében? Kiadott kérdőív	Gépészmérnök 52	Mezőgazd és Élelmiszeripari Gépészmérnök 4	Mechatronikai mérnök 38	Élelmiszer mérnök 73	Műszaki menedzser 22
Hasznos volt, mert nagyon nagy különbség van a középiskolás tananyag és az egyetemi követelmények között	17,31%	0,00%	15,79%	23,29%	18,18%
Felesleges volt, semmi olyat nem tanultam ott, aminek hasznát bennem az egyetemi tanulmányaim során	5,77%	0,00%	2,63%	1,37%	9,09%
Sajnos nem jártam, pedig jobb lett volna, ha járok, mert nagyon nagy különbség van a középiskolás tanagyan és az egyetemi követelmények között	67,31%	100,00%	57,89%	56,16%	54,55%
Összes válaszadó %	90,38%	100,00%	76,32%	80,82%	81,82%

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A felzárkóztató kurzusok mellett 2018-ban Mentorprogram is indult a karon. Itt idősoros tapasztalattal nem rendelkezünk, de a hallgatók véleménye szerint mind a felzárkóztató program, mind a Mentorprogram hasznos (4. táblázat). Még hasznosabb lenne persze, ha nagyobb lenne a hallgatói aktivitás. Ezt önmagában nem várhatjuk el, az oktatók motiváló tevékenységére is szükség van. Emellett a Mentorprogram túlbürokratizáltsága is korrekcióra szorul, hiszen úgymond akkor is

kötelezővé teszi a mentorálást amikor a hallgatónak arra nincs az adott időben igénye.

4. táblázat: Oktatási háttértámogatások eredményessége

Kiadott kérdőív	Mezőgazd és Élelmiszeripari Gépészmérnök		Mechatronikai mérnök	Élelmiszer mérnök	Műszaki menedzser
	Gépészmérnök	Gépészmérnök			
	52	4	38	73	22
Hasznosnak tartja-e a Karon működő mentorprogramot?					
Igen	86,54%	100,00%	84,21%	89,04%	90,91%
Nem	5,77%	0,00%	15,79%	8,22%	9,09%
Egyéb, éspedig:	5,77%	0,00%	0,00%	2,74%	0,00%
Hasznosnak tartja-e a Karon induló felzárkóztató kurzusokat?					
Igen	96,15%	100,00%	89,47%	95,89%	95,45%
Nem	3,85%	0,00%	2,63%	2,74%	4,55%
Egyéb, éspedig:	0,00%	0,00%	0,00%	1,37%	0,00%

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

A hallgatók jövőképe, céljai, szándékai és tervei nagyon fontos önmotiváló tényezők. Az 5. táblázatban ennek az összegzése látható. A második kérdésblokkban 3 lehetséges válasz volt, tehát 1 hallgató 3 területet jelölhetett meg. Ezért a válaszokat itt is százalékos formában jelenítettük meg.

A GM és a MÉG szakokon a BSc a hallgatók célja, az MSc-t az MM és az ÉMI hallgatók tervezik elvégezni, érdekes, hogy a MM szakra járó hallgatók egyötöde igen komoly tudományos célokat (PhD) tűzött ki magának.

5. táblázat: Hallgatói jövőkép és tervek

Kiadott kérdőív	Mezőgazd és Élelmiszeripari Gépészmérnök		Mechatronikai mérnök	Élelmiszer mérnök	Műszaki menedzser
	Gépészmérnök	Gépészmérnök			
	52	4	38	73	22
Milyen legmagasabb iskolai végzettséget kíván elérni tanulmányaival?					
BSc (alapképzésben szerzett oklevél)	67,31%	75,00%	34,21%	20,55%	36,36%
MSc (mesterképzésben szerzett oklevél)	26,92%	25,00%	55,26%	71,23%	31,82%
Szakirányú továbbképzés (szakmérnök)	3,85%	0,00%	2,63%	4,11%	9,09%
PhD (tudományos fokozat)	1,92%	0,00%	7,89%	2,74%	22,73%
Milyen területen szeretne elhelyezkedni? Jelölje meg a három leginkább releváns területet?					
Kutatás	17,31%	0,00%	23,68%	30,14%	4,55%
Fejlesztés	65,38%	75,00%	73,68%	53,42%	40,91%
Innováció	15,38%	50,00%	23,68%	5,48%	18,18%
Tervezés	67,31%	100,00%	84,21%	31,51%	18,18%
Gyártás	51,92%	50,00%	42,11%	49,32%	13,64%
Karbantartás-javítás	34,62%	0,00%	15,79%	0,00%	4,55%
Kereskedelem	9,62%	0,00%	5,26%	34,25%	45,45%
Logisztika	7,69%	25,00%	7,89%	10,96%	72,73%
Minőségügy	9,62%	0,00%	5,26%	61,64%	4,55%
Közigazgatás	1,92%	0,00%	0,00%	4,11%	9,09%
Oktatás/tanítás	5,77%	0,00%	2,63%	6,85%	0,00%
Egyéb, éspedig:	1,92%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Minőség és biztosítás	0,00%	0,00%	0,00%	1,37%	0,00%

