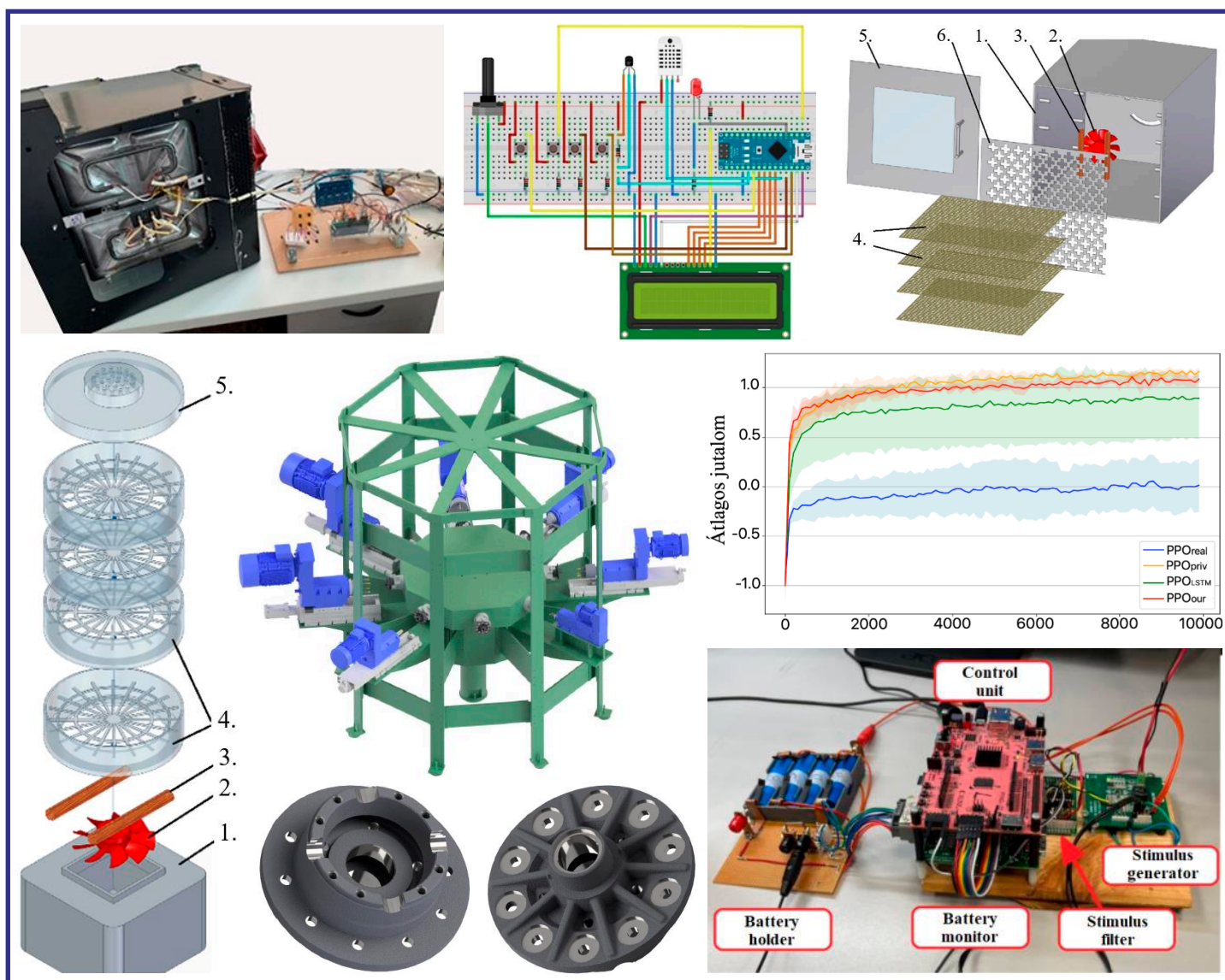


GÉP

A GÉPIPARI TUDOMÁNYOS EGYESÜLET MŰSZAKI FOLYÓÍRATA



Gyártás Konferencia/Manufacturing 2025

2025. október 16-17.

A Gépipari Tudományos Egyesület Gyártási Rendszerek- és Operátor Szakosztálya a Pannon Egyetem Fenntarthatósági

Kompetenciaközpontjával immár 26. alkalommal rendezi meg a Gyártás Konferenciát. A rendezvény nem csak szakmai kapcsolatépítésre, hanem az ipari trendek és új technológiák megismerésére is kiváló alkalmat biztosít.



X. Gépészeti Szakmakultúra

2025. október 10.



A gépészeti termékfejlesztés eszköztárával foglalkozik a stratégiai döntéstől a gyártásig, beleértve az új technikai megoldásokat, pl. a mesterséges intelligencia, az additív gyártás hasznosítását. A módszertani kérdések mellett az előadások többsége megvalósított projekteket mutat be, idén 10. éve.

55. Autóbusz Szakértői Tanácskozás

2025. október 29.

Az autóbuszoknak és trolibuszoknak a közösségi közlekedés szervezésében elfoglalt fontos szerepén túl a fejlesztéssel, az üzemeltetési és a karbantartási tapasztalatokkal foglalkozik, beleértve az új technológiák – elektromos hajtás, a vezetőt támogató rendszerek – bevezetését. E-buszok, hidrogénhajtás és a jövő technológiái. Idén 55. alkalommal kerül megrendezésre.



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, technikátörténeti összefoglalókat, konferenciákról szóló ismertetéseket és különszámként teljes konferenciaanyagokat közöl a gépészettel kapcsolatos alap- és alkalmazott tudomány területeiről.

A folyóirat elsődleges nyelve a magyar, de 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 közétételi 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 internetcím: <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
<https://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, Attila 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

1. Apagyi Antal:

VALÓS IDEJŰ ELEKTROKÉMIAI
IMPEDANCIA SPEKTROSZKÓPIA
ÁTTEKINTÉSE FEDÉLZETI AKKUMULÁTOR
MEGFIGYELÉSHEZ 5

*2. Farkas Péter, Szőke László, Dr. Aradi Szilárd,
Dr. Gyurkó Zoltán:*

MEGERŐSÍTÉSES TANULÁSON ALAPULÓ
ÁGENSEK TELJESÍTMÉNYÉNEK JAVÍTÁSA
TAPASZTALAT ALAPÚ KONTEXTUS
BEVEZETÉSÉVEL 10

*3. Tóth-Katona Tamás, Dr. Stumpf Péter,
Dr. Szabó Gergely:*

IPMSM CSÚSZÓMÓD SZABÁLYOZÁSA
A MUNKAPONTOK FIGYELEMBE
VÉTELÉVEL 16

4. Dr. Bihari Zoltán, Besenyei István:

ALUMÍNIUM PROFILOK ÉS
HORONYANYÁK KÖZÖTTI
KOMPATIBILITÁS VIZSGÁLATA 22

5. Kapitány Pálma, Dr. Rónai László:

ÉLEMISZERSZÁRÍTÓ BERENDEZÉS
TERVEZÉSE 26

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

SÖVÉNYVÁGÓ EXCENTERES
MECHANIZMUSÁNAK KINEMATIKAI
TULAJDONSÁGAI 30

7. Simon Gábor, Dr. Rónai László:

ÖSSZETETT GYÁRTÁSI FOLYAMATHOZ
TARTOZÓ FORGÁCSOLÓ CÉLGÉP
TERVEZÉSE 34

8. Tóth Balázs, Kapitány Pálma:

MEMÓRIAJÁTÉKON ALAPULÓ MODULÁRIS
RENDSZER FEJLESZTÉSE 38

VALÓS IDEJŰ ELEKTROKÉMIAI IMPEDANCIA SPEKTROSKÓPIA ÁTTEKINTÉSE FEDÉLZETI AKKUMULÁTOR MEGFIGYELÉSHEZ

A REVIEW OF REAL-TIME ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY FOR ON-BOARD BATTERY MONITORING

*Apagyi Antal**

ÖSSZEFOGLALÁS

A lítium-ion akkumulátor egészségi állapota (SOH) az idő előrehaladtával folyamatosan romlik, a kémiai reakciók lassulnak, az ionáramlást negatívan befolyásoló tényezők jelennek meg. Ez kapacitás- és teljesítménycsökkenést eredményez, ennek mértéke függ a használat módjától és a tárolási körülményektől. Mivel a folyamat nem lineáris, előrejelzése nehézkes ezért időnként ezirányú információt kell szerezni a cella állapotáról. Jelenleg az akkumulátor menedzsment rendszerek közel teljes merítések és töltések során számítják ki az SOH értékét. Olyan alkalmazási területen, ahol a cella nem meríthető le, alternatív megoldást kell keresni. A cellán belül lezajló kémiai folyamatokról impedancia spektroszkópiával szerezhetünk információt. Laboratóriumi körülmények között könnyen kivitelezhető, viszont autópári felhasználásban, például BMS-be történő integrálása és alkalmazása kihívásokat rejt.

ABSTRACT

The state of health (SOH) of the lithium-ion battery deteriorates over time, the chemical reactions slow down, and factors that negatively affect the ion flow appear. This results in a decrease in capacity and performance, the extent of which depends on the way of use and the storage conditions. Since the process is not linear, its prediction is difficult, so information on the state of the cell must be obtained from time to time. Currently, battery management systems calculate the value of SOH during almost complete immersions and charges. In an application area where the cell cannot be drained, an alternative solution must be sought. We can obtain information about the chemical processes taking place inside the cell with impedance spectroscopy. It can be easily implemented in laboratory conditions, but its

integration and application in automotive applications, for example in BMS, presents challenges.

1. BEVEZETÉS

A lítium-ion akkumulátor ma már a legszélesebb körben alkalmazott energiatárolási megoldás, az élet szinte minden területén találkozhatunk vele, kezdve a szórakoztatóelektronikától, az elektromos járműveken át (EV) a megújuló energiaforrások energiatárolóiig. A nagy energiasűrűségük, viszonylag alacsony önkisülésük teszi őket népszerűvé. A technológia fejlődésével a kapacitásuk, a teljesítményük és a megbízhatóságuk is jelentős mértékben javult, ugyanakkor más kihívások jelentek meg a teljesítmény és a biztonsági felügyelet terén, különösen a nagy igénybevételt jelentő környezetekben. Mivel egy jármű árának nagyobb hányadát az akkumulátorok ára teszi ki, ezért fontos az állapotuk és a teljesítményük pontos nyomonkövetése. Cél az idő előtti teljesítményromlás megelőzése és az optimális működés fenntartása az akkumulátor élettartama alatt. A rendszertelen ciklusok (gyorsítás, lassítás), a magas és alacsony hőmérsékletek, valamint más stresszhatások felgyorsítják az akkumulátor degradációját.

A járművekben egyre több vezetéstartámogató berendezés található, a számuk a jövőben tovább növekszik, ezáltal a gépjárműveknek több energiára van szükségük. A vontatóakkumulátorok mellett nagyobb figyelmet kell fordítani a vezetéstartámogató rendszerek energiaellátására, mivel ezek kritikusak a jármű biztonságának szempontjából. Biztosítani kell a biztonságos működésüket és rendelkezésre állásukat veszélyhelyzetben, ezért redundáns energiaellátást igényelnek.

A vontatóakkumulátorok esetében a cella egészségi állapotának becslése egyrészt a közel teljes merítések és töltések sorozata alapján történik. Ez azonban a redundáns energiaellátó rendszerekben nem

* apagyi.antal@ga.sze.hu

kivitelezhető, ott mindig egy adott töltöttségi szintet kell tartani. Tehát olyan módon kell információt szerezni a degradáció mértékéről, hogy teljes merítés és töltés nem történik. Ez az igény túlmutat a jelenleg használt BMS rendszerek képességein.

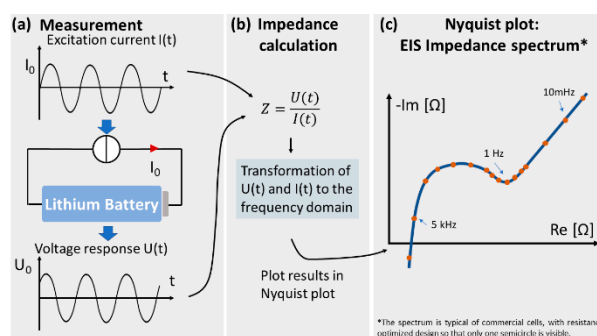
Ezen korlát leküzdése érdekében új vizsgálati metódusokra van szükség.

A Li-ion akkumulátorok állapotának előrejelzési pontosságának javításával a cella jobb kihasználhatósága érhető el. Különböző innovatív mérési technológiák jelentek meg, mint például belső hőmérséklet-érzékelők, nyomásérzékelők, gázérzékelők, referenciaelektrodák vagy impedancia spektroszkópia. Utóbbi potenciális lehetőség, amely az akkumulátor belső elektrokémiai folyamatiról, a töltésátvitelről a diffúzióról vagy a szilárd elektrolit határfelület (SEI) változásáról nyújt információt. Ezek a paraméterek közvetlen kapcsolatban állnak az SoC, SoH és hőmérsékleti tényezőkkel. További előnye, hogy a használatához nem feltétlenül szükséges költséges érzékelők beépítése vagy a rendszer módosítása, az energiatároló gerjesztése a jármű természetes működésének míhváltából adott [2].

Laboratóriumi körülmények között pontos mérések végezhetőek, viszont a járművekben történő alkalmazásuk komoly kihívást rejt.

2. EIS MÉRÉSI TECHNIKA

Az EIS széles körben alkalmazott mérési technika, például korrózióvizsgálatnál, elektrodok, elektrolitok vezetőképességének meghatározásánál továbbá akkumulátor- és üzemanyagcella jellemzésében. Az impedancia számítás elvét az 1. ábra mutatja, ennek során a rendszer potenciál- vagy áramszinuszos zavarásra adott válaszát a frekvencia függvényében kell értelmezni. Galvanosztatisztikus impedancia spektroszkópia esetében szinuszos váltakozóáramot használnak kis áramerősség mellett, mivel ekkor a cella közel lineáris viselkedést mutat [1].

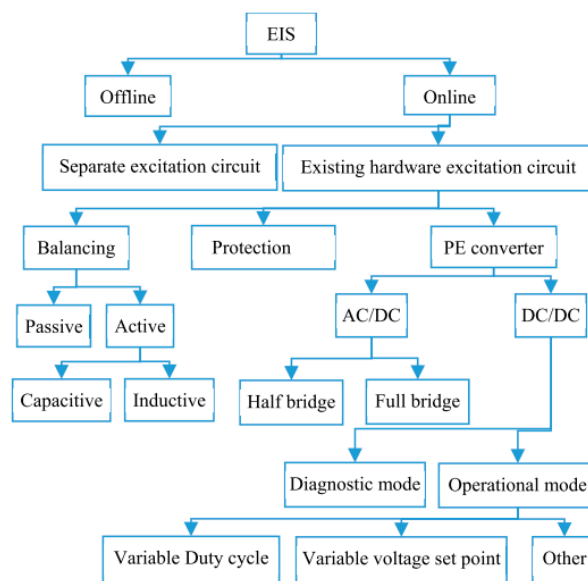


1. ábra. Impedancia mérés elve [1]

A lehető legtöbb frekvencián elvégzett vizsgálat során széles frekvenciaspektrum keletkezik, lehetővé téve az elektrodákön lejátszódó szinte összes kémiai folyamat és reakció, impedancia adatokkal történő jellemzése. A módszer roncsolásmentes, mert a cella gerjesztése kívülről történik. A komplex impedanciaspektrumot

Nyquist diagrammon jelenítik meg közvetlenül a jellemző frekvenciákon és értékelik ki hőmérsékletbecsléshez, vagy SOH becsléshez [1].

Az EIS mérések különféle tényezők alapján kategorizálhatóak, beleértve a mérési környezetet, a gerjesztő hardver felépítését és az alkalmazott gerjesztési módszereket. Az akkumulátor-diagnosztika szempontjából releváns kategorikus lebontást a 2. ábra mutatja. Mérési környezet szerint megkülönböztethető offline és online lehetőség. Előbbi esetében a mérések laboratóriumi környezetben, speciális berendezésekkel történnek, precíz jelgenerátorokat, nagy pontosságú erősítőket és digitális jelfeldolgozó egységeket tartalmaznak. Pontos méréseket biztosít széles frekvenciatartományban, ezek a berendezések méretükből és költségükből adódóan járműben nem alkalmazhatóak. Online esetben a mérések valós időben, a cella alkalmazási helyén történnek. Ezek a megoldások kompaktabbak, költséghatékonyabbak, viszont nem biztosítanak széles frekvenciatartományú mérést, valamint több a környezetből érkező zavaró tényezők száma. Olyan architektúrák megvalósítása jöhet szóba, amelyek költségvonzata alacsony, ezért módosított akkumulátortöltőt, motorvezérlőt vagy beépített cellakiegyenlítő használnak a perturbációs jel előállításához.



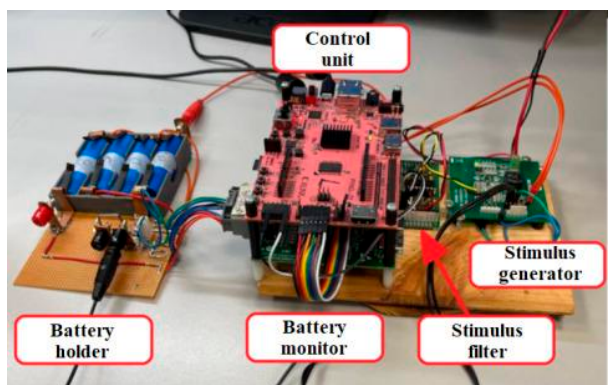
2. ábra. EIS mérési technikák kategorizálása [3]

Gerjesztés szempontjából megkülönböztethető az aktív és passzív gerjesztés. Aktív gerjesztés esetén a gerjesztő jel külön egység általi generálását igényel, ez lehet egyszinuszos, ahol a mérés csak 1 frekvencián történik, ez időigényes folyamat, mivel a méréseket egymás után több frekvencián kell elvégezni. Többsinuszos jel esetében, több különböző frekvenciájú szinuszhullám egyidejűleg kerül alkalmazásra. Ezzel módszerrel a mérési folyamat felgyorsul. Alkalmazható még gerjesztő jelként szélessávú zaj és pszeudo-véletlen bináris jel is,

amely nagy zajállóságot biztosít. Passzív módszer esetén kizárható minden további komponens a gerjesztő jel előállításához, mivel a jármű működéséből származó áram és feszültségváltozásokat használja fel az impedancia meghatározására, jellemzően fejlett jelfeldolgozási technikát igényel a hasznos adatok kinyeréséhez az alacsonyabb jelamplitúdók és magasabb zaj miatt [3].

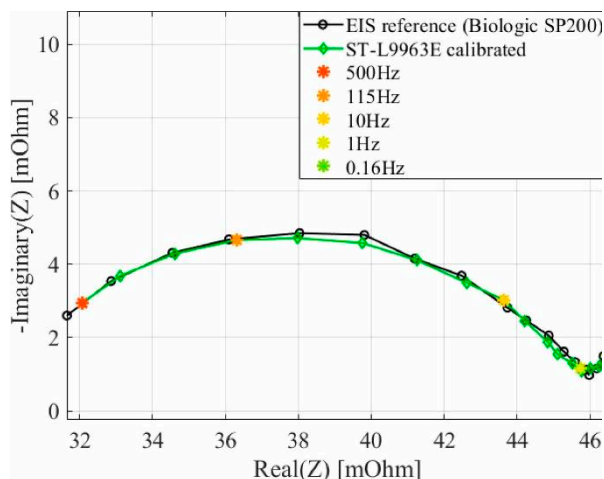
3. FEDÉLZETI EIS MÉRÉSI LEHETŐSÉGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Aktív, in-situ EIS mérés további kihívásokat rejt gerjesztés szempontjából, ugyanis lényeges teljesítménybeli különbség adódik pakk és cellaszintű zavarás esetén. A szinuszos jel első félperiódusában töltés, másodikban pedig merítés történik, ezeket az energiákat kezelni kell. Pakk szinten ez nagy teljesítményigényt jelent, amelyet fedezni kell valahonnan, illetve el kell tudnia nyelnie a rendszernek. Erre megoldást jelenthet a jármű töltőrendszer töltésvezérlő körének módosítása [2]. A 3. ábrán látható kísérleti összeállításban törekedtek arra, hogy minél kevesebb módosítás történjen a már meglévő eszközökön.



