



Konferenciafelhívás!

A Géptervezők és Termékfejlesztők XLII. Országos Szemináriumát

a Gépipari Tudományos Egyesület
az MTA Miskolci Akadémiai Bizottsága
és a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának
Gép- és Terméktervezési Intézete

2026. november 12-én rendezi meg Miskolcon,

melyre minden érdeklődőt tisztelettel várunk.

A rendezvényhez kapcsolódóan publikálási lehetőséget biztosítunk
a GÉP folyóirat novemberben megjelenő lapszámában.

A jelentkezéseket és szakkikkeket 2026. október 9-ig várjuk a konferencia
honlapján közzétett elérhetőségeken.

geik.uni-miskolc.hu/intezetek/GET/gepterszem

GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET műszaki, vállalkozási, befektetési,
értékesítési, kutatás-fejlesztési, piaci információs folyóirata

Elnök:

Vadászné

Dr. Bognár Gabriella

Főszerkesztő:

Dr. Dömötör Csaba

Főszerkesztő-helyettes:

Vesza József

Szerkesztőbizottság:

Dr. Ábrahám György

Dr. Barkóczy István

Dr. Borbás Lajos

Dr. Czifra Árpád

Dr. Danyi József

Dr. Fekete Gusztáv

Dr. Horák Péter

Dr. Horváth Sándor

Dr. Illés Béla

Dr. Jánosi Endre

Dr. Jármay Károly

Dr. Kakuk József

Dr. Kalácska Gábor

Dr. Lelkes Márk

Dr. Kanócz János

Dr. Könözy László

Dr. Mankovits Tamás

Dr. Máté Márton

Dr. Orbán Ferenc

Dr. Patkó Gyula

Dr. Piros Attila

Dr. Soltész László

Dr. Szabó István

Dr. Szávai Szabolcs

Dr. Száva János

Dr. Szigeti Ferenc

Dr. Tímár Imre

Dr. Weltsch Zoltán

TISZTELT OLVASÓ!

A Gépipari Tudományos Egyesület által gondozott GÉP folyóirat a tudományos folyóirat-kiadás irányelveinek megfelelő szemlélettel, nyomtatott kötetekkel és online felületen működik. A GÉP évente több alkalommal megjelenő tudományos folyóirat, amely eredeti tudományos közleményeket, kutatási eredményeket, technikatörténeti összefoglalókat, konferenciákról szóló ismertetéseket és különszámként teljes konferenciaanyagokat közöl a gépészettel kapcsolatos alap- és alkalmazott tudomány területeiről.

A folyóirat elsődleges nyelve a magyar, de magyar és angol nyelven is közöl tudományos cikkeket. Az utóbbi évtizedekben töredékére zuhant a magyar nyelven kiadott szakfolyóiratok száma. Célunk a magyar műszaki nyelv ápolása és magyar anyanyelvűek esetén a tudomány magyar nyelven történő műveléséhez szakcikkek közzétételének lehetőségének biztosítása. Kötelességünknek tartjuk, hogy a GÉP szolgálja a gépészeti tudomány magyar nyelven történő művelését, magyar szaknyelvének állandó fejlesztését és a magyar szaknyelv fejlődését.

A szerkesztőbizottság továbbra is fórumot biztosít a gépészeti tudományok területén született kutatási és fejlesztési eredményeknek.

Vadászné Dr. Bognár Gabriella
a szerkesztőbizottság elnöke

A szerkesztésért felelős: Dr. Dömötör Csaba • A szerkesztőség címe: 3515 Miskolc, Egyetemváros

Telefon: +36-46/565-111 (12-90) • e-mail: mail@gepujsag.hu

Kiadja a Gépipari Tudományos Egyesület, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Levélcím: 1371 Bp. Pf.: 433.

Telefon: +36-1/202-0656, fax: +36-1/202-0252, e-mail: mail@gteportal.eu, internet: www.gteportal.eu

A GÉP folyóirat internetcíme: <http://www.gepujsag.hu> • Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Felelős kiadó: Dr. Bárdos Krisztina ügyvezető igazgató.

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Telefon: +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Előfizetésben terjeszti a Magyar Posta Zrt. • Postacím: 1900 Budapest

Előfizetésben megrendelhető az ország bármely postáján, a hírlapot kézbesítőknél, www.posta.hu WEBSHOP-ban

<http://www.posta.hu/ugyfelszolgalat/webform/hirlap>, e-mailen a hirlapelofizetes@posta.hu címen, telefonon +36-1-767-8262 számon, levélben a MP Zrt. 1900 Budapest címen. Külföldön terjeszti a Batthyány Kultur-Press Kft., H-1013 Budapest, Attília út 2/A/III/14.

T: +36 1 201 88 91, +36 1 212 53 03, E-mail: batthyany@kultur-press.hu

Egy szám ára: 1260 Ft. Dupla szám ára: 2520 Ft.

INDEX: 25 343 • ISSN 0016-8572 (Nyomtatott) • ISSN 3057-9473 (Online)

A megjelent cikkek lektoráltak.

A kiadvány a Nemzeti Kulturális Alap támogatásával jelenik meg.

TARTALOM

CONTENTS

| | | | |
|--|----|--|----|
| <i>1. Dr. Hegedűs Kuti János:</i> A 3D SZKENNELÉSI MUNKAFOYAMAT ROBUSZTUSSÁGÁNAK ÉRTÉKELÉSE HEGESZTETT SZERKEZETEK ESETÉN | 5 | <i>1. Dr. János Hegedűs Kuti:</i> EVALUATING THE ROBUSTNESS OF THE 3D SCANNING WORKFLOW FOR WELDED STRUCTURES | 5 |
| <i>2. Dr. Hegedűs Kuti János:</i> HEGESZTÉSI HIBÁK AZONOSÍTÁSA 3D-SZKENNELÉS ÉS HIBAMEGOSZLÁS- MODELLEZÉS SEGÍTSÉGÉVEL, PFH ANALÍZISSEL TÁMOGATVA | 10 | <i>2. Dr. János Hegedűs Kuti:</i> WELD DEFECT IDENTIFICATION THROUGH 3D SCANNING AND ERROR DISTRIBUTION MODELLING SUPPORTED BY POINT-FEATURE HISTOGRAM | 10 |
| <i>3. Dr. Szabó Ferenc János:</i> A SARKI JÉG KITERJEDÉSÉT LEÍRÓ GÖRBE KÖZELÍTÉSE SZIGMOID GÖRBÉVEL | 15 | <i>3. Dr. János Szabó Ferenc:</i> APPROXIMATION OF ARCTIC SEE ICE EXTENT BY SIGMOID FUNCTION | 15 |
| <i>4. Dr. Bihari Zoltán:</i> HANGOK A KÜSZÖB ALATT (ESETTANULMÁNYOK) | 19 | <i>4. Dr. Zoltán Bihari:</i> BENEATH THE THRESHOLD OF HEARING (CASE STUDIES) | 19 |
| <i>5. Ferenczi Gábor, Kátai Kristófné:</i> AUTOMATIZÁLT KOMBUCHA TEA FERMENTÁLÓ BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE | 23 | <i>5. Gábor Ferenczi, Kristófné Kátai:</i> DEVELOPMENT OF AUTOMATED KOMBUCHA TEA FERMENTATION EQUIPMENT | 23 |
| <i>6. Siktár Bálint, Dr. Kakuk József,</i> <i>Dr. Hegedűs György:</i> ZÁRT KONTÚRÚ EXCENTERT HASZNÁLÓ SÖVÉNYVÁGÓ REZGÉS MÉRÉSE | 27 | <i>6. Bálint Siktár, Dr. József Kakuk,</i> <i>Dr. György Hegedűs:</i> VIBRATION MEASUREMENT EXECUTED ON A HEDGE TRIMMER USING A SPECIAL ECCENTRIC DISC | 27 |
| <i>7. Simon Gábor, Dr. Rónai László:</i> SZÍJAK TRANSZVERZÁLIS LENGÉSEINEK MÉRÉSÉRE ALKALMAS BERENDEZÉS KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉSE | 31 | <i>7. Gábor Simon, Dr. László Rónai:</i> CONCEPTUAL DESIGN OF EQUIPMENT SUITABLE FOR MEASURING TRANSVERSE VIBRATION OF BELTS | 31 |
| <i>8. Dr. Dömötör Csaba, Tóbis Zsolt:</i> ZAJONGUNK | 35 | <i>8. Csaba Dr. Dömötör, Zsolt Tóbis:</i> WE MAKE NOISE | 35 |
| <i>9. Polgár Máté, Dr. Németh Gábor,</i> <i>Prof. Dr. Csóka Levente:</i> TENGYELY IGÉNYBEVÉTELÉNEK VIZSGÁLATA ÉS VALIDÁLÁSA VÉGESELEMES MÓDSZERREL CFD ALAPÚ TERHELÉS ESETÉN | 39 | <i>9. Máté Polgár, Dr. Gábor Németh,</i> <i>Prof. Dr. Levente Csóka:</i> STRENGTH ANALYSIS AND VALIDATION OF AN OVERHUNG SHAFT USING ANALYTICAL AND FINITE ELEMENT METHODS | 39 |

A 3D-SZKENNELÉSI MUNKAFOLYAMAT ROBUSZTUSSÁGÁNAK ÉRTÉKELÉSE HEGESZTETT SZERKEZETEK ESETÉN

EVALUATING THE ROBUSTNESS OF THE 3D SCANNING WORKFLOW FOR WELDED STRUCTURES

Dr. Hegedűs-Kuti János*

ABSZTRAKT

A gyártott termékek hibáinak detektálása a minőségirányítási rendszerek első szintjén történik. A magasabb szinteken azonban a hatékony minőségbiztosítás célja a gyártási nemmegfelelések megelőzése. Munkánkban strukturáltfény szkennelvel vizsgált alkatrészek jellemzőit határozzuk meg, vagyis azt, hogy a kapott eltérések milyen határértékhez köthetők, amely alapján egyértelműen kijelenthető egy alkatrésztől, hogy megfelel-e minőségbiztosítási szempontból. A feladat azon paraméterértéknek a meghatározása, amelyet autonóm vizsgálórendszerben alapértelmezettként szükséges beállítani. Tudatosan megválasztott pontfelhő illesztési módszereket és azok százalékos küszöbértékeit ajánljuk a módszertani vizsgálat végén.

ABSTRACT

The detection of defects in manufactured products takes place at the first level of quality management systems. At higher levels, however, the goal of effective quality assurance is to prevent manufacturing nonconformities. In our work, we determine the characteristics of components examined with a structured light scanner, i.e., what limit values the deviations obtained can be linked to, on the basis of which it can be clearly stated whether a component complies with quality assurance requirements. The task is to determine the parameter value that needs to be set as the default in an autonomous inspection system. We recommend consciously selected point cloud fitting methods and their percentage threshold values.

1. BEVEZETÉS

Számos kutatás foglalkozik különböző objektumok szkennelésével és a kapcsolódó folyamatokkal. A térbeli felületek vizsgálatához ma már sokféle technológia érhető el [1–2]. Ezekben a területekben a felületvizsgálat jellemzően minőségbiztosítási céllal történik, bár más alkalmazási területeken is megjelentek új fejlesztések [3,4].

A gyártott termékek megfelelősége és minőségi megközelítése a múlt század közepére vált meghatározóvá. Világossá vált, hogy a vevői igények érvényesítése elengedhetetlen a gyártási folyamatokban. Egyre több műszaki fogalom és keretrendszer jelent meg a minőség meghatározására. A 2000-es évek ISO 9000 szabványai már gyakorlati tapasztalatokon alapuló követelményszinteket rögzítettek [5].

A hegesztett szerkezetek minőségi megfelelősége összetett kérdés, mivel magában foglalja az anyag mikrostruktúrájának megfelelő mértékű változását is, amely általában összetett hőfolyamat eredménye [6]. Következésképpen a megfelelőség szabványok és hegesztési dokumentumok alapján értelmezhető. Két kiemelten fontos minőségi szabvány, az ISO 6520 1 [7] és az ISO 5817 [8] határozza meg a hibaképek fogalmait és határértékeit. A vizsgálat következő része ezekre a – vizuálisan észlelhető módon meghatározható – hibaképekre fókuszál.

2. MÓDSZERTAN

A megfelelőség kérdésében a képfeldolgozó rendszerekben használt elfogadási küszöbérték helyes definiálása nem egyértelmű. A vizsgálati körülmények, a képfeldolgozó eljárások, a berendezések és a megvilágítási feltételek mind befolyásolják a pontosságot, ezért szükséges a környezet részletes leírása. A bevezetésben tárgyalt szabványok közül a következők (1. táblázat) kerülnek fókuszba.

A táblázat csak azokat a hegesztési nemmegfeleléseket tartalmazza, amelyek ebben a vizsgálati környezetben elemezhetők, és amelyeket az ISO 5817 szabvány részletez. A határértékek 5 mm-es gyökvastagságú (A5) sarokvarratra és 5 mm-es lemezvastagságra lettek kiszámítva. Az értékek a szabvány szerinti megközelítés alapján három minőségi osztályba (B, C, D) vannak sorolva.

A vizsgálati módszer az HP 3D Structured Light Scanner 5 Pro Edition (max. 0,05 mm pontosság) használatán alapul. A 3D szkennelés nagy, de nem egységes méretű pontfelhőket eredményez, ezért

* adjunktus, ELTE-IK-SMI, hj@inf.elte.hu

szükséges a pontok számának egységesítése mintavételezéssel. A pontfelhők illesztése két lépésben történik:

- durva illesztés (FGR)
- finom illesztés (ICP)

A számításokat Python 3.7.7 környezetben végeztük. A cél egy olyan optimális százalékos érték megtalálása, amely mellett a geometriai hibák jól elkülöníthetők, ugyanakkor nem keletkeznek téves hibacsoportok. Az alábbiakban a Python kód egy részlete látható. (1. ábra)

1. táblázat Hegesztési hibák

| Hibák | Hibák sorszáma | Határértékek [mm] | | |
|-------------------------|----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
| | | B | C | D |
| Repedés | 100 | nem megengedett | nem megengedett | nem megengedett |
| Túlzott domborúság | 503 | 3 | 4 | 5 |
| Elégtelen gyökvastagság | 5213 | nem megengedett | 1 | 2 |
| Túlzott gyökvastagság | 5214 | 3 | 4 | 5 |
| Krátervég | 2025 | nem megengedett | 1 | 2 |
| Szakaszos bemaródás | 5012 | 0,5 | 0,5 | 1 |
| Túlzott aszimmetria | 512 | 2,25 | 2,75 | 3 |

```
In [*]: %%time
# 6. step: colormap visualization
my_cmap = mpl.colors.LinearSegmentedColormap.from_list("", ["green","yellow","red"])
import numpy as np
COL = MplColorHelper('autumn_r', min(dists), np.percentile(dists, 96))
cols = []
for d in dists:
    cols.append(COL.get_rgb(d))
np_colors = np.array(cols)
object_cloud.colors = o3d.utility.Vector3dVector(np_colors[:, :3])
o3d.visualization.draw_geometries([object_cloud])
```

1. ábra Kapcsolódó Python kód

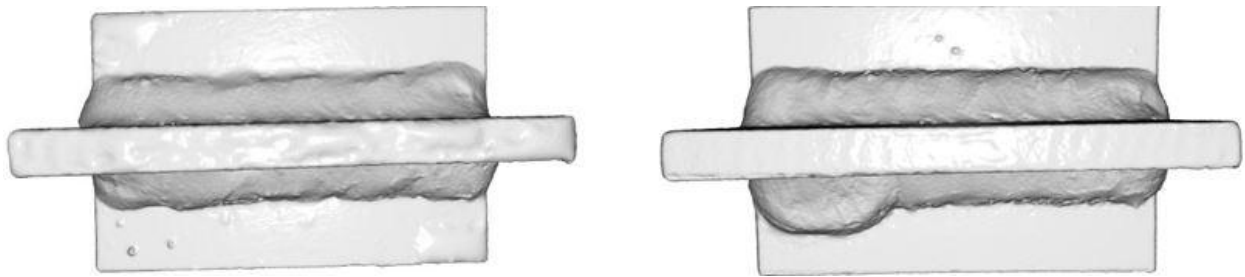
A szkennelési és feldolgozási folyamat lépéseinek vizsgálat alapelve, hogy az eredeti (referencia) pontfelhőt hozzáadjuk a vizsgálandó pontfelhőhöz, majd a különbségeket elemezzük. A vizsgálat célja a pontfelhők összeillesztése után kapott eltérések közötti korrelációk feltárása.

A pontos illesztés érdekében elengedhetetlen a 3D szkennер gondos beállítása:

- megfelelő távolság (példában: 100 cm)
- 10–15° os dőlésszög beállítása
- vetítő és kamera élességének optimalizálása

A pontfelhők mintavételezés után egységesen 250 000 pontot tartalmaznak.

Az FGR segíti a későbbi ICP illesztést azáltal, hogy jellegzetes formákat, éleket és felületeket keres. Az ICP önmagában nem képes a stabil illesztésre, szüksége van erre az előzetes párosításra. Az algoritmus hasonló alakzatokat, éleket és felületeket keres, amelyek párosítása megkönnyíti a finom illesztést. A finomító algoritmus, az Iterative Closest Point (ICP), önmagában nem képes a megfelelő illesztés megoldására, ezért előzetes illesztésre van szüksége. A következő (2. ábra) a referencia és a hibásan illesztett darab pontfelhőjét mutatja.



2. ábra Hibátlan és hibával rendelkező pontfelhő

A pontfelhők illesztési folyamatát követően kiválasztottuk az optimális illesztési küszöbértéket, amelyet a diszkusszió fejezet ismertet

3. EREDMÉNYEK ÉS DISZKUSSZIÓ

A szenzitivitásvizsgálat célja meghatározni, hogy a modell mely részei (pl. struktúra, paraméterek) befolyásolják leginkább a kimenetet. A vizsgálatban a pontfelhők illesztése után kapott távolsáértékek volumenei a döntő tényezők.

A teszt 91–99% küszöbérték tartományban történt. Megállapítható, hogy 97% körül adódik az optimális érték, a hegesztési hibacsoportok többsége esetén.

A hét vizsgált hibacsoport négy fő kategóriába sorolható:

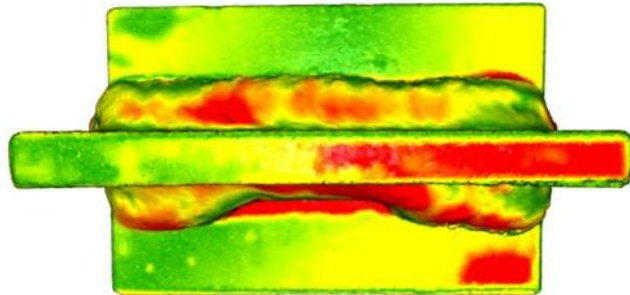
3.1. Repedés

A legkevésbé érzékeny csoport, mivel a hibacsoport mérete kicsi (100 pont / 250 000 pont). A kis, töredezett klaszterek nem érzékelhetők megbízhatóan.

3.2. Váltakozó bemaródás, krátercső, elégtelen beolvadás

Itt a referenciafelhőhöz képest negatív normálvektor irányú eltérések jelennek meg.

A hibaklaszter mérete folyamatosan csökken, 97%-nál ~5700 pont körüli. 98% fölött feleződik, de 99%-nál is észlelhető (3. ábra).



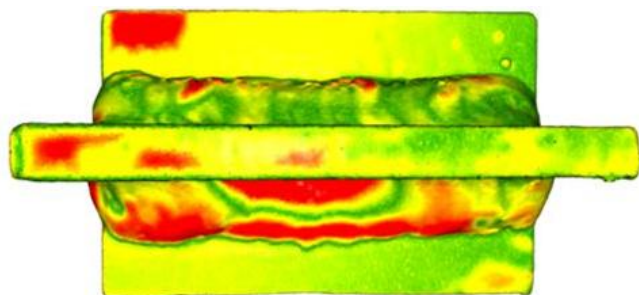
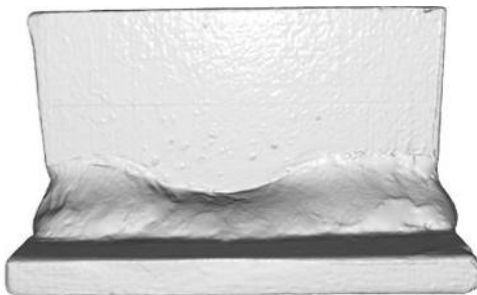
3. ábra RGB analízis, távolságok indikálása

3.3. Túlzott aszimmetria

A legérzékenyebb hibacsoport.

- 90%-nál egy klaszter

- 96%-nál két klaszter
- optimális 97%-nál öt klaszter (összes hiba detektálva), ez fölött már újból csak egy klaszter érzékelhető (4. ábra)

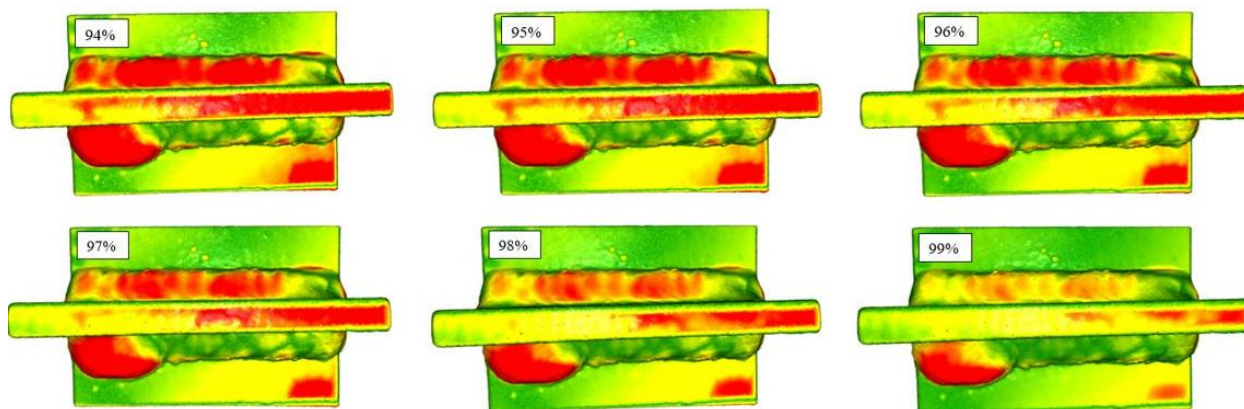


4. ábra RGB analízis 97 százaléknál

3.4. Túlzott gyökvastagság és túlzott domborúság

A két hibacsoport pontszáma hasonló, de geometriájuk eltér.

- 94% tól a gyártási hibák erősen érzékelhetők
- 95–96% között a megengedett geometriai eltérések már nem kritikusak
- 97% fölött a keretrendszer nem szűri megfelelően a hibás darabokat (5. ábra)



5. ábra Távolságok indikálása 97 százalékos illesztés felett

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a 3D szkennelésen alapuló pontfelhő illesztési módszer különböző típusú hegesztési hibákkal szemben eltérő érzékenységgel működik. Ennek megértése kulcsfontosságú a technológia helyes alkalmazásához és a minőségbiztosítási rendszerbe való integrálásához.

A repedések méretük és jellegük miatt a pontfelhő illesztési folyamatban nagyon kis klaszterek formájában jelennek meg. Ez gyakorlatban azt jelenti, hogy a repedéshez tartozó eltérések kevés pontot érintenek, ezek a pontok gyakran szétszórtnak, nem tömör klaszterként jelennek meg, így a rendszer nem képes stabilan és megbízhatóan azonosítani őket.

Ezért a repedésdetektálás esetében a 3D szkennelési módszer nem helyettesítheti a hagyományos vizsgálatokat (pl. mágneses repedésvizsgálat, ultrahang, penetrációs vizsgálat). Elsősorban kiegészítő eszközként használható.

A szabályosabb geometriájú hibák – például szilárd zárványok vagy össze nem olvadások – esetén a pontfelhőben létrejövő eltérés körülhatároltabban és jól strukturált klaszterként jelenik meg. A vizsgálatok azt mutatják, hogy a hibaklaszter mérete lineárisan csökken, ahogy a küszöbérték (százalékos tolerancia) nő, a hiba azonban végig detektálható marad. Az ilyen hibákra a rendszer kiválóan alkalmazható a gyártásközi minőségellenőrzésben. Ez a stabil viselkedés lehetővé teszi, hogy a minőségellenőrzési folyamat konzisztens és automatizálható legyen, még változó gyártási környezetben is.

A szabálytalan alakú hibák esetén a pontfelhő illesztés lényegesen több információt tár fel. Ennek oka, hogy ezek a hibák nagyobb felületet vagy kiterjedést érintenek,

összetett geometriát mutatnak, emiatt a pontfelhő illesztés során több dimenzióban jelennek meg eltérésként.

A vizsgálat szerint 97% toleranciaértéknél detektálható a legtöbb ilyen hiba, akkor láthatóak legpontosabban a hibaklaszterek, és ekkor különülnek el legjobban a geometriai hiba és a gyártási tűrések hatásai. Így ez az érték tekinthető optimális küszöbnek a rendszer beállításához.

A rendszer nem minősít „hibamentesnek” egyetlen munkadarabot sem tévesen

A százalékos küszöbérték növelésével sem fordult elő olyan eset, hogy a rendszer a hibás munkadarabot hibamentesnek jelölje volna, vagy bármilyen hiba jelenlétére ne adott volna ki klasztert. Ez azt jelenti, hogy a rendszer nem hajlamos fals „OK” minősítésre, ami minőségbiztosítási szempontból kritikus előny.

A teszt eredményei alapján meghatározott küszöbérték (kb. 97%) stabil alapot biztosít, automatizált minőségellenőrző rendszerekhez, a gyártási folyamat standardizálásához, hegesztési hibák gyors és objektív detektálásához, visszacsatolt folyamatirányításhoz.

A módszer erőssége, hogy a küszöbérték nem termékspecifikus, hiszen a valós munkadarabról készült szkennelési módszerrel, más alkatészetről is pontfelhő készíthető, így a módszer teljes mértékben geometriafüggetlen lehet, azaz, bármilyen forma vagy szerkezet esetén alkalmazható, prototípusokra és sorozatgyártott elemekre egyaránt, hegesztett, öntött, mart, vagy hajlított alkatrészek esetén is működik.

Ez nagy rugalmasságot ad az üzemek számára, mivel nem szükséges minden termékhez egyedi vizsgálati paramétert beállítani.