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

Emellett a képzési területeken belül a Fejlesztés, a Kutatás, Tervezés mint terület igen magas a GM, a MÉG és az MM hallgatók körében, aztán – természetesen az ÉMI hallgatóknál a Minőségügy (Élelmiszerbiztonság, bizalmi termék) a sláger, és az MM hallgatóknál a Kereskedelem és a Logisztika iránti érdeklődés dominál.

4. Következtetések

A felmérés igen hasznos eredményeket és adatokat szolgáltatott a Kar hallgatóiról. Jól láthatók az egyes szakok közötti eltérések, a felmérésből kimutathatók a fejlesztési irányok (hallgatói támogatási szolgáltatások) iránti igény.

A hallgatók az adatok alapján jól motiváltak, céltudatosak, ismerik a lehetőségeiket és a hiányosságaikat.

5. Összefoglalás

A kérdőíveken alapuló adatfelvétel és elemzés betekintést engedett a Karra jelentkezett és felvett hallgatók attitűdjeiről, motivációiról, motiválhatóságairól, valamint a Kar által nyújtott tanulást segítő támogatások aktuális helyzetéről.

A meglévő adatok, illetve a későbbi hosszú távú vizsgálatok összehasonlító elemzése releváns információkat nyújthat a Kar vezetésre részére a fejlesztési lehetőségekről és irányokról.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014

Irodalomjegyzék (nincs rá hivatkozás a szövegben)

18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési
18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelményeiről, valamint a tanári felkészítés közös követelményeiről és az egyes tanárszakok képzési és kimeneti követelményeiről szóló 8/2013. (I. 30.) EMMI rendelet módosításáról. <<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1600018.EMM×hift=ffffff4&xtreferer=00000001.TXT>> (2017.10.12.)

VÉGZETT HALLGATÓK ELVÁRT MUNKAERŐPIACI KOMPETENCIÁINAK VIZSGÁLATA

Kis Krisztián – Hampel György – Benkő-Kiss Árpád

Abstract: Az egyetemi (kari) képzési kínálat és a végzett hallgatókkal kapcsolatos vállalati elvárások közötti kapcsolatokat, az igényelt kompetenciákat vizsgáltuk a tanulmányban. A vizsgálat primer adatfelvételeken (kérdőívek, interjúk) alapult.

Az eredmények azt mutatják, hogy a szakmai kimenetek a vállaltok számára alapvetően megfelelnek, a képzéssel elégedettek. Számos szakmai és humán kompetencia iránti igény is erős, ezek képzési szerkezetbe történő integrálása a közeljövő kihívásai közé tartozik. Emellett a valós piaci igények folyamatos kihívást jelentenek a Kar számára a képzési szolgáltatásaink fejlesztésére.

Abstract: In this study, we have investigated the relationship between the training portfolio of University of Szeged Faculty of Engineering and the corporate expectations, the requested competencies from graduates. The investigation was based on primary data surveys (questionnaires and interviews).

The results have shown that the professional output (the skilled students) from the Faculty is basically adequate for the companies and the firms are satisfied with the training.

There is a strong demand for a number of professional and human competencies from the companies and integrating these into the training structure is one of the challenges in the near future. In addition, the real market demands from the labour market are a constant challenge for the Faculty to develop or training services.