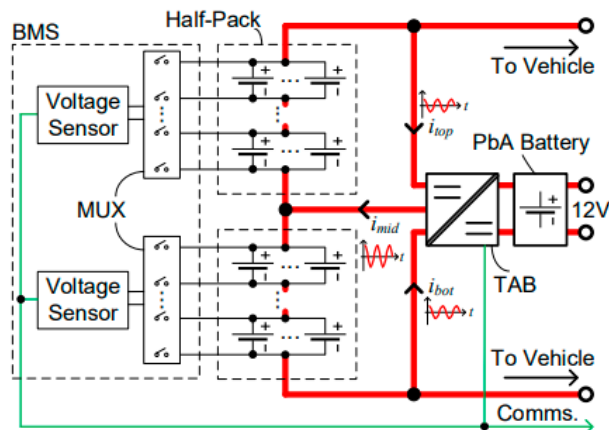
3. ábra. Kísérleti összeállítás a módosított töltésvezérlővel [2]

A kínált megoldás BMS-be történő integrációs képessége nagy, nincs szükség külön adatgyűjtő eszközre, a mért értékek továbbításra kerülnek a feldolgozóegység felé. A mérési eredményeket a 4. ábra szemlélteti, a frekvenciatartomány 0,16 Hz és 500 Hz között volt, a valós rész legnagyobb hibája 0,26 m Ω , képzetes része 0,23 m Ω és az amplitúdóé pedig 0,26 m Ω volt 500 Hz-en a referenciaméréshez viszonyítva.



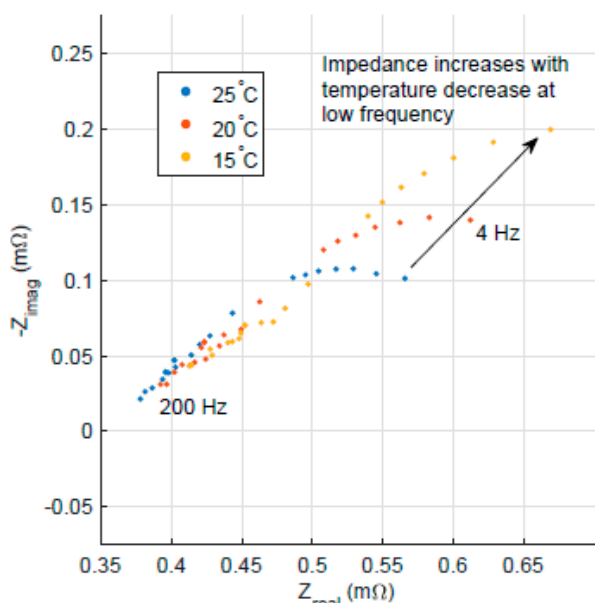
4. ábra. Mérési összeállítás a töltésvezérlő módosításával [2]

Aktív impedancia spektroszkópia esetén pakk vagy modul változtatható frekvenciájú szinuszos zavarása külső energiaforrás bevonása nélkül úgy valósítható meg, hogy az egység két részre kerül felosztásra és ezek között áramlik az energia. A szétválasztásra a töltő és a merítő félperiódusok miatt van szükség. Ehhez kifejlesztettek egy GaN FET alapú hármas aktív hidas egyenáramú konvertert, amelynek teljesítménye 4 kW, feszültségintje 12 - 400 V között lehet. A cellaszintű feszültségválaszok mérése egyenáramú-eltolás kalibrációval rendelkezik, így pontosan rögzíthető a cellák közötti impedanciaingadozások [6]. A javasolt architektúrát a 5. ábra mutatja.



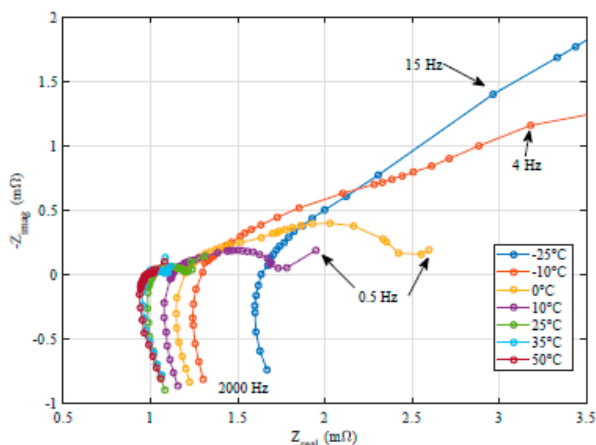
5. ábra. A javasolt architektúra cella szintű feszültségméréssel [6]

A megoldás nagyfeszültségű akkumulátoron EIS-t hajt végre tetszőleges alacsony tesztfrekvenciákon, előnye, hogy nincs szükség külső energiatároló használatára. A 6. ábrán a kísérletben egy 350 V-os lítium-ion akkumulátorcsomagon 4 - 200 Hz, valamint 15 °C - 25°C-os hőmérséklet között végzett in-situ impedanciamérések eredményei láthatóak.



6. ábra. A modulon mért impedanciák 4 – 200 Hz között [6]

Állításuk szerint EIS mérésre csak akkor van szükség, ha jelentős változások következnek be a hőmérsékletben, SOC-ben vagy degradációs állapotban. Az akkumulátorok feszültség- és áramfázorainak FFT-vel történő kinyerésének helyessége attól függ, hogy az akkumulátorok lineáris választ mutatnak-e zavaró áramra. Ha a perturbációs áram a cella Ah kapacitásához viszonyítva kicsi, nagyjából 10% akkor a zavaró áramnak nincs olyan egyenáramú eltolódása, amely jelentős változásokat okozna a cellák SOC értékében. A referenciamérés eredményét a 7. ábra tartalmazza.

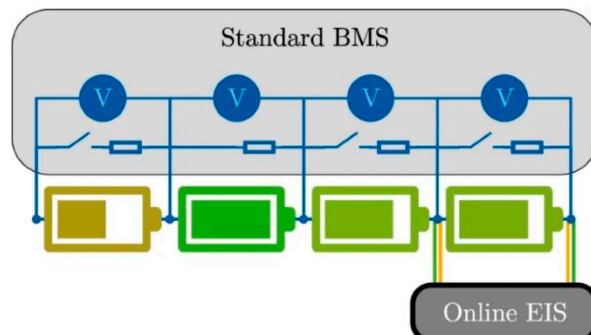


7. ábra. Akkumulátorcellán végzett laboratóriumi mérések eredménye [6]

A félcsomag szinuszos perturbációs áramok 50 Hz-en, körülbelül 900 W csúcsteljesítménynek felel meg.

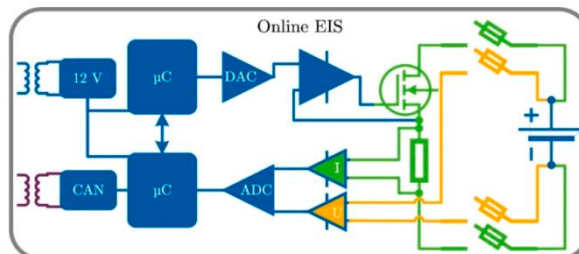
Az akkumulátor kiegyenlítő rendszerek nélkülözhetetlen elemek az akkumulátoros alkalmazásokban. Ez biztosítja aktív vagy disszipatív módon a feszültségeltérések kompenzálását a cellák

között. A javasolt megoldásban egy olyan eszköz látható, amely a már meglévő BMS rendszerre került ráillesztésre, további kiegyenlítő ellenállásokat hozzáadva az akkumulátorok zavarására. Mivel ezek az ellenállások kis értékűek, így nagy áramok alakulhatnak ki, ez az áram modulálható szinuszos jelek előállítására MOSFET használatával. A kutatás kiter a módszer felhasználhatóságának vizsgálatára és azonosítja a korlátokat is [5]. A módszer schematikus rajzát a 8. ábra mutatja.



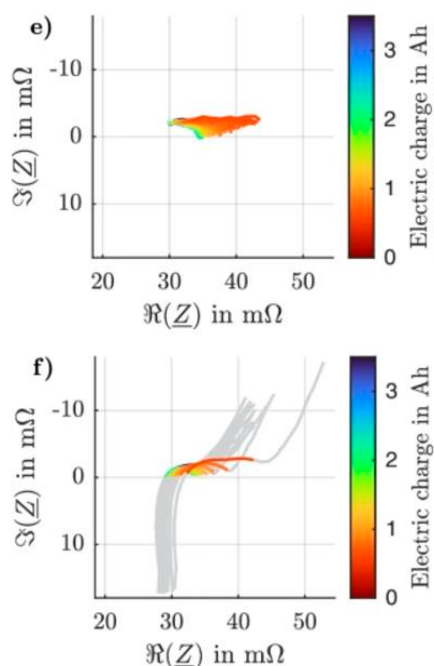
8. ábra. A kifejlesztett EIS panel integrációja a már meglévő rendszerbe [5]

A kiegyenlítő áram akkor használható EIS mérésekhez, ha az áram elég nagy és a feszültségmérés kellően pontos. Továbbá az áram és a feszültség megfelelő jel-zaj aránya (SNR) szükséges. Ebben az esetben cella szintű perturbációt és mintavételt alkalmaztak, a 9. ábrán látható módon.



9. ábra. A kifejlesztett EIS panel schematikus ábrája [5]

A gerjesztéshez MOSFET-et és műveleti erősítőt használó feszültség-áram átalakítót használtak, amelyet az adatfeldolgozástól különálló mikrovezérlő irányított. Az áram- és a feszültségmérésre 4 terminálos megoldást alkalmaztak. Az időtartományban lévő nyers áram- és feszültségértékek, valamint az online számított impedancia értékek CAN-buszon továbbíthatóak. Vizsgálatokat 2 - 640 Hz között végeztek, a teljes időtartam 10,4 másodpercet vett igénybe, ez elég hosszú idő lehet ahhoz, hogy a rendszer megváltozzon a mérés során és elveszítse időinvariáns tulajdonságát [5].



10. ábra. Mérési eredmények a javasolt módszerrel (e) és a referenciaméréssel (f)[5]

A kifejlesztett eszköz általi mérések eltérnek a laboratóriumi berendezésekkel kapott eredményektől, de az abszolút értékek korrelálnak egymással. A 10. ábrán az impedancia mérések eredményei láthatóak. A fázismérések nagyobb eltérést mutatnak magasabb frekvencián.

4. KONKLÚZIÓ

A bemutatott megoldási javaslatok külső hardver hozzáadásán vagy módosításán alapulnak. A járműipar nagyon ár érzékeny, ezért kerülni kell a költségek növekedését. További kutatások szükségesek olyan megoldás kidolgozásához, amely nem használ fel más eszközt a járműben találhatóakon kívül, ugyanakkor pontos előrejelzést ad a cella egészségi állapotáról, még extrém környezeti körülmények között is. Erre jó megoldás lehet az, ha a perturbáció a jármű természetes működésének mivoltából adódik, vagy olyan vezérlési metódus kerül implementálásra, amely a meglévő hardvereket használja a vizsgálathoz.

5. IRODALOM

- [1] “Non-destructive investigation of solid-state batteries: Overview of impedance spectroscopy (EIS) – FutureBatteryLab.” Accessed: Oct. 13, 2024. [Online]. Available: <https://futurebatterylib.com/non-destructive-investigation-of-solid-state-batteries-overview-of-impedance-spectroscopy-eis/>
- [2] L. Mattia, G. Petrone, F. Pirozzi, and W. Zamboni, “A low-cost approach to on-board electrochemical impedance spectroscopy for a lithium-ion battery,” *Journal of Energy Storage*, vol. 81, p. 110330, 2024, <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.110330>
- [3] M. Abedi Varnosfaderani and D. Strickland, “A Comparison of Online Electrochemical Spectroscopy Impedance Estimation of Batteries,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 23668–23677, 2018, <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2808412>
- [5] A. Blömeke, H. Zappen, F. Ringbeck, F. Frie, D. Wasyłowski, and D. U. Sauer, “Balancing resistor-based online electrochemical impedance spectroscopy in battery systems: opportunities and limitations,” *Commun Eng*, vol. 3, no. 1, p. 62, Apr. 2024, <https://doi.org/10.1038/s44172-024-00203-6>
- [6] S. A. Assadi et al., “In-Situ EV Battery Electrochemical Impedance Spectroscopy with Pack-Level Current Perturbation from a 400V-to-12V Triple-Active-Bridge,” in *2022 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Houston, TX, USA: IEEE, Mar. 2022, pp. 1056–1063. <https://doi.org/10.1109/APEC43599.2022.9773622>

MEGERŐSÍTÉSES TANULÁSON ALAPULÓ ÁGENSEK TELJESÍTMÉNYÉNEK JAVÍTÁSA TAPASZTALAT ALAPÚ KONTEXTUS BEVEZETÉSÉVEL

IMPROVING THE PERFORMANCE OF REINFORCEMENT LEARNING AGENTS USING EXPERIENCE-BASED CONTEXT

Farkas Péter^{}, Szőke László^{**}, Dr. Aradi Szilárd^{***}, Dr. Gyurkó Zoltán^{****}*

ÖSSZEFOGLALÁS

Ezen publikációban egy tapasztalat-alapú online adaptációs keretrendszert mutatunk be megerősítési tanuláson alapuló ágensek számára, mely lehetővé teszi, hogy a múltbéli állapot-akció átmenetek felhasználásával képesek legyenek alkalmazkodni változó körülményekhez, nehezen hozzáférhető információk felhasználása nélkül. Megoldásunk működését egy széles dinamikai tartományt lefedő robotmodell irányítási problémáján keresztül értékeljük ki.

ABSTRACT

This paper proposes an experience-based online adaptation framework for reinforcement learning agents, enabling them to adjust to changing conditions by leveraging past state-action transitions, improving their performance in dynamic environments without relying on hard-to-obtain information. The performance of our solution is evaluated through the control problem of a robot model covering a wide dynamic range.

1. BEVEZETÉS

A magasan automatizált rendszerek elterjedése megköveteli a gépi tanuláson alapuló technikák irányítási folyamatokban történő integrálását, különösen a nagy komplexitású rendszerek esetén. Az ilyen algoritmusok közül a megerősítési tanulás (reinforcement learning, RL) az egyik legígéretesebb megoldás, mely kiemelkedő teljesítményt mutat az autonóm járművek [1][2], a drónok [3], és a robotika területén [4].

Míg a mai fejlett irányító algoritmusok hatékonyan működnek ideális helyzetekben, teljesítményük

jelentősen csökkenhet változó körülmények között [5]. Például a modern, magasan automatizált járművek jól teljesítenek optimális vezetési körülmények között, azonban sokszor kihívásokba ütköznek, amikor olyan problémákkal kell szembenéznük, mint a rossz időjárás vagy a megváltozott útviszonyok [6].

A hagyományos irányítási rendszereket gyakran egy adott felhasználási módhoz vagy járműhöz tervezik, melynek eredményeként az ágensek nem rendelkeznek adaptációs képességgel. Ezzel szemben az emberek képesek alkalmazkodni az ideálistól eltérő körülményekhez, így például egy rövid adaptációs folyamat után egy könnyű személygépkocsi és egy teljesen megrakott furgon irányításával is boldogulnak. Ebből az összehasonlításból kiindulva előnyös, ha az irányító ágenseket hasonló adaptációs képességekkel látjuk el, ezzel növelve megbízhatóságukat és robusztusságukat, mely eredményeként sokoldalúbbá és hatékonyabbá válhatnak megváltozott körülmények között is.

1.1. A publikáció célja

A fent ismertetett probléma orvoslására publikációnk egy online adaptációs keretrendszert javasol, mely segíti az ágensek különböző körülményekhez történő alkalmazkodását azáltal, hogy a korábbi állapot-akció átmenetekből kinyert információkat kiegészítő bemenetként használja fel. Ez lehetővé teszi az algoritmus számára, hogy felismerje a változatosokat az irányított rendszerben, és alkalmazkodjon hozzájuk, ezzel fenntartva az optimális teljesítményt. Megoldásunk egy zárt hurkot képez a modellmentes policy-alapú algoritmus számára, melyen keresztül az ágens láthatja, hogy a múltbéli átmenetek során a választott akciói

^{*} PhD hallgató, peterfarkas@edu.bme.hu

^{**} PhD hallgató, szoke.laszlo@kjk.bme.hu

^{***} egyetemi docens, aradi.szilard@kjk.bme.hu

^{****} R&D csoportvezető, zoltan.gyurko@knorr-bremse.com

milyen állapotokhoz vezettek. Tesztjeink során a javasolt keretrendszer jelentősen javította az ágens teljesítményét és alkalmazkodóképességét.

2. A MEGERŐSÍTÉSES TANULÁS

A gépi tanulás ezen ága lehetővé teszi az ágensek számára, hogy a környezetükkel történő interakciók és az így szerzett tapasztalataik alapján kialakítsanak egy optimális döntéshozatali stratégiát. Ennek köszönhetően a megerősítéses tanulás széles körben használt keretrendszerre vált a dinamikus környezetek irányításában [7][8].

A megerősítéses tanulás alapjait a Markov-döntési folyamat adja, melyet a következő négy elemű vektorral írhatunk le:

$$M = \langle S, A, R, P_{S,A} \rangle \quad (1)$$

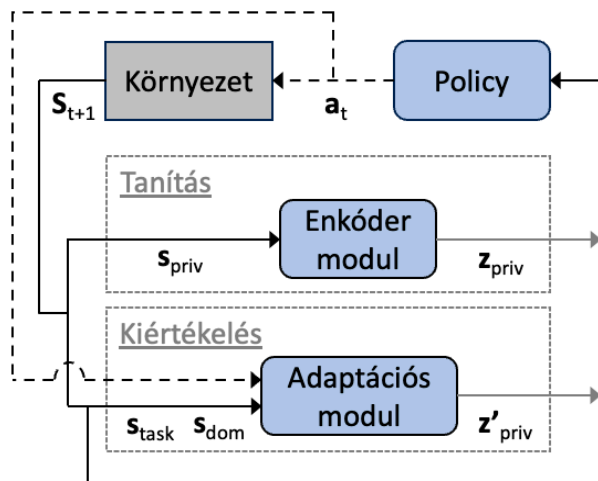
Minden egyes t diszkrét időlépésben az ágens megkapja a környezet $s_t \in S$ reprezentációját és választ egy $a_t \in A$ akciót az aktuális $\pi(a_t|s_t)$ policy alapján. Ezután a környezet $P(s_{t+1}|s_t, a_t)$ valószínűséggel átlép a következő $s_{t+1} \in S$ állapotba, majd az ágens $r_{t+1} \in R$ jutalomban részesül, amely a választott a_t akció minőségét jelzi. Az ágens célja tanulás közben, hogy az epizódok interakciói során a kumulatív várható jutalmat maximalizálja.

A megerősítéses tanulás algoritmusai közül ezen munkában a Proximal Policy Optimization (PPO) metódus került felhasználásra, mely napjaink legkorszerűbb policy-alapú megoldásai közé tartozik irányítási feladatok esetén [9].

3. A JAVASOLT MEGOLDÁS

Ahogy az az 1. fejezetben már hangsúlyozásra került, a megerősítéses tanuláson alapuló ágensek adaptációs képességekkel történő felruházása növelné az ilyen algoritmusok valós körülmények között történő használhatóságát. A tanulási folyamat során modellmentes ágensek megtanulják a környezet átmeneti függvényét, azonban amikor a rendszer viselkedése megváltozik, a döntéshozatali stratégia teljesítménye romolhat, vagy bizonyos eloszláson kívüli minták esetén hibásan működhet.

Ezen kihívások megoldása érdekében módszerünk először kinyeri a múltbeli állapot-akció átmenetekbe ágyazott információkat, majd bevezeti azokat az ágensek kiegészítő bemeneteként. Az ily módon hozzáadott visszacsatolási ág lehetővé teszi az algoritmus számára, hogy észlelje a környezet eltéréseit, és ezt követően működés közben úgy igazítsa döntéshozatali stratégiáját, hogy robusztusan tudja kezelni a megváltozott körülményeket, ezzel fenntartva az optimális teljesítményét. A javasolt architektúrát az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra: A javasolt architektúra

3.1. Az állapotreprezentáció

A tanult viselkedés és a környezet átmeneti függvényének elválasztása egyszerűsíthető az állapottér elemeinek 3 kategóriába történő csoportosításával: a feladathoz kapcsolódó állapotváltozók (s_{task}), a domain-specifikus állapotok (s_{dom}), valamint a privilegizált információk (s_{priv}). Az s_{task} tartalmaz minden olyan információt, amely az ágens által megoldandó konkrét feladatot írja le, például egy sávtartás esetén az útfelfestések reprezentációját. Az s_{dom} olyan, a szabályozott rendszerrel vagy a környezettel kapcsolatos adatokat ír le, melyek az irányítási folyamat során alaphoz rendelkezésre állnak (pl. meglévő szenzorok adatai). Ezzel ellentétben az s_{priv} olyan információkból áll, melyek működés nehezen vagy egyáltalán nem hozzáférhetőek, azonban segítenek az ágenst a változó körülményekhez történő alkalmazkodásban. Ilyen többletinformáció lehet a sűrűlódási együttható, az aktuátorok belső állapota vagy az irányított rendszer fizikai paraméterei.