6. IRODALOM

- [1] W. Ameen, A. Al-Ahmari, and S. Hammad Mian, Evaluation of handheld scanners for automotive applications, *Applied Sciences*, vol. 8, no. 2, p. 217, 2018. <https://doi.org/10.3390/app8020217>
- [2] Hegedűs-Kuti, J.; Szőlősi, J.; Varga, D.; Abonyi, J.; Andó, M.; Ruppert, T. 3D Scanner-Based Identification of Welding Defects—Clustering the Results of Point Cloud Alignment. *Sensors* 2023, 23, 2503. <https://doi.org/10.3390/s23052503>
- [3] Bräuer-Burchardt, Christian and Munkelt, Christoph and Bleier, Michael and Heinze, Matthias and Gebhart, Ingo and Kühmstedt, Peter and Notni, Gunther, Underwater 3D Scanning System for Cultural Heritage Documentation, *Remote Sensing*, <https://doi.org/10.3390/rs15071864>
- [4] C. Bender, K. Denker, M. Friedrich, K. Hirt, and G. Umlauf, A hand-held laser scanner based on multi-camera stereo-matching, in *Visualization of Large and Unstructured Data Sets: Applications in Geospatial Planning, Modeling and Engineering-Proceedings of IRTG1131 Workshop 2011*. Schloss Dagstuhl-Leibniz-Zentrum fuer Informatik, 2012. <https://doi.org/10.4230/OASIS.VLUDS.2011.123>
- [5] Vetchagool, Witchulada and Augustyn, Marcjanna and Mike, Tayles, ISO 9000, activity based costing and organizational performance, *Total Quality Management and Business Excellence*, 2018, <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1549938>
- [6] Draugelates, Ulrich and Schram, Antonia, *Metallographische Verfahren für die Güteprüfung von Schweißverbindungen / Metallographic Methods for Testing the Quality of Weld Joints*, Practical Metallography, 1987, <https://doi.org/10.1515/pm-1987-240802>
- [7] ISO 6520-1:2007, *Welding and Allied Processes—Classification of Geometric Imperfections in Metallic Materials—Part 1: Fusion welding*. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2014.
- [8] ISO 5817:2014, *Welding—Fusion-Welded Joints in Steel, Nickel, Titanium and Their Alloys (Beam Welding Excluded)—Quality Levels for Imperfections*. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland, 2014.

WELD DEFECT IDENTIFICATION THROUGH 3D SCANNING AND ERROR DISTRIBUTION MODELLING SUPPORTED BY POINT-FEATURE HISTOGRAM

HEGESZTÉSI HIBÁK AZONOSÍTÁSA 3D-SZKENNELÉS ÉS HIBAMEGOSZLÁS-MODELLEZÉS SEGÍTSÉGÉVEL, PFH ANALÍZISSSEL TÁMOGATVA

*Dr. Hegedűs-Kuti János **

ABSTRACT

The inspection of welded structures requires special attention, as the quality of the product is influenced by numerous factors. Determining the suitability of welds is a complex task. The aim of this work is to develop a method that effectively supports this evaluation process. The study presents a modern evaluation procedure based on PFH data and its practical application in the inspection of weld quality. Reference and defective point clouds were created using image processing and CAD modeling software, and then aligned using the ICP algorithm. This serves as the basis for generating data sets representing model errors. The results show that the distributions of the variables obtained in this way describe the nature of typical welding defects well. Automated evaluation of these distributions can reduce the turnaround time of inspections, which contributes to increasing the efficiency of welding processes.

1. INTRODUCTION

Technological advances in the fourth industrial revolution have led to the emergence of new, state-of-the-art industrial processes and tools, such as advanced testing equipment. These modern manufacturing environments use industrial systems that provide a high level of automation [1, 2]. The introduction of a higher degree of automated welding has brought significant technological advances, but the complexity of the systems has also necessitated the involvement of areas such as applied information technology. The rise of autonomous manufacturing has made reliable quality control of welding processes a priority, while human labor continues to play an important role in these processes. The application of quality management principles has further strengthened the role of compliance and standards [3].

The suitability of welded joints is determined by the absence of visible defects and the results of the prescribed tests [4]. The operating principle of various

non-contact inspection systems, which have proven their effectiveness in many industrial areas, is essentially based on image recognition and image processing.

Future-oriented research results have also appeared in new areas such as facial recognition based on the comparison of three-dimensional objects and the development of image processing systems for self-driving vehicles [5]. These applications have opened up new dimensions in digitization, making industrial processes faster, simpler, and more efficient [6].

Advanced image processing technologies are now also available in materials testing laboratories, supporting the investigation of material structure changes [7] and offering an effective alternative to previous manual analysis methods.

Structured light scanners work in a similar way to laser models, but use a high-resolution projector as a light source, which projects a raster grid onto the object. The optical system measures both the distortion of the grid and the intensity of the reflected light, resulting in a much higher accuracy than laser scanners, with a resolution of up to 10 microns.

The Iterative Closest Point (ICP) algorithm offers an effective solution for processing images from structured light scanners, creating pairs of corresponding points between point clouds. The goal of the algorithm is to fit three-dimensional shapes by aligning the source and reference point clouds, using optimization based on the mean square error. The classic approach uses point-to-point metrics, while other variants may also use point-to-plane metrics [8].

2. METHODOLOGY

The first step in the proposed framework is to scan the samples in 3D and then reduce the density of the resulting point clouds. This is followed by a coarse and then a fine alignment

process that uses histograms and color-coded difference images to compare the points. The method has already proven its applicability in a specific

* *adjunktus, ELTE-IK-SMI, hj@inf.elte.hu*

technological field: its purpose is to examine the geometry of welded samples and detect deviations using available imaging tools.

Point clouds are created from CAD models and weld seams prepared with a camera system, and then the fast global registration (FGR) technique is presented. Fine matching is performed using the iterative closest point

(ICP) algorithm and point feature histograms. The point clouds are compared in a Python-based environment to facilitate the integration of the evaluation method and the neural network used. The deviations obtained are then evaluated according to the relevant standards. The process of the method is illustrated in *Figure 1*.

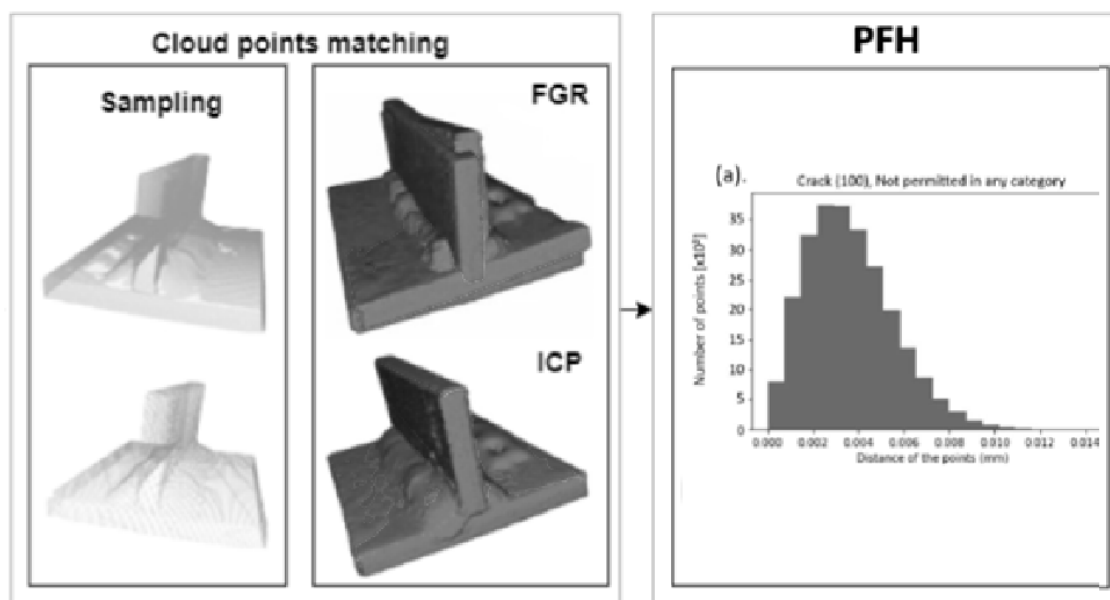


Figure 1. Steps of the alignment

The examination begins with the creation of a reference point cloud, which is either the point cloud of the scanned workpiece or a CAD-based flawless model. To detect flaws, this reference cloud is matched to the sample to be examined, which is nearly identical in geometry. In the second step, CAD models containing a single defect were created and then compared with the flawless model to reveal point cloud deviations and their correlations.

The scanning steps are as follows:

- calibrating the tray with the projected grid pattern;
- background scanning after placing the turntable;
- placing the workpiece;
- starting the scanning process;
- generating a 3D model;
- exporting the finished model (.stl/.obj).

Distance-based sampling is used to ensure accurate alignment, especially for large clouds ($\approx 300,000$ points). Initial alignment is performed by FGR, which quickly searches for similar corners and characteristic points, but further refinement is required for accurate

results. This is provided by the ICP algorithm, which precisely aligns the two point clouds.

The process is usually repeated in two steps: first, matching pairs are searched for in the target point cloud, then the transformation is updated based on the matching set by minimizing the objective function. The normal vector of the plane is a unit vector perpendicular to the surface, which is determined by the distribution of the point's neighborhood. To calculate the normal vector of the detected point, a method based on a surface grid and examining the point distribution of the local neighborhood is also used; the direction of the normal corresponds to the spatial direction with the largest variance (*Figure 2*).

The final geometric features are provided by the Point Feature Histogram (PFH), which measures the variation ratio of all point pairs in the vicinity of the point. This high-dimensional descriptor handles different sampling densities and noise well. The PFH records both local variables and Euclidean distances, then creates a histogram after examining all point pairs; the final descriptor is a summary of these.

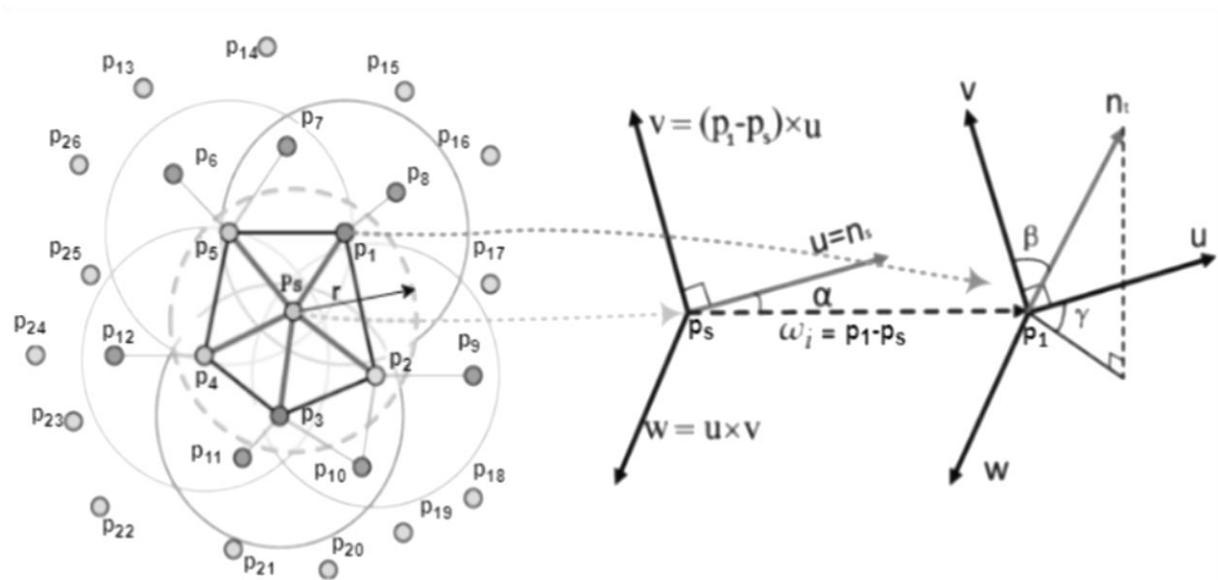


Figure 2. Calculating of FPFH. The query point is p_s and its neighbors are: p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 .

The deviation from the reference surface is determined using the mean square error. The adjustment parameters used in the test and the

results achieved are described (P_i and Q_i are pointclouds) and in the following chapter:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{ni=1} (P_i - O_i)^2}$$

3. RESULTS

A total of 10–10 CAD models were created, each presenting a 50 mm long, A5-sized T-joint containing a single error; these were compared with point clouds of error-free workpieces.

The aim was to identify the differences and explore their correlations. The PFH histograms of the models clearly show that the points can be grouped based on their distribution and position.

The histogram illustrates the distance values of the geometric deviations. The characteristic distance data must be close to the calculated limit values. An important milestone in terms of welding quality assessment is the application of the ISO 5817:2014 standard, which includes surface and volume defects, as well as their categories and codes. The standard distinguishes between three quality classes (B, C, D) and defines the acceptability of defects. The suitability of a welded joint is based on the absence of visible defects and the completion of the required tests, making certification a complex task.

Figure 3 illustrates the deviation limits for each category: category B is the most stringent, while category D is the most lenient (e.g., permissible height of excessive convexity: B = 3 mm, C = 4 mm, D = 5 mm).

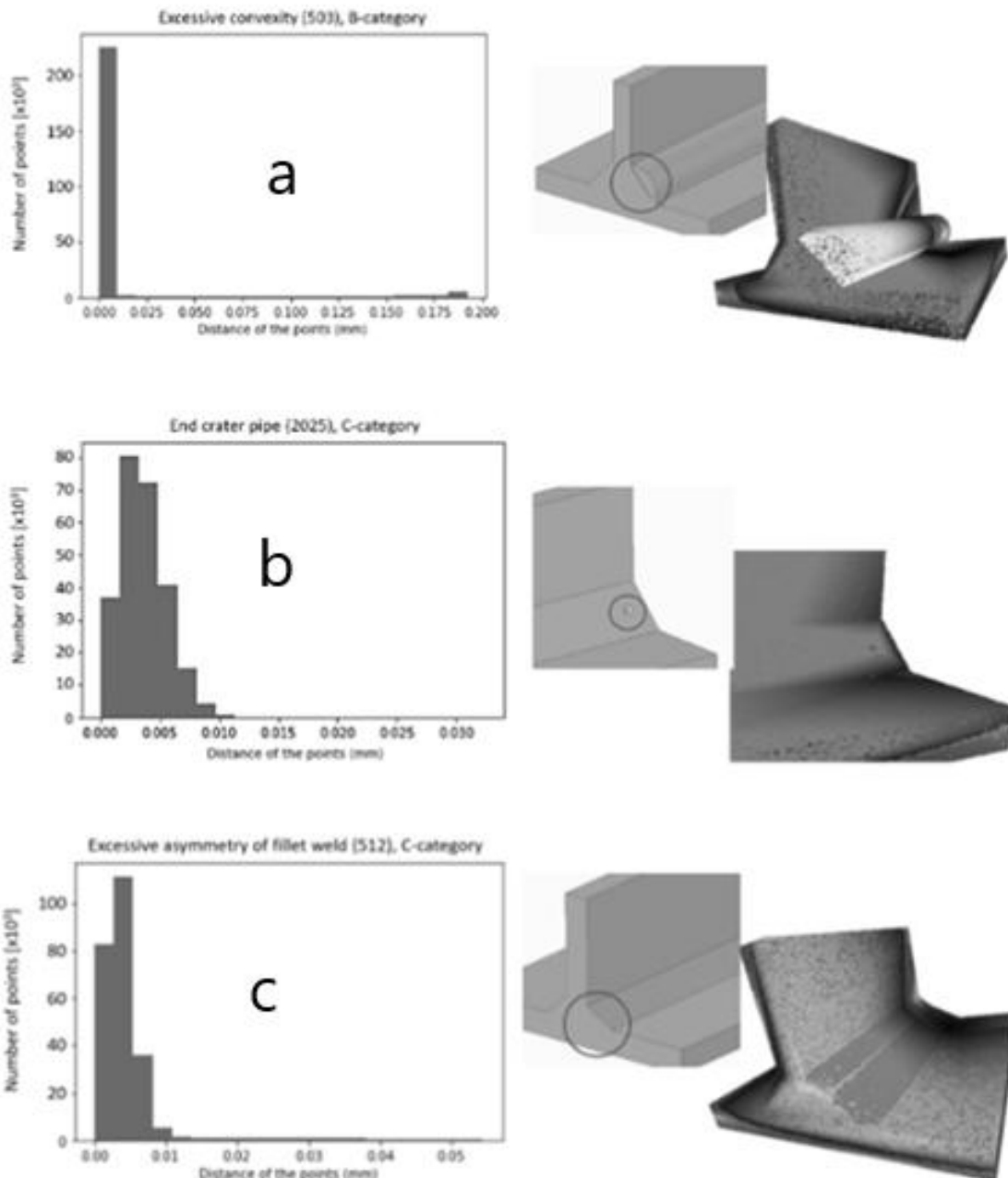


Figure 3. Welding defects basod on PFH

The results obtained for the three defect sizes examined are as follows:

- (a) excessive convexity/convexity (error count 503):
- (b) terminal crater (error count 5012): The number of points in the cluster detected as errors decreases continuously, and at 90%, the generated error cluster product contains 5700 points.
- (c) excessive asymmetry (error count 512) and size of corner welds:

The most sensitive error group in terms of analysis, the diversity of errors means that detection is successful in approximately 90% of cases.

4. CONCLUSIONS

This study introduces a systematic method for identifying and classifying weld defects in corner welded joints by integrating imaging technologies with data driven clustering techniques. The proposed framework applies a results oriented strategy in which welding deviations are visualized through CAD based representations, while point clouds undergo both coarse alignment—using Fast Global Registration (FGR)—and precise refinement via the Iterative Closest Point (ICP) algorithm. In addition, Point Feature Histograms (PFH)

are utilized to support feature extraction and enhance the robustness of the matching process.

Several representative examples were analyzed, where the calculated Root Mean Square Error (RMSE) values were compared against relevant standard thresholds, demonstrating how the method can differentiate between acceptable and non acceptable conditions. The findings also reveal that when a defect spans an entire cross section, the computation of its maximum distance may be biased due to geometric distortion, highlighting the limits of point cloud based distance estimation.

While the approach provides valuable insights into weld quality and offers significant potential for automation, it is important to emphasize that it cannot serve as a standalone solution for comprehensive weld assessment. Instead, it should be considered a complementary tool that accelerates the inspection workflow, supports objective evaluation, and reduces the reliance on purely manual analysis.

Based on the results obtained from standardized test cases, it can be concluded that most defect types listed in the study can be successfully detected using this method, although certain categories—especially very small or volumetric faults—may still present challenges.

Nevertheless, the overall performance demonstrates that integrating advanced scanning, geometric modeling, and algorithmic comparison techniques can substantially improve the efficiency and consistency of weld quality evaluation.

5. REFERENCES

- [1] Mishra, D.; Pal, S.K.; Chakravarty, D.: Industry 4.0 in Welding. *Welding Technology*, 2021, 253–298
<https://doi.org/10.1007/978-3-030-63986-0>
- [2] Frolov, A.: Automation the Welding Trajectory Control. 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon) (IEEE), 1–5
<https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271607>
- [3] László, S.: *Hegesztés és rokon technológiák*. Gépipari Tudományos Egyesület, Budapest, 2007, 191–204
- [4] Zhang, Z.: Iterative point matching for registration of free-form curves and surfaces. *Int. J. Comput. Vis.*, 1994, 13(2), 119–152
<https://doi.org/10.1007/BF01427149>
- [5] Lee, M.: An analysis of the effects of artificial intelligence on electric vehicle technology innovation using patent data. *World Pat. Inf.*, 2020, 63, 102002
<https://doi.org/10.1016/j.wpi.2020.102002>
- [6] Dastres, R.; Soori, M.: Advanced Image Processing Systems. *Int. J. Imaging Robot.*, 2021, 21(1), 27–44
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03168963>
- [7] Wold, S.; Esbensen, K.; Geladi, P.: Principal component analysis, *Chemometr. Intell. Lab. Syst.*, 1987, 2(1-3), 37–52
[https://doi.org/10.1016/0169-7439\(87\)80084-9](https://doi.org/10.1016/0169-7439(87)80084-9)
- [8] Chen, Y.; Medioni, G.: Object modelling by registration of multiple range images. *Image Vis Comput.*, 1992, 10(3), 145–155
[https://doi.org/10.1016/0262-8856\(92\)90066-C](https://doi.org/10.1016/0262-8856(92)90066-C)

A SARKI JÉG KITERJEDÉSÉT LEÍRÓ GÖRBE KÖZELÍTÉSE SZIGMOID GÖRBÉVEL

APPROXIMATION OF ARCTIC SEE ICE EXTENT BY SIGMOID FUNCTION

Dr. Szabó Ferenc János *

ABSTRACT

A seven-step process is presented for the more accurate approximation of the arctic ice extent curve. The curve is very oscillating, therefore it is very difficult to approximate it. Linear approximation is not satisfactory, because it will show the very fast elimination of the arctic ice, maybe faster than the reality. The linear approximation ignores the effects of the global climate efforts too. The proposed approximation method is using sigmoid curve and gives a littlebit slower decrease of the ice extent. The presence of the inflexion point of the curve can describe the effects of the climate protection efforts and measures, too.

1. BEVEZETÉS

A szigmoid görbék (S- alakú görbék) nagyfokú multidiszciplinaritást mutatnak, mivel az életünk számos területén találhatóak olyan jelenségek, melyek jól leírhatók szigmoid görbékkel. Megismerve és az adott jelenségre nézve értelmezve a görbék tulajdonságait, az egyenletükben szereplő konstansok, paraméterek jelentőségét, mód nyílik a vizsgált jelenség viselkedésének mélyebb megismerésére, részletesebb jellemzésére, minősítésére, jövőbeli valószínű viselkedésének előrejelzésére, vagy ha szükséges, jelenségeket lehet összehasonlítani, rangsorolni ezáltal.

Ha többféle jelenséget vizsgálunk, akkor minden újabb vizsgált jelenség esetén a jelenséget leíró szigmoid görbe paramétereinek újraértelmezése szükséges, ami a jelenség olyan jellemzőire, aspektusára világíthat rá, amit az eddigi vizsgálatok nem emeltek ki, vagy nem volt nyilvánvaló. Ennek szellemében, kihasználva a szigmoid görbék multidiszciplináris jellegét, ebben a cikkben az eddigi tevékenységek során megismert görbejellemzőket alkalmazzuk, újraértelmezzük a sarki jég kiterjedésének tanulmányozásához, előrejelzéséhez, jellemzéséhez, remélve, hogy itt is sikerül majd rámutatni újabb sajátosságokra, aspektusra.

A sarki jég kiterjedését leíró görbét az év minden hónapjára vonatkozóan 50 évre visszamenőleg megtalálhatjuk az EUMETSAT honlapján [1]. Ez a görbe nehezen közelíthető, mert az általa mutatott értékek évről

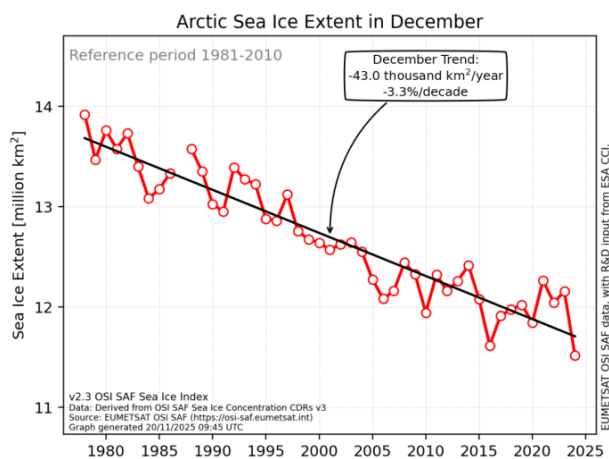
évre nagy kitéréseket mutatnak, nagyon „oszcillál” (1. ábra). A görbét közreadó intézmény bemutat egy lineáris közelítést, de felhívja a figyelmet, hogy ebből messzemenő következtetéseket csak megfelelő óvatossággal és további vizsgálatok alapján vonjunk le. Az egyenessel való közelítés a jég mennyiségének ijesztően gyors csökkenését vetíti előre a közeljövőben. Továbbá a lineáris közelítés nem veszi figyelembe, hogy a globális klímavédelmi intézkedéseknek lehet hatása a sarki jég kiterjedésére is, ami ennek a csökkenésnek kis mértékű fékezését jelentheti.

A sarki jég kiterjedését leíró görbét az előzőekben részletezett okok miatt pontosabban szükséges közelíteni, hogy a jelenség viselkedését részletesebben láthassuk, valamint pontosabb prognózist adhassunk a jég kiterjedésének várható jövőbeli alakulásáról.

Jelen cikkben egy több lépésből álló eljárást mutatunk be, melynek segítségével áthidalhatók a görbe közelítésének nehézségei, azaz kissé kisimíthatók a nagymértékű oszcilláció hullámai, valamint megoldható az is, hogy a közelítést egy növekedési görbével oldjuk meg, pedig a görbe csökkenő tendenciát mutat. A csökkenő görbe ilyen megközelítési módszere hasznos lehet más területeken is, ahol a jelenség csökkenő jellegű (pl. az optimumkereső algoritmusok iterációtörténeti görbéje minimumkeresés esetén csökkenő szigmoid görbével jellemezhető).

Az eddigi munkák során több olyan területet is sikerült érinteni (COVID-19, Szabó, 2020 [2], termékek életgörbéje, Szabó, 2021 [3], világtengerek műanyagszennyezettsége, Szabó, 2019 [4], szerszámkopás, Szabó, 2021 [5], hallgatói csoportok, pályázati jelentkezők minősítése, összehasonlítása, Szabó, 2017, [6], mérések, hosszan tartó vizsgálatok rövidítése, Szabó, 2024, [7], optimáló algoritmusok és sport csúcsok Szabó, 2011, [8]), ahol érdekes következtetéseket lehetett levonni a jelenség viselkedésére vonatkozóan, valamint nagyon hasznos új szempontokat sikerült felfedezni a különféle jelenségek mélyebb vizsgálatához, a szigmoid görbe jellemzőinek a jelenség viselkedésére, jellemzőire vonatkozó jelentésének újradefiniálása, aktualizálása útján.

* egyetemi docens Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet



1. ábra. A sarki jég mennyiségének alakulása az utóbbi ötven évben, december hónapban vett adatok.

Forrás: EUMETSAT [1]

Az így elvégzett közelítés jól követi a görbe tendenciáját, a jövőre nézve pedig kissé lassabb jég- pusztulást prognosztizálhatunk ez alapján.

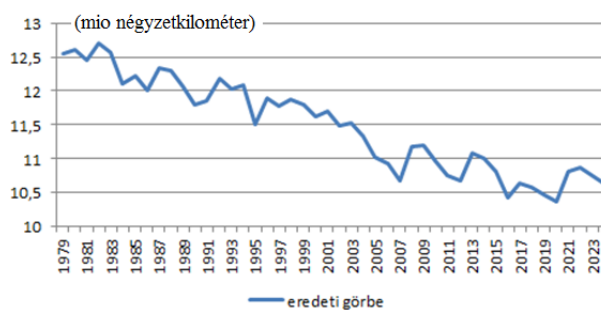
2. A GÖRBE KÖZELÍTÉSÉNEK LÉPÉSEI

Kidolgozásra került egy olyan, több lépésből álló közelítési eljárás, amely növekedési típusú szigmoid görbével is képes közelíteni a csökkenő tendenciát mutató jelenségeket leíró görbéket. A szigmoid görbéket alapjában véve növekedési jelenségek leírására, a korlátozott fejlődés, vagy akadályozott növekedés matematikai leírására fejlesztették ki. Az egyik ilyen görbe a Pearl- Reed féle logisztikai görbe, melyet populáció növekedés modellezéséhez alkalmaztak, egy másik ilyen növekedési görbe a Bertalanffy féle növekedési görbe, orvosi folyamatok, vagy állatok, növények növekedési folyamatának leírásához. A növekvő típusú görbék nem alkalmazhatóak közvetlenül a csökkenést mutató jelenségek vizsgálatához, mindig pontatlanságot, kevésbé jó közelítést adnak. Ezért vált szükségessé egy olyan eljárás kidolgozása, amely lehetővé teszi a csökkenő tendenciát mutató jelenségek görbéjének közelítését a növekedési típusú görbékkel. Ez az eljárás jól alkalmazható minden olyan esetben, amikor csökkenő tendenciájú, de szigmoid-szerű (lassuló, telítődést mutató) görbékkel leírható jelenséget kell közelíteni. Ilyen eset lehet például a minimumot kereső optimáló algoritmusok iteráció görbéje. Ekkor az algoritmus sokszori lefuttatása helyett (ami napjainkban a Multidiszciplináris Optimálás korszakában nagyon időigényes lehet), alkalmazva a görbe közelítését, megbecsülhető az optimálási folyamat végeredménye, ezzel sokkal gyorsabban össze-hasonlíthatók lesznek a különféle paraméterek beállításának hatásai, tehát jelentősen meggyorsíthatóak a numerikus kísérletek, pontosítások, hatékonyság-növelések nagyon időigényes folyamatai.