Kulcsszavak: kompetencia, tudásigény, felmérés, felsőoktatás, EFOP

Keywords: competency, knowledge needs, survey, higher education, EFOP

1. Bevezetés és célkitűzés

A kutatás célja a hallgatói tudás és kompetenciaszintek és a munkaadói igények közötti kapcsolat és elvárás feltérképezése. Ehhez a központi Képzési és Kimeneti Követelménytrendszer (KKK), valamint a munkaadók elvárásait igyekeztünk felmérni. (18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet)

Első lépésként az egyes szakokkal kapcsolatos KKK-ban kiadott szakszintű leírásokat és követelményeket rendszereztük.

A KKK-ból kigyűjtött kulcsszavak alapján kérdőívet készítettünk amit a leendő munkaadókkal töltettünk ki.

Feltételeztük, hogy a válaszadó jobban eligazodik ha konkrétabb egyértelműbb kulcsszavas technikával kérdezzük le, mintha a KKK anyagát szó szerint alkalmazzánk.

A kérdőíves felmérést mélyinterjúkkal egészítettük ki.

A kutatás célja: Meghatározni azokat a releváns munkaadói kompetenciákat (szakmai, humán, stb.) melyek a legmeghatározóbbak a munkarőfelvétel, illetve karriertervezés területén; ezen belül azonosítani azokat, amelyek a Kar képzéseitől függenek és amelyeket fejleszthetjük.

A Karon oktatót szakirányokra általánosan jellemző követelmények között értelmezés szintjén sok az átfedés. Az alapvetően vizsgált négy kompetenciacsoport jellemzői a következők voltak:

- A hallgató tudása
- A hallgató képességei
- A hallgató attitűdje, hozzáállása
- A hallgató autonómiája és felelőssége

2. Anyag és módszer

2.1. Desk research adatelemzés

Első lépésként a szakokra és a szakirányokra vonatkozó KKK-k rendszerezett áttekintését végeztük el. A kívánatos kompetenciákat a KKK a következő négy csoportba osztja.

- A hallgató tudása: értelemszerűen az oktatással összefüggő szakma tudásmennyiség.
- A hallgató képességei: A megszerzett tudás alkalmazásának mikéntje, hogyan tudja az ismereteket alkalmazni.
- A hallgató attitűdje, hozzáállása: Ezek humán kompetenciák, melyek közvetlenül nem szerepelnek a képzési tartalmak között, de a képzés folyamán indirekt módon történik rá utalás. (Karriertervezés, Kommunikáció)
- A hallgató autonómiája és felelőssége: Szintén humán kompetenciák, de egyes tantárgyakban részbeni oktatások megoldott. (Menedzsment ismeretek, Vállalkozásszervezés, Vállalatirányítás stb.)

2.2. Első lekérdezés és mélyinterjú elkészítése

Online kérdőívet készítettünk a Google kérdőívszerkesztő programjával, amit a partnerek e-mail listájára küldtünk ki. A visszaküldési arány nagyon alacsony volt, ezért többszöri ismétléssel is fel kellett hívtuk a partnerek figyelmét a kérdőívre.

A KKK-ból kulcsszavakat válogattunk ki, majd ezek lettek a kérdőív kérdéseinek alapjai. Alkalmaztuk mind a Likert skálás (osztályozza 1-5-ig az megjelölt kompetenciákat), mind a sorba rendezős (ordinális) technikákat.

A beérkezett kérdőívekkel párhuzamosan több mélyinterjút is készítettünk egyes cégek vezetőivel. Az interjúhoz a kérdőívben szereplő kulcsszavakat használtuk, de összességében szabad asszociációval részletesebb információkat sikerült kinyerni a kutatás számára.

2.3. A második lekérdezés elkészítés

Az első lekérdezés és a mélyinterjúk eredményeinek elemzése során egy szűkített, jobban fókuszált második lekérdezéssel elemeztük a legfontosabbnak tartott kompetenciákat, melyek az első kérdőív alapján fontosnak mutatkozott a munkaadók részéről.

A kérdőívek adatait Microsoft Excel táblázatkezelő segítségével elemeztük, ezeket az eredményeket a mélyinterjúkból származó adatokkal információkkal helyesbítettük, illetve kiegészítettük.