Azt, hogy egy adott állapotváltozó a domain-specifikus vagy a privilegizált kategóriába tartozik-e, mindig az adott alkalmazás határozza meg. A kategorizálást a rendelkezésre álló szenzorok, az irányított rendszer fizikai paramétereinek ismerete, valamint a környezet állapotának azonosíthatósága befolyásolja.

3.2. Az állapot enkóder modul

A keretrendszer továbbá tartalmaz egy enkóder modult (Enc_s) is, mely a bemenetére kapcsolt s_{priv} privilegizált információkból egy z_{priv} látens reprezentációt hoz létre. Ennek a modulnak a célja, hogy gazdagítsa állapotvektor információtartalmát, valamint, hogy egyszerűsítse a következőkben bemutatott adaptációs modul állapotbecslési feladatát azáltal, hogy eliminálja a pontos fizikai paraméterbecslés szükségességét.

3.3. Az adaptációs modul

A valós működés során, alapvetően az s_{priv} állapotváltozók és ennek megfelelően a z_{priv} látens komponensek nem, vagy csak nehezen hozzáférhetőek, ezért az adaptációs modul fő feladata a múltbeli állapot-akció átmenetekbe ágyazott információkat felhasználva a hiányzó információk előállítás.

Ezen komponens egy Long Short-Term Memory (LSTM) hálózatként van implementálva, amelyet lineáris rétegek követnek. A modul megkapja múltbeli s_{task} és s_{dom} állapotokat, valamint az a_t akciókat, melyek alapján megbecsüli a hiányzó z'_{priv} látens állapotkomponenseket. Mivel a tanítás szimulációban történik, a privilegizált állapotok rendelkezésre állnak, és így felügyelt tanítás keretein belül felhasználhatóak az adaptációs modul tanításához az Átlagos Abszolút Hiba által leírt veszteség függvényen keresztül:

$$L_{\theta}^{SL} = \dot{A}AH(z_{priv}, z'_{priv}) \quad (2)$$

Működés során a nem elérhető z_{priv} látens állapotok helyettesíthetőek az előzményalapú adaptációs modul z'_{priv} kimenetével. Ezáltal a javasolt megoldás lehetővé teszi, hogy az ágens alkalmazkodjon különböző működési környezetekhez vagy akár valós szcenáriókhoz is, nehezen hozzáférhető információk felhasználása nélkül.

3.4. A tanítási és kiértékelési fázisok

A bemutatott keretrendszerben a tanítási és kiértékelési fázisok szétválasztásra kerülnek.

Tanítás során a policy a feladattal kapcsolatos (s_{task}) és a domain-specifikus (s_{dom}) állapotok, valamint a privilegizált információ (s_{priv}) látens reprezentációja (z_{priv}) alapján frissül. Mivel a tanítás szimulációban történik, a z_{priv} rendelkezésre áll. Az epizódok között a szabályozott rendszer dinamikája megváltozik, ezzel biztosítva a gazdag állapotátmeneteket. A policy és az Enc_s hálók az eredeti PPO veszteségen keresztül frissülnek, míg az adaptációs modul optimalizálása az 2-es egyenletben megadott felügyelt metrikával történik.

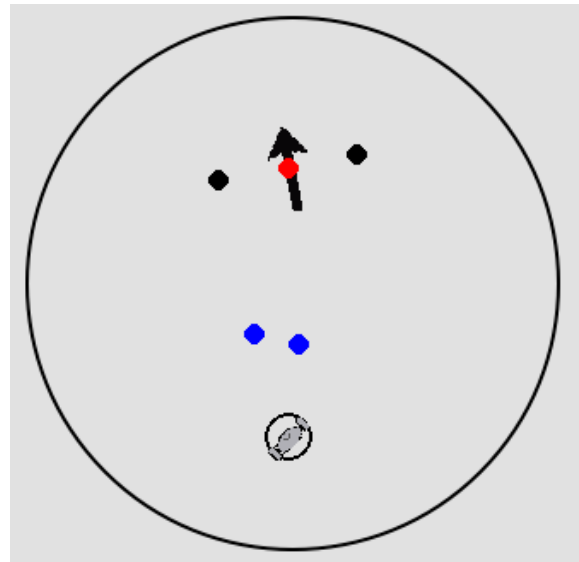
Ezzel szemben kiértékelés/működés során az s_{priv} és így a z_{priv} információ nem érhető el, azonban az adaptációs modul az s_{task} és s_{dom} állapotokból, valamint az a_t akciókból álló múltbeli trajektória alapján képes a z'_{priv} látens változók becslésére. Ezáltal az adaptációs modul elő tudja állítani a hiányzó állapotokat, így segítve az ágenst a környezet eltérésének felismerésében. Ez a folyamat biztosítja, hogy az ágens valós időben tudjon alkalmazkodni a megváltozott körülményekhez, finomhangolás vagy a célkörnyezetben történő további tanítás nélkül.

4. A KIÉRTÉKELÉSI KERETRENDSZER

Módszerünk működését egy széles dinamikai tartományt lefedő robotmodell segítségével, egy összetett irányítási feladaton keresztül mutatjuk be. A modell dinamikai paraméterei változtathatóak, ami diverz szcenáriókhoz, valamint adaptív szabályozási stratégiák szükségességéhez vezet. Az általunk javasolt keretrendszerben betanított ágens performanciáját a környezetről különböző információkhoz hozzáférő hagyományos RL alapú algoritmusokkal hasonlítjuk össze. A kiértékelés során kétféle beállítást vizsgáltunk: fizikai paramétereken alapuló adaptáció és mozgásállapot-becslés.

4.1. Az RL környezet

Munkánk során az ágensnek egy differenciálhajtású robot ütközésmentes irányítását kell megvalósítania. A robot működését Lagrange egyenletek írják le, melynek elméleti hátterét [10] mutatja be. Az így implementált dinamikai modell továbbá a motorok karakterisztikáját leíró egyenletekkel is kiegészül, így a rendszert közvetlenül feszültségeken keresztül lehet irányítani nyomatékok helyett. A Lagrange-egyenletek állandói a robot mozgását nagy mértékben befolyásoló fizikai paraméterek, melyek a különböző epizódok között változtathatóak. Az ilyen jellemzők közé tartozik például a robot súlya, inerciája, szélessége, kerekeinek átmérője vagy a motorok ellenállása. Ezen paraméterek együttes változtatásával olyan diverz szcenáriók hozhatóak létre, melyek adaptációs képességet igényelnek, ezzel kialakítva egy komplex irányítási problémát. A 2. ábra az implementált szimulációs környezet egy pillanatképét mutatja.



2. ábra: A szimulációs környezet

4.2. Állapottér, akciótér és jutalomfüggvény

A robot a két motor bemeneti feszültségének változtatásával vezérelhető. Ennek megfelelően az ágens egy 2 dimenziós, $[-1, 1]$ közé eső folytonos akciótérben hozhat döntéseket. A környezetben ezen kiválasztott bemeneti feszültségek ± 50 Volt közé vannak skálázva, hogy az összes lehetséges motorkonfiguráció vezérlésére lehetőség nyíljon.

Ahogy az az előzőekben már bemutatásra került, az ágens döntéseit magalapozó állapottér elemei különböző kategóriákba csoportosíthatóak. Az adott feladattal kapcsolatos s_{task} információk tartalmazzák a célpont és az akadályok relatív helyzetét. Ezen komponensek ily módon történt definiálása elősegíti a valós körülmények között történő alkalmazhatóságot. Az ágens számára továbbá elérhetőek a robot fizikai jellemzői és a mozgásállapotát leíró változók is. Az s_{dom} és s_{priv} pontos tartalma azonban az adaptációs modul beállításától függ, és a későbbiekben kerül bemutatásra.

Az epizódok során az ágens minden lépés után jutalomban (r_{step}) részesül, mely segíti a robot célpontba történő eljuttatását a komplex dinamikával definiált scenáriókban:

$$r_{step} = \Delta d_{goal} / d_{max} \quad (3)$$

ahol Δd_{goal} a célpont robottól vett távolságának változását jelöli két lépés között, d_{max} pedig a kettőjük maximális távolságát jelenti. A jutalomfüggvényt továbbá egy $r_{success}$ taggal is kiegészítjük, mely az epizód végső pozíció- és szöghiba csökkentésére szolgál:

$$r_{success} = 1 - \min(e_{pos} + e_{head}, 1) \quad (4)$$

Itt az e_{pos} és e_{head} rendre a robot epizód végén vett pozíció és szöghiba eltérésének normalizált értékét jelöli. Végezetül a sikertelen epizódok során az ágens -1 jutalomban részesül (tereptárgyakkal való ütközés, túl nagy megtett távolság, a kijelölt terület elhagyása, túl hosszú epizód).

4.3. Adaptációs beállítások

A javasolt keretrendszer működését kétféle adaptációs mechanizmuson keresztül mutatjuk be, melyeket lehetséges valós alkalmazási módok inspiráltak.

Az első felállásban olyan eseteket szimulálunk, ahol a szabályozott rendszer pontos fizikai tulajdonságainak azonosítása kihívást jelenthet (pl. az áruk pontos súlya és mérete egy anyagmozgató robot esetében). Itt az adaptációs modul a robot fizikai paramétereit becsüli meg (z'_{priv}), míg feltételezzük, hogy a mozgásállapota különböző érzékelők segítségével megállapítható és így az ágens rendelkezésére bocsátható (s_{dom}).

A második kategóriába tartozó scenáriókat olyan esetek inspirálták, ahol a mozgásállapotok szenzorok hiányában nem mérhetőek. Itt azonban azt feltételezzük,

hogy a robot dinamikai tulajdonságai ismertek. Ilyen helyzetekben az adaptációs modul becsüli meg a mozgásállapotot leíró vektor elemeit (z'_{priv}), míg a fizikai paraméterek s_{dom} részeként érhetőek el.

4.4. Kiértékelt ágens

Kiértékelésünk során a javasolt keretrendszer performanciáját 3 másik ágensével hasonlítjuk össze. Módszerünkhöz hasonlóan az összehasonlítás többi résztvevőjének alapjait is az RLLib PPO implementációja [11] adja.

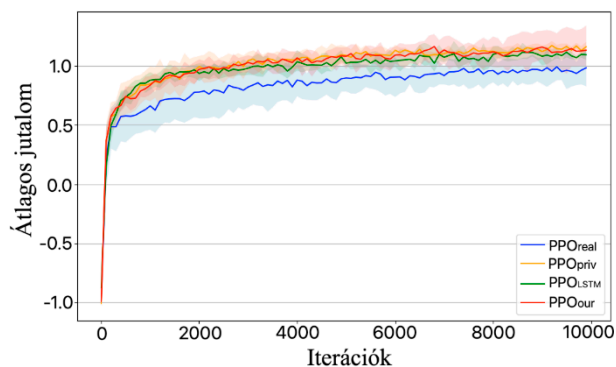
A PPO_{real} egy olyan megvalósítható ágens szimbolizál, amely csak az alaphálóból is rendelkezésre álló információk felhasználásával kerül betanításra és felhasználásra (azaz nem kapja meg az s_{priv} adatokat egyetlen ponton sem). Ezzel szemben a PPO_{priv} és PPO_{LSTM} a privilegizált ágenseket jelöli, mivel ezek mindig hozzáférnek a s_{priv} kiegészítő információkhoz. Fontos azonban kiemelni, hogy a valós felhasználási körülmények között ezen extra információk nem érhetőek el. A PPO_{priv} megkapja az összes állapotot, míg a PPO_{LSTM} az ezen ágens LSTM hálójával kibővített változatát jelöli, amely az általunk javasolt megoldás időbeli reprezentációs képességét figyelembevéve biztosít fair összehasonlítást. Végül a PPO_{our} pedig a bemutatott keretrendszerrel tanított és kiértékelt ágens azonosítja. A tanítás során ugyanazt az információt kapja, mint a PPO_{priv} és a PPO_{LSTM} , kiértékelés közben azonban az s_{priv} információk nélkül működik, és az adaptációs modult használja a z'_{priv} becslésére a korábbi állapot-akció átmenetek alapján.

4.5. A tanítási folyamat konfigurálása

A reprodukálhatóság érdekében az összes ágens esetén az RLLib alapértelmezett PPO beállításai kerültek felhasználásra. Kivételt képez a PPO_{our} , ahol az alap veszteségfüggvény kiegészül a (2)-es egyenletben leírt hibával. A policy és a value becslő modulokat Tanh aktiválású Multi-Layer Perceptron (MLP) hálók adják, melyek csak bemeneti dimenziójukban különböznek az aktuális állapottér kialakításától függően. Továbbá a PPO_{our} tartalmazza az adaptációs és az enkóder modulokat is: az előbbi egy 2 rétegű MLP, míg az utóbbi egy LSTM háló, melyet előre csatolt rétegek követnek. A tanítási minták diverzifikálása érdekében a robot minden epizódban különböző dinamikai paraméterekkel kerül inicializálásra.

1. táblázat: Az ágensek teljesítménye fizikai paraméter alapú adaptáció esetén

	Siker [%]	Átl. e_{pos} [m]	Átl. e_{head} [°]
PPO_{real}	72	0,1	8,0
PPO_{priv}	80	0,07	5,6
PPO_{LSTM}	80	0,05	3,8
PPO_{our}	89	0,06	5,2



3. ábra: A tanítások alakulása fizikai paraméter alapú adaptáció esetén

5. EREDMÉNYEK

5.1. Fizikai paraméter alapú adaptáció

Az első kísérletsorozat azokat az eseteket vizsgálja, amikor a szabályozott rendszer tényleges fizikai paraméterei nem állnak rendelkezésre. Ilyen helyzetekben az adaptációs modul a robot dinamikai jellemzőit rekonstruálja.

A 3. ábra 50 egymást követő kiértékelési epizód jutalmának alakulását szemlélteti az egyes modellek tanítása során. A görbék ágensenként 5 különböző seed átlagolt teljesítményét mutatják, míg a halvány területek ezek szórását jelölik. Amint az várható volt, az információhiány miatt a PPO_{real} érte el a legalacsonyabb átlagos jutalmat. Eközben, ágensünk (PPO_{our}) hiába csak ugyanezeket az állapotokat kapja meg a kiértékelés során, mégis képes a PPO_{priv} és a PPO_{LSTM} ágensek teljesítményére.

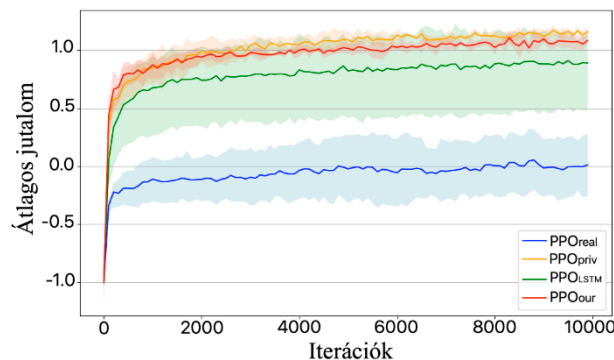
Az 1. táblázat az egyes ágensek performanciájának összehasonlítását mutatja be 100 azonos kiértékelési epizód során. Látható, hogy a legjobb összejutalommal rendelkező PPO_{our} tudta a legtöbb epizódot sikeresen teljesíteni, mellyel az extra információhoz hozzájutó ágenseket is felülmúlta. A táblázat tartalmazza továbbá az átlagos pozíció- és szöghibákat is. Ezen metrikák is azt mutatják, hogy az általunk javasolt keretrendszerben tanított ágens képes felülmúlni az azonos információkból dolgozó PPO_{real} ágenszt a privilegizált ágensekkel összehasonlítható teljesítményével.

5.2. Mozgásállapot alapú adaptáció

A javasolt módszerünk működésének vizsgálata kiterjed arra az alkalmazásra is, ahol a robot mozgásállapota szenzorok hiányában nem mérhető, viszont a szabályozott rendszer pontos méretei és fizikai paraméterei ismertek.

A 4. ábrán látható, hogy a PPO_{real} nem képes megfelelő teljesítményt nyújtani a mozgásállapotokat leíró változók ismerete nélkül, miközben az általunk javasolt ágens a privilegizált modellek teljesítményéhez

közel azonos eredményre jutott. A különböző dinamikai paraméterekkel rendelkező rendszerek irányítása kihívást jelentő feladat az aktuális mozgásállapotuk ismerete nélkül, az adaptációs modul azonban az időbeli reprezentációjának köszönhetően képes a szükséges információk előállítására.



4. ábra: A tanítások alakulása mozgásállapot alapú adaptáció esetén

A 2. táblázat szintén a különböző ágensek teljesítményét hasonlítja össze 100 azonos epizód során. Látható, hogy a mozgásállapotok látens reprezentációjának becslése jelentősen javítja az irányítás minőségét, ezzel megközelítve a PPO_{priv} és a PPO_{LSTM} ágensek teljesítményét. Mindeközben a PPO_{real} csak az epizódok felében járt sikerrel, valamint a mért hibái is jóval elmaradtak a másik 3 ágensétől. Ez tovább igazolja módszerünk működőképességét, mivel megállapítható, hogy a múltbéli átmenetek információtartalmának kinyerésével és felhasználásával akár különböző szenzorok adatai is helyettesíthetők.

2. táblázat: Az ágensek teljesítménye mozgásállapot alapú adaptáció esetén

	Siker [%]	Átl. e_{pos} [m]	Átl. e_{head} [°]
PPO_{real}	52	0,1	19,6
PPO_{priv}	80	0,07	5,6
PPO_{LSTM}	80	0,05	3,8
PPO_{our}	77	0,06	6,0

6. KONKLÚZIÓ

Összességében elmondható, hogy a javasolt keretrendszer képes javítani a megerősítéses tanuláson alapuló vezérlő ágensek adaptációs képességét. A bevezetett enkóder és adaptációs modulok segítségével olyan nehezen hozzáférhető információkat állíthatunk elő, amelyek egyébként új érzékelők vagy környezeti tényezők hozzáadása nélkül nem állnának rendelkezésre. Az adaptációs modul sikeresen ki tud nyerni olyan, a múltbéli állapot-akció átmenetekbe ágyazott információkat, melyek segítik az ágens döntéshozatalát.

Ez a kiegészítő bemenet lehetővé teszi a javasolt módszerrel tanított és felhasznált ágensek számára, hogy

felismerjék a vezérelt rendszer devianciáit, és ezt követően adaptálják kialakított stratégiájukat a megváltozott körülmények robusztus kezelése érdekében. A keretrendszer alkalmazása jelentős javulást eredményez a hagyományos RL-alapú megoldásokhoz képest és a nehezen hozzáférhető információk alapján működő ágensekkel is összehasonlítható teljesítményhez vezet.

7. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

A KDP-IKT-2023-900-11-00000957/0000003 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a KDP-2023 pályázati program finanszírozásában valósult meg.

A kutatás a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

8. FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] L. Wang et al., „Efficient Reinforcement Learning for Autonomous Driving with Parameterized Skills and Priors,” in *Robotics: Science and Systems*, Daegu, R. of Korea, 2023.
- [2] Z. Zhang, A. Liniger et al., „End-to-End Urban Driving by Imitating a Reinforcement Learning Coach,” in *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Montreal, Canada, 2021.
- [3] E. Kaufmann, L. Bauersfeld et al., „Champion-level drone racing using deep reinforcement learning,” *Nature*, vol. 620, pp. 982-987, 2023.
- [4] P. Adolfo et al., „Position/force control of robot manipulators using reinforcement learning,” *Industrial Robot: The International Journal of Robotics Research and Application*, vol. 46, pp. 267-280, 2019.
- [5] X. B. Peng, M. Andrychowicz et al., „Sim-to-Real Transfer of Robotic Control with Dynamics Randomization,” in *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Singapore, 2017.
- [6] F.-M. Luo, S. Jiang, Y. Yu et al., „Adapt to Environment Sudden Changes by Learning a Context Sensitive Policy,” in *AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 2022.
- [7] W. Koch, R. Mancuso et al., „Reinforcement learning for UAV attitude control,” *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, vol. 3, no. 2, pp. 1-21, 2019.
- [8] J. Baltes et al., „A deep reinforcement learning algorithm to control a two-wheeled scooter with a humanoid robot,” *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, vol. 126, p. 106941 2023.
- [9] J. Schulman et al., „Proximal Policy Optimization Algorithms,” 2017.
Available: <https://arxiv.org/abs/1707.06347>.
- [10] R. Dhaouadi et al., „Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots using Lagrange and Newton-Euler Methodologies: A Unified Framework,” *Advances in Robotics & Automation*, vol. 02, 2013.
- [11] Ray, „RLlib: Industry-Grade Reinforcement Learning,” [Online].
Available:
<https://docs.ray.io/en/latest/rllib/index.html>.