A közelítési eljárás lépései a következők:

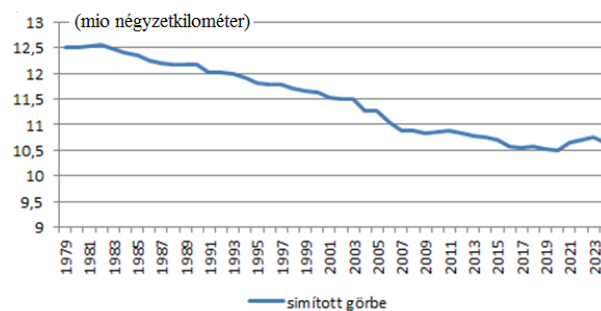
1. Simítás, oszcilláció csökkentése (ha szükséges)
2. Tükrözés az X tengelyre
3. Eltolás (a pozitív értékkészlet érdekében)
4. Közelítés, a görbe egyenletének felírása
5. A közelítő görbe eltolása (a 3. pont ellentéte)
6. Visszatükrözés (a 2. pont ellentéte)
7. Az eredeti és a közelítő görbe összehasonlítása.

Jelen cikkben ezeket a lépéseket a sarki jég kiterjedésének alakulását az utóbbi ötven évben mutató görbe közelítésére alkalmazzuk, remélve, hogy a jelenség jövőbeli alakulására pontosabb prognózis adható majd ez alapján. Az ebben a munkában található ábrák a sarki jég kiterjedését millió négyzetkilométer mértékegységben mutatják. A simításkor két szomszédos görbepont átlagát vesszük, kivéve, ha a görbe simasága azt kívánja, hogy inkább az egyik pont maradjon meg ezek közül.

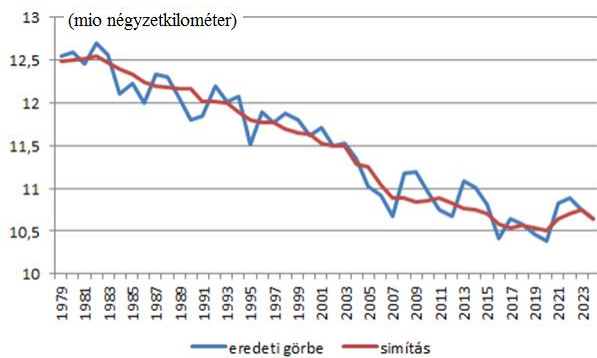


2. ábra. A sarki jég mennyiségének alakulása az utóbbi 50 évben, július hónapra vonatkozóan. Forrás: marine.copernicus.eu, [9]

Megjegyzendő, hogy az első lépésre, a simításra csak akkor van szükség, ha a görbe zavaróan oszcillál, ami nehezíti a közelítést, mint például az 1. ábra görbéje. A többi lépésre mindig szükség van a megfelelő közelítés érdekében. A 2. ábra a sarki jég kiterjedésének változását mutató görbét tartalmazza, az utóbbi 50 évben, július hónapra vonatkozóan. Forrás: marine.copernicus.eu. A simítás hatását mutatja a 3. ábra, a 4. ábrán az eredeti görbe és a simított görbe egyszerre látható.

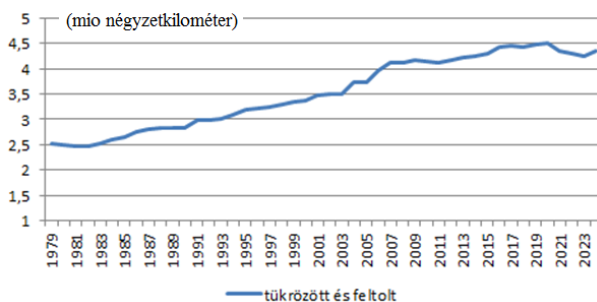


3. ábra. A simítás hatása



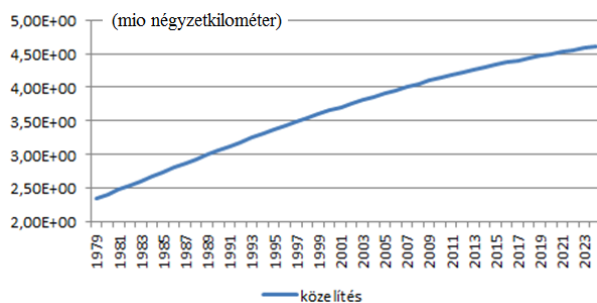
4. ábra. A simított és az eredeti görbe együtt

A második lépés az X tengelyre való tükrözés, ami azért fontos, hogy a csökkenő függvényt növekvővé transzformáljuk, ezzel jobban fog illeszkedni a görbe lefutása a növekedési függvényhez, tehát könnyebb lesz a tendencia követése. Azonban ez a lépés azt okozza, hogy a tükrözött függvénynek negatív számok lesznek az értékei, ezért $K = 15$ értékkel feltoljuk Y irányban. Ennek a tükrözésnek és feltolásnak az eredménye látható az 5. ábrán.



5. ábra. Simítás, tükrözés és feltolás után

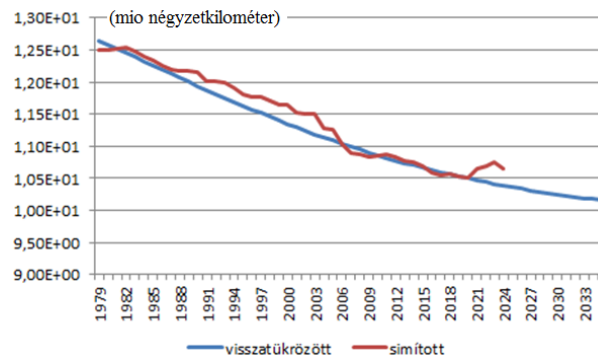
Az így kialakuló függvény már sokkal jobban közelíthető, mint a 2. ábrán látható állapot. A közelítő függvény látható a 6. ábrán. A görbe egyenlete az (1) összefüggésben látható. Mivel a negatív jég- kiterjedés nem értelmezhető mennyiség, ezért az X tengelyre tükrözött görbéket nem mutatjuk be, hiszen ezeknek negatív számok az értékészlete.



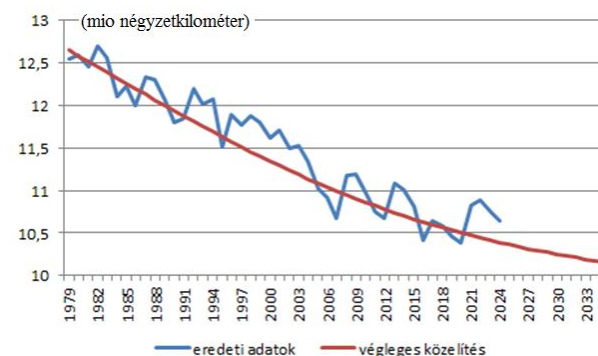
6. ábra. A közelítő függvény.

A 6. ábra közelítő függvényét visszatükrözzük (ekkor negatívvá válnak az értékei) és újra feltoljuk K értékkel

az Y tengely mentén, ekkor már az eredeti függvénynek megfelelő pozícióba kerül, és ekkor összehasonlítható lesz a simított függvénnyel (7. ábra) és az eredeti függvénnyel is (8. ábra).



7. ábra. A simított és a közelítő függvény együtt



8. ábra. Az eredeti és a közelítő függvény együtt

A 8. ábrán mutatott helyzetet tekintjük a végleges közelítésnek. A 7. és 8. ábrán a közelítő függvényt meghosszabbítottuk 10 évvel (2035-ig), hogy láthatóvá váljon a jövőbeli viselkedés prognosztizálása is.

$$\text{A közelítő görbe egyenlete: } y(x) = \frac{K}{1 + ce^{-rx}}, \quad (1)$$

A transzformációk képletei:

Tükrözés X tengelyre: $y' = -y$, feltolás az Y tengely mentén: $y' = y + K$, ahol $K = 15$ [mio km²] eltolási konstans.

Az egyenessel való közelítés és a szigmoid görbével történő közelítés jövőbeli viselkedésre vonatkozó előrejelzései között millió négyzetkilométer jégkiterjedés különbség mutatkozik, ami jelentős eltérésnek minősíthető. Ha ez az eredmény tényleg valóságosnak bizonyul (amit a jövőbeli megfigyelések tesznek majd láthatóvá), akkor ezt a különbséget a klímavédelmi intézkedések hatásai magyarázhatják, ami jelentős fegyvertény lenne a klímavédelemmel foglalkozó tudósok és szakemberek számára, hiszen a tevékenységük eredményeképpen ennyi jég megmenekül a pusztulástól.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a munkában egy hét lépésből álló közelítési eljárást mutatunk be, mely kiküszöböli a csökkenő tendenciájú jelenségek viselkedését leíró görbék (Pearl-Reed (logisztikai görbe) vagy Bertalanffy (növekedési görbe)) alkalmazásával jelentkező problémákat:

Az egyik probléma a csökkenő jelleg miatt adódik, ugyanis az említett szigmoid függvények növekedési típusú görbék, tehát olyan jelenségeket közelítenek igazán jól, melyek növekedési tendenciát mutatnak, Csökkenés esetén a közelítés nehezebbé válik és pontatlanabb eredményeket ad, ami zavarja majd a jelenség jövőbeli viselkedésére adandó prognózist a közelítő szigmoid görbe alapján.

A másik gond olyankor adódik, amikor a vizsgált jelenség görbéje, amit szigmoid görbével szeretnénk közelíteni, a viselkedés jellegéből fakadóan jelentős kitéréseket, oszcillációkat vagy hasonló anomáliákat mutat, mert ekkor szintén nagyon nehezzé válik a görbe közelítése, a viselkedésben rejlő tendenciák felfedezése és a jövőbeli várható helyzet előrejelzése.

Az első problémát egy X tengelyre történő tükrözéssel, a második problémát egy simítással oldottuk meg. Az ezek alkalmazása után kialakuló simább és növekvő tendenciát mutató függvényt már jelentősen könnyebb közelíteni és az egyenletét felírni. Természetesen ahhoz, hogy a közelítő függvényt az eredeti görbéhez hasonlíthassuk, a két transzformációt (tükrözés és eltolás) visszafelé kell alkalmazni a közelítő függvényre, így kerül vissza abba a pozícióba, melyben összehasonlíthatóvá válik az eredeti görbével. A közelítő görbét meg is lehet hosszabbítani az idő függvényében, így tehetünk közelítő előrejelzéseket a jelenség jövőbeli viselkedésére nézve.

A módszert a sarki jég kiterjedését leíró görbére alkalmaztuk, eredményként pontosabb közelítést kaptunk. A jövőbeli helyzet szigmoid görbével történő közelítése lassabb jégpusztulást mutat, mintha egyenessel közelítettünk volna, valamint a szigmoid görbe jellegéből adódóan kimutatható a klímavédelmi intézkedések hatása is.

4. SUMMARY

In this paper a seven- step approximation procedure is shown, and it is used for the approximation of the arctic ice extent curve. The shape of this curve is very wavering, therefore it is difficult to approximate. Linear approximation is not enough accurate and it will give too pessimistic forecast for the future. Approximation of this curve by sigmoid curve invokes a new difficulty, because the Pearl- Reed and Bertalanffy sigmoid curves are growth type curves, developed originally for the description of growth phenomena, but the arctic ice extent curve is decreasing type curve. This difference

will result in that the quality of the approximation will be not satisfactory and the forecasts given on the basis of this approximation will be not enough accurate.

The seven steps of the approximation procedure shown in this paper will contain a smoothing step, decreasing the wavering of the curve and a transformation of the curve into increasing shape. These two steps assure that the approximation of the curve will be more easy and more accurate. After the approximation, it is necessary to perform the inverse of these steps, in order to show the approximation function in the position of the original curve, since the comparison will be possible only in this position.

5. IRODALOM

- [1] Sarki jég kiterjedésének görbéje: <http://osisaf-hl.met.no/v2p3-sea-ice-index>
- [2] Szabó, F. J.: *A COVID-19 járvány időbeli alakulásának vizsgálata szigmoid görbékkel*. Multidiszciplináris Tudományok, 10: 3 pp 294-306., 13p (2020). <https://doi.org/10.35925/j.multi.2020.3.35>
- [3] Szabó, F. J.: *A szigmoid görbék multidiszciplinaritása*. GÉP, LXXII, 3.-4., pp 61-64, 4p (2021) ISSN 0016-8572 .
- [4] Szabó, F. J.: *Application of sigmoid curves in environmental protection*. In: Szita Tóthné, Klára, Jármai Károly, Voith Katalin (editors): *Solutions for Sustainable Development: Proceedings of the 1st International Conference on Engineering Solutions for Sustainable Development*, (ICSSD 2019). London, United Kingdom: CRC Press, pp. 1- 7, 7p. 2019.
- [5] Szabó, F. J.: *Analysis of Wear Curves as Sigmoid Functions*. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 22. pp 273-281. 14p (2021). https://doi.org/10.1007/178-981-15-9529-5_24
- [6] Szabó, F. J.: *Evolutionary Based System for Qualification and Evaluation of Group Achievements (EBSYQ)*. International Journal of Current Research, ISSN: 0975-833X, Vol. 9, 08, pp. 55507 – 55516, August, 2017.
- [7] Szabó, F. J. : *Vizsgálatok időigényének csökkentési lehetősége szigmoid görbék alkalmazásával*. Multidiszciplináris Tudományok, Évf 14., 4. szám, pp. 24-32, p 9. 2024.
- [8] Szabó, F. J.: *Analógia a sport- világcsúcsok története és az evolúciós optimáló algoritmusok iteráció-története között*. GÉP, LXII; 9- 10., p 28-31. , 4p. (2011). ISSN 0016- 8572
- [9] *A sarki jég kiterjedése 50 éven keresztül, július hónapra* <https://marine.copernicus.eu/hu/ocean-climate-portal/arctic-sea-ice-extent>

HANGOK A KÜSZÖB ALATT (ESETTANULMÁNYOK)

BENEATH THE THRESHOLD OF HEARING (CASE STUDIES)

Dr. Bihari Zoltán*

ABSTRACT

Among the human senses, hearing occupies a special role, as it provides continuous, direction-independent information about our environment, even when we cannot see. While we can close our eyes, we cannot 'switch off' our sense of hearing. Through sounds, we not only orient ourselves but also communicate, making hearing one of our most important connections to the outside world.

However, this constant 'always-on' state is not always an advantage: some individuals have significantly more sensitive hearing than average, so that sounds imperceptible to others become a continuous and disturbing presence. In such cases, hearing is no longer a benefit but a burden on everyday life: what is part of silence for others appears to them as constant, unavoidable noise, and the gift of perception gradually turns into an unsettling compulsion. This article presents a few such cases.

1. BEVEZETÉS

Az emberi érzékszervek közül a hallás különleges szerepet tölt be, mert folyamatos, irány-függő információt nyújt a környezetünkről, még akkor is, amikor nem látunk. Míg a szemünket becsukhatjuk, a hallás szervét nem tudjuk „kikapcsolni”. A hangok révén nemcsak tájékozódunk, hanem kommunikálunk is, így a hallás az egyik legfontosabb kapcsolatunk a külvilággal.

Ez az állandó „bekapcsolt” állapot azonban nem mindig előny: egyesek hallása jóval érzékenyebb az átlagosnál, így a mások számára észrevehetetlen hangok is folyamatos, zavaró jelenlétté válnak. Ilyenkor a hallás már nem előnyt jelent, hanem teherként nehezedik a mindennapokra: ami mások számára a csend része, számukra állandó, elkerülhetetlen zajként jelentkezik, és az érzékelés ajándéka lassan nyugtalanító kényszerré válik. A cikk néhány ilyen esetet kíván bemutatni.

Az 1904-ben St. Louisban (Missouri) megrendezett *Louisiana Purchase Exposition* világkiállítás keretében nagyszabású vizsgálatokat végeztek az emberi hallás jellemzőinek feltérképezésére. A mérésekhez a kiállítás látogatói közül toboroztak önkénteseket, így rövid idő

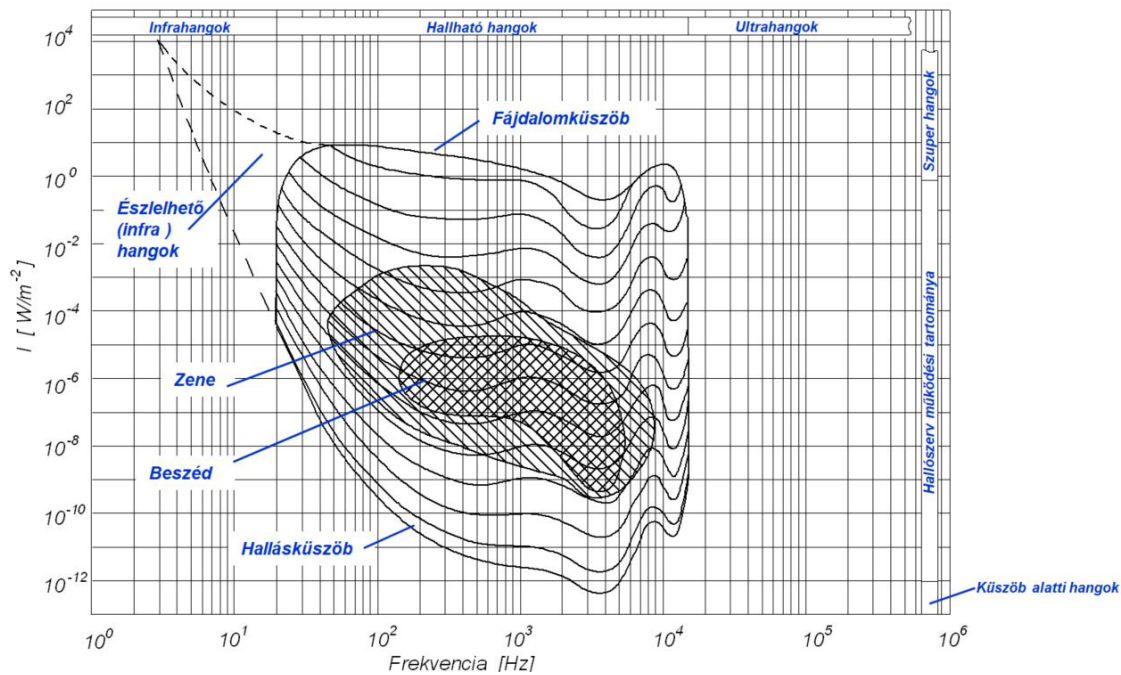
alatt nagy elemszámú mintát sikerült összegyűjteni. A vizsgálatok célja a hallásküszöb és a fájdalomküszöb meghatározása volt különböző frekvenciákon. A hangokat mechanikus, illetve elektromechanikus forrásokkal állították elő, intenzitásukat fokozatosan növelve. A résztvevőknek jelezniük kellett, mikor hallják meg először a hangot, illetve mikor válik az kellemetlenné vagy fájdalmassá.

A mérések során több különböző hangmagasságot vizsgáltak, így kirajzolódhatott a hallás- és fájdalomküszöb frekvenciafüggése. Az adatokat statisztikailag feldolgozva átlagos görbéket határoztak meg. A vizsgálatok ugyanakkor inkább feltáró jellegűek voltak, mintsem szigorúan standardizált mérések. A résztvevők túlnyomórészt amerikai látogatók voltak, így az eredmények nem tekinthetők univerzálisnak, és a kor társadalmi viszonyai miatt a mintavétel is torzított lehetett. Ennek ellenére a kísérletek fontos lépést jelentettek az audiológia fejlődésében.

Később matematikai módszerekkel a hallásküszöb és a fájdalomküszöb közötti tartományt tizenkét részre osztották, létrehozva az egyenlő hangosságú görbéket. Az 1. ábra szemlélteti a beszéd és a zene frekvenciatartományát is, ami különösen akkor válik jelentőssé, ha a vizsgált személy hallásvesztése ezeket a területeket is érinti.

Számos publikáció foglalkozik a fájdalomküszöb feletti hangok biológiai és pszichológiai hatásaival, valamint az infra- és ultrahangok élettani következményeivel. A küszöb alatti hangokkal kapcsolatban azonban jóval kevesebb tanulmány készült, mivel ezek az emberi hallás számára nem észlelhetők, és közvetlen hatásuk a lágy szövetekre vagy a szilárd vázrendszerre nem mutatható ki. A következőkben ezt a látszólag kevésbé jelentős területet vizsgáljuk meg, bemutatva, hogy bizonyos esetekben miként befolyásolhatja egy szűkebb embercsoport mindennapi életét és komfortérzetét. A továbbiakban három olyan esetet mutatunk be, amelyek során bebizonyosodott, hogy igenis létező problémáról van szó, amely komoly hatással lehet az emberek mentális egészségére. A cím kissé „horrorisztikus” hangvétele is azt szeretné sugallni, hogy olyan jelenségről van szó, amely valóban rémálommá teheti egyesek életét.

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet



1. ábra. Az emberi fül hallástartománya [Saját ábra [2] alapján]

2. ZAJTARTÁSOK EGY MISKOLCI PANELLAKÁSBAN

Az első eset, amely a küszöb alatti hangok vizsgálata felé irányította figyelmünket, egy miskolci, ötszintes panelépület földszinti lakásában végzett akusztikai méréshez kapcsolódik, ahol a lakó tartós, nehezen azonosítható zajterhelésre panaszkodott. A magányosan élő, nyugdíjas énektanárnő bejelentést tett a Miskolci Minőségellenőrző Állomáson (Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.), mivel a lakásában jelentkező éjszakai zaj zavarta a pihenésben. Állítása szerint a zaj az alatta elhelyezkedő szerelősztiben működő, a Miskolci Hőszolgáltató Kft. – a továbbiakban: MIHŐ – által üzemeltetett épületgépészeti berendezésekből származott.

Érzékszervi megítélés alapján a kibocsátott zaj az épület homlokzata előtt is jól hallható volt, ezért az akusztikai vizsgálatra a MIHŐ képviselője is meghívást kapott. Az épület környezetében egyéb, utcai eredetű zajforrás nem volt számottevő. A mérésekre 2011. január 18-án, a hajnali órákban került sor, összhangban a hatályos rendelet előírásaival, amely nappali és éjszakai időszakban is megköveteli a vizsgálatok elvégzését. A rendelet szerint [3] a nappali időszak 6:00 és 22:00 óra között, míg az éjszakai időszak 22:00 és 6:00 óra között értelmezett.

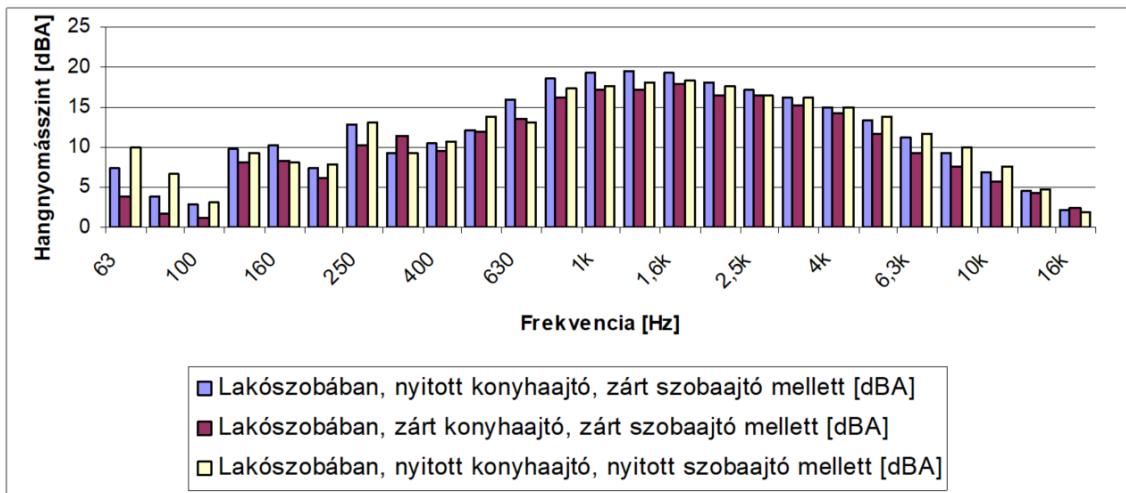
A vizsgálatokat a vonatkozó szabvány [4] előírásainak megfelelően végeztük. A zavaró

frekvenciakomponensek feltárása érdekében tercsávós elemzést alkalmaztunk (2. ábra).

Az előírt vizsgálati időszakban mért egyenértékű A-hangnyomásszintek nyitott konyhaajtó és zárt szobaajtó mellett 28,5 dB(A), zárt konyhaajtó és zárt szobaajtó esetén 26,9 dB(A), míg nyitott konyha- és szobaajtó mellett 27,8 dB(A) értékeket adtak. Az eredmények egyértelműen arra utaltak, hogy a zajforrások a konyhában, illetve a szobaajtón kívüli helyiségekben keresendők; jelen esetben – garzonlakásról lévén szó – az előszobában és a fürdőben.

Kiegészítő mérések alapján megállapítható volt, hogy a konyhai zajforrás egy 120 literes, Hajdu gyártmányú hűtőszekrény kompresszora, míg a fürdőben az időszakosan működő szellőztető berendezés áramlási zaja volt. Az ezekből származó együttes zajterhelés sem érte el a [3] szerinti, éjszakai időszakra előírt 30 dB(A) határértéket.

A MIHŐ szakemberei kérésre a mérés idejére leállították a szerelősztiben található valamennyi épületgépészeti berendezést, azonban a megismételt vizsgálatok nem mutattak számottevő csökkenést. A tercsávós elemzés utólagos kiértékelése nem jelzett kiemelkedő tisztahang-összetevőt. Az épület előtti vizsgálat alapján megállapítható volt, hogy a zaj alapvetően szélessávú volt, az esetleges diszkrét komponensek jelenléte nem volt számottevő. A nyugdíjas énektanárnő panaszát a hatóság nem fogadta el, hiszen a mérések által igazoltuk, hogy a környező épületgépészeti berendezések okozta zajterhelés a határértéken belül van.



2. ábra. Lakószoba zajterhelése [Saját ábra]

Szomorúan tapasztaltam, hogy a mérési eredmények ismeretében a jelenlévők közül többen kissé lekezelően bántak a panaszossal. Ha azonban arra gondolunk, hogy – a korábbi szakmáját kapcsolódóan is – egy kivételes hallású személy valós problémával fordult a hatóságokhoz, könnyen belátható, hogy a jelenség pusztán a szokásos mérési módszerekkel és jogi eljárásokkal nem minden esetben ragadható meg. Az ilyen esetek rámutatnak arra, hogy a szabványos eljárások mellett indokolt lehet az egyéni érzékenység és az észlelési küszöb alatti jelenségek figyelembevétele is.