3. Eredmények

3.1. A kérdőívek elemzése

Az első kérdőívet összesen 23 cég küldte vissza, 14 felsővezető és 9 középvezető. A visszaküldő cégek telephelye a dél-alföldi régióra koncentrált, így Szeged, Röske és Szentés adta a cégek többségét. Cégforma tekintetében a Kft. volt a meghatározó, de néhány nagyobb cég is kitöltötte a kérdőívet.

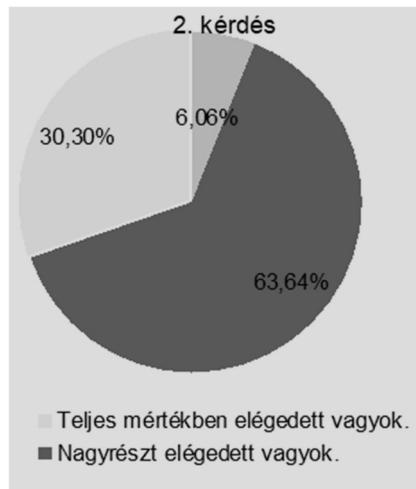
A lekérdezett cégek összesen 5700 főt foglalkoztatnak, 10 cégnek nincs exportja, a többi 13 cég változó exportárbevétellel rendelkezik (20-80%). Összesen 2, teljesen külföldi tulajdonú cég volt a mintában, a többi hazai cég mely közül csak 1 cégben volt 15%-os külföldi tulajdonrész.

Tevékenységi körök szerint, a cégek változó tevékenységeket végeztek. Megtalálható volt ipari, élelmiszeripari, elektronikai, háztartásvegyipari, mezőgazdasági alapanyag termelés is a mintában.

A Karunkkal való kapcsolat tekintetében a cégek főleg a duális képzéssel, illetve már korábban végzett hallgatókkal kapcsolódnak.

A Mérnök Karral való megelégedettséget is megkérdeztük; eszerint a cégek alapvetően elégedettek a képzés színvonalával (lásd: *1. ábra*). Ezt kiegészítendő, megkérdeztük a cégek véleményét, hogy milyen elméleti-gyakorlati arányt tartanak kívánatosnak a képzés során. A válaszadók többsége az 1/3-1/3-1/3 arányt tartana jónak az elmélet, gyakorlati és a vállalati gyakorlat tekintetében.

1. ábra: A képzési színvonal megítélése



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

3.2. A legfontosabb fejlesztendő területek

Megkérdeztük milyen területen gondolkodik a vállalkozás fejlesztésben, előrelépésben.

A három legfontosabb terület súlyozott sorrendje a műszaki innováció, a marketing és a minőségmenedzsment. Ez egybevág a Kar képzési portfóliójával is.

Ehhez a képzéshez leginkább a BSc végzettségűeket igénylik a cége; a szakmérnöki, illetve az MSc végzettség egyaránt fontos számukra, de a BSc vezeti a listát.

A cégek ismereteket és tudást, nem elsősorban az alaptudományok területén, hanem az alkalmazott tudományterületeken várnak. Ez abból fakad, hogy a vizsgálat a termelő-szolgáltató szférát érinti, ahol az alaptudományok önállóan nem hasznosíthatók, de a ráépülő alkalmazott és a gyakorlatban hasznosítható tudományok ismerete annál inkább elvárás.

3.3. Kulcskompetenciák

A kulcskompetenciák területén érdekes módon inkább a „soft” kompetenciák a fontosak (felelősségvállalás, megbízhatóság, motiválhatóság). A technikai, szakmai képességek is természetesen elvárás, de ez – mint a későbbi válaszokból kiderül – a szakmai készségek helyben fejleszthetőek (pl. céges képzésekkel). (Lásd: 1. táblázat, 2. táblázat)

1. táblázat: A fontosabb kulcskompetenciák

Kulcskompetenciák	5	4	3	2	1	Összes pontszám (Nagyobb érték fontosabb)
Csapatmunkára való képesség	9	11	1	0	2	94
Felelősségvállalás	11	9	1	2	0	98
Vállalat iránt ielköteleződés	3	13	3	2	2	82
Iparági jártasság	3	8	9	1	2	78
Eltökélttség/mot iváció	13	5	4	0	1	98
Döntéshozatali képesség	4	11	4	4	0	84
Kommunikációs képesség	4	11	6	0	2	84
Vezetési képesség	1	11	5	4	2	74
Megbízhatóság	15	4	2	0	2	99
Eredményorientáltság	7	11	3	1	1	91
Szervezési képességek	3	8	6	1	5	72
Technikai képességek	3	7	9	2	2	76