IPMSM CSÚSZÓMÓD SZABÁLYOZÁSA A MUNKAPONTOK FIGYELEMBE VÉTELÉVEL

SLIDING MODE CONTROL OF IPMSM MACHINES ACCOUNTING FOR WORKING POINTS

Tóth-Katona Tamás^{}, Dr. Stumpf Péter^{**}, Dr. Szabó Gergely^{***}*

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás folyamán egy másodrendű forgó elektromechanikus rendszer histerézissel terhelt csúszómód szabályozás alapú megoldásait vizsgáljuk. Az elektromechanikus rendszer meghajtója egy IPMSM gép. A kutatás során az adaptív csúszófelület és adaptív elérési törvény metódusok kerültek kivizsgálásra, illetve kiértékelésre beállási idő, túllövés és beállási pontosság alapján.

ABSTRACT

In this paper sliding mode control methods of a second order electromechanical system was investigated. The driveline was loaded with a hysteresis profile and the drive of the system is an IPMSM. In this brief the adaptive sliding surface and adaptive reaching law methods were compared. The comparison is based on the respective settling time, settling precision and overshoot of the control strategy.

INTRODUCTION

The global trends in the electrification of drivelines show an upwards trend. More and more Internal Permanent Magnet Synchronous Machines (IPMSM) are used in electric or mild-hybrid vehicles. This is due to a number of positive attributes of IPMSMs, such as high efficiency, high power density and a wide-speed range operation. In many cases these systems have a number of uncertainties [1]. The uncertainties can vary from environmental hazards to driveline losses or changing parameters depending on the working point of the given driveline. To handle these uncertainties, many variable structure control (VSC) systems have been researched and many surveys and state-of-the-art papers were written in this field [2], [3]. Among the various VSC method Sliding Mode Control (SMC) is one of the most applied due to its favorable characteristics such as robustness,

simplicity and possibility to reduce control system complexity by using hyperplanes.

The hyperplanes of the SMC controller are commonly sliding surfaces in the scientific literature. These sliding surfaces are defined in the systems m -dimensional phase plane which can be derived from the mathematical model given for the system. The sliding surfaces are reached according to a set of reaching laws, then the system is controlled to the desired state of the system via a control input. These phases of the control are called, reaching and sliding phase. Moreover, in modern electromechanical drivelines the control of the system is carried out with the help of digital electric circuit units (ECU) and microcontrollers. Therefore, discrete-time SMC (DSMC) controllers are more and more prevalent today [4]. In modern DSMC structures to enhance dynamic performance we may either introduce nonlinear sliding surfaces to achieve pre-defined finite settling time, resulting in terminal-DSMC [5]. Another way, is to attenuate the chattering by using high-order DSMC [6] or by using different switching based functions for the control law [7]. Nonetheless, further work is still needed regarding high dynamical electromechanical systems, where we account for hysteresis, input delay and input constraints. Therefore, in this paper we investigate the settling precision of a DSMC structure, where we account for control input constraints and hysteresis. The rest of the paper is organized as follows. In Sec.2 the theoretical background of the paper is established. In Sec.3 the designed discrete-time sliding mode controller is detailed with the selected reaching and sliding phase control laws. In Sec.4 the simulation results are presented. The simulations are carried out in Matlab/Simulink using discrete-time software (SW) modelling and continuous-time hardware modelling (HW). Finally, in section Sec.5 we conclude the paper, summarize the results and investigate future improvement possibilities.

^{*} PhD Student at Budapest University of Technology and Economics, tamas.tothkatona@aut.bme.hu

^{**} Docent at Budapest University of Technology and Economics stumpf.peter@aut.bme.hu,

^{***} Instructor at at Budapest University of Technology and Economics, szabo.gergely@vik.bme.hu

1. THEORETICAL BACKGROUND

In this section the theoretical background of the paper is provided, meaning the equations describing the system and the structure of the control loop.

1.1 Motion and machine equations of a second order electromechanical driveline.

In this paper the mechanical components of the electromechanical driveline are assumed to be modelled as a second order system, where reduced stiffness s and damping coefficient k are acting against the rotation of an axle's inertia Θ_m where the driving torque is hampered by a hysteresis characteristic $M_\eta(\mathbf{x})$.

Then, the motion equations of the electromechanical driveline can be written in a state space model as:

$$\begin{bmatrix} \dot{\varphi}_m \\ \dot{\Omega}_m \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -s & -k \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} \begin{bmatrix} \varphi_m \\ \Omega_m \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}}_{\mathbf{b}} \underbrace{M_e}_{\mathbf{u}} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{M_\eta}{\Theta_m} \end{bmatrix}}_{\mathbf{d}} \quad (1)$$

where, $\mathbf{A}$ is the state matrix, $\mathbf{b}$ is the input matrix, $\mathbf{d}$ is the uncertainty vector, φ_m is the motor position, Ω_m is the motor speed, Θ_m is the electric drivelines reduced inertia, $M_\eta(\varphi_m)$ is a general state dependent hysteresis profile of the mechanical driveline, in this case linearly dependent on the motor position. Finally, M_e is the electric torque of the motor. In modern SMC control structures, the controlled state variables are to follow some reference trajectory. This is most done by introducing error functions given in equation (2)

$$\begin{aligned} \tilde{\varphi}_m &= \varphi_m - \varphi_m^r \\ \tilde{\Omega}_m &= \Omega_m - \Omega_m^r \end{aligned} \quad (2)$$

where, φ_m^r and Ω_m^r are reference motor position and speed.

To continue to adhere to the papers given in the following section, these error functions are used as the states of the state-space, this entwines the resultant state-space equations given in equation (3).

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^r) + \mathbf{b}\mathbf{u} + \mathbf{d} \quad (3)$$

Where, $\mathbf{x} = \begin{bmatrix} \tilde{\varphi}_m \\ \tilde{\Omega}_m \end{bmatrix}$ and $\mathbf{x}^r = \begin{bmatrix} \varphi_m^r \\ \Omega_m^r \end{bmatrix}$.

It is to be noted that, the difference based state space was made by subtracting the reference values and cannot be handled as initial condition of the state space equations, therefore, they are added to the state space model. The derived equivalent control law will be discussed in Sec.0. The control signal of the mechanical portion M_e of the electromechanical system is the electric torque of the

IPMSM within the system. The torque of an IPMSM can be calculated via motor parameters and the help of i_d and i_q current components as

$$M_e = \frac{3}{2} n_p i_q (\Psi_{PM} + \Delta L i_d), \quad (4)$$

where n_p is the number of pole pairs in the IPMSM, Ψ_{PM} is the flux of the permanent magnet, $\Delta L = L_d - L_q$, where L_d and L_q are the d and q axis inductance of the machine. The voltage equation of an IPMSM where the iron losses are also considered can be written in dq-axis as [8]

$$\begin{aligned} v_d &= R_s i_{d1} + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega_1 L_q i_q \\ v_q &= R_s i_{q1} + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega_1 L_d i_d + \omega_1 \Psi_{PM} \end{aligned} \quad (5)$$

where, $\omega_1 = n_p \Omega_m$ is the electric speed of the machine, R_s is the stator resistance, v_d and v_q are the direct and quadrature voltages. Furthermore, $i_{d1} = i_d + i_{di}$ and $i_{q1} = i_q + i_{qi}$ where i_{di} and i_{qi} are the d and q axis current through resistance R_i , expressing the iron loss of the machine [8]. Two constraint equations are given for the IPMSM. The voltage constraint given in the following equation (6).

$$\sqrt{v_d^2 + v_q^2} = V_1 \leq V_{1,\max} = \frac{V_{DC}}{\sqrt{3}} \quad (6)$$

Where V_1 denotes the momentary amplitude of the stator voltage and V_{DC} is the DC bus voltage of the VSI.

The current constraint equation given in the following equation (7).

$$\sqrt{i_{d1}^2 + i_{q1}^2} = I_1 \leq I_{\max}, \quad (7)$$

where I_1 denotes the momentary amplitude of the stator current and $I_{\max}$ is the maximum allowable current of the drive system.

1.2 Control Structure of the Driveline

On Fig.1 the control structure of the electric driveline can be seen. First, the reference position φ_m^r is passed to the sliding mode controller, which outputs the control input of the mechanical driveline, which is the reference torque. The reference torque of the IPMSM machine is calculated according to the machine equations given in equation (5) and based on the optimal searching-based reference current generation algorithm presented in the paper [8].

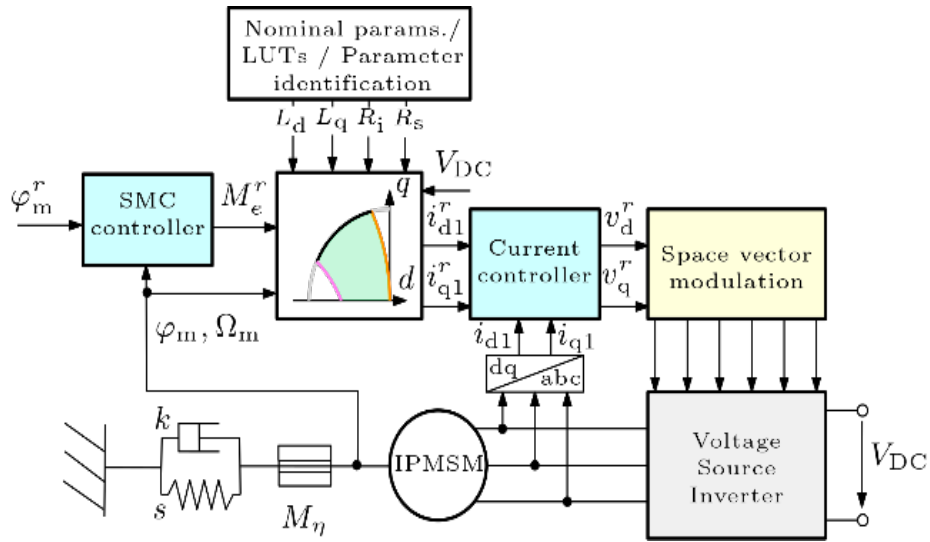


Fig.1. Control structure of the electromechanical drive system.

The reference generating algorithm outputs the reference currents and passes them to the "Current Controller" block. The current controller was designed according to paper [9]. In the paper the closed loop current controller was designed using discrete time block-pole placement to define its dynamics. In case of a wide range of working points the motor parameters could vary, this can be handled with LUTs or parameter identification methods. The Space Vector Modulation (SVM) block implements the most commonly used so-called Min-Max modulation method and outputs the phase duties to the legs of the Voltage Source Inverter (VSI). The IPMSM model accounts for iron losses and copper losses. Finally, the SMC control of the electromechanical driveline is detailed. However as this is the main component of this article it is discussed separately in the following section.

2. SLIDING MODE CONTROLLER DESIGNS

In this section the designed sliding mode controller is described. Paper [10] proposed a sliding mode control where the sliding surface adapts according to the system state. It is suggested in that paper that all sliding surfaces should be stable and attracting the system states to the origin of the phase plane. Furthermore, a fuzzy logic and iterative cost function minimalization algorithm was included in that paper. Here, different to the findings of that study, a simpler approach is chosen, simply using a state dependant line segment of an initial and a target sliding manifold, then calculating the control signal based on the equivalent control law and saturation function defined. First let us derive the equivalent control law in case of a constant sliding surface to illustrate the drawbacks of a constant sliding manifold.

2.1 Derivation of Control Law

Most commonly the sliding manifold is defined as

$$\sigma(\mathbf{x}) = \mathbf{c}^T \mathbf{x} = \lambda_1 \tilde{\varphi}_m + \tilde{\Omega}_m \quad (8)$$

where, $\mathbf{c}^T = [\lambda_1 \ 1]$ is the vector defining the sliding manifold. Along the sliding manifold the error signal is null, and in case of continuous control the differential is also zero,

$$\mathbf{c}^T \dot{\mathbf{x}} = 0 \quad (9)$$

Therefore, by multiplying both sides of equation (3) by the sliding surface vector and solving for the control input, we can find the equivalent control law along the sliding surface in discrete time, derived in equation (10) we have:

$$\begin{aligned} u_{eq}(n) &= -(\mathbf{c}^T \mathbf{b})^{-1} \mathbf{c}^T \mathbf{A}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^r) \\ &= s \cdot \varphi_m + (k - \Theta_m \lambda_1) \Omega_m \end{aligned} \quad (10)$$

where n represents the n -th sampling time of the system, however for sake of brevity this will be neglected in the notation later on.

To handle the unknown nonlinear disturbance most commonly a switching-type control law is added to the equivalent control. In our case is a a saturation based control law:

$$u_{sw} = -M_e^{\max} \cdot \text{sat}(\sigma(\mathbf{x})) \quad (11)$$

where, the $\text{sat}(\sigma(\mathbf{x}))$ function is defined as according to equation (12).

$$\text{sat}(\sigma(\mathbf{x})) = \begin{cases} -1 & \text{if } \sigma(\mathbf{x}) < -\Delta \\ \frac{\sigma(\mathbf{x})}{\Delta} & \text{if } |\sigma(\mathbf{x})| < \Delta \\ 1 & \text{if } \sigma(\mathbf{x}) > \Delta \end{cases} \quad (12)$$

Where, Δ is a design parameter. Thus the sliding phase control input can be written as:

$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_{\text{eq}} + \mathbf{u}_{\text{sw}} \quad (13)$$

It can be noticed, when all is written, that in this case the $-\Theta_m \lambda_1 \Omega_m$ component of the equivalent control law impedes the maximum available torque output, especially in deep field weakening during reaching phase, thus restraining the control structure to output the maximal control signal. To minimize this problem one could say that tuning λ_1 sufficiently should be enough. However, this will be constly in dynamics near the equilibrium, or in an edge case, if $\lambda_1 = 0$, then the error signal $\sigma(\mathbf{x}) = 0$ will also hold, thus the control will not produce any torque reference. To attenuate this problem an adaptive sliding manifold is proposed.

2.2 Adaptive Sliding Manifold

The idea is to minimize the effect of this component of the control law while the motor is speeding up, and near the equilibrium we allow the full effect. Meaning, we wish the following characteristic for the parameter $\mathbf{c}^T$ defined in equation (14).

$$\begin{aligned} \lim_{\varphi \rightarrow 0} \mathbf{c}^T(\tilde{\varphi}) &= \mathbf{c}_t^T \\ \lim_{\varphi \rightarrow \text{inf}} \mathbf{c}^T(\tilde{\varphi}) &= \mathbf{c}_{\text{ini}}^T \end{aligned} \quad (14)$$

In equation (14), the slope of the linear manifold has been made a function of the position error $\mathbf{c}^T(\tilde{\varphi})$, $\mathbf{c}_{\text{ini}}^T$ is the initial slope and $\mathbf{c}_t^T$ is the target slope.

However, if let us assume that the initial slope would be null $\mathbf{c}_{\text{ini}}^T = [0 \ 1]$ then in many cases the initial error value $\sigma(\mathbf{x}) = 0$ would also hold. Therefore, the characteristics given in equation (14) are not sufficient alone. An initial offset is also to be set to ensure it. This can be imagined as an initial speed request that is to be reached, on the phase plane this would be represented as a constant speed offset, this characteristic is given in equation (15)

$$\begin{aligned} \lim_{\varphi \rightarrow 0} \Delta_\Omega(\tilde{\varphi}) &= \Delta_\Omega^t \\ \lim_{\varphi \rightarrow \text{inf}} \Delta_\Omega(\tilde{\varphi}) &= \Delta_\Omega^{\text{ini}} \end{aligned} \quad (15)$$

where, $\Delta_\Omega(\tilde{\varphi})$ is the speed offset value.

Then the line segment weighing function is also used here for the sliding manifold and the offset values resulting in the error signal

$$\sigma(\mathbf{x}) = \left(\delta(\tilde{\varphi}) \mathbf{c}_{\text{ini}}^T + \left(1 - \delta(\tilde{\varphi}) \right) \mathbf{c}_t^T \right) \mathbf{x} + \delta(\tilde{\varphi}) \Delta_\Omega^{\text{ini}} \text{sgn}(\tilde{\varphi}) \quad (16)$$

as the target offset is $\Delta_\Omega^t = 0$. Furthermore, where $\delta(\tilde{\varphi}) = \frac{1}{\Delta_{\tilde{\varphi}}} |\tilde{\varphi}(n)| - \frac{1}{\Delta_{\tilde{\varphi}_1}}$. In this function, $\Delta_{\tilde{\varphi}_1}$ and $\Delta_{\tilde{\varphi}}$ are design parameters to set the initial and end position error of the line segment interpolation.

The control law is then equivalent in form to that of in equation (13), however the constant slope λ_1 is changed to weighted function:

$$\lambda_1 \rightarrow \left(\delta(\tilde{\varphi}) \lambda_1^{\text{ini}} + \left(1 - \delta(\tilde{\varphi}) \right) \lambda_1^t \right) \quad (17)$$

With this are interpolation function is finished and are control law is defined along the phase plane. The simulation results are gathered in the following section.

3. SIMULATION RESULTS

In this section the simulation results are summarized. The simulations were built in Matlab/Simulink, the SW components were simulated in discrete time and the HW components were simulated in continuous time. The SW components ran with different sampling time, the DSMC had a sampling frequency of 1[kHz], while the current controller had a sampling frequency of 20[kHz]. In Table 1. the simulation parameters are gathered, which are relevant to the design of the sliding mode controller, such as maximum electric torque, and design parameters and driveline limitations. The parameters of IPMSM can be found in [8].

Table 1. Simulation Parameters

Name	Symbol	Value[unit]
Ini. Manifold	$\mathbf{c}_{\text{ini}}^T$	[50 1]
Tar. Manifold	$\mathbf{c}_t^T$	[0 1]
Ini. Offset	$\Delta_\Omega^{\text{ini}}$	$\pm 800[\text{rad/s}]$
Tar. Offset	Δ_Ω^t	0[rad/s]
Weight fact.	$\Delta_{\tilde{\varphi}}$	59[rad]
Weight fact.	$\Delta_{\tilde{\varphi}_1}$	6[rad]
Boundary fact	Δ	150[-]
Act. Limit	$ \tilde{\varphi}(n) ^m$	110[rad]
Stiffness	s	0.063[Nm/rad]
Inertia	Θ_m	460e-6[kgm^2]
Damping	k	0.001[Nm/(rad/s)]
Max. Torque	M_e^{max}	12.73[Nm]
Max Hyst.	M_η^{max}	2[Nm]

The hysteresis hampering the system is shown in Fig. 2 Hysteresis characteristic of the electromechanical driveline Fig. 2, where it can be seen that the absolute value of it increases linearly according to the position of the system.

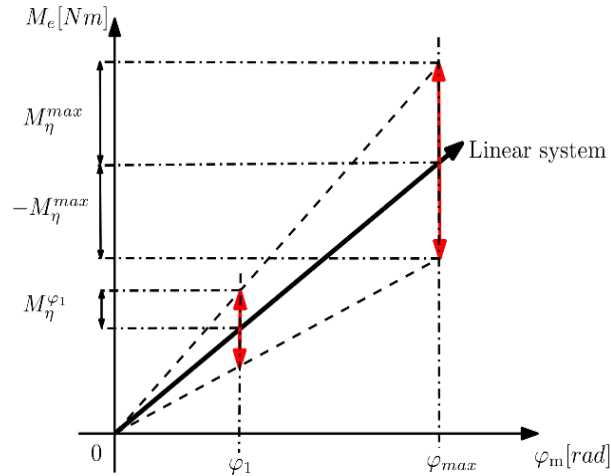


Fig. 2 Hysteresis characteristic of the electromechanical driveline

In Fig.3 the phase plane of the system is shown in case of a stepwise reference position change in both directions in succession of one-another.

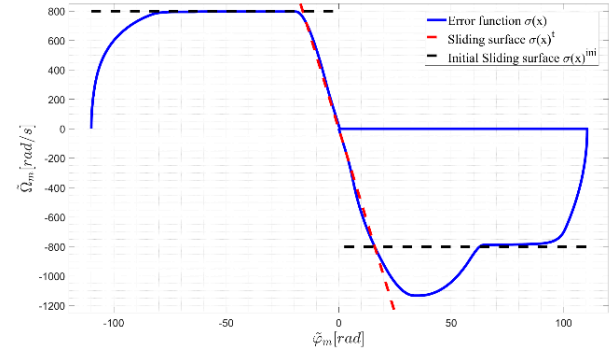


Fig. 3. Phase plane of the electromechanical drive showing the initial sliding manifold, the target manifold, and the dynamical behavior of the system.