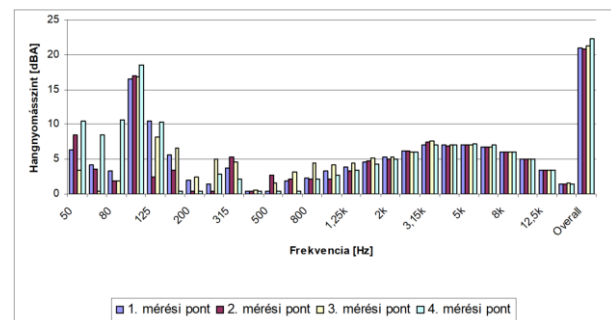
3. ZAJHATÁSOK EGY EGYETEMI KOLLÉGA LAKÁSÁBAN

Ez az esettanulmány egy 2014. szeptember 26-i történetet mutat be, amely valóban figyelemreméltó a maga nemében. A lakás tulajdonosának – aki egyben egy köztisztviselőben álló egyetemi kolléga – állítása szerint, a tulajdonában lévő lakásban a zaj zavarja az intenzív szellemi tevékenységben, illetve a pihenésben. Állítása szerint a fölötte lakó néhány hónappal azelőtt egy légtechnikai berendezéssel szerelte fel a lakását, amelynek célja a lakás hűtése nyári időszakban, valamint a fűtése a téli időszakban. A készülék folyamatos működése óta elviselhetetlen a lakásban az élet.

Kérésére felkerestem a helyszínt, de érzékszervi megítélés szerint különösebb zavaró jelenséget nem tapasztaltam. A műszeres vizsgálatok során megkértem a panaszost, hogy mutassa meg a lakásban azokat a helyeket, ahol a legerősebbnek észleli a zavaró hatást. A továbbiakban ezekre a mérési pontokra fókuszáltam. Elméleti ismeretekre hagyatkozva azzal a feltételezéssel éltem, hogy a klíma berendezés által kibocsátott szélessávú zaj, esetlegesen tisztahang összetevőkkel a csatlósi viszonyoknak megfelelően, feltételezhetően a falon keresztül testhang formájában sugározza be a védendő helyiséget. A mérés alatt a nyílászárókat zárt állapotban tartottuk.

A mérés célja annak megállapítása, hogy a lakószobában kialakuló térbeli átlagos hangnyomásszint

a 27/2008. (XII.3.) KvVM-EüM együttes rendeletében meghatározott határértékek belül van-e. Túllépés esetén lehetőség van a zajvédelmi intézkedések kedvezőtlen esetben akár polgári peres úton történő foganatosítására. A vizsgálatok ebben az esetben is a [4] szabvány által előírt feltételek szerint kerültek kivitelezésre, az eredményeket pedig a hatályos környezetvédelmi és egészségügyi együttes rendelet [3] szerint értékeltem.



3. ábra. Lakószoba zajterhelése [Saját ábra]

A diagramból jól látható, hogy a zaj a 100 Hz-es tercsávban tartalmaz jellegzetesen kiugró tisztahang összetevőket. A 100 Hz jelenléte, amely az 50 Hz-es hálózati frekvencia kétszerese gyakran valamilyen villamos gép vagy transzformátor jelenlétére utal. A jelenséget magnetrokcionnak nevezzük, amely akkor jön létre, ha mágneses térbe ferromágneses anyagot helyezünk. Ennek hatására a ferromágneses anyag alakváltozást szenved. Ha a mágneses tér periodikus függvény szerint változik (50 Hz-es hálózati váltakozó feszültség), akkor az alakváltozás is periodicitást mutat, amelyet tekinthetünk rezgésnek. Az alakváltozás és a mágneses indukció között az alábbi kapcsolat írható fel [1]:

$$\lambda = c_1 \cdot B^2$$

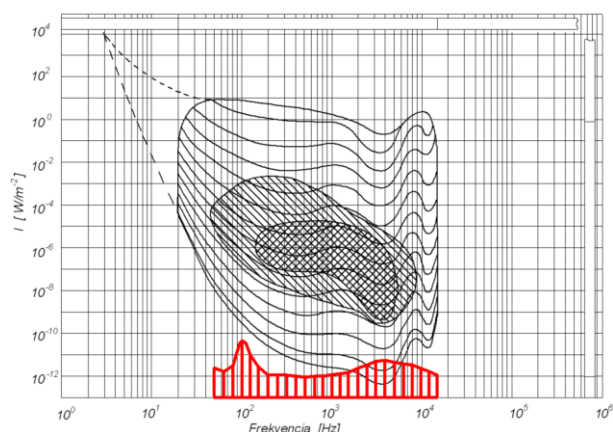
Mivel az indukció ($\sin \omega t$) függvény szerint változik, az alakváltozás:

$$\lambda = c_2 \cdot \sin^2 \omega t = \frac{c_2}{2} (1 - \cos 2\omega t)$$

azaz

$$\lambda = c_3 (1 - \cos 2\omega t).$$

Az elmélet alapján tehát beigazolódott a feltevés, miszerint egy külső zajforrásból származó rezgés a falakon keresztül besugározza a teret. A problémát a zaj intenzitásának alacsony volta jelentette. A 4. ábra, valamint a méréssel meghatározott egyenértékű A-hangnyomásszint szerint a lakószoba minden szempontból megfelel az előírásoknak.



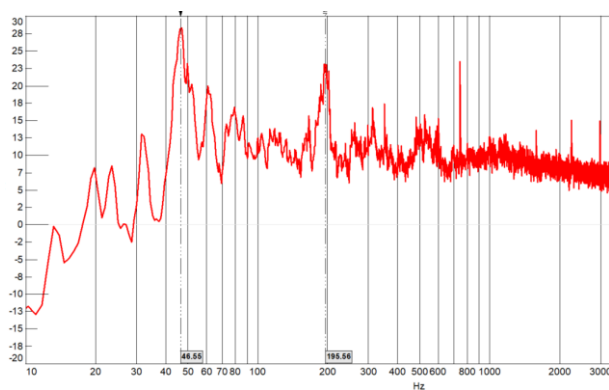
4. ábra. Tercsávós eredmény [Saját ábra]

Tapasztalataim és személyes ismeretségünk alapján feltételezhető, hogy az érintett személy hallása az átlagosnál érzékenyebb, ami egyéni adottságokkal és életútjából adódó környezeti hatásokkal egyaránt összefügghet. A hatályos magyarországi rendeletek azonban ilyen esetekben sem tesznek kivételt.

4. HANGOK EGY CSALÁDI HÁZBAN

A harmadik bemutatásra kerülő eset egy hejőcsabai családi házba kalauzolt 2019-ben. A panaszos egy középkorú férfi volt, aki családjával a Mésztelep utcai, nemrég vásárolt és felújított családi házában élt. Elmondása szerint a ház bármely helyiségében, a nap bármely szakában ugyanazt a mély hangú bűgást észlelte. Felesége és gyermekei ugyanakkor nem tapasztaltak hasonló jelenséget. Azt is megjegyezte, hogy a hang a házhoz tartozó kertben nem volt érzékelhető.

A probléma feltárása érdekében műszeres vizsgálatokra került sor. A tisztahang-összetevő jelenlétének gyanúja miatt spektrumfelvétel készült (5. ábra).



5. ábra. Spektrum felvétele [Saját ábra]

A vizsgálat kimutatta a mély hangú összetevőt 47 Hz környezetében, valamint annak felharmonikusait is. A zavaró alapfrekvencia hangnyomásszintje azonban ebben az esetben is a hallásküszöb görbe alatt maradt. A teljes hangfrekvenciás tartományt vizsgálva az egyenértékű A-hangnyomásszint 24,3 dB(A) volt, amely időszakosan 30 dB(A) fölé emelkedett a közúti forgalom megélénkülésekor.

Az 50 Hz közeli frekvenciájú hang feltételezhetően valamilyen forgógép forgási frekvenciájához köthető, amelynek névleges fordulatszáma mintegy 2880 1/min lehet. A zajforrás lokalizálása kisfrekvenciás összetevők esetén azonban különösen nehéz: a nagy hullámhossz a rendelkezésre álló mérőeszközökkel gyakorlatilag lehetetlenné tette a pontos helymeghatározást.

Feltételezhető, hogy a néhány száz méterre található szennyvízátelő gépház működése okozza a lakásban felerősödő és az átlagosnál érzékenyebb hallású személyek számára zavaró zajhatást. Mivel azonban a mért zajszint a megengedett határértéken belül maradt, a hatályos magyarországi rendeletek nem teszik lehetővé a panaszos számára a jogorvoslatot.

5. ÖSSZEGZÉS

A bemutatott esetek rávilágítanak arra, hogy a hallásküszöb alatti hangok bár műszeresen sokszor jelentéktelennek tűnnek, egyesek számára mégis valós és zavaró hatással vannak. Ez a sokak számára látszólag észrevehetetlen jelenség nemcsak akusztikai, hanem emberi szempontból is figyelmet érdemel.

6. IRODALOM

- [1] KOVÁTS A.,: *Gépszerkezettan (Műszaki akusztika)*. Budapest, 1988.
- [2] KOVÁTS A.,: *Zaj és vibráció*, Miskolci Egyetem, Műszaki Földtudományi Kar, Miskolc, 2008.
- [3] 27/2008. (XII. 3.) KvVM–EüM együttes rendelet a környezeti zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról
- [4] MSZ EN ISO 140-5. Akusztika - Épületek és épületelemek hangszigetelésének mérése - 5. rész: Külső térelhatároló szerkezetek helyszíni mérése

AUTOMATIZÁLT KOMBUCHA TEA FERMENTÁLÓ BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF AUTOMATED KOMBUCHA TEA FERMENTATION EQUIPMENT

Ferenczi Gábor*, Kátai Kristófné**

ABSTRACT

The paper aimed to design the control system for a home-based kombucha tea fermentation device and to develop a test system. This included learning about the fermentation process, establishing the software and hardware requirements for the device in order to produce a user-friendly, safe automatic tea fermentation system that allows for remote monitoring of measured and controlled values, and aims to minimize manual intervention so that the prepared beverage remains of nearly constant quality.

1. BEVEZETÉS

A kombucha egy minimális alkoholtartalmú, bioaktív vegyületekben gazdag ital, amelyet növényi alapanyagok (tealevelek, tetszőleges gyümölcslevek, fűszerek és gyógynövények), valamint egy baktériumokból és élesztőgombákból álló szimbiotikus kultúra erjedési folyamata révén állítanak elő. Pozitív egészségügyi hatásainak köszönhetően manapság egyre nagyobb népszerűségnek örvend. Ezekért a jótékony tulajdonságokért elsősorban a benne található kémiai alkotóelemek – többek között az ecet- és tejsav, a fenolok és a flavonoidok – felelősek. Maga a fermentációs időszak általában 10 – 15 napot ölel fel.

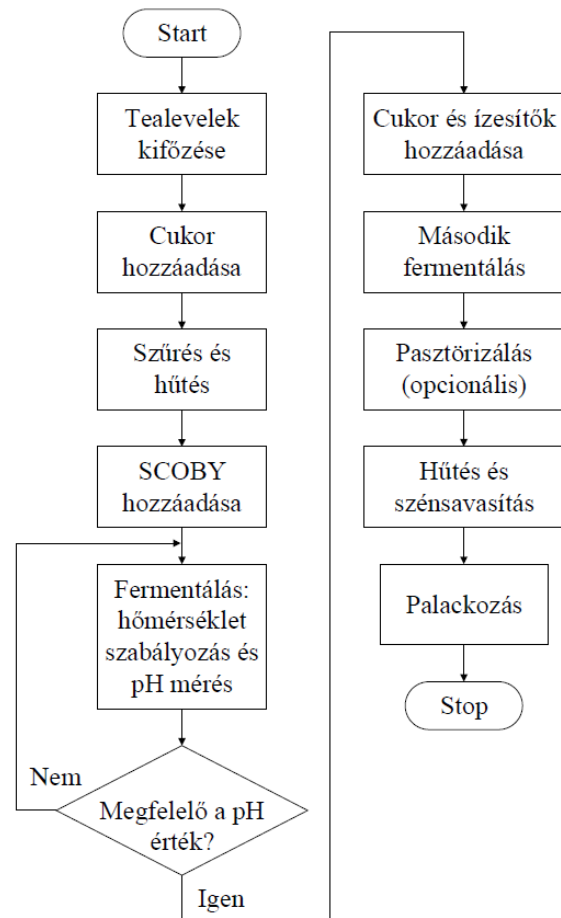
Az alábbi tanulmány azt tűzte ki célul, hogy egy otthoni körülmények között működő tea erjesztő berendezés vezérlését megtervezze és egy tesztrendszer kerüljön kialakításra. Ennek része az erjesztési folyamat megismerése, a berendezéshez szükséges szoftveres és hardveres követelményrendszer felállítása annak érdekében, hogy egy felhasználóbarát, biztonságos automata tea erjesztő rendszert lehessen előállítani, amely lehetővé teszi a mért és szabályozott értékek monitorozását távolról is, emellett a manuális beavatkozást minimalizálni kívánja úgy, hogy az elkészített ital közel állandó minőségű maradjon.

A fejlesztés során az alábbi területeket érintette a projekt:

- adott tartály fűtési lehetősége és folyamata,
- enyhén savas közegben hőmérsékletmérési lehetőségek kivitelezése,
- hőmérséklet-szabályozás megvalósítása,

- pH érték mérési lehetőségei, illetve a mérőeszköz semlegesítése két mérés között,
- automata berendezés felépítési stratégiája,
- mérési adatok rögzítése,
- távoli elérés biztosítása megfigyelés és értesítés szempontjából.

Az 1. ábrán látható a kombucha tea főzésének teljes folyamatábrája, ahol a SCOBY a „Symbiotic Culture Of Bacteria and Yeast” angol kifejezés rövidítése, ami magyarul baktériumok és élesztőgombák szimbiotikus kultúráját jelenti. Ennek a folyamatnak az automatizálása részekre bontható, így a kutatómunka és tesztberendezés fejlesztése az első fermentálási ciklust hivatott szolgálni.



1. ábra A kombucha tea előállításának folyamatábrája

* mechatronikai mérnök hallgató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

** egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

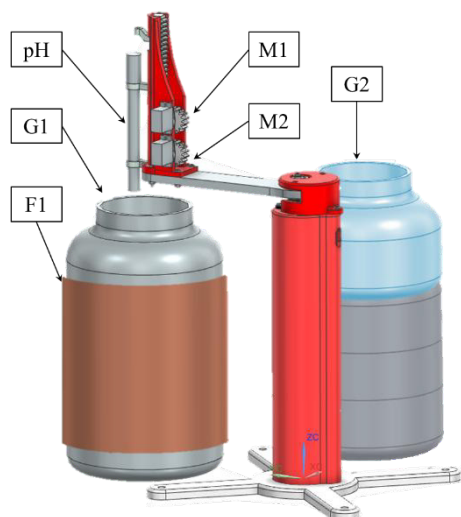
Az elméleti lehetőségek feltárása és a nagyipari gyakorlatban az ismert automata főzési folyamat megismerését követően [1] – [7] alapján két koncepció ötlet került kidolgozásra.

2. MECHANIKAI ÉS ELEKTRONIKAI FEJLESZTÉS

A kidolgozott konstrukciókban közös, hogy a folyadék hőmérsékletét közvetlenül lehet mérni egy saválló burkolattal rendelkező hőmérsékletmérő szenzorral, továbbá a főzőedény fűtését egy alapvetően rugalmas, palástfelületre rögzíthető fűtőlapp végzi. Utóbbi aktuátorhoz megfelelő teljesítményű tápegység lett kiválasztva. A fermentáló berendezés LCD kijelzővel rendelkezik a felhasználói felület kialakításához, illetve nyomógombok segítségével kezelhető az egyedileg programozott menürendszer. A biokémiai folyamatok által okozott pH értékbeli változását mindkét konstrukció esetén egy SEN0161 típusú szenzorral lehet figyelni. A mérés pontosabb kivitelezéséhez, illetve az érzékelő hosszabb élettartamának megőrzése érdekében az egyes pH-mérések után egy semlegesítő közeggel kell átmosni, vagy abban tárolni. A 2.1. és 2.2. alfejezetek a pH méréshez szükséges konstrukciókat vázlatokat mutatják be.

2.1. Karos manipulátor konstrukciója

Az első változat, amely a 2. ábrán látható, egy olyan konstrukció, ahol a pH-érzékelőt egy manipulátor mozgatja a tartály fölé, majd belemártja a vizsgálandó közegbe (G1). A mérést követően a kar kiemeli és visszahelyezi a szenzort a semlegesítő közegbe (G2). A tervezés első fázisában ez a konstrukció került modellezésre 3D tervező program segítségével. Az alap modell egy SCARA típusú robothoz hasonló manipulátor volt.



2. ábra pH-mérés első konstrukciója

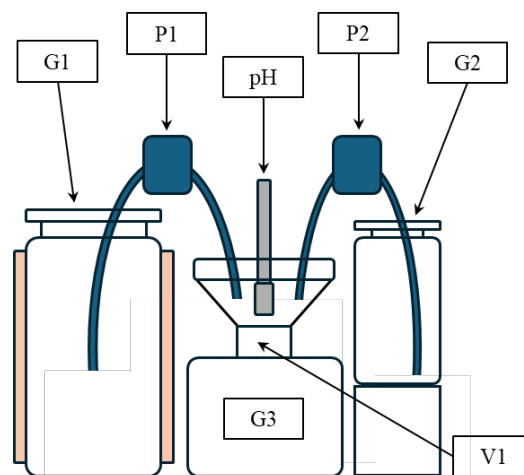
A geometriai méretek a tartályhoz (G1) lettek igazítva, továbbá a pH-szenzor felfogatását biztosító elemekkel

egészült ki a végső mozgó alkatrész. A függőleges elmozdulás tartományát végállaskapcsolók segítségével lehet limitálni, amelyek relélogika esetén a hajtó motorok (M1 és M2) közvetlen megállítását teszik lehetővé, míg bemeneti jelként használva a végállaskapcsolókat: szoftveresen is kezelhető a feltétel-rendszerben.

Ez a verzió megoldást nyújt a pH-mérő eszköz élettartamának növelésére. Viszont hátrányai között szerepel, hogy a semlegesítő közeget is cserélni kell, illetve a szenzor bemártásakor azon a közegen is át kell haladni, ami a reakciós folyamat habja, ez ronthatja a mérési eredmények pontosságát. Végül pedig tisztasági szempontból sem a legjobb megoldás, mert a szenzor kivételét követően a mozgatás során elcsepeghet a mintavételezett folyadék, ami miatt szintén elvezetést vagy védő burkolati elemet kell alkalmazni.

2.2. Pumpás mintavétel konstrukciója

A másik pH-mérési konstrukció a nagyüzemi megoldásokból merített ihletet, a kivitelezés pedig otthon is könnyedén alkalmazható eszközöket részesít előnyben.



3. ábra pH-mérés második konstrukciója

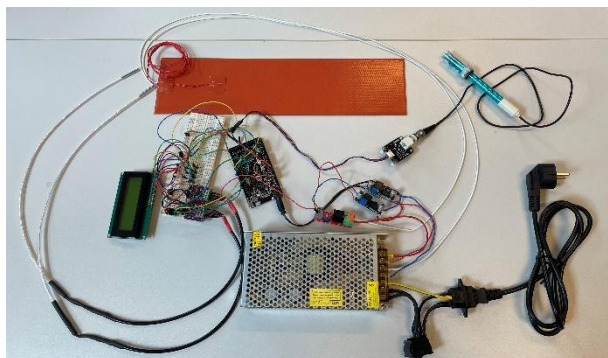
A 3. ábrán látható vázlat szemlélteti, hogy a pH-ellenőrzésére mintavételi szivattyúzás történik az első pumpa segítségével (P1). Ekkor a melléktermék leeresztő szelep (V1) zárt állapota mellett a mintavételező pohár a megfelelő szintig tölthető. Miután a pH-mérési folyamat végbement, azaz megfelelő időt töltött a szenzor a közegben és stabilizálódott a mintavételi jel, akkor a leeresztőszelep nyitásával a mintavételezett folyadék a melléktermék tartályba távozik (G3). Ezt követően a leeresztőszelep újra lezár és a második pumpa fog működni, ami a semlegesítő közeget juttatja a mintavételező pohárba, így a szenzorhoz is. Ezt ciklikusan megismételve átmosható, azaz semlegesíthető a mintavételi pohár és a szenzor két mérés között. Minden mintafolyadék és használt semlegesítő közeg a melléktermék tartályba távozik. A mintavételi pohár és a tartályok is alapvetően zárt edények, csupán a szükséges levegőmozgás érdekében rendelkeznek minimális

légáteresztő nyílásokkal. A G1 tartály esetén nemcsak a szivattyúzás lehetősége, hanem a biokémiai reakciók oxigénellátása is biztosított ezekkel nyílásokkal.

2.3. A szükséges hardveres és szoftveres elemek

Az egyedei tervezésű, otthoni használatra alkotott kombucha tea fermentáló berendezés tesztáramköre látható a 4. ábrán. A vezérlés központi eleme egy WIFI-R3-MEGA kombinált fejlesztői platform, amelyben a szenzorjelek fogadását és az aktuátorok vezérlését egy ATmega2560 típusú mikrovezérlő irányítja, amely soros porton kommunikál egy beépített ESP8266 wifi modulal. Ez utóbbi teszi lehetővé, hogy a mért adatokat és a fermentálási folyamat állapotáról szóló információkat eljuttassa egy saját webszerverre. Innen természetesen email-es értesítés is programozható, hogy a felhasználó visszajelzést kapjon a több napos (akár egy hetes) fermentálási folyamat eredményéről.

A fermentálás során 2-3 óránként érdemes pH-mérést végezni, illetve a hőmérsékletet a szabályozás miatt percenként mintavételezni kell. Az adatok lokális tárolása is megoldott, a biztonság kedvéért egy microSD kártyára való mentéssel.



4. ábra Tesztáramkör a fermentáló berendezéshez

A hőmérséklet szabályozásban egy 12 V-os szilikon fűtőlapp lett elhelyezve, amelyhez egy 200 W-os tápegység lett vásárolva. A váltakozóáram oldalán egy kétáramkörös főkapcsoló található, amely mind a nulla, mind a fázis vezetőt megszakítja OFF állásban. A tápegység 12 VDC-t szolgáltat a kimenetén és áramkorlátra vonatkozó biztosítékot is tartalmaz. Ezt a végső konstrukcióban érintésvédelmi szempontokat is figyelembevéve, továbbá a megfelelő szellőzés biztosítva kerül majd beépítésre. Az egyenáramú oldalon kettő darab LM2596 típusú step-down konverter található: az egyik a kombinált fejlesztői platform számára állít elő stabilizált 7 V egyenfeszültséget, míg a másik egy vezérelhető relémodul számára szolgáltat 5 V DC gerjesztőfeszültséget. Ez utóbbit azért kellett külön áramkörként kötni, mert a relémodul meghúzása és gerjesztett állapotban való tartása nagyobb áramfelvételt igényel, mint amit az Arduino Mega fejlesztői platform engedélyezhet a kimenetén. Tehát a vezérlő jel 5 V-os

tartományban érkezik, de a relétekercs gerjesztése és tartása a step-down konverter felől érkezik.

A hőmérsékelt mérése három helyen történhet. Először is található egy beépített hőmérsékelt mérő a fűthető szilikonpanelben. Ezt a lehetőséget azért nem használja a vezérlés, mert nem közvetlenül a panel hőmérsékeltére kell a szabályozást végezni, hanem a fermentált közegére. A második hőmérési pont a közegbe vezetett, a folyadék felső egyharmadban elhelyezett, saválló burkolattal rendelkező PT-1000 típusú hőmérsékletszenzor. A vezérlő felé a mérőjel erősítése és digitalizálása egy MAX31865 típusú modul segítségével történt. Az A/D konverterrel SPI (Serial Peripheral Interface) kommunikációs protokoll használatával kommunikál a központi egység, illetve a logikai jelszint 3,3 V. A mérési tartomány a modul ellenállásának módosításával szűkült. Így a 100 °C-os tartományra korlátozott mérés azonos felbontás mellett jelentősen növeli az adatok pontosságát. A fermentálás során 24 °C és 29 °C között kell tartania a folyadékot a rendszernek. A harmadik hőmérési pont a tartály alsó egyharmadában lévő hasonló hőmérővel és A/D konverter beépítésével történt.

A fermentációs folyamat során a tea savasságát egy SEN0161 DFROBOT pH-mérő szenzorral lehet mérni. Ez az érzékelő analóg módon méri a pH értéket, és azzal arányosan kb. $\pm 400\text{mV}$ -os feszültséget szolgáltat: a pozitív tartomány a savas közegre utal, míg a negatív a lúgosra. Ezt a jelet a modul átalakítja 0 – 5 V-os tartományon belüli analóg jellé, amely már kompatibilis lesz a fejlesztői platform analóg bemenetével.

A 4. ábrán látható tesztáramkörben négy nyomógomb található, amelyek a funkciók közötti váltást teszik lehetővé, illetve a fermentálási időzítő beállítását. Az egyik üzemmód a felhasználó által időzíti a folyamatot, tehát megadja a fermentáció időtartamát. Eszerint megy végbe a felfűtés, a hőtartás folyamata és adott időben pedig a leállítást. Ezzel szemben az automata üzemmódban a felfűtést követően a hőtartás mindaddig folytatódik, amíg a ciklikus pH-mérés értéke stabilan 2,5 – 3,5 savas pH érték között nem marad. Ha a pH-érték 4,6 feletti, akkor a kórokozók elszaporodnak így nem biztonságos a fogyasztói felhasználás, 3-as pH érték már íze is biztosítja az élvezeti értéket, ha 2-es pH alá csökkenne a savasság, akkor túl savanyúvá válna a végtermék.

A tesztáramkörben látható még egy LCD kijelző is, ami az információk közlésére alkalmas. Kijelzi az üzemmódot, a beállított értékeket, az aktuális mérési eredményeket és az egyik üzemmód esetén a hátralévő idő visszaszámlálása is követhető.

A megvalósított tesztáramkör a jelenlegi állapotában validálta a programozott vezérlő működőképességét. Az első konstrukció esetén a motorok vezérlése is sikeres volt. A második konstrukció esetén a pumpák (szivattyúk) működtetését LED-ek helyettesítették. Az adatok rögzítése és microSD kártyára való mentése is sikeres volt, csak úgy, mint a webszerverre történő adattovábbítás és a felhasználói értesítési folyamata is.

Továbbá beállításra került a hőmérséklet érzékelők mérési tartománya is, illetve a pH-szenzor jelének feldolgozása is.

3. ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben egy kombucha tea főzés folyamatában található, első fermentálási szakasz automatizálásáról esett szó, amely elsősorban háztartási berendezés fejlesztésére irányult. A tealevelek kifőzése, a cukor hozzáadása, a szűrés, a hűtés és a SCOBY hozzáadása egyelőre nem szerepelt az automatizálási feladatok között. Miután a felhasználó otthoni körülmények között az előbb felsorolt előkészületeket elvégzi, akkor beletöltheti a fermentáló eszközbe, amely ebben a tanulmányban került bemutatásra. Az automata ciklus felmelegíti a korábbi főzetet 24°C és 29°C közé, majd ezen a hőmérsékleten tartja. A folyamat szabályozásához nemcsak hőmérsékletmérő szenzorokat integrál, hanem pH-mérést is végez a rendszer. A teljesen automata üzemmód választása esetén mindaddig végzi a fermentálást, amíg a pH érték még 2,5 felett marad, de már tartósan 3,5 alá csökken. A felhasználót értesíti nemcsak a beépített LCD kijelzőn, hanem akár távoli eléréssel, elektronikus kommunikáción keresztül is például email-ben. A folyamat mérési adatai lokálisan microSD kártyára történnek, továbbá elérhető vezeték nélküli internetkapcsolat esetén, hálózatra csatlakoztatva egy webszerverre is elküldi a fermentálási folyamat adatait. A cikk két konstrukciós tervet mutatott be a pH mérésre, illetve a választott hardveres és szoftveres elemeket. Továbbá ismertette az egyedi áramkört is a tápellátástól a konvertereken keresztül egészen a vezérlőig, illetve az adatszolgáltatásig.

4. SUMMARY

This article discussed the automation of the first fermentation stage in the process of brewing kombucha tea, which was primarily aimed at developing a household appliance. Brewing the tea leaves, adding sugar, filtering, cooling and adding the SCOBY were not yet included in the automation tasks. After the user completes the tasks before at home, he can then load it into the fermentation device presented in this study. The automatic cycle heats the previous brew to between 24°C and 29°C and then maintains it at this temperature. In order to control the process, the system not only integrates temperature sensors, but also performs pH measurements. If the fully automatic mode is selected, the fermentation continues until the pH value remains above 2.5 but has already dropped permanently below 3.5. The user is notified not only on the built-in LCD display, but also remotely, via electronic communication, such as by email. The process measurement data is stored locally on a microSD card, and if a wireless internet connection is available, it also sends the fermentation process data to a web server when connected to a network. The article presented two construction plans

and the selected hardware and software elements. Furthermore, the individual circuit was presented, from the power supply through the converters to the controller and data supply.

5. IRODALOM

- [1] WEEKS M.: *Arduino Controlled Brewing*, SoutheastCon 2015, Fort Lauderdale, USA, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/SECON.2015.7132950>.
- [2] XIAODONG Z., JIE Z., KE L.: *Design and implementation of control system for beer fermentation process based on SIMATIC PLC*, The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC), Qingdao, China, 2015, pp. 5653-5656, <https://doi.org/10.1109/CCDC.2015.7161809>.
- [3] ANTOLAK H., PIECHOTA D., KUCHARSKA A.: *Kombucha Tea—A Double Power of Bioactive Compounds from Tea and Symbiotic Culture of Bacteria and Yeasts (SCOBY)*, *Antioxidants* 2021, Vol. 10, No. 10, paper 1541, <https://doi.org/10.3390/antiox10101541>
- [4] CHAUHAN J., Neelakantan U.: *An experimental approach for precise temperature measurement using platinum RTD PT1000*, 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), Chennai, India, 2016, pp. 3213-3215, <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755297>.
- [5] FARID D.F.M., ABDULLAH S., BAKAR M.F.A.: *Review of the benefits of kombucha tea: chemical components and pharmacological activities*, *Food Research* 8 (Suppl. 5), 2024, pp. 70 – 83., [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(S5\).8](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(S5).8)
- [6] ANDRADE D.K.A., WANG B., LIMA E.M.F., SHEBEKO S.K., ERMAKOV A.M., KHRAMOVA V.N., IVANOVA I.V., ROCHA R.D.S., VAZ-VELHO M., MUTUKUMIRA A.N.: *Kombucha: An Old Tradition into a New Concept of a Beneficial, Health-Promoting Beverage*, *Foods* 2025, Vol. 14, No. 9, paper 1547, <https://doi.org/10.3390/foods14091547>
- [7] OLIVEIRA P. V. de, SILVA júnior A. H. da, OLIVEIRA C. R. S. de, ASSUMPÇÃO C. F., OGEDA C. H.: *Kombucha benefits, risks and regulatory frameworks: A review*, *Food Chemistry Advances*, 2023, Vol. 2, paper 100288, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100288>

ZÁRT KONTÚRÚ EXCENTERT HASZNÁLÓ SÖVÉNYVÁGÓ REZGÉS MÉRÉSE

VIBRATION MEASUREMENT EXECUTED ON A HEDGE TRIMMER USING A SPECIAL ECCENTRIC DISC

Siktár Bálint*, Dr. Kakuk József**, Dr. Hegedűs György**

ABSTRACT

Cam-follower mechanisms are widely used in various forms of applications. One of these applications is the usage in hedge trimmers. Cam-follower mechanisms have the advantage, that they are long-lasting machine components, and they do not need a lot of space in order to accommodate them in the machine. One of their limitations is the noise and vibration that they cause during their operation. This paper investigates how the vibration changes close to the knives and at the rear handling area.

1. BEVEZETÉS

A bütykös mechanizmusok sokrétűen alkalmazott mozgásátalakítási megoldások, amikor forgó mozgásból alternáló mozgás átalakítására van szükség. Nagy előnyük, hogy kis helyet igényelnek a kialakítás során, kevés gépelemmel megoldhatóak és megfelelő kenés esetén kellő élettartam érhető el alkalmazásukkal.

A bütykös mechanizmusok szabadságfokok tekintetében lehetnek egy szabadságfokúak vagy ettől eltérőek is. A többszabadságfokú rendszerek nagysebességű működése esetén könnyen előfordulhatnak nemkívánatos rezgések [1]. Így az ilyen rendszerek tervezése komoly kihívások elé állítja a tervezőt. Egy további korlátozása a bütykös mechanizmusoknak, hogy nem alkalmasak kiemelkedően magas erők elnyelésére, továbbítására [2]. A már említett dinamikus hatások csökkenthetőek gördülő-csúszó érintkezők alkalmazásával [3]. További problémákat okozhat a bütykös mechanizmus működése során a súrlódásból adódó kopás által megnövekedett holtjáték a bütyök és a pálya között [4]-[6].

A különböző excenteres mechanizmusok fejlesztése, optimalizálása, vizsgálata során számos megközelítés áll rendelkezésre. A fejlesztőknek lehetőségük van pl. egyetlen komponens optimalizálására (pl. az ADAMS szoftver használatával) [7] vagy a teljes mechanizmus vizsgálatára numerikus szoftverek alkalmazásával [8].

A fejlesztés és optimalizálás elengedhetetlen záró folyamata az ellenőrzés. Erre a célra a kísérleti mérésekkel folytatott ellenőrző méréseket

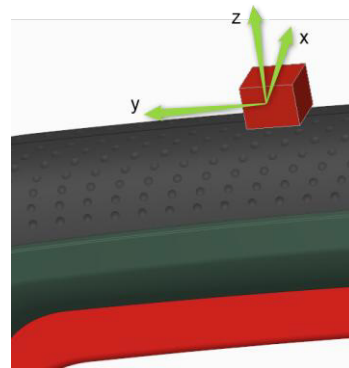
alkalmazzuk [9]. A mérést követően a mért adatokat fel kell dolgozni, erre a tudomány ma számos eljárást, módszert kínál [10].

2. A VIZSGÁLT SÖVÉNYVÁGÓ ÉS A SZENZOROK ELHELYEZÉSÉNEK ÉRTELMEZÉSE

A cikkben egy BOSCH gyártmányú UniversalHedgecut18V-55 típusú sövényvágó rezgéseit két helyen vizsgáltuk, elsőként a penge mellett (lásd: 1. ábra), majd a sövényvágó hátsó markolatánál, ezt a 2. ábra mutatja. A mérés során PCB gyártmányú, 356B21 típusú szenzorokat használtunk.



1. ábra: A sövényvágó pengéjénél található szenzor tengelyeinek értelmezése



2. ábra: A sövényvágó hátsó markolatánál található szenzor tengelyeinek értelmezése

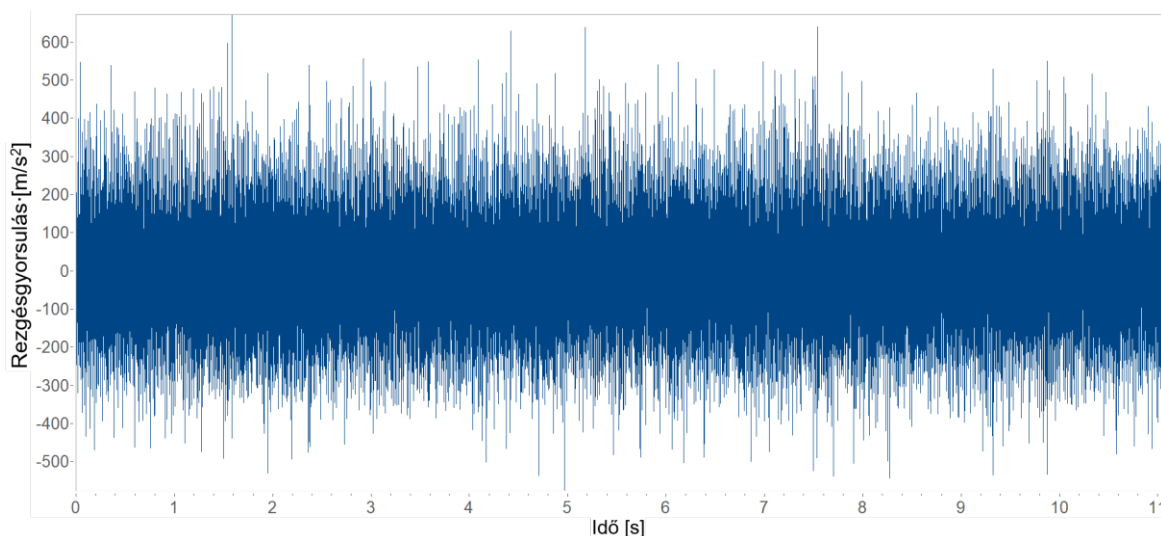
* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

A sövényvágó zárt kontúrú, sebességváltozásra optimalizált, szériagyártásból származó excenter tárcsákat használ. A vizsgálat során mind a két pozícióban egy-egy egyenként három-tengelyes gyorsulásmérőt helyeztünk el, így meghatározva az 1. és 2. ábrán mutatott irányokhoz tartozó gyorsulások komponenseit. A mérés során Brüel&Kjær 3032A bemeneti modult és Brüel&Kjær 3050A típusú adatgyűjtőt használtunk.

3. A KÜLÖNBÖZŐ POZÍCIÓKBAN ELHELYEZETT SENZOROK ÉRTÉKEINEK ÉRTELMEZÉSE

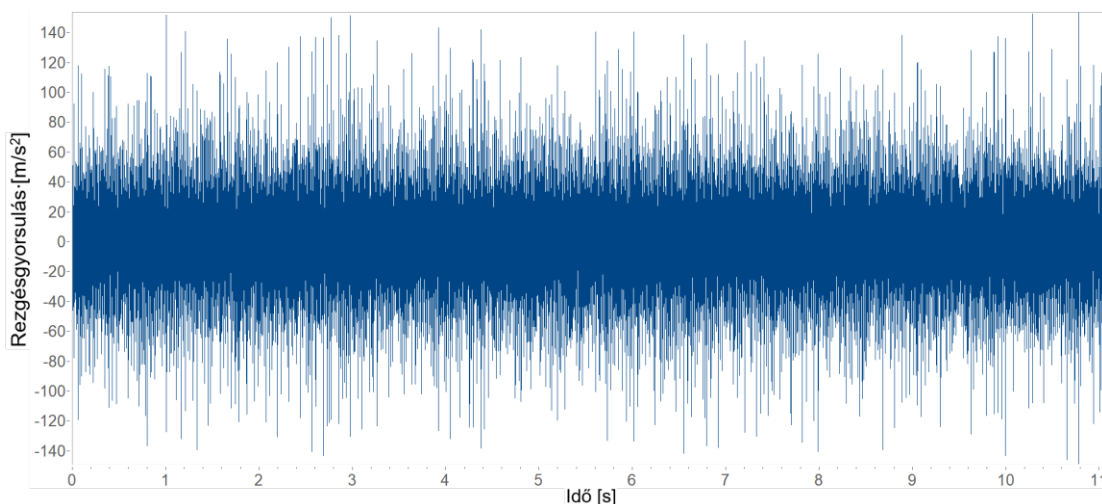
A vizsgálat során kapott adatok az imc FAMOS Enterprise szoftver segítségével kerültek kiértékelésre, a szoftver az ábrák x tengelyén a minták számát mutatja, y tengelyen pedig a rezgés – a gyorsulás – értékét m/s^2 -ben. A vizsgálat alá vont sövényvágó tengelyénél található x irányhoz tartozó rezgés értékei a 3. ábrán láthatók. A mintavételezési frekvencia 65536 Hz volt, a mintavétel 11 s időtartamig tartott.



3. ábra: A pengénél található x irányú rezgés

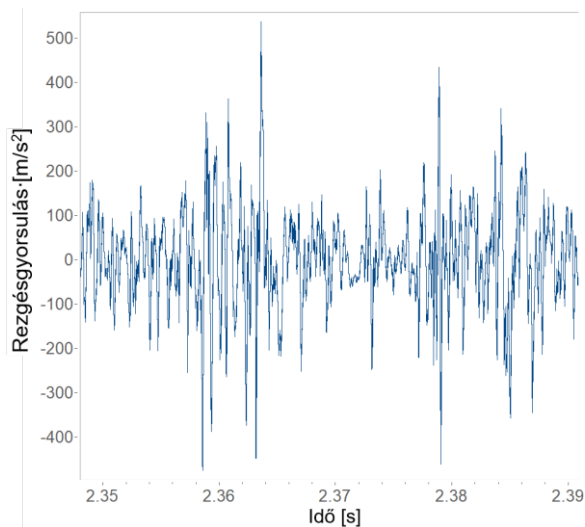
A rezgések elnyelésében, csillapításában fontos szerepet játszanak a sövényvágó külső burkolatát jelentő műanyag házfelek, ezt is mutatja a 4. ábrán látható a sövényvágó hátsó markolatánál elhelyezett gyorsulásmérő y irányú rezgését ábrázoló grafikon. Mivel a 3. és 4. ábrán a teljes mérési adathalmaz látható, így az áttekinthetősége teljes egészében korlátozott, ezért a továbbiakban egy

kezelhetőbb, rövidebb időablakhoz tartozó adatmennyiséget vizsgálunk majd, az imc FAMOS Enterprise szoftverben ez könnyen kivitelezhető, ezzel segítve a mérnöki munkavégzést. A szoftver ezenkívül lehetőséget nyújt adott csúcsok pontos értékeinek kiírására, lehetőség van a jelt alkotó adathalmaz módosítására matematikai műveletekkel stb.



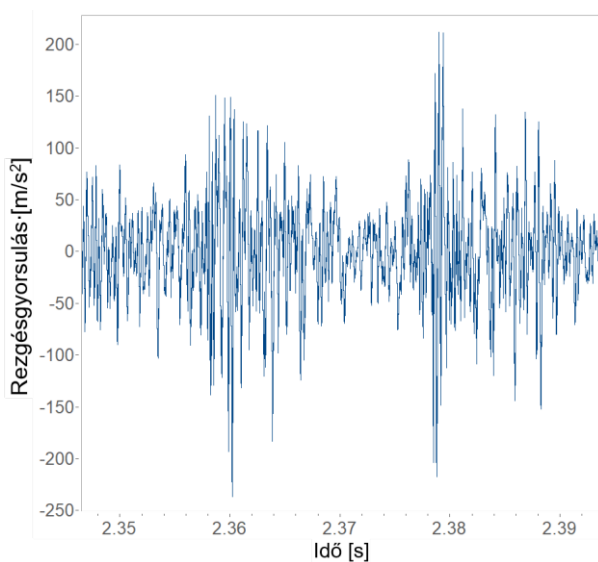
4. ábra: A hátsó markolatnál található y irányú rezgés

Az 5. ábrán egy 22 ms idejű ablakhoz tartozó rész látható, a 3. ábrán bemutatott mérési eredményekből.

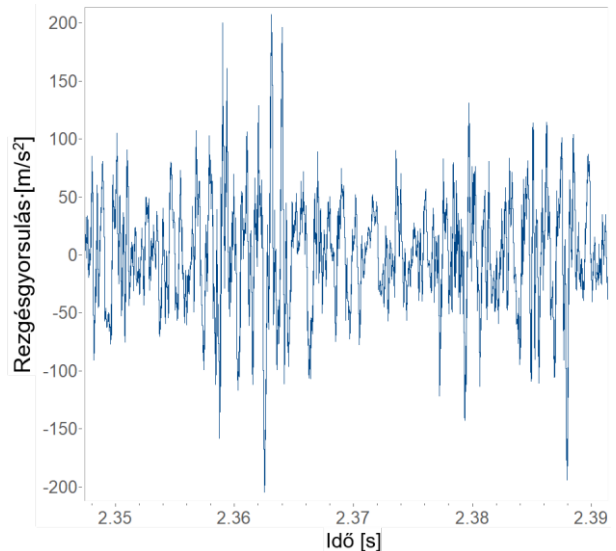


5. ábra: A vágópengék gyorsulása az excenteres mechanizmus működése közben x irány mentén

Az 5. ábrán látható, hogy a sebességváltozásra optimalizált excenterok végállásban történő gyors irányváltásai miatt magas gyorsuláscsúcsok jelentkeznek a rezgés diagramon. Mivel a sövényvágó pengéje, a penge hossziránya mentén végez lineáris alternáló mozgást, így az x irány mentén láthatók a legmagasabb csúcsok, míg az y és z irány mentén alacsonyabb csúcsok figyelhetők meg, ez látható a 6. illetve 7. ábrákon.

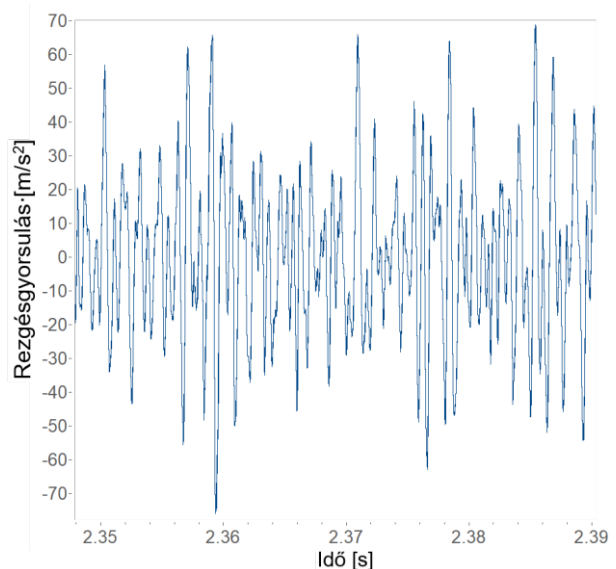


6. ábra: A vágópengék gyorsulása az excenteres mechanizmus működése közben y irány mentén



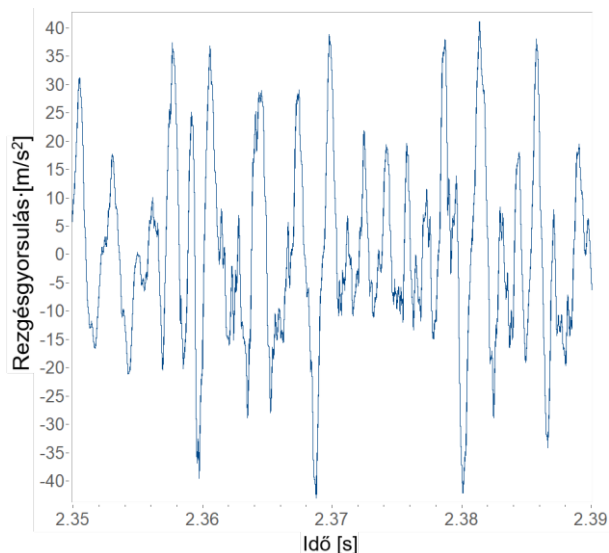
7. ábra: A vágópengék gyorsulása az excenteres mechanizmus működése közben z irány mentén.

A pengénél található gyorsulás érzékelő által rögzített adatok elemzéséhez hasonló megfigyelések vonhatók le a hátsó markolatnál elhelyezett gyorsulásmérővel kapcsolatban is, az y irány komponensről készített részlet a 8. ábrán látható.

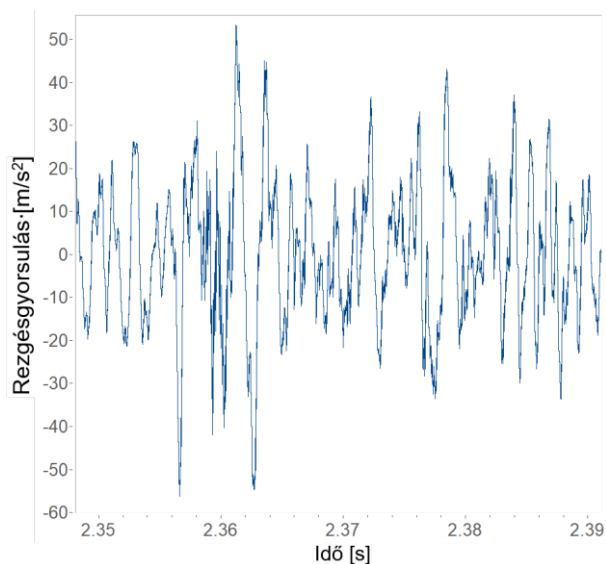


8. ábra: A hátsó markolatnál mért gyorsulás az excenteres mechanizmus működése közben y irány mentén

A pengéhez hasonlóan, az x és z irányú komponensek itt is alacsonyabb értékeket vesznek fel, ahogy a 9. és 10. ábrán is látható.



9. ábra: A hátsó markolatnál mért gyorsulás az excenteres mechanizmus működése közben *x* irány mentén



10. ábra: A hátsó markolatnál mért gyorsulás az excenteres mechanizmus működése közben *z* irány mentén

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk a sövényvágókban található excenteres mozgásátalakító mechanizmusok rezgésszintjeivel foglalkozott. Bemutattuk, hogyan változnak a rezgés szintjei a penge közelében, részletezve *x*, *y* és *z* komponensek szerint. Szintén vizsgálat tárgya volt, hogyan változik a rezgés a hátsó markolati területen, itt is *x*, *y* és *z* tengelyek mentén. A mérések alapján látható, hogy a műanyag komponensek számottevően csökkentik a felhasználó által érezhető rezgéseket.

További fejlesztési lehetőséget jelent annak vizsgálata, hogy ugyanazon megfogási körülmények mellett – vagyis a mérések során használt sövényvágó ugyanazon

műanyag komponenseivel, de eltérő excenter tárcsák mellett hogyan változnak a rezgéseik csúcsaik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A C2263193 számú projekt a kulturális és innovációs minisztérium nemzeti kutatási fejlesztési és innovációs alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- [1] Han J., Huang J., Qi C., “Design of the high-speed cam profile for the multi-DOF follower”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2024, <https://doi.org/10.1177/09544062241236298>
- [2] Ade M., Kucheriya N., Laware S., Patil T., Jain A. Dakhole M. Y., “Cam Design using Polydyne Approach”, International Research Journal of Engineering and Technology, 2020
- [3] Sai Charan J., Kumar R., Rewanand Shripad K. M., Sundar S., “Profile Modification in a Cam-Follower System With Rolling-Sliding Contact to Minimize Vibroacoustic Sources”, Journal of Vibration and Acoustics, 2025, <https://doi.org/10.1115/1.4069079>
- [4] Tounsi M., Chaari F., Abbes Fakhfakh T., FAKHF, Haddar. M., „Effect of camshaft eccentricity and follower backlash on the dynamic behavior flexible cam mechanism”, Diagnostyka, 2010
- [5] Ambardekar M. N., Gupta K. N., “Stochastic optimal control of vibrations of a high-speed cam-driven mechanism”, Mechanism and machine theory, Elsevier, 1990
- [6] Lin P. D., Chen J. F., “Analysis of errors in precision closed-loop mechanisms”, Journal of Mechanical Design, 1994. <https://doi.org/10.1115/1.2919346>
- [7] Ouyang T., Wang P., Huang H., “Cam profile optimization for the delivery system of an offset press”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 2017 <https://doi.org/10.1177/0954406216665135>
- [8] Jer-Rong C., “Vibration of a Flexible Follower in a Cam Mechanism with Time-Dependent Boundary Effect”, Axioms, MDPI, 2023, <https://doi.org/10.3390/axioms12020177>
- [9] Meggitta J.W.R, Clotb A., Banwellc G., Elliotta A.S., Moorhousea A.T., Langley R.S., “Vibroacoustic analysis of a domestic product based on experimental measurement and hybrid modelling”, Applied Acoustics, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108144>
- [10] Amick H., Bui S.K., “A Review of Several Methods for Processing Vibration Data”, Vibration Control in Microelectronics, Optics, and Metrology 1992, <https://doi.org/10.1117/12.56844>

SZÍJAK TRANSZVERZÁLIS LENGÉSEINEK MÉRÉSÉRE ALKALMAS BERENDEZÉS KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉSE

CONCEPTUAL DESIGN OF EQUIPMENT SUITABLE FOR MEASURING TRANSVERSE VIBRATION OF BELTS

Simon Gábor*, Dr. Rónai László**

ABSTRACT

In this paper conceptual design of a belt vibration testing machine has been discussed. A literature review was given, which focused on the relevance of belt behavioral research. Two versions of the testbench are analyzed and compared. Both of them have disadvantages but the vertical one is more preferable.

1. BEVEZETÉS

A szíjhajtások alkalmazása egészen az ókorig vezethető vissza, ekkor még hajtásátviteli elemként köteleket, esetleg bőrszíjakat használtak fel. A szíjhajtás központi eleme maga a szíj, mint gépelem, amely lehetővé teszi a fordulatszám módosítását a szíjtárcsák átmérőinek megfelelő megválasztásával. Alapvető működését és gépészeti jelentőségét részletesen tárgyalják gépelem-tervezési kézikönyvek [1], [2].

Jelentős fejlődést az I. ipari forradalom hozott, amikor a gőzgépek megjelentek. Ezekről a gépekről hosszú szíjakon keresztül hajtották meg az egyes aktuátorokat. Nem voltak ritkák a nagy kiterjedésű, akár 100 métert meghaladó hosszúságú laposszíjas rendszerek sem. A szíjhajtások fejlődését és modern értelmezését átfogóan tárgyalják különböző összefoglaló munkák [3], [4], valamint átfogó mérnöki kézikönyvek pl. [5].

A 19. század végére kezdték ezeket a hajtásokat finomítani, ekkor már a bőr mellett megjelentek a szövetalapú és gumírozott szíjak is. 1917-ben szabadalmaztatta a Gates Rubber Company az ékszíjat, amely igen nagy áttörésnek számított akkoriban a teljesítményátvitel fokozása terén. A szíjhajtások fejlődése szorosan összefügg az ipari alkalmazások igényeivel.

A 21. században sem hagyott alább a szíjhajtások iránti kereslet, de kiemelhető, hogy az elmúlt 100 évben történtek átrendeződések e téren. A gyárakban lévő ún. központi tengelyes (line shaft) rendszerek teljesen kiszorultak, helyüket az egyedi villamos hajtások [6] vették át. Hasonló tendencia figyelhető meg a textilipari gépek esetében is, ahol a korszerű, elektronikusan szabályozott egyedi hajtások kerültek előtérbe.