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

2. táblázat: A fontosabb kulcskompetenciák

3 legfontosabb kompetencia most	Gyakoriság (fő)	3 legfontosabb kompetencia 2030-ban	Gyakoriság (fő)
Szakmai tudás	8	Kreat ivítás	7
Kreat ivítás	5	Szakmai tudás	4
Megbízhatóság	4	Csapatmunka	3
Csapatmunka	4	Infokommunikációs eszközök ismerete	3
Felelősségvállalás	3	Felelősségvállalás	2
Terhelhetőség	2	Pontosság	2
Problémamegoldó képesség	2	Rugalmasság	2
Pontosság	2	Szaktudás	2
Önállóság	2	Alapos elmélet itudás	1
Mot iváció	2	Alkalmazkodóképesség	1
Lojalitás	2	Bérek	1
Hozzáállás	2	Csapatmunkára való képesség	1
Vezetői képesség	1	Csapatszellem	1

Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

4. Fontosabb egyéb kompetenciatípusok említésének gyakorisága és értékelése

4.1. Humán kompetenciák

Kiugróan magas a kooperáló csapattag mint elvárás a humán kompetenciák között. Természetesen ez a tulajdonság szorosan kapcsolódik olyan említett pozitív tulajdonságokhoz, mint a

1. kommunikációs képesség,
2. vitakészség,
3. kreativitás stb.

Ugyanitt a terhelhető és a megbízható, mint alaptulajdonság szintén a soft tulajdonságok közé tartozik.

4.2. Szakmai kompetenciák

A szakmai kompetenciák közül természetesen a szaktudás és annak felelős alkalmazása volt a szempont. Konkréten az alábbi kompetenciákat tartották fontosnak a cégek.

1. Legyen naprakész (szakmailag).
2. Ismerje az iparág helyzetét, folyamatait.
3. Folyamatos az önképzési igény.
4. Képes folyamatokat menedzselni.

Részletesebben a 2. ábra tartalmazza a szakmai kompetenciák fontossági sorrendjét az említett kérdésekre. Jól látszik, hogy igen jelentős eltérés van az említések számában.

2. ábra: Szakmai kompetenciák fontossági sorrendben



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

4.3. Kommunikációs kompetenciák

A legfontosabb elvárások a kommunikáció területén:

1. Képes megoldásokat keresni.
2. Képes csapatban dolgozni.
3. Jól és hatékonyan kommunikál.
4. Szakmai kapcsolatokat ápol.

Ezeket a tulajdonságokat nehéz fejleszteni, hiszen az oktatásban a Karon a szakmai képzés dominál. Ennek ellenére számos tantárgyhoz az említett tulajdonságok kapcsolhatók (gazdasági tantárgyak, esettanulmányok, gyakorlati képzési helyek stb.)

4.4. Vezetői kompetenciák

Megvizsgáltuk a vezetőktől elvárható kompetenciákat is, hiszen hallgatónk jelentős része közép- vagy felsővezető lesz az adott munkahelyen.

A legfontosabb követelmény itt a felelősségvállalás, a motiváltság (elkötelezettség), és a döntésképeség.

Természetesen a többi tulajdonság jelentős része ezek függvénye. Érdekes módon, ha külön említjük meg a fogalmakat, az önkritika nem elvárás, illetve nem volt a legfontosabb 5 jellemzőben a szempontok között.

Megjegyzés: Ezek a kompetenciák oktatása, fejlesztése nem, vagy csak részben érintik a képzésünket; ezek a kompetenciák a személyiségfejlesztés, személyiség fejlődés során alakulnak ki, természetesen a környezeti hatások eredményeképp is.

3. ábra: Vezetői kompetenciák



Forrás: A szerzők saját szerkesztése.