Initially, the state of the system follows the initial slope, then continuously converges to the target manifold in a stable fashion. There is no chattering along the system, but there are some oscillations in case of the reverse direction dynamics. In Fig. 4 the transient behavior of the controlled electromechanical system is presented.

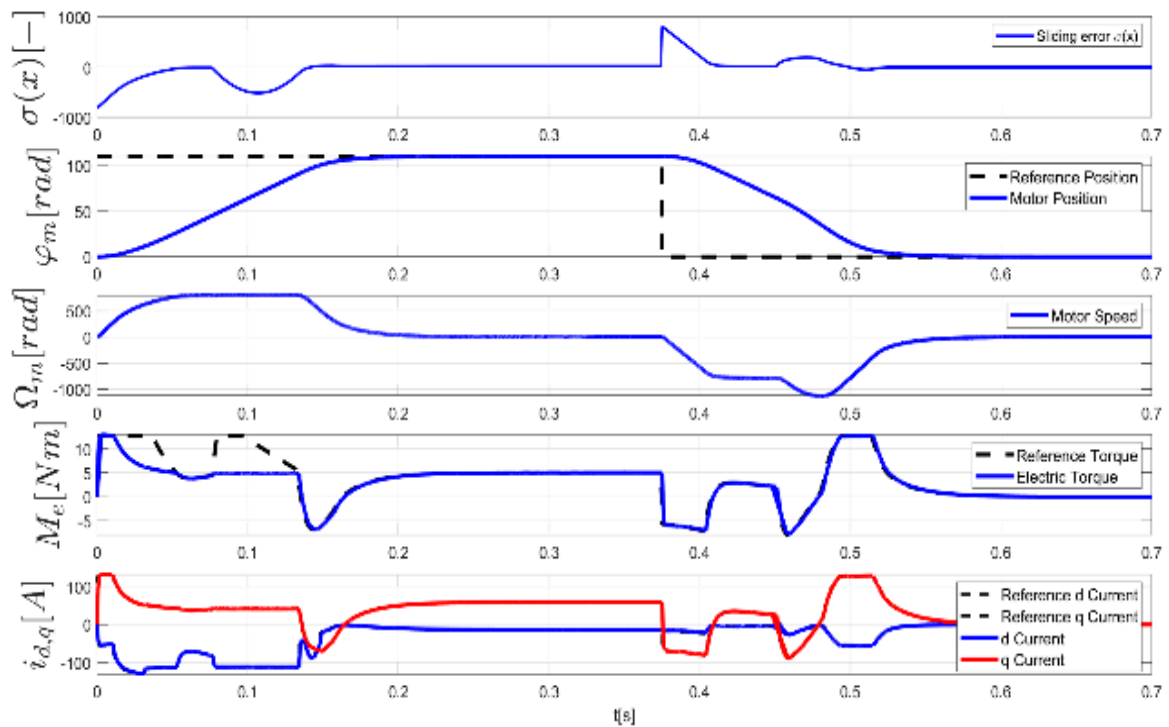


Fig. 4 Transient dynamics of the electromechanical driveline with adaptive sliding surface control.

The first plot of the figure shows the error signal $\sigma(x)$. Initially the error decreases, but as the sliding slope begins to change, the error increases, this was expected and stability was still maintained, but mathematical proof of stability should be provided in future work. The second subplot shows the position and reference position

of the motor. It can be seen that there is no chattering along the sliding mode. Furthermore, settling precision is high, as steady state error is approximately 0.5%. The third plot shows the speed of the machine, where in both directions it initially reaches the initial speed offset, then due to the energy provided by the spring in reverse

direction it can speed up even more. Subplot 4 shows the transient behaviour of the IPMSM. It can be seen that only in the initial portion of the dynamics does the realized electric torque follow the reference torque. This is due to the field-weakening characteristic of IPMSM motors. Above nominal speed the IPMSM cannot provide nominal torque, nonetheless, the reference generating algorithm always requests the maximum achievable torque in each working point. This is reinforced by subplot 5 where the lower level the lower level control efficiency is highlighted. It shows, that while the controller requests higher torque the reference generating algorithm only passed further realizable current references which resulted in smooth currents and good current following dynamics.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

In conclusion the proposed simple adaptive sliding surface methodology coupled with the saturation function based switching function proved to be beneficial even in high hysteresis electromechanical systems according to simulation data. One main benefit is simplicity as only 3 design parameters are required, the other control parameters can be derived from motor parameters. Furthermore, the IPMSMs speed was indirectly limited in and the IPMSMs field weakening properties could be utilized effective with stable current control. The position error converged even in case of maximum dynamics in the $\pm 0.5\%$ range of the reference position, which is satisfactory in case of a high hysteresis system. Moreover, no chattering was experienced along the sliding manifold. In our future work we aim to also compensate the effects of hysteresis in case of low speed actuations with identification or observer methods. Also, in future works we aim to include measurement results.

5. REFERENCES

- [1] C. a. H.-P. D. a. V.-R. R. a. M.-M. D. Miguel-Espinar, „Review of Flux-Weakening Algorithms to Extend the Speed Range in Electric Vehicle Applications With Permanent Magnet Synchronous Machines,” *IEEE Access*, pp. 22961-22981, 2023.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3252360>
- [2] X. a. F. Y. a. M. Z. Yu, „Terminal Sliding Mode Control – An Overview,” *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society*, pp. 36-52, 2021.
<https://doi.org/10.1109/OJIES.2020.3040412>
- [3] A. Šabanovic, „Variable Structure Systems With Sliding Modes in Motion Control—A Survey,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, pp. 212-223, 2011.
<https://doi.org/10.1109/TII.2011.2123907>
- [4] B. Wang, „On Discretized Sliding Mode Control Systems,” *IFAC Proceedings Volumes*, pp. 13357-13361, 2011.
<https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03798>
- [5] S. a. M. S. a. I. N. a. B. O. a. H. H. Amirkhani, „Fast terminal sliding mode tracking control of nonlinear uncertain mass–spring system with experimental verifications,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, p., 2019.
<https://doi.org/10.1177/1729881419828176>
- [6] J. a. Y. S. a. L. Y. a. K. W. Gil, „Super Twisting-Based Nonlinear Gain Sliding Mode Controller for Position Control of Permanent-Magnet Synchronous Motors,” *IEEE Access*, pp. 142060-142070, 2021.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3121127>
- [7] K. a. L. J. a. K. M. a. Y. K. Kim, „Adaptive Sliding Mode Control of Rack Position Tracking System for Steer-by-Wire Vehicles,” *IEEE Access*, pp. 163483-163500, 2020.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021038>
- [8] P. a. T.-K. T. Stumpf, „Optimal Searching-Based Reference Current Computation Algorithm for IPMSM Drives Considering Iron Loss,” *Actuators*, p., 2024.
<https://doi.org/10.3390/act13080321>
- [9] M. a. A. A. A. H. a. Q. Z. a. T. T. a. B. F. Hinkkanen, „Current Control for Synchronous Motor Drives: Direct Discrete-Time Pole-Placement Design,” *IEEE Transactions on Industry Applications*, pp. 1530-1541, 2016.
<https://doi.org/10.1109/TIA.2015.2495288>
- [10] P. Hušek, „Adaptive sliding mode control with moving sliding surface,” *Applied Soft Computing*, pp. 178-183, 2016.
<https://doi.org/10.1016/j.asoc.2016.01.009>

ALUMÍNIUM PROFILOK ÉS HORONYANYÁK KÖZÖTTI KOMPATIBILITÁS VIZSGÁLATA

COMPATIBILITY TEST BETWEEN ALUMINIUM PROFILES AND GROOVE NUTS

Dr. Bihari Zoltán, Besenyey István**

ABSTRACT

In previous articles, the properties of the groove nuts used in the construction of aluminium profile structures have been presented. There are many different ways of incorporating these elements.

It depends to a large extent on the geometric design. This article seeks to answer whether compatibility can be found between the products of different manufacturers. To answer this question a detailed set of criteria has been developed. An example of this is illustrated in this paper.

1. BEVEZETÉS

Több korábbi tanulmányban már bemutattuk az alumínium gépépítő rendszerek elemeivel való géptervezés különböző aspektusait. Szó volt a profil centrálfurat terhelhetőségének kérdéseiről [1], a különböző terhelések okozta deformációkról [2], de említésre került az egyes csatlakozások létrehozásának egyik fő eleme, a horonyanya is [3]. Utóbbi cikk részletesen tárgyalta a különböző gyártók és forgalmazók által kereskedelmi forgalomban értékesített típusokat. Említésre kerültek a különböző fajta anyák előnyös és hátrányos tulajdonságai. A [3] által bemutatott eredmények többek között egy csoportosítási rendszert is tartalmaznak, amely alapján az egyes fő- és altípusok egy-egy kóddal azonosíthatóak. A kategorizálásra azért volt szükség, hogy a további vizsgálatok elvégezhetőek legyenek, hiszen a nagyszámú típus és nagy méretválaszték jelentősen megnehezíti a mérnökök alumínium profilos gépépítés területén végzett munkáját. A tanulmány összefoglalásában hangsúlyoztuk, hogy egy adatbázis, valamint egy feltételrendszer kidolgozása folyamatban van, amely szándékaink szerint lehetővé teszi, hogy ismert geometriai adatok birtokában eldönthessük, hogy mely alumínium profil lehet kompatibilis egy önkényesen választott horonyanyával. A továbbiakban a horonyanyák azonosítására szolgáló kódokat a [3], valamint az 1. ábra alapján fogjuk használni és „{ }” jelek közé tesszük, például {1C-N}, amely egy szimpla menetes profilvégbe csúsztatható, perem nélküli, nem önbeálló horonyanyát jelöl.

Sajnos területi korlátok miatt ebben a tanulmányban nincs lehetőség mindhárom főcsoport

beépíthetőségi feltételrendszerének bemutatására, így terveink szerint egy több részből álló cikksorozat keretein belül térünk ki részleteiben a kutatások által elért eredményekre. A 1. ábrán leszűrítettük azokat a variánsokat, amelyekkel ez a tanulmány nem kíván foglalkozni.

2. A FELTÉTELRENDSZER KIDOLGOZÁSÁNAK ALAPJAI

A nagyobb alumínium gépépítő profilgyártók a termékük felhasználhatósága érdekében forgalmaznak összekötő elemeket, csavarokat és horonyanyákat is. Ezzel lehetőség nyílik arra, hogy a profilhoz azzal maximálisan kompatibilis kiegészítőket rendeljünk. A kisebb gyártók és forgalmazók inkább más beszállítók termékeit ajánlják a profiljukhoz, vagy megneveznek egy nagyobb, de számukra konkurens céget, amelynek termékeivel részben vagy egészben a kompatibilitás feltétele teljesül.

2.1. Fő kategóriák

Előfordulhat az is, hogy valamilyen ok miatt nincs arra lehetőség, hogy ugyanazon beszállítótól rendeljünk profilt és kiegészítőket. Például, ha a vállalat raktárában korábbi beszerzések kapcsán viszonylag nagyobb méretválasztékkal és volumennel találunk terméket (pl. horonyanyát). Ilyenkor a tervezőnek tudnia kell, hogy ebből a felhalmozott készletből tud-e megfelelően gazdálkodni. Erre a gondolatmenetre építve három fő kategóriát hozhatunk létre.

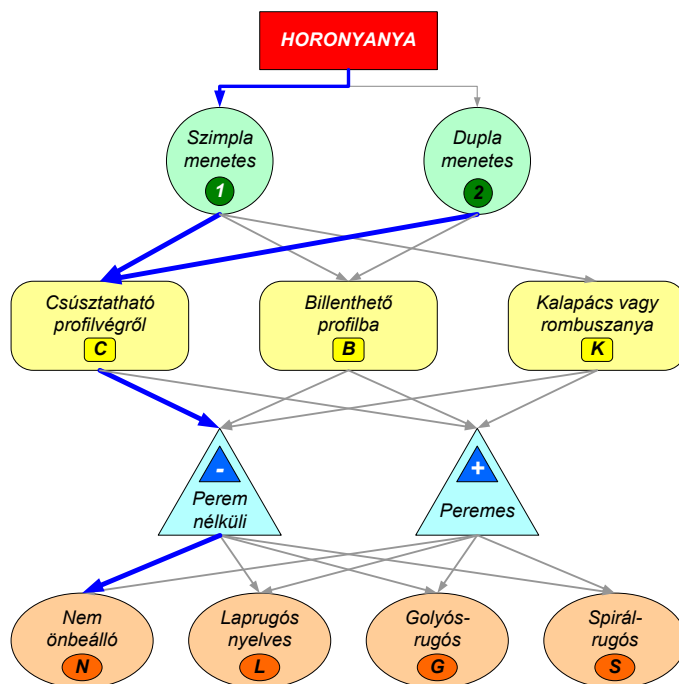
1. **Teljes kompatibilitás.** Ez azt jelenti, hogy a szóban forgó horonyanya és a profil minden vonatkozásban (szerelhetőség, terhelhetőség, esztétika, stb.) ideális párosítást képez.
2. **Részleges kompatibilitás.** A részleges kompatibilitáson azt értjük, hogy az adott horonyanya beépíthető ugyan a profil hornyába, a funkciót teljes mértékben képes teljesíteni, mechanikai szempontból sem jelent kifogást az esetleges méretdifferencia, de a beépítés komfortosságának szempontjából kényelmetlenséget okoz, vagy esztétikai szempontból látható vagy nem látható eltérést mutat.

* egyetemi docens, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

** PhD hallgató, Miskolci Egyetem Gép- és Terméktervezési Intézet

3. **Nincs kompatibilitás.** Amint a nevében is megmutatkozik, ebben az esetben az adott horonyanya és a profil között olyan mértékű geometriai eltérés tapasztalható, hogy a két elem nem építhető össze. Akkor is ebbe a csoportba

fogjuk sorolni a terméket, ha a funkció akár csak részben is, de sérül, vagy a terhelhetőség szempontjából eltérés várható a teljes kompatibilitáshoz képest.



1. ábra. A horonyanyák rendszerezése, csoportosítása és kódolása [3]

3. A PROFILVÉGRŐL BECSÚSZTATHATÓ ANYÁK VIZSGÁLATA

A legegyszerűbb geometriai kialakítású horonyanyák azok, amelyeket az alumínium gépépítő profilok végéről lehet a horonyban elhelyezni. Kedvező árfekvésük miatt kedvelt választás olyan helyen, ahol a gazdaságosság fontos követelmény, és a prototípusgyártás nem a fő tevékenységi köre az adott cégnek. Rutinos gépépítők a szerelési nehézségek miatt gyakran presszionálják a tervező és beszerző kollégákat más típus beszerzésére. Az 1. ábra szerint léteznek perem nélküli és peremes kivitelben is. Ennek részben pozicionálási, illetve terhelhetőségi aspektusai vannak. Egy másik csoportosítás szerint vannak nem önbeálló és beálló típusok, utóbbi esetén az önbeállítás különböző módokon valósítható meg.

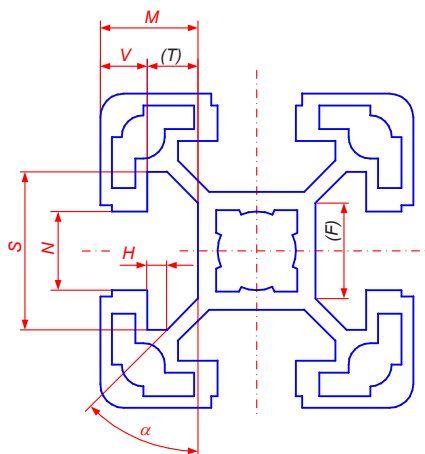
Ahhoz azonban, hogy a feltételrendszert kidolgozzuk, meg kell vizsgálni a profilban kialakított hornyot is, és a legfontosabb geometriai méreteket definiálni kell.

3.1. Gépépítő profil hornyának paraméterei

A különböző gyártók eltérő méretű és geometriai kialakítású hornyokat készítenek a termékeiken. Arra nincs lehetőség, hogy valamennyit bemutassuk, így önkényesen egy Bosch kompatibilis 4040 méretű profil 2D-s rajzán keresztül fogjuk bemutatni a továbbiakban konzekvensen használandó paramétereket (2. ábra).

Az ábrán jelöltük azokat a méreteket, amelyek alapján eldönthető lesz, hogy egy ismeretlen horonyanya alkalmas-e az adott profil szerelésére vagy sem. Ezen méretek ismerete másrésről arra is választ ad, hogy magát a profilt, gyártó szempontjából azonosítsuk – amely szintén kiemelt jelentőségű feladat. (Utóbbi állítás fontosságát a Fath Kft., amely vállalat az összekötő elemek gyártásával és forgalmazásával foglalkozik, egy korábbi Miskolci Egyetemen tartott bemutató előadásának keretén belül nyomatékosan hangsúlyozta.)

A zárójeles méretek mindegyike kiadódó méret kategóriát képez, amelyek a számítások elvégzéséhez a későbbiek során szükségessé és fontossá válnak.

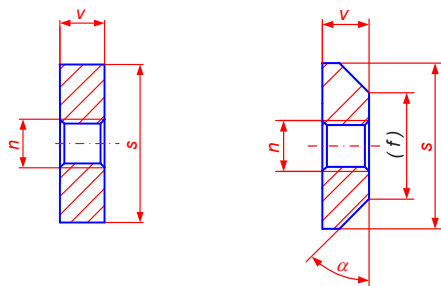


2. ábra. A profil hornyára jellemző paraméterek [5]

Az α szög a mindennapi életben alkalmazott profilok esetén jellemzően 45° . A többi funkcionális méret a profilról lemérhető.

3.2. {1C-N} típusú horonyanya paraméterei

Az alcímben szereplő kódolás szerinti horonyanya vázlatát a 3. ábra mutatja. Több típusát is megkülönböztetjük a geometria alapján. A bal oldali típus tulajdonképpen nem más, mint egy alacsony hasáb alakú acél lapka, amelyen egy menetes furat található. Kedvező árfekvése miatt a „szegény ember horonyanya” alias nevet is viseli a területet jól ismerő szakemberek szóhasználatában.



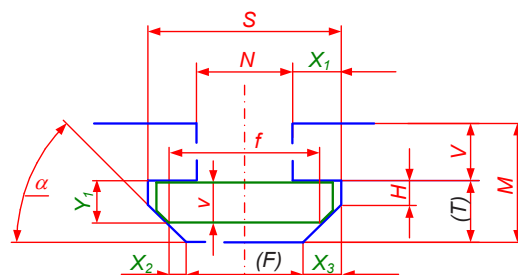
3. ábra. {1C-N} típusú horonyanya paraméterei [5]

A beépíthetőséget befolyásoló méreteket az ábrán feltüntettük. A továbbiakban megvizsgáljuk, hogy milyen paraméterek esetén adódik teljes, részleges kompatibilitás, és mely esetben nem javasolt a két elem (aluminium profil és anya) kapcsolata. A vizsgálat egyes részeinek pontos részletezésére terjedelmi korlátok miatt nincs lehetőség, de néhány alapelv tisztázása nélkülözhetetlen.

1. A teljes kompatibilitáshoz létrehoztunk egy minimális 80%-os érintkezési paramétert, amely biztosítja azt, hogy a horonyanya kellően nagy felületen érintkezzen a horonyorom belső felületével. A 80% önkényesen került felvételre, vita tárgyát képezheti, hogy ez elegendően nagy érték-e, illetve nem túlzottan szigorúan határoztuk-e meg a feltételt. Másodsorban

azonban a részleges kompatibilitás kategória sem okoz a funkcióban semmiféle anomáliát.

2. Az 5. ábra szerinti feltételrendszerben találhatóak eddig ismeretlen segédparaméterek (X_1 , X_2 , Y_1 , amelyeket a könnyebb áttekinthetőség érdekében hoztunk létre. Az alábbi vázlat egy horonyba szerelt horonyanya esetét mutatja, amely segítségével ezen segédváltozók meghatározhatók.