Vannak területek, ahol megmaradt a szíjhajtás, sőt még erősödni is tudott. Itt egyértelműen a járműipar emelhető ki, mivel a személyautóktól kezdve a haszon-, tehergépjárművekben szíjjakkal oldanak meg meghajtásokat elég csak a generátorra, a klímakompresszorra vagy a vezérműre gondolni. Itt kulcsfontosságú tervezési szempont a szíjak dinamikai viselkedésének vizsgálata [7]. Manapság a logisztika, élelmiszeripar területein is találhatók szíjhajtások. A szállítószalag rendszereknél különösen a transzverzális rezgések vizsgálata napjainkban is egy aktív kutatási területnek számít [8], [9]. A modern mechatronikai rendszerekben a fogasszíjak jelentősége fokozódott, mivel holtjátékmentes, jó dinamikai tulajdonságok jellemzik [2] a pozicionáló rendszerekben pl. a 3D-s nyomtatóknál nagy jelentőséggel bírnak.

A szíjak alkalmazásának sok előnye van [1], [2], általánosságban, ezek közül kiemelhető a kedvező költségük, a kis tömegük, csendes működésük, valamint rezgéscsillapító hatásuk, amelyek mellett erőzáró szíjaknál egyszerű túlterhelésvédelem is megvalósítható, mivel a túlterhelés esetén a szíj megcsúszik.

A szíjak dinamikai viselkedése, különösen axiálisan mozgó rendszerek esetén összetett jelenségeket mutat, amelyek vizsgálata a mai napig intenzív kutatások tárgyát képezi.

A [10] forrás lineáris hullámegyenleteken alapuló kezdeti-peremérték problémákat vizsgál, amelyek pl. szállítószalagok transzverzális rezgéseinek modellezésére használhatók. A szerzők olyan eseteket elemeznek, ahol a rendszer sebessége időben változik, a sebesség kicsi a hullámterjedési sebességhez képest. Kiemelik, hogy a szalag rezgései két típusba sorolhatók aszerint, hogy inkább húr- (string-like) vagy inkább rúdszerű (beam-like) [11] viselkedést mutatnak, ami a szalag hajlítómerevségétől függ. Ha a hajlítómerevség elhanyagolható, akkor a rendszer húr- (hullámszerű) jellegűnek tekinthető; ellenkező esetben rúdszerűnek minősül.

A [12] publikáció egy módszert ismertet a szalaghossz sajátfrekvenciáinak és egy pont keresztirányú elmozdulásának modellezésére és számítására egy segédhajtású rendszerben. A szalagot két csiga között axiálisan mozgó, viszkoelasztikus húrként egyszerűsítik,

* mesteroktató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

** egyetemi docens, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

a feszültség–nyúlás kapcsolatot viszkoelasztikus anyagmodell írja le. A számított eredményeket kísérleti mérésekkel is összevetették, és jó egyezést találtak, ami igazolja a módszer hatékonyságát. Ezen modell alapján vizsgálták a szalag merevségének és csillapításának hatását, és megállapították, hogy ezek növelése csökkenti a keresztirányú elmozdulásokat.

A [13] forrásban a szerzők egy kísérleti vizsgálatot mutatnak be egy axiálisan mozgó szíj keresztirányú nemlineáris rezgéseiről. A vizsgált szíj egyenletes, állandó sebességgel halad. A szerzők lézeres elmozdulásmérést is tartalmazó kísérleti rendszert terveztek és építettek, amelyben a szíj feszítése és a motor fordulatszáma változtatható. A mérések során megfigyelték a sajátfrekvencia, a feszítés és a sebesség közötti kapcsolatot, valamint a szalag keresztirányú rezgésének mintázatait. A vizsgálat kimutatta, hogy a rendszer különböző működési feltételek mellett periodikus, kaotikus és ütemjelenségeket (beat phenomena) is produkálhat.

A [14] forrás egy új, ún. MCB modellt (Moving Compressed Beam) közöl, amely szállítószalagok transzverzális rezgéseinek vizsgálatára alkalmas, figyelembe veszi a szalag keresztirányú hajlítómerevségét és geometriáját is.

A [15] cikk egy ékszíjas hajtás rezgésvizsgálatával foglalkozik, a szíjtárcsák változó beállítása mellett. A fő célja a vizsgálatnak, hogy meghatározza van-e összefüggés a rendszer rezgései és a szíjtárcsák beállítása között. A cikkben egy tesztpadot is elkészítettek, hogy adatokat tudjanak rögzíteni. Végeredményben kijelentették, hogy a szíjtárcsák elhelyezése jelentősen befolyásolja a rezgésmintázatokat, amely kiváltképp fontos a hajtás stabilitása és élettartama szempontjából.

A [16] cikk egy analitikus modellt mutat be laposszíj hajtások állandósult állapotának viselkedésére, amely figyelembe veszi a szíj bilineáris rugalmas viselkedését és maradék nyúlását, amelyet a viszkoelasztikus hatások, például relaxáció okoznak. A modell alkalmazható tetszőleges számú hajtott és hajtó csigával rendelkező hajtásra, és vizsgál mind fix, mind feszítőcsigával előfeszített hajtásokat. A szerzők kiemelik, hogy a hagyományos, lineáris modellekhez képest a bilineáris leírás pontosabban becsüli meg a szíj maximálisan továbbítható teljesítményét és feszültségi állapotát, mivel a viszkoelasztikus hatásoktól eredő maradék nyúlás befolyásolja ezeket. A tanulmány alapján az előfeszített hajtások esetén a maradék nyúlás miatt a tényleges feszültség alacsonyabb lehet, amely csökkenti a tapadó súrlódást és így a teljesítményátvitelt is. A modell eredményei szerint a feszítőcsiga használata kompenzálhatja ezeket a negatív viszkoelasztikus hatásokat, így stabilabb üzemmódot és pontosabb teljesítménybecslést tesz lehetővé.

Az előző bekezdésekben összefoglalt publikációk is jól mutatják, hogy a 21. században is a szíjak egy igen kutatott területnek minősülnek.

Ismeretes, hogy egy kritikus szíjsebesség elérésekor a hajtásban lévő szíj nagy elmozdulás amplitúdójú transzverzális lengéseket is végezhet.

A szíjak lengésvizsgálata kiemelten fontosnak tekinthető, mivel a hossz- és keresztirányú lengések kihatással vannak a gépelem élettartamára, valamint olyan rezgések léphetnek fel, amelyek egy adott hajtás pozicionálási pontosságát ronthatják.

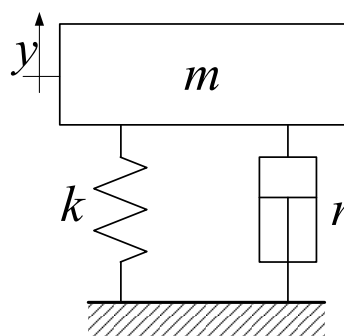
A cikk célja egy olyan berendezés koncepcionális tervezése, amellyel különböző geometriai kialakítású szíjak transzverzális lengéseinek mérése válik lehetővé. Továbbá vizsgálhatóvá válik majd a levegő csillapítás következtében kialakuló csillapító erő hatása a keresztirányú lengésekre.

A következő fejezetekre strukturált a cikk: a második fejezet foglalkozik a transzverzális lengések mérésének céljaival. A harmadik fejezet tér ki a mérőberendezés koncepcionális tervezésre, valamint a megoldásváltozatok összehasonlítására. Az összefoglalás a megállapításokon túl tartalmazza a jövőbeni terveket.

2. TRANSZVERZÁLIS REZGÉSEK MÉRÉSÉNEK CÉLJA

A szíjak keresztirányú rezgései negatív hatással lehetnek a hajtásra, ezért ezen lengések vizsgálata kifejezetten fontos, hogy elkerülésüket tervezői biztonsággal meg lehessen oldani.

A létrehozandó rendszer célja, hogy előidézett transzverzális lengéseket az idő függvényében rögzíteni lehessen, majd a kirezgési görbék vizsgálhatóvá váljanak. Ezek a görbék szolgálják majd a későbbi vizsgálatok tárgyát, amely a posztprocesszálás folyamatához tartozik. A szíjvizsgáló berendezésnél a befogott szíj egy egyszabadságfokú, nemlineáris rendszerként kezelhető, azonban a mérnöki gyakorlatban szokásos eljárás, hogy a lengések kis környezetében linearizálunk.



1. ábra 1 szabadságfokú rezgőrendszer és paramétere

Egy szabadrezgést végző lineáris rendszer (lásd: 1. ábra) mozgásegyenlete:

$$m\ddot{y} + r\dot{y} + ky = 0, \quad (1)$$

ahol m jelöli a lengő tömeget, r a csillapítási tényezőt, míg k a merevséget. Ezen differenciálegyenlet analitikus megoldása, valamint a logaritmusos dekrementum használata szükséges a periódusonkénti csillapítások és merevségek meghatározására. Fő cél, hogy előálljanak a merevség és csillapítás értékek az amplitúdók, sebességamplitúdók függvényében, ezek később nélkülözhetetlenek lesznek a dinamikai vizsgálatokhoz, amelynek részleteivel egy későbbi cikk fog foglalkozni.

A teszrendszer létrehozásával különböző hosszúságú és szélességű szíjakak foghatók be, azok előfeszítettsége állítható, valamint egy kitérítő tömeg alkalmazásával keresztirányban a kezdeti feltételhez tartozó gerjesztés beállítható.

Az előzetes tervezési követelmények összegzése:

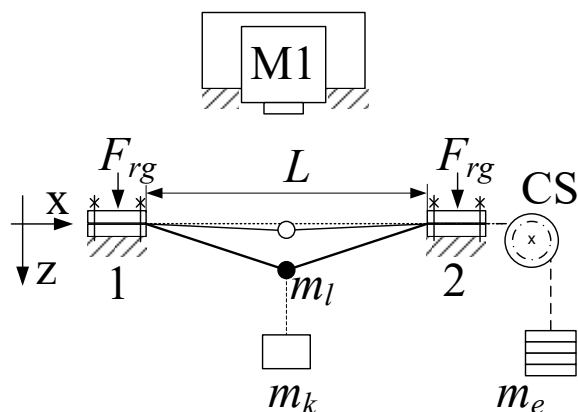
- Különböző geometriájú szíjakak befogásának, rögzítésének biztosítása.
- A vizsgálandó szíjhossz tetszőlegesen beállítható legyen, maximum 1 m-es szíjág legyen vizsgálható.
- A kitérítő tömeg változtatható legyen.
- Az előfeszítés nagysága állítható legyen ≤ 500 N.
- A szíjon elhelyezett lengő tömeg nagysága megválasztható legyen (≤ 300 g), valamint központosan rögzüljön, hogy nem kívánatos csavaró lengések ne keletkezessenek.
- Érintésmentes mérési elv biztosítása.

3. MEGOLDÁSVÁLTOZATOK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

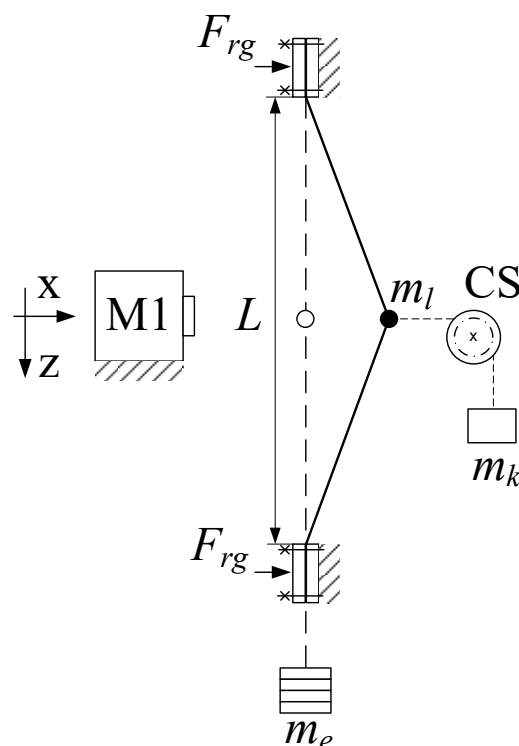
A mérőpad elrendezése alapvetően kétféle lehet, ezek a vízszintes és függőleges elrendezések. A már megfeszített szíjág kitérítésére többféle módszer lehetséges, ezek pl. a mechanikusan-, vákuumosan-, hidraulikusan- vagy egyszerűen súlyterheléssel megoldva.

A legkézenfekvőbb megoldás az utóbbi választása, mivel kivitelezése egyszerű, könnyen biztosítható a kitérítés reprodukálása.

A mérőrendszer oldaláról szükség lesz egy lézeres egységre, amellyel megfelelő pontossággal mérhetővé válnak a szíjlengések. Erre ad lehetőséget az intézetben található Micro-epsilon ILD2220-200 lézeres háromszögelés alapján működő berendezés. Ennek a mérési intervalluma maximum 200 mm. A várható elmozdulás amplitúdó maximum 100 mm lesz. Mérés-adatgyűjtőnek a LabJack T7 egységet kívánjuk majd felhasználni, amely a mért értékeket egy személyi számítógépre küldi postprocesszáls céljából. A mintavételi frekvencia a tervek szerint nagyobb lesz, mint 1 kHz.



2. ábra: A vízszintes elrendezés koncepciója



3. ábra: A függőleges elrendezés elvi vázlata

A 2. ábra szemlélteti a horizontális változatát a mérőrendszernek. A vizsgálandó szíjág 1 jelű végét kell először befogatni csavarok segítségével F_{rg} rögzítőerővel. Ezután a CS jelű csigán átvette a szabad szíjvéget a kívánt m_e előfeszítő tömeg ráhelyezhető, majd a 2 jelű pontban a másik vég ugyancsak rögzítendő. Az adódó, L geometriai hosszal rendelkező szíjra helyezhető az m_l lengő tömeg, amelynek értéke nagyságrendileg a szíjszakasz tömegével mérhető össze. Ekkor megfigyelhető, hogy a pontvonalal jelzett vízszintes egyensúlyi helyzethez képest lentebb lesz a lengő tömeggel terhelt szíjszakasz. A keresztirányú lengések előidézéséhez az m_k kitérítő tömeg szolgál, amelyet fonott zsinórral kell majd központosan rögzíteni a lengő tömeghez. A mérés kezdetén ezt a kitérítő tömeget kell levágni a szíjszakasról.

A vízszintes konstrukciónak hátránya, hogy a lengő tömeggel megnövelt szíjág egyensúlyi helyzete nem a vízszintes, azaz ez lényegében egy plusz előfeszítést visz be a rendszerbe, továbbá e pont körül fog rezegni a rendszer. Ennek a hátránya, hogy ha ugyanazon előfeszítés mellett különböző lengő tömegekkel szeretnénk méréseket végezni, majd pedig a kiértékelés során merevségeket számolni, akkor kis lengéseknél nem egy értékhez konvergálnának a mérések.

A felmerülő probléma megoldására született meg a 3. ábrán látható koncepcióváltozat, amelynél az egyensúlyi helyzete a lengő tömegnek a két lefogatási pont közötti függőleges szakaszon lesz, nem visz be plusz előfeszítő erőt. Azonban a lengő tömeg hatására a felső szakasz kis mértékben jobban megfeszített, mint az alsó. Ennél a változatnál is a kitérítő tömeget a mérés előtt szükséges levágni, amely a CS jelű csigán van átvetve. Mindkét esetben biztosított az érintésmentes elmozdulás mérés az M1 jelű lézeres távolságmérővel.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A szíjakkal kapcsolatos irodalomkutatás rávilágított arra, hogy napjainkban is van relevanciája azok lengéseinek, viselkedésének kutatására. A jövőben ígérkező kutatómunka első állomása egy szíjvizsgáló berendezés megtervezése, amely alkalmas lesz a transzverzális lengések mérésére, majd a mérési adatokból posztprocesszálást lehet végrehajtani, hogy pl. a levegő csillapításának hatása vizsgálható legyen.

5. IRODALOM

- [1] R. G. Budynas and J. K. Nisbett, Shigley's Mechanical Engineering Design, McGraw-Hill Education, 2015.
- [2] R. Perneder, I. Osborne, Handbook Timing Belts: Principles, Calculations, Applications. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.
- [3] H. Zhu, W.D. Zhu, W. Fan, "Dynamic modeling, simulation and experiment of power transmission belt drives: A systematic review," Journal of Sound and Vibration, Vol. 491, 2021.
- [4] D.H. Ashworth, "Belt Drives" In: Bell, P.C. (eds) Mechanical Power Transmission. Mechanical Engineering Series, Palgrave Macmillan, London, 1971.
- [5] A. Singh, Fundamentals of Machine Design Vol. 2, Cambridge University Press, 2017.
- [6] I. Boldea, S. A. Nasar, Electric Drives, CRC Press, 2016.
- [7] D. R. Martins., R. Pederiva, "Dynamic Analysis of a Serpentine Belt Drive with Automatic Tensioner," 22nd International Congress of Mech. Eng., Brazil, 2013.
- [8] P. Bortnowski et al., "Models of Transverse Vibration in Conveyor Belt—Investigation and Analysis," Energies, 2021.
- [9] P. Bortnowski et al., "Identification of conveyor belt tension with the use of its transverse vibration frequencies," Measurement, Vol. 190, 2022.
- [10] G. Suweken and W. T. van Horssen, "On the transversal vibrations of a conveyor belt with a low and time-varying velocity. Part I: the string-like case," Journal of Sound and Vibration, vol. 264, pp. 117–133, 2003.
- [11] G. Suweken and W. T. van Horssen, "On the transversal vibrations of a conveyor belt with a low and time-varying velocity. Part II: the beam-like case," Journal of Sound and Vibration, vol. 267, pp. 1007–1027, 2003.
- [12] W.-B. Shangguan et al., "A calculation method for natural frequencies and transverse vibration of a belt span in accessory drive systems," Proceedings of the Institution of Mech. Eng., Part C: J. of Mech. Eng. Sci., vol. 227, no. 10, pp. 2268–2279, 2013, <https://doi.org/10.1177/0954406212474152>
- [13] E. W. Chen, H. H. Lin, and N. Ferguson, "Experimental investigation of the transverse nonlinear vibration of an axially travelling belt," Journal of Vibroengineering, Vol. 18, No. 8, pp. 4885–4900, Dec. 2016, <https://doi.org/10.21595/jve.2016.17341>
- [14] P. Bortnowski, R. Król, and M. Ozdoba, "Modelling of transverse vibration of conveyor belt in aspect of the trough angle," Scientific Reports, vol. 13, 2023, doi: 10.1038/s41598-023-46534-w.
- [15] Š. Pravda et al., "Vibration analysis of a V-belt drive in variable conditions of pulleys misalignment," MM Science Journal, vol. 2023, pp. 6289–6293, 2023, https://doi.org/10.17973/MMSJ.2023_03_2022098.
- [16] V. U. Kumaran, L. Weiss, M. Zogg, and K. Wegener, "Analytical flat belt drive model considering bilinear elastic behaviour with residual strains," Mechanism and Machine Theory, vol. 190, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2023.105466>.

ZAJONGUNK

WE MAKE NOISE

Dr. Dömötör Csaba*, Tóbis Zsolt**

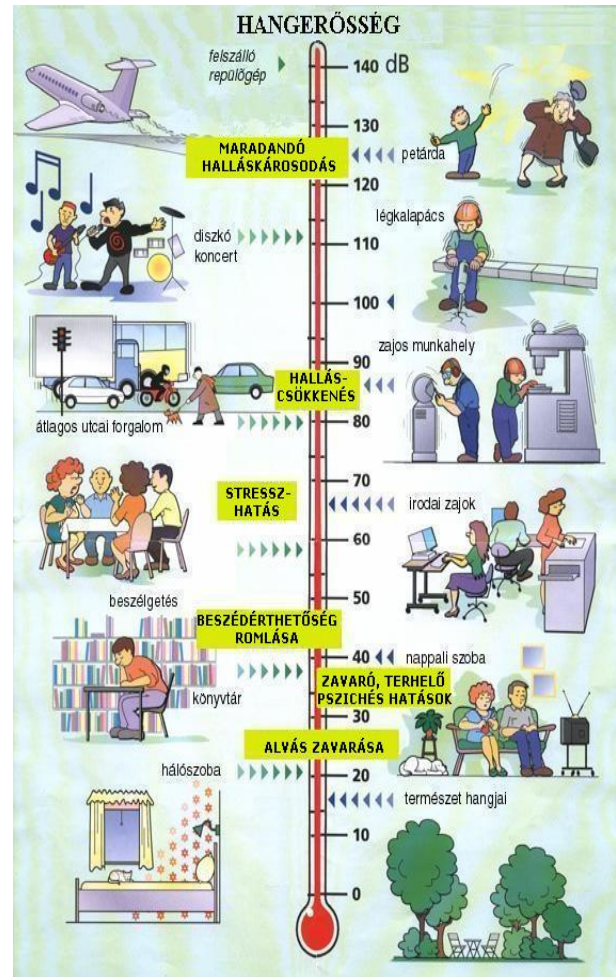
ABSTRACT

Sound surrounds us every day, whether we are in buildings or in nature, in the countryside or in the city. What is “sound” and what is “noise”? This article introduces the complex and fascinating world of sounds, the problem of noise pollution. Recognizing the sources and effects of noise pollution is the first step towards a more environmentally conscious existence.

1. BEVEZETÉS

A zaj fogalma sokat változott az ókor óta. Régen a természet hangjai vették körül az embert: az idegesítő szúnyogzűmmögés, a legyek zsongása, kutyaugatás kakaskukorékolás és a madarak reggeli ricsaja. Mára viszont mindezt elnyomta a gépek és a forgalom zaja. Ez a folyamatos zűrzavar már nemcsak zavaró, hanem az életünk része lett, ami sajnos az egészségünkre és a természetre is rossz hatással van. A zaj megfélemezhetetlen, egyre nehezebb távartani magunkat tőle. Áthatol ajtókon, ablakon, falakon, szennyezi környezetünket. A zajvédelem a modern társadalom egyik legfontosabb feladata. Zajnak alapvetően azokat a hangokat hívjuk, amelyek valamely okból nemkívánatosak: túl hangosak, vagy mert egyszerűen idegesítőek, nem hagynak minket pihenni vagy koncentrálni.

Ebből adódik, hogy zajszennyezésről akkor beszélünk, ha a környezetünkben az emberi tevékenység miatt olyan hangok jelennek meg, amik már zavarják vagy károsítják az embereket és az állatokat (1. ábra). Szubjektív, hogy mi számít bosszantónak. A saját kutyánk ugatása vagy a kedvenc dalunk – legyen bármilyen hangos is – nem zaj a fülünknek. Ezzel szemben egy vibráló fénycső zűmmögése vagy a szomszéd centrifugája akkor is zajnak minősül, ha amúgy halk.



1. ábra Környezetünk jellemző zajszintjei és zavaró hatásuk [1]

Ahhoz viszont, hogy szabályozni tudjuk a zajkibocsátást, és hatékony védelmi módszereket fejlesszünk ki, muszáj valahogy számszerűsíteniünk ezeket a hatásokat. Olyan fizikai mértékegységekre van szükség, amikkel objektíven leírható a zajterhelés, és amik jól használhatók az egészségügyi vagy lélektani kutatásokban is. Fontos ismernünk a zajforrások típusait és azt is, hogyan terjed a hang. Mivel a hang, hullámként viselkedik, a terjedését a fizika törvényszerűségeivel írhatjuk le (visszaverődés, elnyelődés vagy átvezetődés). Hangot általában a levegő közvetíti felénk, még az olyan tényezőkkel is számolnunk kell, mint a szél iránya és ereje.

* egyetemi docens; Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet
 ** mesteroktató; Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

2. AKUSZTIKAI FOGALOMMEGHATÁROZÁSOK. [2]

- ZAJ: Olyan hang, amely nem kívánatosnak, zavarónak, kellemetlennek vagy károsnak minősül.
- NESZ: A környezet szokásos zajszintjét el nem érő zaj.
- LÁRMA: A környezet szokásos zajszintjét meghaladó zaj.
- ÁLLANDÓ ZAJ: Olyan zaj, amelynek A-hangnyomás szintje meghatározott helyen, az idő függvényében legfeljebb 5 dB-lel ingadozik.
- VÁLTOZÓ ZAJ: Olyan zaj, amelynek A-hangnyomás szintje meghatározott helyen, az idő függvényében 5 dB-nél nagyobb mértékben ingadozik.
- ZAJVÉDELEM: A zajnak, a határérték alá szorítására, ill. a zajártalom megszüntetésére vonatkozó intézkedések összessége zajszabályozás, zajvizsgálat, zajscsökkentés és/vagy hallásvédelem segítségével

A hang és a zaj azonos természetű fizikai esemény, de jelentősen eltérnek abban, ahogyan érzékelik és használják őket [3].

A hang hordozhat információt.:



2. ábra Információ befogadása [3]

...vagy zajként zavarhat.:



3. ábra Zajártalom érzékelése [3]

3. ZAJ HATÁSA A KÖRNYEZETRE [4]

Zajként érzékeljük azokat a hanghullámokat, amelyek zavaróan, terhelően és kellemetlenül hatnak, és az egészséget károsan befolyásolhatják. A zaj hatása az emberekre kellemetlen, terhelő érzésben és a hallás objektíven kimutatható csökkenésében mutatkozik meg.

A zaj hatása a következő tényezőktől függ:

- a hangnyomástól;
- a frekvenciától;
- a hatás időtartamától;
- valamint a zajhullám időbeni lefutásától.

A nyomáshullámot az emberi fül alakítja idegi impulzusokká, ebből keletkezik az agyban a hangérzet. Az átalakítás hangintenzitás- és frekvenciafüggő.

4. RÉGEN MINDEN HALKABB VOLT?

A nosztalgia gyakran megszépíti a múltat – a múlt hangjai már nem hallhatók! A hang/zaj rögzítése a 1900 évek előtt szinte lehetetlen volt [5]. 1877-ben Edison fonográfjával és a „...Mary had a little lamb...” című és kezdetű dallal indult a hangrögzítés időszámításának kezdete. Ezután is ritkán végeztek összehasonlító méréseket, mivel nem volt egységes szabályzat a zajnormákra, emiatt csak közelítőleg lehet megmondani, hogy milyen hangos volt a világ.

Az első feljegyzett zajszennyezés forrása az ókori Rómához köthető [6]. Ekkoriban a város zibongása, lüktető élete mellett a vasalt kerekű szekerek dübörgése a macskaköves utakon szinte elviselhetetlen zajjal járt. A nappali torlódások mellett a teherforgalom az éjszakai időben zajlott, ami viszont zavarta a pihenést. Iulius Caesar idején már elég nagyra nőtt a város, ezért a járművek közlekedését korlátozni kellett. Egy évvel a halála előtt, Kr. e. 45-ben kezdeményezte a Lex Iulia Municipalis néven is ismert törvényt. Ez a jogszabály megtiltotta, hogy a Vesta-szüzekén kívül bárki más állati erővel hajtott fogattal járjon nappal Róma falain belül.