5. További elemzések

Az eredménynek feldolgozásából (kérdőívek és a mélyinterjúk statisztikai elemzése) kapcsán arra a megállapításra jutottunk, hogy a munkaadóknál a szakmai (hard) és a soft kompetenciák egyaránt fontosak. A legfontosabb kérdések arra vonatkoztak, milyen fejlesztési javaslatokkal segítheti a piaci szereplő a Kar képzését, milyen ismeretanyagokat igényel a végzett hallgatóktól.

5.1. Milyen új ismeretanyag beépítését javasolják a Kar BSc és MSc képzéseibe?

Ez egy szabadon kitölthető mező volt a kérdőívben, az adott válaszok ABC sorrendben, de mindenféle súlyozás nélkül szerepelnek. Külön kiemelendő, hogy az ERP rendszerek képzése a vállalatirányítás tantárgy keretében két éve már bevezetésre és oktatásra került. A kiemelt sorokkal jelezzük, az oktatási portfólióban már meglévő tárgyakat, illetve tevékenységeket

Munkaadók által kívánatos képzések és tevékenységek (nem fontossági sorrend)

1. aerodinamika
2. automatizálási szakirányú képzések pl. pneumatika, hidraulika, **PLC**
3. csapatmunkát elősegítő képzések
4. csúcstechnikák, technológiák oktatása
5. digitalizáció és **automatizálás**,
6. digitalizáció, digitális gyárak; hidraulika/arányos hidraulika
7. doktori képzés
8. **energetika**; gyártó rendszerek optimalizálása; értékesítés
9. energetika; műszerek; logisztika (gyártórendszer logisztika!)
10. ERP rendszerek oktatása (SAP, Dynamics NAV stb.)
11. ERP rendszereken belül különösen a gyártás modul oktatása
12. felkészítés a munkákkal kapcsolatos kihívások kezelésére az életben
13. **géptan**; gépek üzemtana
14. gyakorlati géptervezési ismeretek
15. gyakorlati képzések erősítését javaslom
16. gyakorlati látogatások növelése
17. gyártótechnológiai vonalak tervezése, azok összehasonlítása,
18. idegen (angol, német, kínai, spanyol) szaknyelv oktatás;
19. informatika, idegen nyelv, együttműködést-kommunikációt segítő képzések
20. innováció és környezetvédelem
21. jó és rossz megoldások a mérnöki gyakorlatban
22. készülék, szerszám tervezés
23. kockázatértékelés; önértékelés
24. kvalitatív statisztika
25. LEAN ismeretek
26. LEAN menedzsment
27. **logisztika**, gazdasági ismeretek mérnököknek
28. logisztikai képzés
29. minél több laboratóriumi, teszt feladatok; gyakorlati problémák konkrét megoldása;

30. programozási gyakorlatok, konkrét feladatok;
 31. PLC programozási gyakorlatok
 32. precíziós technológia, mg-i digitalizáció
 33. problémamegoldó készségek fejlesztése,
 34. project management
 35. projekt-határidőmenedzsment;
 36. rendszerépítés; **kommunikáció;**
 37. robotika és digitális technológiák
 38. SAP, vállalatirányítás
 39. szakismeretek folyamatos frissítése
 40. szakmai napok,
 41. szervezés és vezetés;
 42. szimulációs programok,
 43. vállalatok, vállalkozások fejlődési lehetőségei a globalizálódó gazdasági környezetben
- A válaszokban az ismétléseket kiszűrtük.

6. Következtetések

A felmérés befejező szakaszában a beérkező adatok alapján a következő fontosabb megállapítások tehetők.