4. ábra. A számítást segítő paraméterek definiálása

A 4. ábra szerinti „T”, valamint „X₁” méretparaméter számítása könnyen belátható:

$$T = M - V \quad (1)$$

$$X_1 = \frac{S - N}{2} \quad (2)$$

A profil horonyfenék („F” méret) szélességének meghatározásához a már ismert adatokon kívül csak a horonyszög ismerete szükséges. Mivel a legtöbb profil esetén ez $\alpha = 45^\circ$, így ennek számszerűsítése sem jelent akadályt.

$$F = S - 2 \cdot X_3 = 2 \cdot \frac{(T - H)}{\tan \alpha} \quad (3)$$

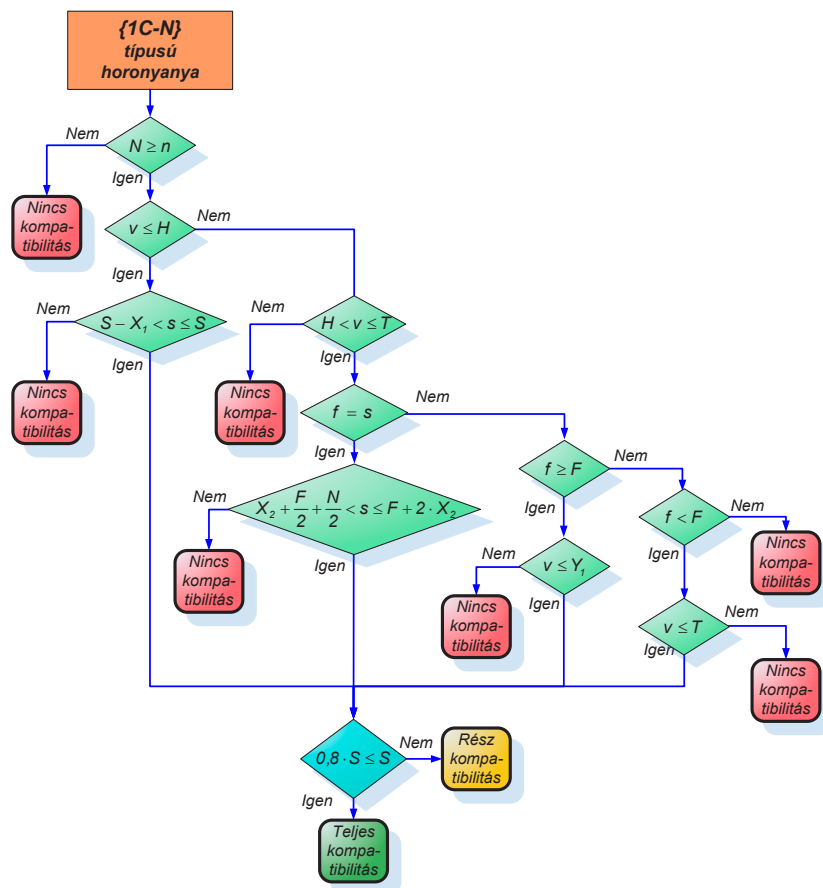
Az „X₂” paraméter egy olyan kritikus esetben érdekes, amikor a trapéz alakú horonyanya függőleges irányban éppen kitölti a rendelkezésre álló helyet a horonyban. Számítása az

$$X_2 = \frac{T - v}{\tan \alpha} \quad (4)$$

összefüggés alkalmazásával megoldható. Az „Y₁” paraméter ugyanezen szélsőhelyzetnek mondható esetben a horonyanya alsó síkja és a profil horonyormának belső vízszintes síkja közötti távolság. A 4. ábra alapján ennek számításában az alábbi összefüggés segíthet.

$$Y_1 = T - \frac{f - F}{2} \cdot \tan \alpha \quad (5)$$

Felhasználva a segédváltozókat, valamint a horonyanya és a profil hornyának geometriai adatait, a feltételrendszer blokkdiagramja elkészíthető. Ennek birtokában bármely programnyelv alkalmazásával egy olyan szoftver fejleszthető, amely kimenetként a korábban definiált három kategória valamelyikét kapjuk eredményül.



5. ábra. Folyamatábra a {1C-N} típusú horonyanya alkalmazására

4. ÖSSZEGZÉS

A cikkben bemutatott egy korábbi csoportosítási rendszerből önkényesen kiragadott horonyanya, valamint egy tetszőleges gyártó által forgalmazott alumínium gépépítő profil közötti beépíthetőségi kompatibilitás lehetőségeinek vizsgálatát mindkét elem geometriai adatainak ismeretében. Amennyiben a többi típus folyamatábráját is elkészítjük a jövőben, egy olyan teljes körű dokumentációt adhatunk egy programozó kezébe, amely lehetőséget biztosít egy olyan szoftver, vagy akár egy mobilalkalmazás fejlesztésére, amely megkönnyítheti azoknak a mérnököknek a munkáját, akik ezen a területen dolgoznak.

5. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni a Fath Kft. és a Trinox60 Bt. támogatásáért, amely nélkül az adatbázis felépítése és tesztelése nem valósulhatott volna meg.

„A KULTURÁLIS ÉS INNOVÁCIÓS MINISZTERIUM EGYETEMI KUTATÓI ÖSZTÖNDÍJ PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.”



6. IRODALOM

- [1] BESENYEI I., DR. BIHARI Z.: *Alumínium profilok belső furatának terhelhetősége gépépítési szempontból*, OGÉT 2024, XXXII. Nemzetközi Gépészeti Konferencia. Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság Csíksomlyó, 2024.
- [2] BESENYEI I., DR. BIHARI Z.: *Gépépítő alumínium profil lehajlásának vizsgálata*, GÉP, LXXV. évfolyam, 2024., 3-4. SZÁM, p 27-30.
- [3] BIHARI Z., BESENYEI I.: *Anyá csak egy van? – Ahány ház annyi lecsó*, GÉP, LXXV. évfolyam, 2024., 3-4. SZÁM, p 31-34.
- [4] FATH COMPONENTS: *Themenkatalog Maschinenbaukomponenten 18.1*, Auflage, Februar 2018.
- [5] REXROTH BOSCH GROUP: *Aluminium Structural Framing System*, Version 6.0.

ÉLELMISZERSZÁRÍTÓ BERENDEZÉS TERVEZÉSE

DESIGN OF A FOOD DEHYDRATOR UNIT

Kapitány Pálma, Dr. Rónai László***

ABSTRACT

Nowadays, thanks to technical developments, more and more tasks can be automated. Food drying can now be carried out with machines available in the household. The article aims to deal with the mechanical and electronic design of a food drying device. A concept design of the device's appearance was made, and the control program was also written and tested.

1. BEVEZETÉS

Az emberiséget már ősidők óta foglalkoztatja az ételek tartósításának, későbbi felhasználásának lehetőségei. Erre több megoldás is kínálkozik, amelyek között meg lehet említeni a sóval- szárítással-, cukorral- vagy a fagyasztással történő tartósításokat.

Szárítás során a cél az adott termék nedvességtartalmának a csökkentése, ezáltal megakadályozható legyen a lebontásért felelős mikroorganizmusok és enzimek elszaporodása. Ennek biztosítására a szárítandó termék pl. gomba vagy gyümölcs esetén a víztartalmat 10% körüli értékre szükséges lecsökkenteni [1]. Kezdetben a Nap közvetlen erejét használták fel a szárításra, ennek eszközei pl. a cserény és a szűrőpálca volt, de közvetett módszereket is használtak, mint pl. a padláson történő szárítás. A Napon történő szárítás hátrányai közé tartozik az időjárástól való függés, amely így akár hosszú szárítási időket is eredményezhet. A XX. században tapasztalható nagyfokú informatikai, elektronikai fejlődésnek köszönhetően mára már nagyon sok, fűtőszálat tartalmazó gép érhető el a kereskedelemben.

Manapság már különféle, a háztartásokban is alkalmazható élelmiszer szárítógépeket lehet vásárolni, melyek az ár függvényében különféle felszereltségekkel rendelkeznek. Ezen gépek egyik legfontosabb jellemzői közé tartozik a beállítható hőmérsékletintervallum, a szárításra alkalmas, rendelkezésre álló felület, továbbá a tálcaszám. A hőmérséklet határok rugalmas beállítása különösen fontos, hiszen vannak olyan termékek pl. gyógynövények, amelyek nem száríthatók túl nagy hőmérsékleten. Ennek egyik oka a szárítmány esztétikai megjelenésében keresendő, mivel megbarnulhat, de a minőségére is kihatással van.

Több publikáció is foglalkozik ételszáritásra alkalmas berendezés fejlesztésével. A [2] forrás egy

energiatakarékos, PID szabályozóval ellátott aszalógép tervezéséről ír, amelyben a számításokon felül a rendszer 3D-s modellje is megjelenik. A rendszer egy Arduino Uno fejlesztői platformot és egy hőmérséklet szabályozó modult tartalmaz. A szárítási tér hőmérséklete 10 °C-os tartományt tud lefedni 45 °C és 55 °C között. Egy másik kutatás egy zöldség- és gyümölcsszárító berendezés fejlesztésével foglalkozott, amely akár 50 kg terméket is képes egyenletes hőmérsékleten szárítani [3]. A tesztek során 11,5 kg banánt helyeztek be a szárítóba, a mérésekből kiderült, hogy a lenti- és a felső hőmérsékleteltérés közel van egymáshoz, a maximum 9 °C, az átlagos hőmérséklet-különbség pedig körülbelül 2 °C volt.

A [4] cikk egy alacsony költségű élelmiszerszáritó hatékonyságának és környezeti hatásának javítását elemezte. Kijelentették, hogy a szárító teljesítménytényezője (COP) 39%-kal nőtt egy a kibocsátott hőt visszanyerő (VHR) rendszer bevezetésekor, a szén-dioxid-kibocsátás egyenértéke 35%-kal csökkent, és a termék szárítási ideje is csökkent, növelve a rendelkezésre álló termelési időt. Miranda és szerzőtársai egy napelemes átalakítóval rendelkező berendezést fejlesztettek, amely Arduino fejlesztői platformot tartalmaz PID szabályozóval kiegészítve, hogy a hőmérséklet vonatkozásában az értéktartó szabályozás kivitelezhető legyen. Ezen egység 20 tálcával rendelkezik, a beállított hőmérsékletet 2,4%-os hibahatáron belül tartja [5].

Jelen cikkben egy kisteljesítménnyel rendelkező elektromos szárítógép koncepcionális tervezése a cél, amelyet a háztartásban, időszakos üzemre lehet használni. A költséghatékonyság fontos szempont, ez az elektronikai piacon olcsón elérhető, a vezérlés kialakításához szükséges hardverelemekkel biztosítható. A témából 2023-ban egy szakdolgozat is született [6].

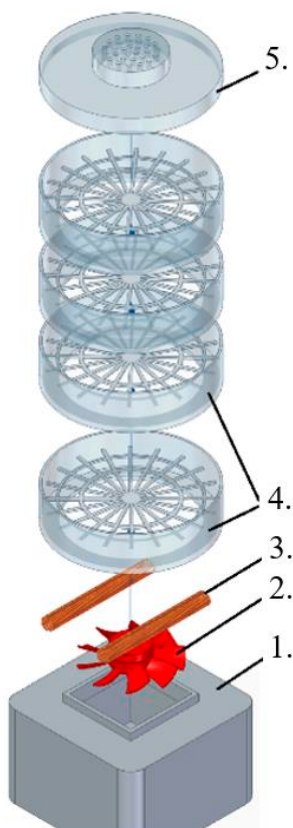
A cikk az alábbiak szerint strukturalta: a második fejezet az ételszáritóval szemben megfogalmazott követelményekre, valamint a koncepció modelljének megalkotására összpontosít. A harmadik fejezet a vezérlőrendszer megtervezésével és tesztek elvégzésével foglalkozik. Az utolsó fejezet tartalmazza az elért eredményeket és a jövőbeni terveket.

* egyetemi tanársegéd, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

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

2. A SZÁRÍTÓEGYSÉG MODELLJE

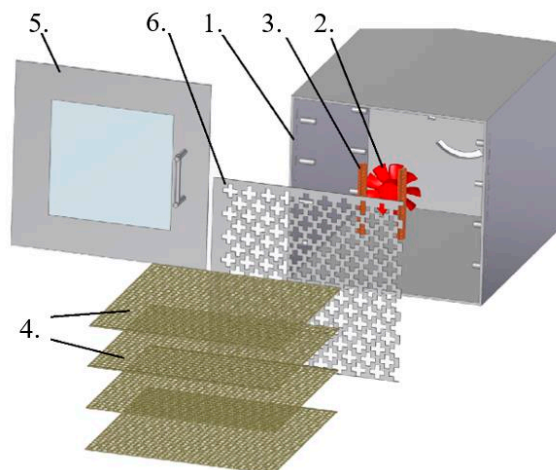
Ételszáritó egységek vonatkozásában a háztartásokban két fő típussal lehet találkozni, ezek a hengeres és a szögletes kialakítások. Ezen berendezések főbb részei az 1. és 2. ábrákkal összhangban: 1. alap, amely tartalmazza a vezérlést; 2. ventilátor a megfelelő légáramlás biztosítására; 3. fűtőszálak a kívánt hőmérséklet eléréséhez; 4. tálcák a szárítandó termékek elhelyezésére; 5. szellőztető fedél a hengeres konstrukció esetén, míg a szögletes változatnál az ajtót jelöli; 6. védőrács a 2. ábrán látható konstrukciónál.



1. ábra A hengeres aszalógép felépítése

Hogyha a két alapvető konstrukciót egymással összehasonlítjuk, akkor a piacon elérhető berendezések alapján látható, hogy a hengeres változat anyagfelhasználás szempontjából sokkal több műanyag elemet tartalmaz.

A tálcakialakítások tekintetében a szögletes változat kedvezőbb helykihasználást tesz lehetővé.



2. ábra A szögletes kialakítású egység felépítése

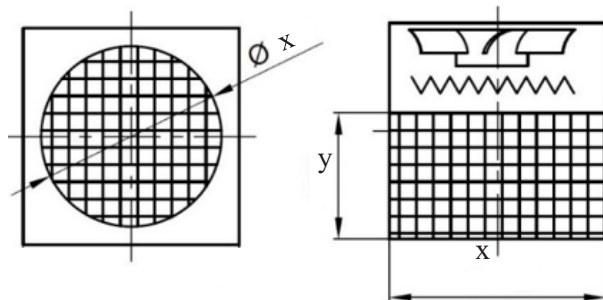
Amennyiben egy adott hengeres tálca átmérőt veszünk alapul, amely feleljen meg a szögletes változat hosszának, akkor annak mélysége könnyen számítható összhangban a 3. ábrával:

$$y = x \frac{\pi}{4} \quad (1)$$

További előnyei közé tartozik a tálcaszám növelése a gyárilag kialakított darabszámon felül.

A szögletes, fémházas szárítók nagy előnye a fűtőelem elhelyezkedése, amely a szárító oldalán, közepén található, ezért minden tálca egyenletesen melegszik fel, nem kell időnként változtatni a sorrendjüket, mint a hengeres verzió esetén.

Előzetes számítások alapján a szigetelőanyagot is tartalmazó acél burkolatú szárítóberendezés jobban szigetel a csak műanyag burkolattal szemben.



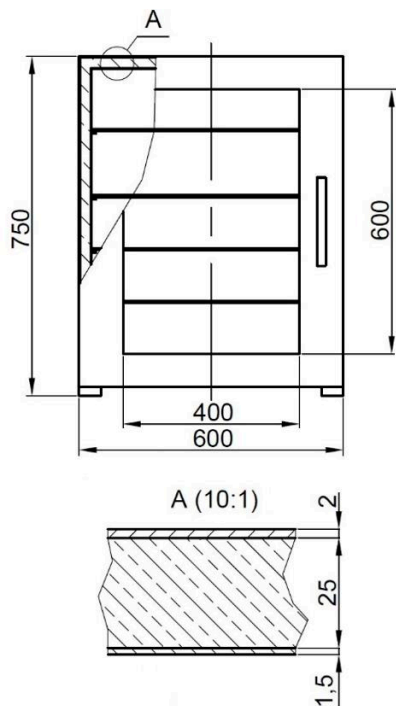
3. ábra Szárításra használható területek összehasonlítása

Az összehasonlítások alapján az alábbi követelmények kerültek megfogalmazásra a tervezendő egységgel szemben:

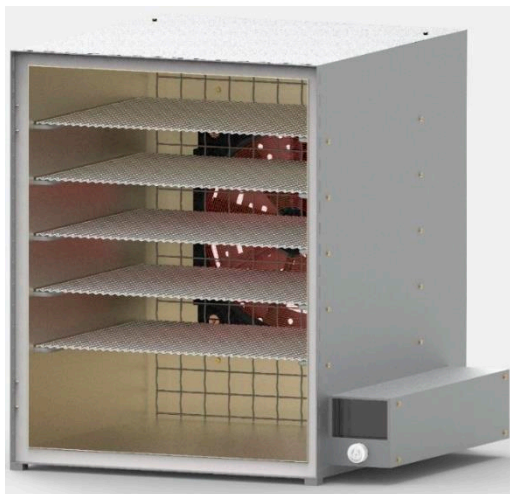
- A cél egy szögletes kialakítású változat megtervezése, fém burkolattal, ehhez rozsdamentes acél legyen felhasználva.
- Az egyes szárítótálcák mérete legyen 450 mm x 540 mm.
- A tálcák száma legyen 5 db.

- A saját fejlesztésű vezérlésnek hőmérséklet-szabályozást és időzítő funkciókat is el kell majd látnia.
- HMI funkció elérhetősége.
- Üzem módok közötti egyszerű váltás lehetősége.

A követelmények alapján a 4. ábra mutatja a sematikus rajzát a főbb méretekkel a berendezésnek.



4. ábra A tervezett rendszer főbb méretei



5. ábra A tervezett rendszer 3D-s modellje

A kialakítandó tálcák egyenként $0,24 \text{ m}^2$ alapterülettel rendelkeznek, így öt tálcával $1,2 \text{ m}^2$ szárításra alkalmas felület érhető el. Ezzel akár 8-12 kg gyümölcs is szárítható lesz egyszerre.

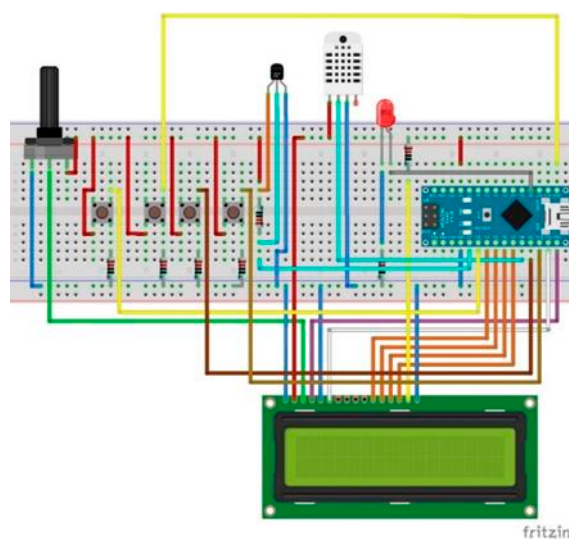
A levegő szellőztetésére axiális ventilátort fog használni a rendszer. Segítségével az ellenálláshuzalból

keletkező hő egyenletesen oszlik el a szárítóban, a gyümölcsökből és gombákból kiáramló nedvesség könnyebben tud a környezetbe kijutni. A megtervezett koncepciómodellt az 5. ábra szemlélteti.

A rendszert vezérlő egység a burkolat oldalán kapna helyet, ahogy azt az 5. ábra is szemlélteti.

3. VEZÉRLŐEGYSÉG PROGRAMOZÁSA

A működtetőprogram fejlesztése érdekében egy tesztrendszer elkészítése vált szükségessé. A tesztáramkör látványtervét szemlélteti a 6. ábra, míg a 8. ábra a tesztelésről készült fényképet mutatja. A teszthez egy számítógép ház került átalakításra, amelyen helyet kapott egy ventilátor és egy fűtőszál, amely egy szendvicssütőlapon található. Szenzorok vonatkozásában beépítésre került egy hőmérséklet- és páratartalom érzékelő modul.



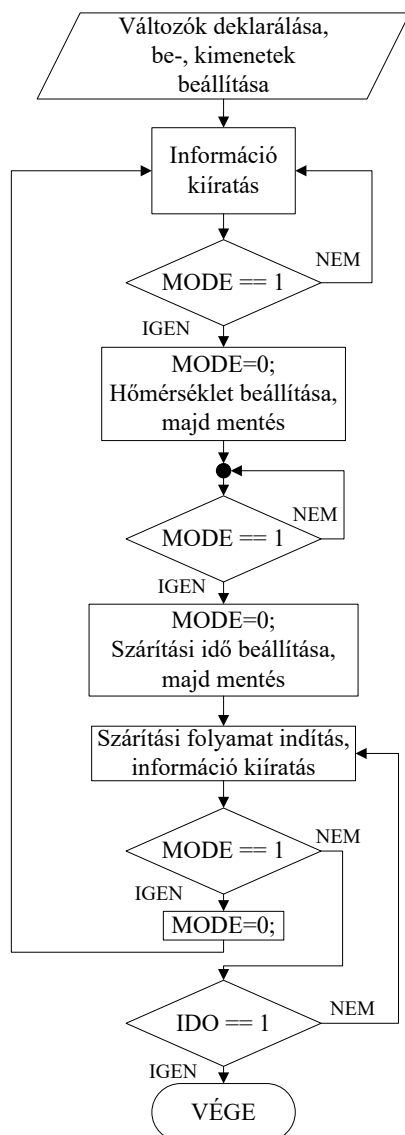
6. ábra A megtervezett vezérlőáramkör próbapanelen

A vezérlést egy Arduino Nano fejlesztői platform látja el. A programkód folyamatábrája a 7. ábrán figyelhető meg, amely Arduino IDE szoftverkörnyezetben lett megírva.