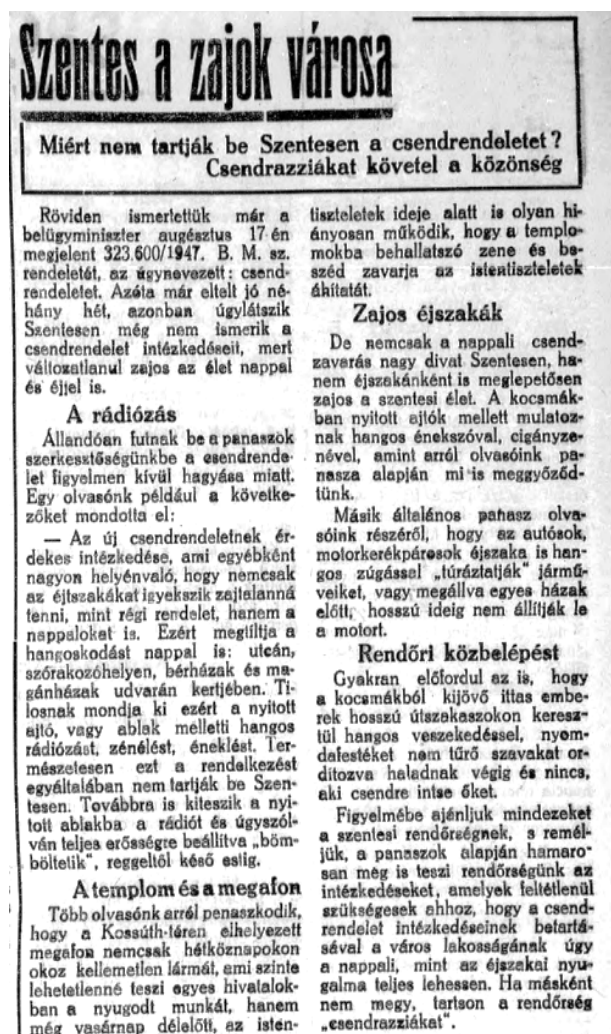
A múlt nem volt feltétlenül halkabb, csak más típusú zajok uralták. Ha a gépjárműveket hasonlítjuk össze (Régi típusú autók, Modern belső égésű autók és Elektromos autók) zajjellemzőjük is más.

Egy modern gépjármű ma már átlagosan 90%-kal kevesebb zajt bocsát ki, mint egy 1970-es évekből elődje [10]. Ez a fejlődés nemcsak az utastéri kényelmet szolgálja, hanem a környezeti zajszennyezést is jelentősen csökkenti.

1. táblázat Összehasonlítás:
Régi, Modern és Elektromos autók zaja [10]

| | Régi | Modern | Elektromos |
|---------------------------|--|----------------------|---|
| domináns zajforrás | Motor, kipufogó | motor, szél, gumi | gördülési, szél |
| zajszint városban | Magas (60–75 dB) | Alacsony (50–60 dB) | Minimális (AVAS rendszerrel bővítve) |
| zajszint pályán | Nagyon magas (80+ dB) | Mérsékelt (65–70 dB) | Alacsony, de a szélzaj feltűnőbb |
| gyalogosvédelem | A motorhang természetes figyelmeztetés | Halk, de hallható | Mesterséges hanggenerátor (AVAS) kötelező |

Miért is volt valójában zajosabb a múlt? Régen az ipari zaj a lakóövezetben keletkezett. A középkorban és az újkorban a kovácsműhelyek, fűrésztelepek és takácsok gyakran a lakóházak mellett vagy alatt dolgoztak. A kalapálás és fűrészelés zaja egész nap jelen volt. Mai világban ipari zajok jellemzően ipari parkokban keletkeznek.

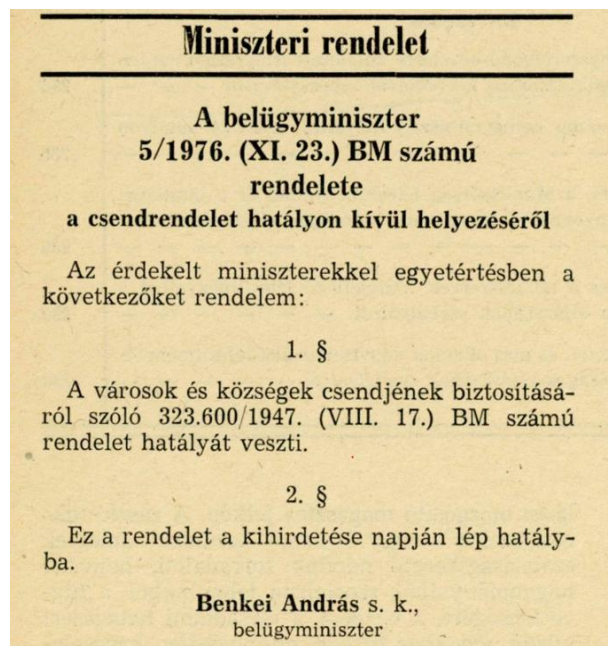


4. ábra Szentes a zajok városa [8]

A mai világban a forgalom folyamatos csikorgását halljuk a modern aszfalton gumikerekeken át, addig a középkorban a vasalt fakerekek folyamatos csörömpölését hallhattuk a macskakövön, nem is beszélve a szállított tárgyak zörgéséről. A kerekek zaja mellett hallatszott a lovak patkóinak kopogása is. Háttérzaj is jellemzően más volt: az utcai árusok kiabálása, a templomi harangok (amik az időt és a híreket jelezték) és az állatok (lovak, disznók, szárnyasok) állandó hangja alkotta a mindennapi háttérzajt.

Az első csendrendelet Magyarországon 1947. 07.17-én született, a modern szabályozás őseinek a 323.600/1947. (VIII. 17.) BM rendelet tekinthető [7]. Ez a rendelet kimondta, hogy lakott területen, nyilvános helyeken és bérházakban tilos minden olyan „nyugalomra zavarólag ható” zajt okozni, amely kellő gondossággal elkerülhető lett volna. Pár nappal a rendelet megjelenése után a (1947.09.23.) a Szentes újság cikket közöl a rendelet be nem tartásával kapcsolatban [8]

Ez a rendelet hatályát veszíti Benkei András belügyminiszter rendelete alapján 1976.09.23-ban. [9]



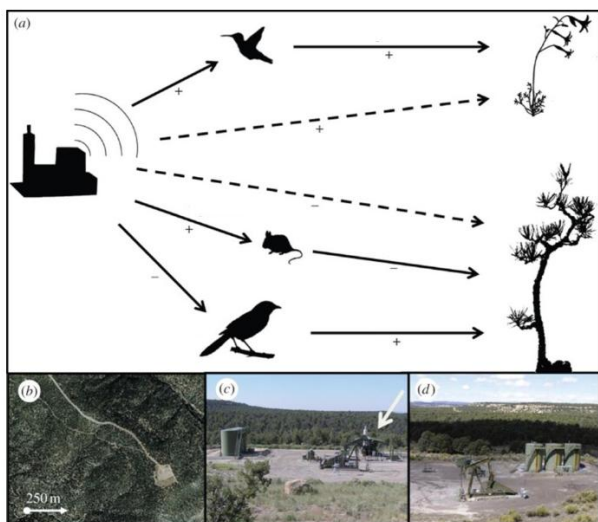
5. ábra 5/1976. (XI.23) BM számú rendelet [9]

5. VÁROSI ZAJ HATÁSAI [11]

Az ember okozta zaj, mely a környezetszennyezés egyik formája, nemcsak saját magára az emberre fejti ki káros hatását, hanem közvetlen környezetére, az állat- és növényvilágra is. A Durham-i NESCent intézet kutatója, Clinton Francis által vezetett csoport azt vizsgálta, hogy a zaj hogyan hat a növényvilágra. Arra az eredményre jutottak, hogy az autópályák mentén lévő erdőkben, az erdők fejlődésében szerepet játszó állatokra más-más hatással van a forgalom által kibocsájtott zaj. Kimutatták, hogy bizonyos állatokat,

mint például a kolibrit nem zavarja a forgalom zaja, viszont megállapították, hogy a forgalmas út mellett a fenyők „kihalófélben” vannak. Ennek az oka, hogy a fenyő magvak terjedéséért „felelős” szajkót kifejezetten zavarja az autók zúgása, ezért az ilyen területeket elkerüli. De nem csak a forgalmas utakat kerülik el ezek az állatok, hanem minden olyan területet, ami az emberi tevékenység(ek)nek köszönhetően megváltoztatta az adott terület ökológiáját. Sok állatfajnak okoz problémát a hangszennyeződés, akadályozza a szaporodásukat, megzavarja az egyedek életmódját.

Ugyanez a kutatócsoport vizsgálta az új-mexikói Csörgőkígyó kanyonban lévő gáztermelő hely környékét, hogy a zajszennyezés milyen hatást fejt ki a természetre (6. ábra). Megfigyelték az állatok viselkedését a zajban (ahol a szivattyúk és kompresszorok 90dB-es hangnyomás szinttel működnek) és a gépektől távol a csendben, az így kapott adatokat összehasonlították. A kapott eredmény megegyezett az előző kutatás eredményeivel. A 6. ábrán folytonos vonalak a közvetlen míg a szaggatott vonalak a közvetett hatásokat mutatják. A jelek a hatás irányára utalnak és az egyes hatásokat a nyilak alatt elhelyezett jelölések jelzik. A 6. ábra b), c), d) képein látható az emberi cselekvés által, az állatokat zavaró ingerek hatásától a terület közeléből teljesen eltűnő fenyők helye. Ezen megfigyelésekből és kutatásokból megállapítható, hogy a zaj hosszútávon drámai hatással lehet az ökoszisztéma szerkezetére és sokféleségére.



6. ábra Városi zaj hatása

A kutatók megfigyelték a „városi” és a „falusi” madarak kommunikációja közötti eltérést is. A kutatások során megállapították, hogy a városokban élő madarak máshogy énekelnek, mint a falun élő társaik. Ez azzal magyarázható, hogy az emberi tevékenységekből eredő zajokat, (közlekedési, építkezési hangokat) próbálják túlharsogni. A hangerejük és a hangkibocsátásuk frekvenciájának növelésével, élesebb hangot adnak ki. A durhami

NESCent intézet kutatásától függetlenül Nagy-Britanniában a városi zaj a házi veréb populációjára gyakorolt hatását vizsgálták. A Sheffield Egyetem tudósai a PLoS ONE internetes folyóiratban tették közzé eredményeiket. A városban vagy zajosabb helyen élő és ott fészkelőtojók ritkábban etették fiókáikat, mint a csendes erdőben élő társaik, így előbbieket alultápláltak voltak és rosszabb volt a túlélési esélyük. A kutatók véleménye szerint a zajszennyezés miatt nem észlelik az anyák a fiókáik éhségjelzéseit, romlik a közöttük lévő kommunikáció.

6. ÖSZEFOGLALÁS

A mindennapjainkban körülvevő hangok és zajok komoly hatással vannak ránk és a természetes környezetünkre is. Befolyásolják a komfortérzetünket, de hatnak az élőlények viselkedésére, szaporodására vagy épp kommunikációjára is. A zajszennyezés forrásainak és hatásainak felismerése pedig az első lépés az ember környezettudatosabb létezéséhez.

7. IRODALOM

- [1] <https://xn--krnyezetvdelem-jkb3r.hu/zaj-elleni-vedelem-alapveto-ismeretek>
- [2] MSZ 184/7-83 Kormányrendelet: Akusztikai fogalom meghatározások. Zaj.
- [3] <https://vubp.cz/soubory/produkty/publikace-ke-stazeni/nebezpecny-hluk.pdf>
- [4] Speiser Ferenc Péter A városi környezet monitoring rendszer fejlesztése Doktori (PhD) értekezés Vegyészmérnöki – és Anyagtudományok Doktori Iskola Pannon Egyetem 2014 <https://doi.org/10.18136/PE2016.605>
- [5] Tóbis, Zsolt A hangrögzítés kezdetei Géptervezők és Termékfejlesztők XX. Országos Szemináriuma (2004) pp. 1-21. 21 p.
- [6] https://pubs.aip.org/asa/jasa/article/115/5_Supplement/2591/538310/Noise-and-soundscape-in-Rome
- [7] https://jogkodex.hu/jsz/1947_323600_bm_rendelet_4456634
- [8] https://epa.oszk.hu/05200/05277/00337/pdf/EPA05277_szentesi_ujsag_1947_214.pdf
- [9] https://www.abparancsok.hu/sites/default/files/parancsok/10-27-11_1976.pdf
- [10] <https://www.acea.auto/fact/noise-reduction/>
- [11] Tóbis Zsolt, Simon Krisztián: Zajos a Föld! MULTIDISZCIPLINÁRIS TUDOMÁNYOK: A MISKOLCI EGYETEM KÖZLEMÉNYE Évf. 9: 1 szám pp. 23-33. 11 p. (2019) <https://doi.org/10.35925/j.multi.2019.1.3>

TENGELY IGÉNYBEVÉTELÉNEK VIZSGÁLATA ÉS VALIDÁLÁSA VÉGESELEMES MÓDSZERREL CFD ALAPÚ TERHELÉS ESETÉN

STRENGTH ANALYSIS AND VALIDATION OF AN OVERHUNG SHAFT USING ANALYTICAL AND FINITE ELEMENT METHODS

Polgár Máté, Dr. Németh Gábor**, Prof. Dr. Csóka Levente****

ABSTRACT

This paper presents the strength analysis of an overhung shaft using analytical and finite element methods under combined bending and torsional loading conditions. The loading conditions were determined based on CFD simulations and operating data obtained from the electric motor.

Analytical calculations were used to determine the nominal stresses, while the finite element model enabled the investigation of local stress concentrations caused by geometric discontinuities. The results showed that the shaft behavior is primarily dominated by bending, whereas torsional loading acts as a secondary effect.

The validation of the numerical model was performed using measured operating torque values. At lower rotational speeds (1470 1/min), the CFD model underestimated the actual shaft loading due to the absence of mechanical losses, resulting in a relative deviation of approximately 58%. In contrast, at higher rotational speeds (2200 1/min), the relative deviation remained below 5.8%, showing good agreement between the measured and simulated reduced torque values.

The results indicate that the shaft design can be considered safe under the investigated operating conditions, and the presented methodology is suitable for the analysis and validation of similar drive systems.

1. BEVEZETÉS

A tengelyek méretezése során a hajlító és csavaró igénybevétel együttes figyelembevételére van szükség. Az analitikus módszerek gyors becslést adnak, míg a végeelemes módszer részletes eloszlást biztosít.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A tengelyek és forgó gépelemek mechanikai méretezése a gépészeti tervezés egyik alapvető területe, amely során különös figyelmet kell fordítani a hajlító- és csavaró igénybevételek együttes hatására, valamint a kifáradási jelenségekre. Budynas és Nisbett [1] részletesen

tárgyalják a tengelyek méretezésének klasszikus módszereit, különös tekintettel a kombinált terhelésekre és a geometriai átmeneteknél kialakuló feszültségkoncentrációkra. A szerzők kiemelik, hogy a vállkialakítások és átmérő-változások jelentősen befolyásolják a lokális feszültségállapotot, ezért ezek pontos vizsgálata elengedhetetlen a biztonságos méretezéshez.

A végeelemes módszer (FEM) napjainkban széles körben alkalmazott eszköz a komplex geometriai kialakítások és lokális feszültségeloszlások vizsgálatára. Gokhale és szerzőtársai [2] bemutatják a végeelemes modellezés gyakorlati alapjait, különös hangsúlyt fektetve a hálózási stratégiák és peremfeltételek helyes megválasztására. A szerzők rámutatnak, hogy a lokális feszültségmaximumok megfelelő meghatározásához finomított háló alkalmazása szükséges, különösen olyan geometriai átmeneteknél, ahol jelentős feszültségkoncentráció alakulhat ki.

Fish és Belytschko [3] a végeelemes módszer matematikai és mechanikai alapjait tárgyalják, külön figyelmet fordítva a lineáris rugalmasságtani problémák numerikus megoldására. Munkájukban hangsúlyozzák, hogy a hálómínőség és az elemtípus megválasztása jelentős hatással van a számítási eredmények pontosságára, különösen forgó gépelemek esetében, ahol a kombinált hajlító és csavaró igénybevételek együttesen jelentkeznek.

Bathe [4] részletesen ismerteti a végeelemes eljárások szerkezeti mechanikai alkalmazását, és kiemeli a megfelelő peremfeltételek szerepét a numerikus modellek stabilitásában és pontosságában. A szerző szerint a csapágyazások, befogások és külső terhelések helyes reprezentációja alapvetően meghatározza a kapott feszültségeloszlást és deformációs eredményeket.

Zienkiewicz, Taylor és Zhu [5] a végeelemes módszer elméleti alapjait és mérnöki alkalmazhatóságát tárgyalják. Munkájukban kiemelik, hogy a numerikus modellek egyik legfontosabb előnye a lokális feszültségkoncentrációk és komplex terhelési állapotok vizsgálhatósága, amelyek analitikus módszerekkel csak korlátozott pontossággal írhatók le.

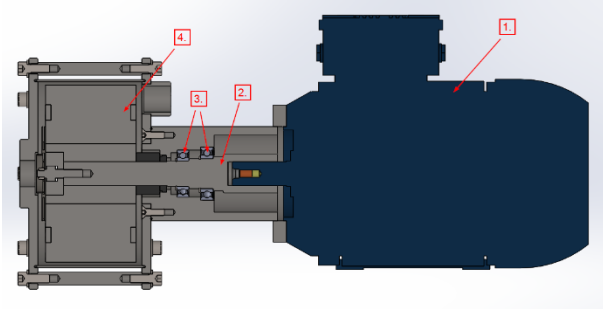
* PhD hallgató, Soproni Egyetem, Cziráki József Faanyagtudomány és Technológiák Doktori Iskola

** egyetemi docens, Soproni Egyetem, Faipari Mérnöki és Kreatívipari Kar, Alkalmazott Tudományi Intézet

***egyetemi tanár, ELTE Informatikai Kar, Savaria Műszaki Intézet

3. STATIKAI MODELL

A rendszer összeállítását az 1. ábra szemlélteti. A hajtás-lánc felépítését tekintve egy háromfázisú, 4 kW teljesítményű villanymotorból, egy tengelyből, illetve a tengely megtámasztását végző csapágyakból, valamint a kavitációs generátor reakciós teréből épül fel. A számítások során két terhelési esetet különböztetünk meg, melyek a maximális nyomaték, illetve az üzemi terhelés esete.



1. ábra. A rendszer felépítése

3.1 Maximális nyomaték esete

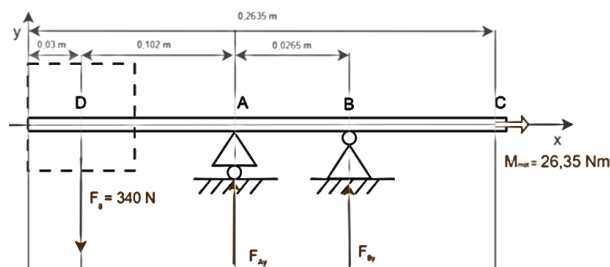
Az első eset, a motor maximális nyomatéka, mely a következők alapján számítható:

$$M_{mot} = \frac{P_{mot}}{\omega} \quad (1)$$

A motor névleges fordulatszáma 1450 1/min, így a tengely ellenőrzését erre az értékre végezzük el, amiből a szögsebesség 151.84 rad/s, így a nyomaték a következőként alakul:

$$M_{mot} \approx 26,35 \text{ [Nm]} \quad (2)$$

A tengelyt túlnyúló tartóként modellezzük, ahol a tárcsa súlyából származó erő a csapágytámaszokon kívül hat.



2. ábra. A rendszer statikai modellje

Az ábrán látható F_g a tárcsa tömegéből származtatott gravitációs erőt jelöli. A tárcsa tömege 34 [kg].

A súlyerő:

$$F_g = m \cdot g = 340 \text{ [N]} \quad (3)$$

A statikai egyensúly feltételei:

$$\sum F_y = 0 \quad (4)$$

$$F_A + F_B + F_g = 0 \quad (5)$$

A nyomatéki egyensúlyt az A pontra felírva:

$$\sum M_A = 0 \quad (6)$$

$$F_g \cdot 0.102 + F_B \cdot 0.0265 = 0 \quad (7)$$

Ebből a B csapágy reakcióereje:

$$F_{By} = \frac{F_g \cdot 0.102}{0.0265} = -1309 \text{ [N]} \quad (8)$$

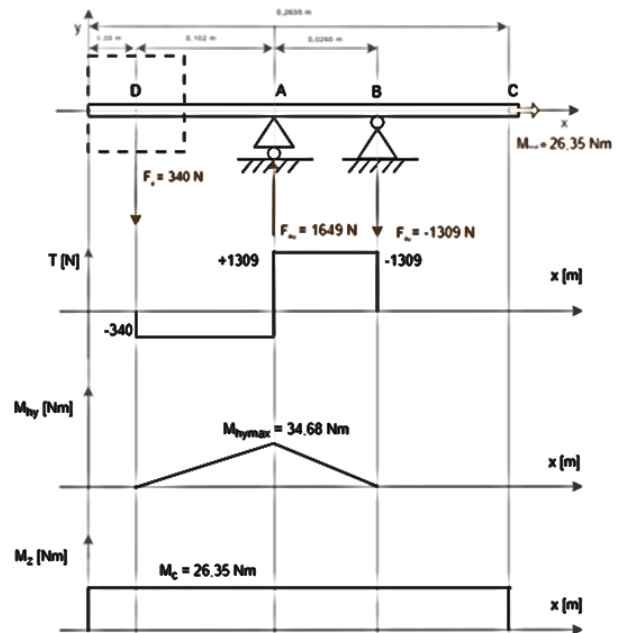
Az A csapágy reakcióereje:

$$F_{Ay} = F_g + F_{By} = 1649 \text{ [N]} \quad (9)$$

A negatív előjel azt jelenti, hogy az A csapágy reakcióereje lefelé mutat. A maximális hajlítónyomaték a csapágnál alakul ki:

$$M_{max} = F_g \cdot 0.102 = 34.68 \text{ [Nm]} \quad (10)$$

A támasztóerők, illetve a számított nyomatékok alapján az igénybevételi ábrákat a 3. ábra szemlélteti. Mivel a tengelyt ellenőrizni szeretnénk, ezért az átmérőt előre meghatároztuk, melynek értéke $d = 28$ [mm], a minimális, kritikus helyen.



3. ábra. A rúd igénybevételi ábrái

$$\sigma_h = \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \quad (11)$$

$$\sigma_h = 16.0 \text{ [MPa]} \quad (12)$$

A csavaró igénybevételt a motor által szolgáltatott nyomaték határozza meg, amely a tengely mentén állandónak tekinthető:

$$T = M_{mot} = 26.35 \text{ [Nm]} \quad (13)$$

A csavarófeszültség:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (14)$$

$$\tau = 6.13 \text{ [MPa]} \quad (15)$$

A kombinált igénybevétel értékelésére a Huber–Mises–Hencky kritériumot alkalmazzuk:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_h^2 + 3\tau^2} \quad (16)$$

$$\sigma_{eq} = 19.4 \text{ MPa} \quad (17)$$

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a hajlító igénybevétel domináns a csavaró igénybevétellel szemben, ugyanakkor a csavarás hatása már nem elhanyagolható. A maximális feszültség a csapágó közelében alakul ki, ami a kritikus keresztmetszet helyét egyértelműen meghatározza.

3.2 Üzemi állapot esete

Az üzemi állapot vizsgálata során azt a fordulatszámot vesszük figyelembe, ahol a kavitációs generátor a legnagyobb hatásfokkal [6] funkcionál. Az üzemi állapot vizsgálatokor a motor magasabb fordulatszámán működik, amely csökkenti a tengelyen ébredő nyomatékot. A számítás alapjául a $n = 2200 \text{ [1/min]}$ fordulatszámot vesszük figyelembe. Üzemi körülmények között a folyadék áramlását is figyelembe kell vennünk, mely egy fékező nyomatékként hat a tengelyre. Értékét CFD szimuláció segítségével állapítottuk meg. A tengely méretezése során a motor névleges, 4 kW teljesítményéből származtatott maximális nyomaték került figyelembevételre. Ez a megközelítés konzervatív, mivel biztosítja, hogy a szerkezet a lehetséges legnagyobb terhelés mellett is biztonságosan üzemeljen. Bár az üzemi körülmények között mért nyomaték ennél alacsonyabb, a méretezésnél a maximálisan fellépő igénybevételt kell alapul venni a megfelelő biztonság érdekében:

A szögsebesség:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (18)$$

$$\omega = 230.38 \text{ [rad/s]} \quad (19)$$

A motor nyomatéka:

$$M_{motu} = \frac{P}{\omega} \quad (20)$$

$$M_{motu} = 17.36 \text{ [Nm]} \quad (21)$$

A tengelyen ébredő eredő csavarónyomaték a terhelő nyomaték figyelembevételével számolandó:

$$T = M_{motu} - M_t = 17.36 - 8.6 = 8.76 \text{ [Nm]} \quad (22)$$

A hajlító igénybevétel az üzemi állapotban nem változik, így a maximális hajlítónyomaték:

$$M_{max} = 34.68 \text{ [Nm]} \quad (23)$$

A hajlítófeszültség:

$$\sigma_h = \frac{32M_{max}}{\pi d^3} \quad (24)$$

$$\sigma_h = 16.0 \text{ [MPa]} \quad (25)$$

A csavarófeszültség:

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (26)$$

$$\tau = 2.04 \text{ [MPa]} \quad (27)$$

A kombinált igénybevétel meghatározása a Huber–Mises–Hencky kritérium alapján:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_h^2 + 3\tau^2} \quad (28)$$

$$\sigma_{eq} = 16.4 \text{ [MPa]} \quad (29)$$

Megállapítható, hogy az üzemi állapotban a csavaró igénybevétel csökken a nagyobb fordulatszám következtében, így az egyenértékű feszültség kisebb a maximális nyomaték esetéhez képest. A hajlító igénybevétel továbbra is domináns.

4. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK

Az eredményeket statikai szimuláció alkalmazásával ellenőriztük, az alkalmazandó szoftver a Solidworks Simulation, ahol a hajtó tengely végleges kialakítása lett szimulálva, mind a két terhelési esetben.

4.1 Peremfeltételek

A végeses elemes modellben alkalmazott peremfeltételek meghatározásánál a tengely valós csapágózási viszonyait közelítettük. A két csapágópozíción radiális irányú megtámasztást alkalmaztunk, amely megakadályozza a tengely keresztirányú elmozdulását, ugyanakkor lehetővé teszi a forgást. Az axiális irányú kinematikai túlháztározottság elkerülése érdekében az egyik csapágónál az

axiális elmozdulást szabadon hagytuk, míg a másik csapágynál azt korlátoztuk.

A numerikus stabilitás biztosítása érdekében az egyik megtámasztási helyen a tengely elfordulását is korlátoztuk, ami megakadályozza a merevtest-szerű elmozdulásokat. A terhelések definiálásakor a súlyerőt gravitációs gyorsulásként vettük figyelembe, míg a hajlító igénybevételt eloszló terheléssel modelleztük. A csavaró igénybevételt a tengely végén alkalmazott nyomatékkal adtuk meg, amelyet a vizsgált eseteknek megfelelően redukált értéként vettünk figyelembe.

Az alkalmazott peremfeltételek lehetővé teszik a valós üzemi viszonyok megfelelő közelítését, miközben biztosítják a modell numerikus stabilitását és a túlzott merevítés elkerülését.