- A Kar és a piaci szereplők kapcsolatrendszere folyamatosan nő, de a tartalmi kérdésekben a konkrétabb K+F és közös projektek irányában kell elmozdulni.
- A partnerek a Kar képzésével alapvetően elégedettek (szakmai képzés), ugyanakkor olyan kompetenciákat is elvárnak el a végzett hallgatóktól, amelyek inkább a humán kompetenciák közé tartoznak (nincs tantárgyasítva).
- A kifejtős kérdésekben alkalmazott kulcsszavas (szófelhő alapú) elemzések vizuálisan jól mutatják az egyes tulajdonságok, kompetenciák fontosságát mind a munkaerő mind a piaci folyamatok jelenbeli és jövőbeni elvárásainak függvényében.
- A piaci szereplők tudatában vannak a közeljövőben várható paradigmaváltásnak, amit a fokozódó automatizáció és robotizáció okoz a piacon. A változások pontos hatásmechanizmusa teljeskörűen nem ismert, de a tendenciák már érezhetőek, ez okkal stresszeli a piaci szereplőket, de jelentős kihívások elé állítja az oktatást is.
- A munkaerőtől elvárások tekintetében a felsorolt kompetenciákból a legfontosabbaknak az egyéni kompetenciákat tartják (megbízhatóság, kreativitás, önállóság, felelősség stb.), de a csoportban való munkát (csapatmunka, kommunikáció) is megemlítik.
- A vállalatok legfontosabb kihívása a műszaki innovációval kapcsolatos lépéstartás, valamint a minőségmenedzsment. Hasonlóan fontos a K+F, és a vállalati tervezés fejlesztése, amire más kérdésekből adódó válaszok is utalnak.

- A folyamatos képzéseket minden tekintetben fontosnak tartják a vállalatok leghatékonyabbnak a szaklapokat, és a rövid képzéseket tartják (céges, illetve egyetemi). Ugyanakkor a gyakorlatiasabb kézzelfoghatóbb képzésekre való igény is megjelenik a javasolt képzésfejlesztési listában (több gyakorlat, céglátogatás,
- Alapvető elvárás a BSc, és az MSc képzési kimenet, a piacon a PhD, illetve a magas tudományos végzettség általában nem elvárás (a vizsgált célcsoport mintáján).
- A legfontosabb elvárt tulajdonságok munkaadó szemmel, a megbízhatóság, eltökéltség, motiválhatóság és a pontosság. Ezek – véleményünk szerint – általános elvárások a munkaerőpiacon, nem korlátozódik a műszaki végzettségű hallgatókra.
- A vállalatok tudatában vannak a közeljövőben bekövetkező változásoknak (robotizáció, technológia stb.), ugyanakkor nincs (és nem is lehet) pontos recept a változások menedzselésére (egyszerre nagyon sok tényező változik).

8. Összefoglalás

Az eredménynek feldolgozásából (kérdőívek és a mélyinterjúk statisztikai elemzése) kapcsán arra a megállapításra jutottunk, hogy a munkaadóknál a szakmai (hard) és a soft kompetenciák egyaránt fontosak.

A legelső és legfontosabb szempont a mai munkaerőpiaci helyzetben, hogy legyen szakmailag megfelelő munkaerő, amennyiben azzal rendelkeznek, akkor kerülnek előtérbe a soft kompetenciák,

Az adatokból is látható, hogy a munkaadók számára az egyik legfontosabb kompetencia a megbízhatóság, csapatban való gondolkodás, terhelhetőség.

Ezt kiegészítendő, megkérdeztük a cégek véleményét, milyen elméleti-gyakorlati arányt tartanak kívánatosnak a képzés során. A válaszadók többsége az 1/3-1/3-1/3 arányt tartana jónak az elmélet, gyakorlati és a vállalati gyakorlat tekintetében.

Itt jegyezzük meg, hogy kaptunk néhány visszajelzést arra vonatkozóan, hogy a felmérésnek olyan hozadéka is van, hogy ráirányította a figyelmet a kompetenciák szerepére, a kompetenciákban való gondolkodás fontosságára, ami nagy jelentőséggel bírhat a jövőben a kompetenciaalapú munkaerő kiválasztás és – fejlesztésre áttérők körében a hatékonyabb humánerőforrás gazdálkodás, ezzel együtt a hatékonyabb, eredményesebb és fenntarthatóbb vállalati működés előmozdításában.

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a Szegedi Tudományegyetemen készült az Európai Unió támogatásával. Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014.

Irodalomjegyzék

18/2016. (VIII. 5.) EMMI rendelet a felsőoktatási szakképzések, az alap- és mesterképzések képzési és kimeneti követelményeiről, valamint a tanári felkészítés közös követelményeiről és az egyes tanárszakok képzési és kimeneti követelményeiről szóló 8/2013. (I. 30.) EMMI rendelet módosításáról. <<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1600018.EMM×hift=ffffff4&txreferer=00000001.TXT>> (2018.03.12.)