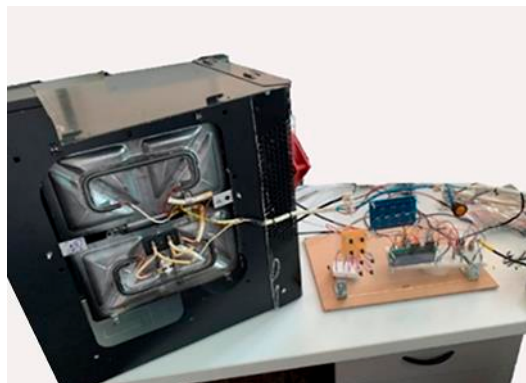
A vezérlőt bekapcsolva, megtörténik a változók deklarálása, kezdőértékek definiálása, továbbá a ki- és bemenetek beállítása. Ezután a rendszer egy LCD kijelzőre kiírja a fontosabb információkat pl. aktuális hőmérséklet és páratartalom a felhasználó számára. Összesen négy darab prellmentesített nyomógomb szükséges a feladat megoldásához. Az első gomb szolgál a módok közötti váltásra, ehhez a MODE bool típusú változó tartozik. Két nyomógomb szolgál az értékek beállítására, míg az utolsó lehetővé teszi az adott beállítások mentését.

A kezelő, ha először működteti a módválasztó nyomógombot, akkor beléphet a hőmérséklet beállító állapotba, ahol $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ és $75 \text{ }^{\circ}\text{C}$ között tudja a szárítási hőmérsékletet beállítani $5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ -os léptékekkel. A SET gomb működtetésével elmenthető a kívánt érték. Egy újabb megnyomása a módválasztó nyomógombnak eredményezi a szárítási időtartam beállítását, amelyet

félórás időközökkel lehet fél óra és 24 óra között megtenni. A SET gombbal történő mentés után kezdődik el a szárítási folyamat, amely vagy a beállított idő leteltéig fog tartani, vagy a módválasztó gomb ismételt megnyomásáig.



7. ábra A megírt program folyamatábrája



8. ábra A teszrendszer kiépítése

Egy hiszterézis tartomány definiálása történt meg. A fűtési fázisban, ha a beállított hőmérséklet értéke nem nulla, és az aktuális hőmérséklet a hiszterézis tartomány alatt van, akkor a rendszer bekapcsolja a fűtőelemet. Ha a hőmérséklet meghaladja a beállított hiszterézis tartomány felső értékét, a fűtés leáll.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk egy élelmiszerekhez alkalmazható szárítógép koncepcionális tervezésével foglalkozott, amelynek során elkészült a rendszer 3D-s modellje és a működtető programkód. A program helyességének ellenőrzése érdekében egy teszrendszer felállítása történt meg.

A jövőbeni tervek között szerepel a berendezés elkészítése, valamint egy PID szabályozó implementálása a szárítási hőmérséklet vonatkozásában.

5. IRODALOM

- [1] Bründl, L., Felcser, G., Földes, S., Horváth, E., Kovács, L. Lukács, I., Retscher S. Végh, K.: *Erdei melléktermékek gyűjtése és felhasználása*, Budapest, Mezőgazd. Kiadó, (1965)
- [2] Madhankumar, S., Muthukkkumar, K.S.R., Navaneeth, R.A., Padmanabhan, M., Shriram, K.M.: *Design and Modelling of Automated Hot Oven Food Dehydrator*, 7th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS), (2021), <https://doi.org/10.1109/ICACCS51430.2021.9441881>
- [3] Perera, P.F.S.: *Research & Development of Uniform Drying, Efficient, 50 kg, Vertical Stalked Tray, Dehydrator for Dehydrated Vegetable Market*, Proceedings of the National Engineering Research Symposium (NERS), (2022)
- [4] Bowser, T. J., Frazier, R. S., Kakarala, R. R.: *Improvement of Efficiency and Environmental Impact of a Low-Cost Food Dehydrator*, The Open Food Science Journal, (2011), <https://doi.org/10.2174/1874256401105010037>
- [5] Miranda, R., Ramos, L., Vicencio, J.: *Development of Temperature-controlled Electric Food Dehydrator with Solar-Thermal Converter*, Institute of Electronics Engineers of the Philippines (IECEP), ISSN: 2244-2146, Vol. 06 No. 1, (2024)
- [6] Czigler, E. A.: *Kisteljesítményű szárítóberendezés tervezése, vezérlése, szakdolgozat*, Miskolci Egyetem, (2023)

SÖVÉNYVÁGÓ EXCENTERES MECHANIZMUSÁNAK KINEMATIKAI TULAJDONSÁGAI

KINEMATIC PROPERTIES OF THE ECCENTER MECHANISM OF A HEDGE TRIMMER

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

ABSTRACT

Cam-follower mechanisms remain essential across automotive, industrial, and handheld power tools; here, the authors analyse the twin-eccentric cam-slot drive of a hedge trimmer. A compact kinematic model was derived that yields displacement, velocity, acceleration, and jerk (S-V-A-J) of the reciprocating blades from the shaft angle and speed. The transmission employs two equal-radius discs on a standard shaft with opposite eccentricities that run-in conjugate slots at the blade roots, enforcing synchronised, counter-phase motion. Closed-form relations are obtained for disc centre trajectories and constrained blade motion under vertical guidance, enabling frequency-dependent evaluation of S-V-A-J characteristics.

1. BEVEZETÉS

A büttyös tárcsás mechanizmusok és a hozzájuk tartozó büttyöktagok kompakt, alakzáró kapcsolatot biztosító megoldások, amelyek a nagy pontosságú pozicionálástól az indexálásig, nagy fordulatszámú üzemig számos alkalmazásban megjelennek (pl. szelepvezérlés, kéziszerszám-hajtások). A korszerű kutatásokat két fő szempont alapján végzik: az egyik a mozgástörvények olyan szintézise, amely korlátozza a nyomásszöveget, csökkenti a gyorsulási, valamint a lökés-csúcsokat, továbbá mérsékli a kontaktterhelést; a másik a statikus-dinamikus kiegyensúlyozás, illetve a nyomaték-ingadozás mérséklése, a tartósság növelése, továbbá a zaj és rezgés csökkentése érdekében.

A profilgenerálási módszerek és mozgástörvények között megtalálható a Fourier-sorok alkalmazása, ahol a büttyöktag elmozdulását periodikus függvényként kezelik, és véges számú harmonikussal közelítik. A harmonikusok és fázisok számának megválasztásával a rezonanciafrekvencia csökkenthető, miközben megvalósítható a sebesség-gyorsulás folytonossága és szabályozhatók a lökésből eredő csúcsok. Ez különösen hatékony nagy sebességű mechanizmusok esetén [1].

A Bézier-görbékkel előállított mozgástörvények finomhangolhatók, miközben magasabb rendű folytonosságot biztosítanak. A vezérlőpontok fizikai

értelmezést tesznek lehetővé (elmozdulás, sebesség, gyorsulás), és az alámetszés elkerülhető a görbületi korlátok mellett. Negatív sugarú ekvivalens büttyöktag használata (geometriai transzformáción keresztül) nagyobb emelőerőt tesz lehetővé szűk burkolófelületeken, miközben a nyomásszög a határokon belül marad [2], [3].

A büttyök-összekötő mechanizmusokban a direkt megoldás (adott profil $\rightarrow$ pálya) mellett egyre inkább az inverz megközelítést (szükséges pálya $\rightarrow$ visszafelé számított profil) alkalmazzák. Előnye a kimeneti jellemzők (pl. megadott löket, rángatási határ, adott várakozási idő) közvetlen szabályozása, amelyekből a büttyök profilja származik; a tanulmányok jobb nyomaték-ingadozást és rövidebb tervezési iterációt mutatnak az előre irányuló tervezéshez képest [4].

A konjugált tárcsa-büttyök párokban több profil működik együtt, hogy terhelés alatt is biztosítsa az erőzáró érintkezést. Mivel a túlhatározott kinematikai kényszerek felerősítik a gyártási és szerelési hibákat, a közvetett mérési módszerek a profil eltéréseit az összeszerelt mechanizmus relatív büttyöktag mozgásaiból, vagy szögeiből becsülik meg, lehetővé téve a gyors, gyártósori minőségellenőrzést a büttyökpálya koordináta-mérőgépes ellenőrzése nélkül [5].

A párhuzamos tengelyű indexelő mechanizmusok zárt alakú összefüggéseket alkalmaznak a profilra, a nyomásszögre és a fő görbületekre, támogatva az előre meghatározott időzítést és az átviteli optimalizálást. Ezzel párhuzamosan megjelentek a kompakt koaxiális indexelők (excentrikus vagy büttyök-csuklós hibridek), amelyek fordulatonként több megállást tesznek lehetővé korlátozott burkológörbével és nagy sebességgel. A prototípusok alacsony nyomásszöveget és kedvező erőátvitelt mutattak a megfelelő tartományokon belül a paraméterektől függően [6]–[8].

A rugóerők és a tehetetlenség periodikusan ellennyomatékot hoznak létre a vezérműtengelyeken. A speciális kiegyensúlyozó büttyök és mozgástörvény-szintézis képesek kompenzálni ennek a terhelésnek a jelentős részét, különösen alacsony és közepes sebességeknél, azáltal, hogy egy ellennyomaték-profil illesztenek a rugó vagy a büttyöktag erő modellhez [9].

* PhD hallgató, Miskolci Egyetem Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

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

Az integráltan kialakított ellenbüttyökkel ellátott büttyöktárcsák egyetlen darabban képesek megfelelni a statikus és dinamikus kiegyensúlyozásnak, miközben a munkakontúr részei maradnak. A kísérletek a vibrációból származó erők és a rezonanciatartomány amplitúdójának csökkenését, valamint a zaj-, a rezonanciazavar és a tartósság javulását mutatták [10].

Közel állandó kimeneti erő érhető el egy lineáris karakterisztikájú rugó és egy büttyök kombinációjával, amely effektív negatív merevséget biztosít; az erőszintet a rugó előterhelése szabályozza. Hasonlóképpen, a büttyök alakja optimalizálható, hogy széles tartományban változó merevséget valósítson meg valós mechanikai korlátok mellett. Az említett módszerek hatékonyan „programozzák” a büttyök-büttyöktag erő-elmozdulás jellegzőgörbét [3], [11].

A konjugált büttyöket széles körben használják szövőgép mechanizmusokban. Egy újabb kutatás egy kéttengelyes konjugált megoldást javasol, amely csökkenti az érintkezési feszültségeket és leegyszerűsíti a konstrukciót a többszörös koaxiális büttyökhöz képest. Digitális prototípusok és méretarányos kísérletek igazolják a mozgástörvény szerinti pontosságot (pl. trigonometrikus gyorsulás függvények) és a tartóssági előnyöket 0,01mm gyártási pontossági követelmények mellett [12].

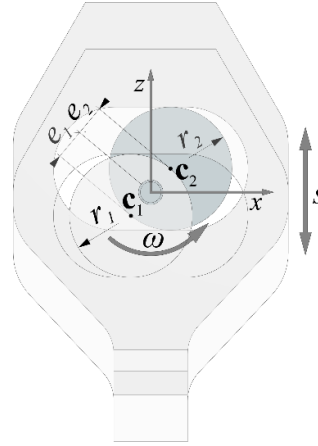
A vizsgált mechanizmus két excentrikusan rögzített tárcsát alkalmaz, amelyek peremei a pengéhoronyokban futnak – azaz egy konjugált perem-horony kényszerben –, ami a pengék ellentétes fázisú alternáló mozgását eredményezi. A vizsgált irodalmak kiemelik a Fourier-sorokkal, valamint a Bézier görbékkel meghatározott mozgástörvényeket a lökés és a nyomásszög csökkentésére; kiegyensúlyozási koncepciókat a hajtáslánc rezgésének korlátozására; és gyors összeszerelt állapotú profilhiba-ellenőrzéseket a csendes, tartós perem-horony érintkezés fenntartása érdekében.

A jelenlegi technika gazdag a profilszintézis, kiegyensúlyozás és indexelés terén, mégis kevesebb munka foglalkozik a kéttárcsás/kétréses alternálókkal, ahol az ellenirányú mozgással rendelkező vágópengék mozgását közvetlenül a tárcsa pereme korlátozza. A jelenlegi tanulmány következő lépése az S–V–A–J jellemző előzményeinek kiszámítása a rendelkezésre álló CAD geometriából, a későbbi optimalizálás és tartóssági értékelés alátámasztására.

2. AZ IKEREXCENTERES MECHANIZMUS JELLEMZŐI

A hajtás két azonos sugarú tárcsát használ, amelyek egy közös tengelyre vannak szerelve szilárd illesztéssel, oly módon, hogy azok excentricitása ellentétes irányú. Mindkét excentertárcsa egy konjugált horonyban fut, amelyet csatlakozó pengék felső részében úgy alakítottak ki, hogy megfelelő futásra legyenek képesek. Mindkét

penge a kényszermozgásnak köszönhetően függőleges irányú elmozdulásra képes, az excentertárcsák geometriai kialakításának, valamint beépítésének megfelelően a két vágópenge azonos löketű, szinkronizált és ellentétes irányú mozgást végez. Az elrendezés kompakt, részben kiegyenlíti az elsőrendű tehetetlenséget és kiszámítható szinuszos mozgástörvényt eredményez.



1. ábra Az excenteres mechanizmus jellemző geometriai méretei

A sövényvágóberendezésekben alkalmazott iker-excentertárcsás mechanizmus jellemző geometriai méreteit az 1. ábra szemlélteti. A mechanizmus kinematikai jellemzőinek meghatározásához tegyük fel, hogy a forgástengely egyik pontja az origóban jellemzett **O** ponton keresztül halad, valamint a forgástengely normál egységvektora az $\mathbf{n} = \mathbf{e}_x \times \mathbf{e}_y$ összefüggéssel határozható meg. Az excentertárcsák középpontjai egy-egy körpályán mozognak, ahol az $e_1 = -e_2$, $e_1 > 0$. A motor tengelyének szögelfordulását az idő függvényében a

$$\varphi_m(t) = \omega t + \varphi_0 = \frac{2\pi n}{60} t + \varphi_0 \quad (1)$$

összefüggéssel határozhatjuk meg. Az ikerexcenteres mechanizmus tárcsáinak középpontjaira érvényes a

$$\mathbf{c}_i(\varphi_m) = \mathbf{R}(\varphi_m) \mathbf{e}_{i,0}, (i = 1, 2), \quad (2)$$

ahol

$$\mathbf{e}_{i,0} = \begin{bmatrix} e \cos(\varphi_{i,0}) \\ e \sin(\varphi_{i,0}) \end{bmatrix}, \mathbf{R}(\varphi_m) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_m) & -\sin(\varphi_m) \\ \sin(\varphi_m) & \cos(\varphi_m) \end{bmatrix}. \quad (3)$$

A pengék csak függőlegesen mozoghatnak, melyeknek $s_i(t)$ elmozdulásait úgy definiáljuk, hogy a pengék elmozdulási iránya $\mathbf{u} = \mathbf{e}_z$. A függőleges vezetés miatt az elmozdulás iránya a tárcsaközéppont merőleges vetületével megegyező:

$$s_i(\varphi_m) = \mathbf{e}_z^\perp \mathbf{c}_i(\varphi_m) = \mathbf{e}_z^\perp \mathbf{R}(\varphi_m) \mathbf{e}_{i,0} = e \cos(\varphi_m + \varphi_{i,0}) \quad (4)$$

A két ellentétes excentricitású tárcsa esetén a két vágópenge ellenfázisú elmozdulása:

$$\begin{aligned} s_1(\varphi_m) &= e_1 \cos(\varphi_m + \varphi_0), \\ s_2(\varphi_m) &= -e_2 \cos(\varphi_m + \varphi_0). \end{aligned} \quad (5)$$

A jellemző sebesség az elmozdulás idő szerinti deriváltja alapján az

$$v_{1,2}(t) = \dot{s}_{1,2} = \omega \frac{ds_{1,2}}{d\varphi_m} = \mp \omega e \sin(\varphi_m + \varphi_0) \quad (6)$$

összefüggéssel határozható meg. A (6) deriváltja adja a pengék gyorsulását:

$$a_{1,2}(t) = \ddot{s}_{1,2} = \omega^2 \frac{d^2 s_{1,2}}{d\varphi_m^2} = \mp \omega^2 e \cos(\varphi_m + \varphi_0), \quad (7)$$

melynek idő szerinti deriváltja a gyorsulásváltozást, vagyis a lökést:

$$j_{1,2}(t) = \ddot{\ddot{s}}_{1,2} = \omega^3 \frac{d^3 s_{1,2}}{d\varphi_m^3} = \pm \omega^3 e \sin(\varphi_m + \varphi_0). \quad (8)$$

Az r sugarú tárcsa peremén rögzített pontot a forgásközépponttal összekötő vektor a szögelfordulás függvényében a

$$\mathbf{p}_i(\varphi_m) = \mathbf{R}(\varphi_m)(\mathbf{e}_{i,0} + r\mathbf{u}(\varphi_m)), \mathbf{u}_i(\varphi_m) = \begin{bmatrix} \cos(\varphi_m) \\ \sin(\varphi_m) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

összefüggéssel határozható meg, melynek a középponttól mért távolsága állandó, vagyis

$$\|\mathbf{p}_i(\varphi_m)\| = \|\mathbf{e}_{i,0} + r\mathbf{u}(\varphi_m)\|. \quad (10)$$

A fent ismertetett összefüggések alapján az excenteres mechanizmus kinematikai jellemzői a fordulatszám és a szögelfordulás ismeretében ábrázolhatók.

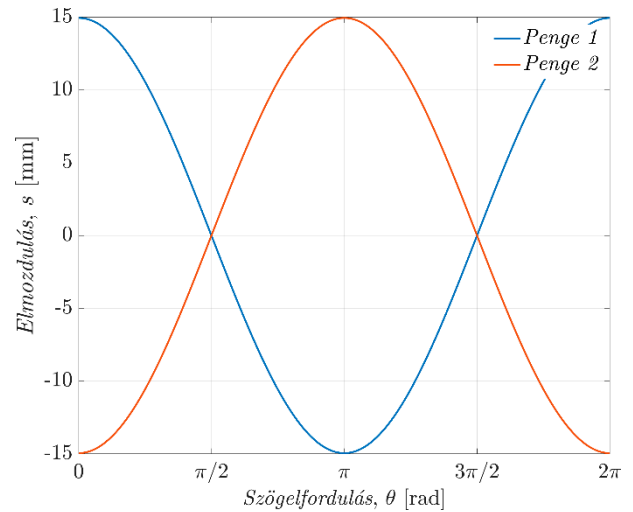
3. AZ EXCENTERES MECHANIZMUS KINEMATIKAI JELLEMZŐINEK ÁBRÁZOLÁSA

A vizsgálat alá vont excenteres mechanizmus és a vágópenge jellemző paramétereit az 1. táblázat foglalja össze.

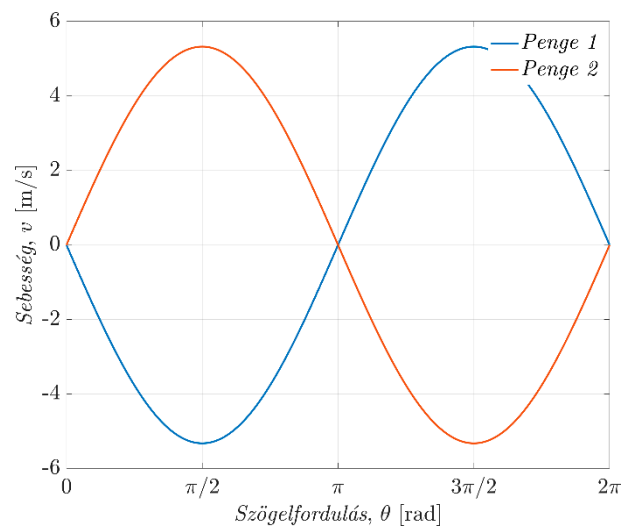
1. Táblázat A vizsgált mechanizmus jellemző adatai

Megnevezés	Érték	Mértékegység
Löketszám	3400	min^{-1}
Penge 1 tömege	0,299	kg
Penge 2 tömege	0,2983	kg

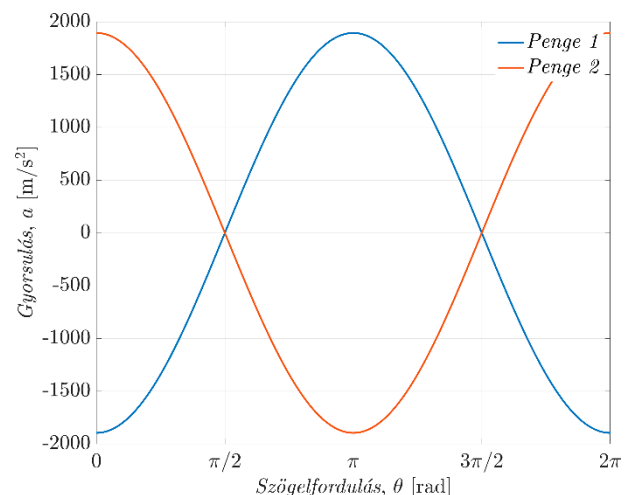
A 2.-5. ábrák szemléltetik a vizsgált sövényvágó excenteres mechanizmusára jellemző S-V-A-J kinematikai függvényeket a korábban ismertetettek szerint.