4.2 Hálózás

A végeelemes modell felépítése során kiemelt figyelmet fordítottunk a megfelelő hálózás kialakítására, különösen a geometriai átmenetek és feszültségkoncentrációk szempontjából kritikus területeken. A számításokhoz szilárd (solid) elemekből álló, standard hálózási eljárással generált modellt alkalmaztunk.

A globális elem méretét 1 mm értéken határoztuk meg, amely megfelelő kompromisszumot biztosít a számítási idő és a pontosság között. A vállkialakítások és rádiuszok környezetében a háló sűrítésével biztosítottuk a lokális feszültségeloszlás pontos leképezését.

A végleges háló főbb jellemzői az alábbiak:

- elemszám: 882 090 db,
- csomópontok száma: 124 361

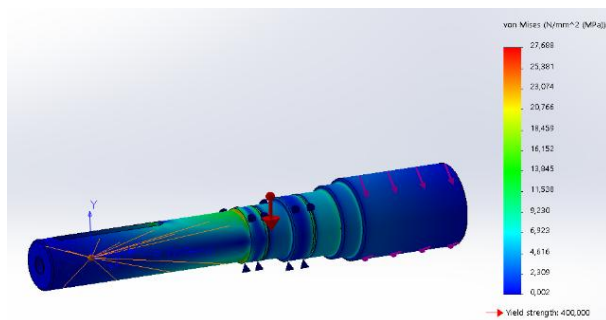
A háló minőségi mutatói alapján a modell numerikusan stabilnak tekinthető, és alkalmas a lokális feszültségcsúcsok megbízható meghatározására.

4.3 Az ébredő feszültségek értékelése

A végeelemes analízis eredményeként a tengelyen kialakuló feszültségeloszlást a redukált (von Mises) feszültség alapján értékeltük. A vizsgálat során két terhelési esetet különítettünk el: a maximális nyomatékhoz tartozó állapotot, valamint az üzemi állapotot.

A maximális nyomaték esetén a végeelemes modellben meghatározott legnagyobb redukált feszültség:

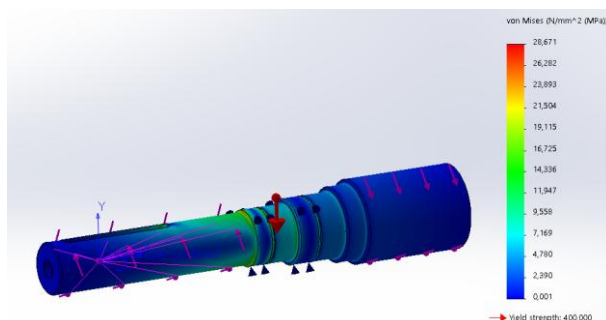
$$\sigma_{eq,max}=27.69 [MPa] \quad (30)$$



4. ábra. A feszültségeloszlás a maximális nyomaték esetén

Az üzemi állapotban:

$$\sigma_{eq,uzemi}=28.67 [MPa] \quad (31)$$



5. ábra. A feszültségeloszlás az üzemi állapot esetén

A feszültségeloszlás alapján megállapítható, hogy a maximális igénybevétel mindkét esetben a legkisebb átmérőjű szakaszt követő vállkialakításnál alakul ki. Ez a geometriai átmenet jelentős feszültségkoncentráció okoz, amely a redukált feszültség lokális növekedéséhez vezet.

Az analitikus számítás során meghatározott egyenértékű feszültségek a névleges keresztmetszetben:

$$\sigma_{eq,anal} \approx 19.4 [MPa] \quad (32)$$

Az átlagos feszültségek összehasonlítása:

$$\sigma_{avg,max}=22.35 [MPa] \quad (33)$$

$$\sigma_{avg,uzemi}=23.01 [MPa] \quad (34)$$

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a két terhelési eset között a feszültségek nagyságrendje közel azonos, annak ellenére, hogy a csavarónyomaték különbözik. Az eredmények, illetve a szimuláció helyességének vizsgálatára különböző, eltérő terheléseket vizsgáltunk meg, egyrészt a hajlítófeszültség nélkül (csak a csavarónyomatékokat megadva), továbbá a hajlítófeszültség figyelembevételével. Ezt a 1. táblázat foglalja össze:

1. táblázat.

A terhelési esetek eredményeinek összefoglalása

| Terhelés eset | Szimuláció során ébredő maximális, lokális feszültség [MPa] |
|---|---|
| Motor nyomaték | 16,831 |
| Üzemi nyomaték - CFD terhelés | 10,623 |
| Motor nyomaték + Tárca tömeg (hajlítónyomaték) | 27,688 |
| Üzemi állapot + Tárca tömeg (hajlítónyomaték) | 28,671 |
| Üzemi állapot (üzemi nyomatékkal meg egyező irányú CFD csavarónyomaték) + Tárca tömeg | 28,631 |

A végeelemes és az analitikus eredmények közötti különbség elsősorban abból adódik, hogy az analitikus modell nem veszi figyelembe a geometriai feszültségkoncentrációkat. A végeelemes modell ezzel szemben képes a lokális feszültségcsúcsok meghatározására, különösen a vállkialakítások és rádiuszok környezetében.

A hajlítófeszültség nélküli, tisztán csavarónyomatékokat feltételező szimulációk az analitikus számításokhoz hasonló tendenciát mutatnak, azaz a nagyobb csavarónyomaték, nagyobb ébredő feszültséget eredményez. Ezáltal a peremfeltételek és a hálózás finomsága megfelelőnek tekinthetőek.

A végeelemes eredmények kis mértékű eltérése (1–3%) a két eset között a feszültségeloszlás nemlineáris jellegére, valamint a befogások jellegére vezethető vissza. A tárcsa tömegéből származó hajlító igénybevétel domináns terhelési komponens, amelyhez a csavarásból származó nyírófeszültségek lokálisan hozzáadódnak. Emiatt a kisebb eredő nyomaték ellenére a geometriai átmenetek környezetében kedvezőtlenebb többtengelyű feszültségállapot alakulhat ki, amely a redukált feszültség kismértékű növekedését eredményezi.

Az ellenőrző számítások azt mutatták, hogy a CFD-ből származó csavarónyomaték irányának módosítása sem eredményezett jelentős változást a maximális redukált feszültségben. Ez arra utal, hogy a rendszer viselkedését elsődlegesen a hajlító igénybevétel határozza meg, míg a csavaróterhelés annak lokális módosító komponensként jelenik meg.

A számított maximális feszültségek jelentősen elmaradnak az alkalmazott anyag folyáshatárától ($R_e=400\text{MPa}$), így a tengely kialakítása a vizsgált terhelési esetekben biztonságosnak tekinthető.

5. KIFÁRADÁSI VIZSGÁLAT

A forgó tengelyek esetében a hajlító igénybevétel a tengely forgása miatt váltakozó jellegű feszültséget hoz létre. Egy adott felületi pont a forgás során periodikusan húzó, majd nyomó feszültségnek van kitéve, amely ciklikus terhelést eredményez. Ez a jelenség kifáradáshoz vezethet még akkor is, ha a maximális feszültség a folyáshatár alatt marad.

A végeelemes analízis alapján a kritikus keresztmetszet a vállkialakításnál található, ahol a maximális redukált feszültség $\sigma_{max} \approx 28 \text{ [MPa]}$. Mivel a hajlítás domináns, a feszültség teljesen váltakozónak tekinthető, így:

$$\sigma_{min} \approx -\sigma_{max} \quad (35)$$

A váltakozó és közép feszültség:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \approx 28 \text{ [MPa]} \quad (36)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \approx 0 \quad (37)$$

A kifáradási ellenőrzést Goodman-diagram [7] segítségével végeztük, amely a váltakozó és közép feszültség együttes hatását lineáris közelítéssel veszi figyelembe:

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_D} + \frac{\sigma_m}{R_m} \leq 1 \quad (38)$$

ahol σ_D a kifáradási határ, míg R_m a szakítószilárdság. Megjegyzendő, hogy a kifáradási viselkedés pontosabb leírására alkalmazható a Smith- (Haigh-) diagram is, amely a közép feszültség hatását nemlineáris módon veszi figyelembe. Jelen esetben azonban a közép feszültség közel zérus ($\sigma_m \approx 0$), mivel a forgó tengely hajlító igénybevétele teljesen váltakozó terhelést eredményez. Emiatt a Smith-diagram alkalmazása nem eredményez lényeges eltérést, így a Goodman-kritérium elegendő pontosságú és megfelelően konzervatív megoldást biztosít.

Az 1.4301 anyagra a szakítószilárdság $R_m \approx 600 \text{ [MPa]}$, míg a kifáradási határ konzervatív közelítéssel $\sigma_D \approx 180 \text{ [MPa]}$. A behelyettesítés után:

$$\frac{28}{180} = 0.156 < 1 \quad (39)$$

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a tengely kifáradás szempontjából biztonságosan üzemeltethető a vizsgált terhelési esetekben. A végeelemes modell a geometriai feszültségkoncentrációk hatását már figyelembe veszi, így további korrekció alkalmazása nem szükséges.

A Goodman-módszer alkalmazása a gépelemek kifáradási méretezésében széles körben elfogadott eljárás [7].

6. TERHELŐ NYOMATÉK VALIDÁCIÓJA

A villanymotor teljesítményét az áramfelvétel mérése alapján határoztuk meg, melynek értékét a villamos hálózathoz tartozó frekvenciaváltóról olvastuk le. Háromfázisú rendszer esetén a teljesítményt a következőképpen számítjuk, ahol a hálózati feszültség értéke 400 [V], illetve a villanymotorhoz tartozó teljesítménytényező 0,86:

$$P=U \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} \quad (40)$$

A szögsebesség a fordulatszámából számítható:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (41)$$

A tengelyen ébredő nyomaték:

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (42)$$

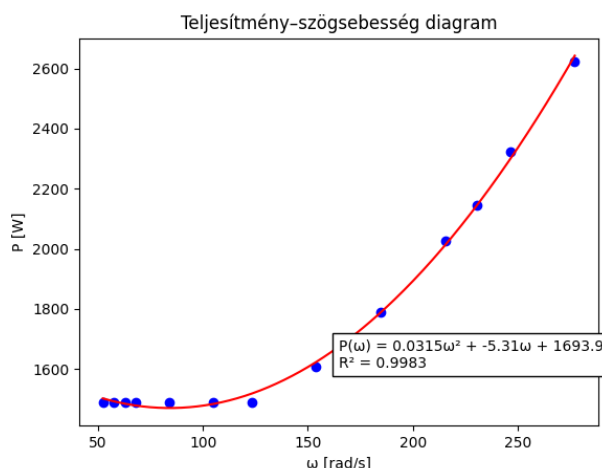
A mért és számított értékeket az 2. táblázat foglalja össze.

2. táblázat. Villanymotor üzemi paraméterei és számított mennyiségek

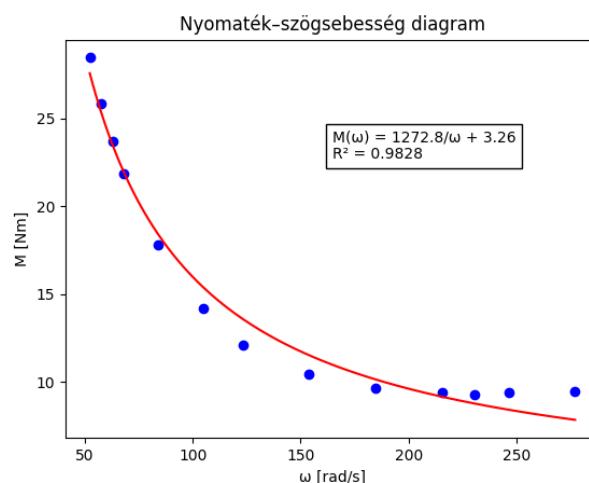
| n [1/min] | I [A] | ω [rad/s] | P [W] | M [Nm] |
|----------------|------------|---------------------|------------|-------------|
| 500 | 2.5 | 52.36 | 1489.56 | 28.45 |
| 550 | 2.5 | 57.60 | 1489.56 | 25.86 |
| 600 | 2.5 | 62.83 | 1489.56 | 23.71 |
| 650 | 2.5 | 68.07 | 1489.56 | 21.88 |
| 800 | 2.5 | 83.78 | 1489.56 | 17.78 |
| 1000 | 2.5 | 104.72 | 1489.56 | 14.22 |
| 1176 | 2.5 | 123.15 | 1489.56 | 12.10 |
| 1 | 2.7 | 153.94 | 1608.73 | 10.45 |
| 1764 | 3.0 | 184.73 | 1787.48 | 9.68 |
| 2058 | 3.4 | 215.51 | 2025.81 | 9.40 |
| 2200 | 3.6 | 230.38 | 2144.97 | 9.31 |
| 2352 | 3.9 | 246.30 | 2323.72 | 9.43 |
| 2646 | 4.4 | 277.09 | 2621.63 | 9.46 |

6.1 Teljesítmény és nyomaték karakterisztika

A mért adatok alapján felrajzoltuk a teljesítmény–szögsebesség és nyomaték–szögsebesség karakterisztikákat (6 és 7. ábra).



6. ábra. Teljesítmény–szögsebesség diagram



7. ábra. Nyomaték–szögsebesség diagram

A mért értékekre görbék illesztését végeztük el, melyet a 6. illetve a 7. ábra szemléltet. A görbeillesztések eredményei alapján megállapítható, hogy a választott függvények megfelelő pontossággal írják le a mért adatok alakulását a vizsgált tartományban. A teljesítmény esetében a másodfokú polinom képes lekövetni az alacsony szögsebességnél tapasztalható közel állandó értéket, valamint a nagyobb szögsebességekhez tartozó növekvő tendenciát.

A nyomaték–szögsebesség kapcsolat esetében az alkalmazott $\frac{a}{\omega} + b$ alakú függvény jól modellezi a csökkenő karakterisztikát, valamint a nagyobb szögsebességeknél megfigyelhető közel állandó értékhez való tartást.

Az illesztések magas determinációs együttható értékei igazolják, hogy az alkalmazott modellek alkalmasak a rendszer viselkedésének közelítésére, ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ezek empirikus jellegű összefüggések, amelyek elsősorban a vizsgált tartományban érvényesek.

Az eredmények alapján megfigyelhető, hogy alacsony fordulatszámon a teljesítmény közel állandó, míg nagyobb fordulatszám-tartományban növekvő tendencia figyelhető meg. A nyomaték ezzel ellentétes viselkedést

mutat, és a fordulatszám növekedésével csökken. A fordulatszámokhoz tartozó, mérési adatok alapján a tengelyen terhelő nyomatékokat a 2. ábra foglalja össze [6], ahol a hiba számítását a két fordulatszámra végeztük el:

$$\varepsilon_M = \frac{|M_{\text{mért}} - M_{\text{szimulált}}|}{M_{\text{mért}}} \cdot 100\% \quad (43)$$

3. táblázat. Relatív hiba összefoglalása

| | | |
|------------------------------------|---------|---------|
| Fordulatszám [rpm] | 1450 | 2200 |
| Fordulatszám [rad/s] | 151,84 | 230,38 |
| Áramfelvétel [A] | 2,7 | 3,6 |
| Teljesítmény [W] | 1608,73 | 2144,97 |
| Nyomaték a kísérleti mérésből [Nm] | 10,45 | 9,3 |
| Nyomaték a szimulációból [Nm] | 4,4 | 8,6 |
| Névleges redukált nyomaték [Nm] | 21,58 | 8,76 |
| Relative error [%] | 58 | 5,78 |

A numerikus modell validálása során a szimulációból meghatározott nyomatékértékek összehasonlításra kerültek a villanymotor valós üzemi körülmények között mért adataival. A kiértékelés során különös figyelmet kellett fordítani arra, hogy a CFD szimuláció és a mérési eredmények eltérő fizikai tartalmat hordoznak, ezért az összehasonlítás minden esetben csak azonos jelentésű mennyiségek között történt.

A CFD modell elsősorban a hidrodinamikai terhelést írja le, azaz a folyadék által a tengelyre kifejtett nyomatékot. Ezzel szemben a mért nyomaték a teljes rendszer viselkedését tükrözi, amely magában foglalja a mechanikai veszteségeket (például csapágy- és súrlódási veszteségeket) is. Ennek megfelelően a szimulációs eredmények közvetlenül nem vethetők össze a mért nyomatékkal.

A magasabb fordulatszám-tartományban (2200 1/min) a CFD-ből meghatározott terhelő nyomaték felhasználásával számított redukált nyomaték került összehasonlításra a mért értékekkel. Ebben az esetben a redukált nyomaték és a mért nyomaték azonos fizikai mennyiséget reprezentál, így az összehasonlítás közvetlenül elvégezhető. A két érték közötti relatív eltérés 5,8%, amely jó egyezést mutat, és igazolja a modell alkalmazhatóságát ebben az üzemi tartományban.

Az alacsonyabb fordulatszám (1450 1/min) esetén a CFD szimuláció által meghatározott terhelő nyomaték (4,4 Nm) jelentősen kisebb a mért nyomatéknál (10,45 Nm). Ez az eltérés abból adódik, hogy a CFD modell nem tartalmazza a mechanikai veszteségeket, így ebben a tartományban a szimuláció a tényleges tengelyterhelést

alulbecsüli. Emiatt itt a CFD és a mért értékek közötti közvetlen összehasonlítás csak korlátozottan értelmezhető. Összességében megállapítható, hogy a modell pontossága a fordulatszám növekedésével javul, és a magasabb fordulatszám-tartományban a szimuláció megfelelően írja le a rendszer viselkedését.

7. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A dolgozat során egy túlnyúló tengely igénybevitelének vizsgálata történt analitikus és végelelemes módszerek alkalmazásával, CFD alapú terhelési adatok felhasználásával. A számítások során a tengelyt egyidejű hajlító és csavaró igénybevétel érte, amelynek hatását különböző üzemi állapotokban vizsgáltuk.

A CFD szimulációk eredményeként meghatározásra került a folyadék által kifejtett hidrodinamikai terhelő nyomaték, amely a tengely igénybevitelének alapját képezte. Fontos megállapítás, hogy a CFD modell kizárólag a hidrodinamikai hatásokat veszi figyelembe, míg a valós rendszerben fellépő mechanikai veszteségek (például csapágy- és súrlódási veszteségek) a mérési adatokban jelennek meg.

A validáció során ezért különbséget tettünk a közvetlen CFD eredmények és a redukált nyomaték között. A magasabb fordulatszám-tartományban (2200 1/min) a CFD-ből számított redukált nyomaték és a mért nyomaték között mindössze 5,8%-os eltérés adódott, amely jó egyezést mutat, és igazolja a modell alkalmazhatóságát ebben az üzemi tartományban. Alacsonyabb fordulatszám (1450 1/min) a CFD által meghatározott terhelő nyomaték jelentősen alul becsüli a mért értéket, ami a mechanikai veszteségek modellből való hiányából adódik.

A tengely méretezése során a motor névleges, 4 kW teljesítményéből származtatott maximális nyomaték került figyelembevételre, amely konzervatív tervezési megközelítést biztosít. Ez garantálja, hogy a szerkezet a legkedvezőtlenebb terhelési állapotok mellett is biztonságosan üzemel.

Összességében megállapítható, hogy a CFD alapú megközelítés alkalmas a hidrodinamikai terhelések meghatározására, és megfelelő korrekcióval (redukált nyomaték alkalmazásával) a teljes rendszer viselkedése is jól közelíthető. A modell pontossága a fordulatszám növekedésével javul, és a magasabb fordulatszám-tartományban megbízható eredményeket szolgáltat. A bemutatott módszertan alkalmas hasonló hajtásrendszerek tervezésére és validálására.

8. SUMMARY

This study investigated the mechanical behavior of an overhung shaft using analytical and finite element methods, based on CFD-derived loading conditions. The shaft was subjected to combined bending and torsional loads, which were evaluated under different operating conditions.

The CFD simulations provided the hydrodynamic torque acting on the shaft, forming the basis for the structural analysis. It is important to note that the CFD model accounts only for hydrodynamic effects, while mechanical losses (such as bearing and friction losses) are included in the measured data.

During validation, a distinction was made between the direct CFD results and the reduced torque. At higher rotational speeds (2200 rpm), the reduced torque calculated from the CFD results showed good agreement with the measured torque, with a relative deviation of only 5.8%, confirming the applicability of the model in this operating range. At lower rotational speeds (1450 rpm), the CFD-derived torque significantly underestimates the measured values due to the absence of mechanical losses in the model.

For the shaft design, the maximum torque derived from the nominal motor power (4 kW) was applied, representing a conservative approach that ensures safe operation under worst-case loading conditions.

In conclusion, the CFD-based approach is suitable for determining hydrodynamic loads, and with appropriate interpretation (using reduced torque), it can effectively describe the overall system behavior. The accuracy of the model improves with increasing rotational speed, providing reliable results in the higher speed range. The presented methodology is suitable for the design and validation of similar drive systems

9. IRODALOM

- [1] BUDYNAS R. G., NISBETT J. K.: *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10th ed., McGraw-Hill Education, New York, 2014, 1104 p., ISBN 978-0073398204
- [2] GOKHALE N. S., DESHPANDE S. S., BEDEKAR S. V., THITE A. N.: *Practical Finite Element Analysis, Finite to Infinite*, Pune, India, 2008, 446 p., ISBN 978-8190619509
- [3] FISH J., BELYTSCHKO T.: *A First Course in Finite Elements*, John Wiley & Sons, Chichester, 2007, 336 p., ISBN 978-0470035801
<https://doi.org/10.1002/9780470510858>
- [4] BATHE K. J.: *Finite Element Procedures*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996, 1037 p., ISBN 978-0133014587
- [5] ZIENKIEWICZ O. C., TAYLOR R. L., ZHU J. Z.: *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*, 7th ed., Elsevier, Oxford, 2013, 756 p.
<https://doi.org/10.1016/C2009-0-24909-9>
- [6] POLGÁR M., AGARWAL C., GOGATE P., NÉMETH G., CSÓKA L.: Using CFD simulations to investigate the shear stress in hydrodynamic cavitation reactors coupled with experimental validation using colony count measurements, *Scientific Reports*, Vol. 12, 2022, Article No. 18034
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-20349-7>
- [7] TIBA ZS.: *Hajtáslánc optimalizáció*, Debreceni Egyetem Műszaki Kar, Debrecen, 14-16 p., ISBN: 978-963-473

GÉP

The technical, business, investment, sales, research and development, market information journal of
THE SCIENTIFIC ASSOCIATION FOR MECHANICAL ENGINEERING

President of Editorial Board:

Dr. Gabriella Vadászné Bognár

General Editor:

Dr. Csaba Dömötör

Deputy editors-in-chief:

József Vesza

Deputy:

Dr. György Ábrahám

Dr. István Barkóczy

Dr. Lajos Borbás

Dr. Árpád Czifra

Dr. József Danyi

Dr. Gusztáv Fekete

Dr. Péter Horák

Dr. Sándor Horváth

Dr. Béla Illés

Dr. Endre Jánosi

Dr. Károly Jármái

Dr. József Kakuk

Dr. Gábor Kalácska

Dr. Márk Lelkes

Dr. János Kanócz

Dr. László Könözsy

Dr. Tamás Mankovits

Dr. Márton Máté

Dr. Ferenc Orbán

Dr. Gyula Patkó

Dr. Attila Piros

Dr. László Soltész

Dr. István Szabó

Dr. Szabolcs Szávai

Dr. János Száva

Dr. Ferenc Szigeti

Dr. Imre Timár

Dr. Zoltán Weltsch

DEAR READER,

The journal GÉP, managed by the Scientific Association for Mechanical Engineering operate a new approach to scientific journal publishing print volumes and an online platform. GÉP is a scientific journal published several times a year, which publishes original scientific publications, research results, summaries in the history of technology, conference proceedings and, as a special issue, full conference proceedings in the fields of basic and applied engineering science.

The primary language of the journal is Hungarian, but scientific articles are also published in Hungarian and English. In recent decades, the number of journals published in Hungarian has fallen to a fraction of the number published in English. We aim to cultivate the Hungarian technical language and, in the case of native Hungarian speakers, to provide the opportunity to publish technical articles in Hungarian for the cultivation of science in Hungarian. We consider it our duty that GÉP serves the cultivation of engineering science in Hungarian, the continuous improvement and development of the Hungarian professional language.

The Editorial Board will continue to provide a forum for research and development in the field of mechanical engineering.

Dr. Gabriella Vadászné Bognár
chairman of the editorial board

Managing Editor: Dr. Csaba Dömötör • Editor's address: H-3515 Miskolc, Egyetemváros

Phone: +36-46/565-111 (12-90) • e-mail: mail@gepujsag.hu

Published by the Scientific Society of Mechanical Engineering, 1147 Budapest, Czobor u. 68., Postal address: 1371, Bp, Pf. 433

Phone: +36-1/202-0656, Fax: +36-1/202-0252, E-mail: mail@gteportal.eu, Web: www.gteportal.eu

Web: http://www.gepujsag.hu • Kereskedelmi és Hitelbank: 10200830-32310236-00000000

Publisher: Dr. Bárdos Krisztina, Managing Director

Gazdász Nyomda Kft. 3534 Miskolc, Szervezet u. 67. Phone: +36-30/9-450-270 • e-mail: mail@gepujsag.hu

Distributed to subscribers by Magyar Posta Zrt, Postal address: 1900 Budapest

Subscription: subscription can be ordered at any Hungarian post office, from postmen, from the link: www.posta.hu WEBSHOP

https://www.posta.hu/ugyfelszolgalat/webform/hirlap, via e-mail: hirlapelofizetes@posta.hu, by phone: +36-1/767-8262,

or mail to: MP Zrt. 1900 Budapest. Subscription: subscription can be ordered from overseas and to overseas at Batthyány Kultur-Press Kft.,

H-1013 Budapest, Attila út 2/A/III/14. • T: +36 1 201 88 91, +36 1 212 53 03, E-mail: batthyany@kultur-press.hu

Domestic subscription prices are: HUF 1,260 a single copy and HUF 2,520 a double copy.

INDEX: 25 343 • ISSN 0016-8572 (Printed) • ISSN 3057-9473 (Online)

The published articles have been reviewed. • The publication is supported by the National Cultural Fund of Hungary



LÁTOGASSON EL
IPARI SZAKKIÁLLÍTÁSAINKRA!



MACH-TECH IPAR NAPJAI

2026. május 18–21.

Intelligenciával vezérelve

17. MACH-TECH Nemzetközi gépgyártás-technológiai
és hegesztéstechnikai szakkiallítás
13. IPAR NAPJAI Nemzetközi ipari szakkiallítás

Társrendezvények:

**AUTOMOTIVE
HUNGARY**

Nemzetközi járműipari
beszállítói szakkiallítás



TRA

Transport Research
Arena

Látogasson el Ön is Magyarország legnagyobb üzleti rendezvényére, mely várja az ipari szegmens szereplőit! Tekintse meg a széles kiállítói kínálatot, a cégek innovációit, vegyen részt a szakmai programokon, építse üzleti kapcsolatait, találjon hatékony megoldásokat cégét érintő problémáira!

Helyszín: HUNGEXPO Budapest Kongresszusi
és Kiállítási Központ

Látogatók részére
előzetes online regisztráció
a díjmentes belépésért:

www.iparnapjai.hu/gte



Bővebb információ:

www.iparnapjai.hu

[iparnapjai](https://www.facebook.com/iparnapjai)

[industry-days](https://www.linkedin.com/company/industry-days)