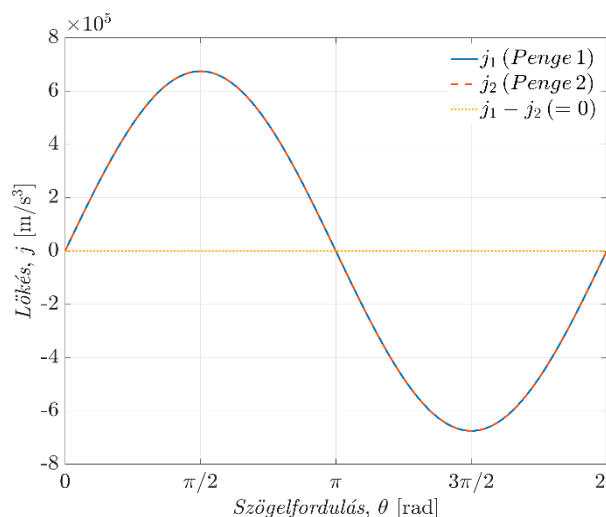
2. ábra A vágópengék elmozdulása az excenteres mechanizmus működése közben



3. ábra A vágópengék sebessége az excenteres mechanizmus működése közben



4. ábra A vágópengék gyorsulása az excenteres mechanizmus működése közben



5. ábra A vágópengék lökésfüggvénye az excenteres mechanizmus működése közben

A mechanizmus kialakítása kedvez a nagy fordulatszámú, kis helyigényű hajtásoknak; a két penge ellenfázisa részleges elsőrendű tehetetlenségi kiegyenlítést eredményez. A lökészcúcsok (5. ábra) jelzik, hogy irányváltáskor célszerű mozgástörvény-finomítást (pl. profil-szintézist) vagy megfelelő rugalmasságot alkalmazni a kontaktterhelések és a zaj/vibráció mérséklésére.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikk a sövényvágókban alkalmazott iker-excenteres tárcsa–horony hajtás kinematikai viselkedését vizsgálta. Reprezentatív adatként a löketszám 3400 min^{-1} , a Penge 1 tömege $0,299 \text{ kg}$, a Penge 2 tömege $0,2983 \text{ kg}$. Az eredmények tervezési következményei között szerepel a nyomáscső, a lökészcúcsok és a nyomatékíngadozás mérséklésének lehetősége, valamint a perem–horony érintkezés kedvezőbb terhelése. A kidolgozott kinematikai keret alapot ad a későbbi optimalizálásnak és a tartóssági vizsgálatoknak kerti szerszámok és más, hasonló felépítésű kompakt hajtások esetén.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

8. IRODALOM

- [1] C. Zhou, B. Hu, S. Chen, and L. Ma, “Design and analysis of high-speed cam mechanism using Fourier series,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 104, pp. 118–129, Oct. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2016.05.009>
- [2] M. Hidalgo-Martínez, E. Sanmiguel-Rojas, and M. A. Burgos, “Design of cams with negative radius

follower using Bézier curves,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 82, pp. 87–96, Dec. 2014, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2014.08.001>

- [3] R. R. Torrealba and S. B. Udelman, “Design of cam shape for maximum stiffness variability on a novel compliant actuator using differential evolution,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 95, pp. 114–124, Jan. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2015.09.002>
- [4] J. Pozo-Palacios, N. J. Fulbright, J. A. F. Voth, and J. D. van de Ven, “Comparison of forward and inverse cam generation methods for the design of cam-linkage mechanisms,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 190, p. 105465, Dec. 2023, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2023.105465>
- [5] W. T. Chang and L. I. Wu, “Calculating actual profiles of conjugate disk cams by means of conjugate variation measurement,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 25, no. 12, pp. 3083–3098, Dec. 2011, <https://doi.org/10.1007/S12206-011-0928-4>
- [6] J. F. Hsieh, “Design and analysis of indexing cam mechanism with parallel axes,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 81, pp. 155–165, Nov. 2014, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2014.07.004>
- [7] Y. Yang, J. Wang, S. Zhou, and T. Huang, “Design of a novel coaxial eccentric indexing cam mechanism,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 132, pp. 1–12, Feb. 2019, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2018.10.012>
- [8] Y. Yang, R. Xie, J. Wang, and S. Tao, “Design of a novel coaxial cam-linkage indexing mechanism,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 169, p. 104681, Mar. 2022, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2021.104681>
- [9] D. Y. Lin, B. J. Hou, and C. C. Lan, “A balancing cam mechanism for minimizing the torque fluctuation of engine camshafts,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 108, pp. 160–175, Feb. 2017, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2016.10.023>
- [10] W. T. Chang and Y. E. Hu, “An integrally formed design for the rotational balancing of disk cams,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 161, p. 104282, Jul. 2021, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2021.104282>
- [11] Y. Liu, D. P. Yu, and J. Yao, “Design of an adjustable cam based constant force mechanism,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 103, pp. 85–97, Sep. 2016, <https://doi.org/10.1016/J.MECHMACHTHEORY.2016.04.014>
- [12] H. Qiu, M. Chen, F. Li, and Y. Zhang, “Innovative design and experimental verification of cam shedding for high-speed looms,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 112, pp. 26–36, Jan. 2025, <https://doi.org/10.1016/J.AEJ.2024.10.096>

ÖSSZETETT GYÁRTÁSI FOLYAMATHOZ TARTOZÓ FORGÁCSOLÓ CÉLGÉP TERVEZÉSE

DESIGN OF SINGLE-PURPOSE CUTTING MACHINE FOR A COMPLEX PRODUCTION PROCESS

Simon Gábor, Dr. Rónai László***

ABSTRACT

In the 21st century, companies are implementing automation in more and more areas to increase the number of units to be produced, which is essential for maintaining competitiveness. One possible solution to this is the use of special-purpose machines in production. This paper presents a design and development of a special-purpose machine, which is capable to use for machining process of a house of a differential. 3D models are also presented to visualize the system.

1. BEVEZETÉS

A 21. században a folyamatos fejlesztéseknek és a fogyasztói társadalomnak hála az iparban többször szükséges a termelékenységet fokozni. Ez sokszor azzal jár, hogy az adott alkatrész készre munkálásához már nem elég egy CNC megmunkáló központ, hanem szükséges a kis gyártási ciklusidő megvalósításához a célgépi struktúra alkalmazása. Fontos, hogy az egyedi tervezésű gép drágább, mint egy kereskedelmi forgalomban kapható berendezés, így csak akkor kifizetődő, hogyha az adott terméket hosszú időn át kell gyártani kis ciklusidő mellett.

Az [1] cikk egy motorblokk gyártásánál felmerülő kihívásokat, nehézségeket tárja fel, amelyeket egy célgéppel kívánnak orvosolni a szerzők. Itt a cél a ciklusidő minimalizálása, valamint a nemkívánatos rezgések csökkentése volt. A [2] publikáció egy csiszolókerék automatikus címkézésére alkalmas célgépet közöl. A folyamat öt lépésből áll, ezek a munkadarab betöltés, ragasztás, címkézés, préselés, majd kész termék eltávolítása. A forrás kiemeli, hogy eddig emberi munkaerővel történt a folyamat, amely az automatizálás révén sokkal gyorsabban és precízebben hajtható végre. A konstrukció egy forgó körasztalra épül, amelyet PLC-vel vezérelnek. A [3] cikkben a szerzők kiemelik, hogy az automatizálás napjainkban igen nagy fontossággal bír az ipar területén. Egy lökhárító lyukasztására és gumikonzol beillesztésére alkalmas célgép tervezésével foglalkoznak, amelynek segítségével a naponta 60 darab alkatrész kézi lyukasztása

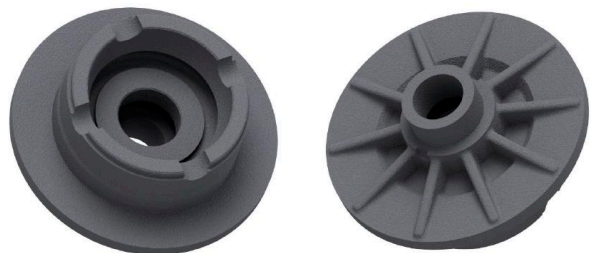
automatizálás után 200 darabra növekedett. A vezérlés központi elemének egy Siemens S7-1200-as PLC-t választottak.

Jelen cikk célja egy forgácsoló célgép tervezésének bemutatása, amely egy differenciálmű ház gyártásához alkalmas. A munkából korábban egy szakdolgozat is készült [4].

A második fejezet foglalkozik az előgyártmánnyal, a támadási irányok meghatározásával. A harmadik fejezet a megmunkálási műveletek vizsgálatát mutatja be, majd meghatározza az időszükségletet. A negyedik fejezet ismerteti a célgépi struktúrát, amelynél a legjobb változat műszaki értékelemzéssel került kiválasztásra. A fejezet a megtervezett célgépekről 3D-s modelleket is be kíván mutatni. Az összefoglalás tartalmazza az elért eredményeket, illetve kitekintést is ad a jövőbeni tervek vonatkozásában.

2. AZ ELŐGYÁRTMÁNY ÉS A KÉSZ TERMÉK BEMUTATÁSA

A differenciálmű ház előgyártmánya egy félkész öntvény, amely már tartalmaz előöntött furatokat. Az öntés utáni állapotot az 1. ábra mutatja. A munkadarab anyaga gömbgrafitos öntöttvas, amelynek egyezményes folyáshatára 340 MPa, míg a szakítószilárdsága 550 és 600 MPa között mozog.



1. ábra Az előgyártmány különböző irányokból

A 2. ábra a célgépi megmunkálást követő eredményt kívánja szemléltetni.

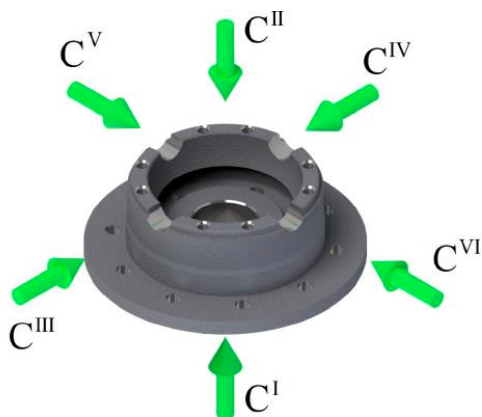
* mesteroktató, Miskolci Egyetem, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet

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



2. ábra A megmunkálást követő kész alkatrész

A főtengely furatának elvárt felületi érdessége $0,4 \mu\text{m}$, így ezt dörzsárazni szükséges, a többi felületnél a felületi érdesség $6,3 \mu\text{m}$ -re van előírva. A megmunkálás biztosítására összesen 6 darab támadási irányra lesz szükség, melyeket a 3. ábra szemléltet.



3. ábra Támadási irányok definiálása

A támadási irányok száma miatt két külön célgépi struktúra megtervezése célszerű, mivel egy esetben a megfogás irányából a megmunkálás megvalósításához bonyolult készülékre lenne szükség.

A forgácsolási műveletek tartalmaznak fúrást, süllyesztést, élettörést, furatbővítést, dörzsárazást és menetvágást. A C^I és C^{II} irányokból szükséges a legtöbb művelet elvégzése. A $C^{III} - C^{VI}$ irányokból csak furatbővítéseket kell eszközölni. Az első támadási irányból elvégzendő műveletkehez külön célgép alkalmazása történik meg, míg a többi egy másik célgépi struktúra hivatott megoldani.

3. A MEGMUNKÁLÁSI MŰVELETEK SORRENDJE

A műveletek megfelelő párhuzamosításával elérhető a ciklusidő minimalizálása, mint fő cél. Az időbeli kiosztások feltérképezéséhez felületkomplexumok létrehozására van szükség. A komplexumok azon felületeket jelentik, amelyek egy támadási irányból ugyanazon megmunkálási móddal készíthetők el azonos pozícióban [5]. Például az első támadási irányból az első komplexum lehet egy furatbővítés – süllyesztés – élettörés. Komplexumokon belüli párhuzamosításokat fel kell deríteni, hogy a gyártási időszükséglet a lehető legkisebb legyen. Természetesen az egyes komplexumok

közötti párhuzamosításokra és a kötelező sorosodásokra is figyelmet kell fordítani. A kötelező sorosodásra jó példa, hogy egy furatot először ki kell fúrni, majd csak utána lehet dörzsárazni.

A lehetséges időbeli kiosztásokra több megoldásváltozat generálható, amelyekből szükséges a legjobbnak vélt változatot megválasztani.

Az első célgépi struktúrájánál furatbővítés, élettörés, süllyesztés történik egyszerre a központi furatnál, majd ezután megtörténik párhuzamosan a 10 darab furat kifúrása, süllyesztése, élettörése. Az utolsó előtti megmunkálási pozícióban 5 darab, a bordák közti furat kifúrása zajlik, ezután fog történni a központi furat dörzsárazása.

A második célgépen történik a további öt támadási irányból lévő megmunkálások elvégzése. Itt először a C^{III} és C^{IV} irányokból párhuzamosan lesz meg a furatbővítés, ezt követően a C^V és C^{VI} támadási irányokból fog a furatbővítés megtörténni. A végére marad a C^{II} támadási irány, ahonnan egy időben történik az élettörése és a furatbővítése a központi furatnak és a 8 darab furat kifúrása, élettörése. Itt a folyamat a 8 furat menetvágásával ér majd véget.

Az időszükséglet megállapításához fúrásra és menetfúrásra különböző képletek alkalmazandók:

$$t = \frac{L_m}{v_f} + \frac{2L_r + L_m}{v_{gy}}, \quad (1)$$

$$t = \frac{2L_m}{v_f} + \frac{2L_r}{v_{gy}}, \quad (2)$$

ahol L_m a munkameneti utat-, L_r a ráfutási utat jelenti. A munkameneti- és a gyorsmeneti percenkénti előtolást rendre v_f és v_{gy} jelöli. A ráfutási úthossz a számítások során 5 mm-re lett véve, míg a gyorsmeneti sebesség 3000 mm/perc lesz. A percenkénti előtolások értéknek megállapítása a Walter GPS program [6] felhasználásával történik. A felhasználói felületen lehetőség van beállítani a megmunkálandó anyag anyagminőségét, a paramétereket, majd a program forgácsolási adatokat számol, továbbá még szerszámokat is fog ajánlani. A program helyessége ellenőrizhető a [7] könyvben közölt számítások elvégzésével, ezek a főorsó fordulatszám, a fajlagos főforgácsoló erő, a főforgácsoló erő számítása a helyesbítő tényezők felhasználásával. A forgácsolási teljesítmény megkapható a forgácsoló erő és a forgácsolási sebesség szorzatának képzésével.

A megkapott paraméterek ismeretében számítható a ciklusidő a két célgépnél. Hogyha a műveletek egymás utáni elvégzése áll fenn párhuzamosítások nélkül és a megmunkálások közötti idő 3 sec, akkor az első célgépen a ciklusidő ~50 sec, míg a második berendezésnél ~70 sec. 250 munkanapot és 8 órás műszakot feltételezve a termelékenységgé számítható:

$$Q = 250 \frac{8 \cdot 60 \cdot 60}{t}. \quad (3)$$

Az első célgépnél $Q = 144000 \text{ db/év}$, míg a 2. gépnél $Q = 103000 \text{ db/év}$ körüli a gyártott darabszám. Természetesen a lehetséges párhuzamosítások alkalmazásával az értékek növekedhetnek, de szükséges figyelembe venni a javítási-, a szerszámcseré időket is.

4. CÉLGÉPI STRUKTÚRA ISMERTETÉSE

A célgépekhez felhasznált agregát egységek piacon elérhető termékekből kerültek kiválasztásra [8]. Annak érdekében, hogy a feladathoz a legjobb struktúra kiválasztása biztosítva legyen, műszaki értékelemzés történt.

1. táblázat Az első célgép értékelemzése

	M1	M2	M3	M4
S1	0	1	1	1
S2	1	1	1	1
S3	1	1	0	0
S4	0	1	1	1
S5	1	0	0	1
S6	0	0	1	1
S7	0	0	0	1
S8	1	0	0	1
S9	0	1	1	0
SZUM	4	5	5	7

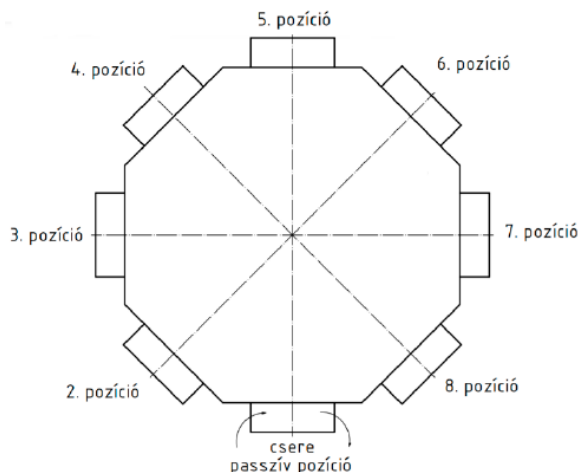
2. táblázat A második célgép értékelemzése

	M1	M2	M3	M4
S1	0	1	1	1
S2	0	1	1	1
S3	0	1	0	1
S4	0	1	1	1
S5	1	0	0	1
S6	0	0	1	1
S7	0	0	0	1
S8	1	0	0	1
S9	0	1	1	0
SZUM	2	5	5	8

A megoldásváltozatok: M1-léptetett hosszasztal, M2-lineáris sor, M3-gyűrűs körasztal, M4-dobos struktúra. Az értékelési szempontok (S): S1-termelékenység, S2-pozíciószám, S3-igénybe veendő támadási irányok száma, S4-feltöltöttség, S5-helyigény, S6-tipizált elemekből építhetőség, S7-struktúra összetettség, S8-költség, S9-megmunkált darab mérete. A pontozás során 1 jelenti, hogy alkalmas az adott szempont szerint a megoldásváltozat, míg 0 esetén nem felel meg. A legtöbb pontot érő megoldásváltozat lesz a legmegfelelőbb.

Az 1. és 2. táblázatok eredményei alapján látható, hogy mindkét esetben a dobos struktúra alkalmazása a legcélravezetőbb.

Az első és a második célgépnél a dob egyaránt 8 osztással fog rendelkezni (lásd: 4. ábra). Az első pozíció passzív lesz, ez szolgál a munkadarab cseréjére.



4. ábra A dobos struktúra pozíciói

A munkadarab rögzítéséhez, annak kialakítása függvényében satut vagy tokmányt kell választani. Coulomb féle súrlódási törvényt felhasználva, továbbá a legnagyobb, a munkadarabot kikényszeríteni vagy elfordítani akaró erővel számolva megkapható a szorítóerő nagysága. Egy hárompofás tokány fogja a munkadarab rögzítése feladatát ellátni.

A munkadarabok cseréjére előzetesen 5 másodpercet véve, majd az egyes megmunkálási pozíciókban adódott időkből megkapható a tényleges ciklusidő. Az asztal léptetési ideje a számításoknál 2 sec volt. A kritikus időt az a pozíció adja, amelynél a legtöbb ideig tart a megmunkálás. Az 1. gép esetében ez a 2. pozícióra adódott (11,38 sec), ahol a központi furat megmunkálása zajlik. A 2. célgépnél a ciklusidő 17,3 sec lesz, itt a 3. megmunkálási pozícióban lesz a legtöbb ideig a munkadarab. Az időket alapul véve a napi gyártható darabszám 1000 körüli értéket fog képviselni. Az első célgépi struktúrát az 5. ábra mutatja, míg a másodikat az 6. ábra.

Az 1. egység magassága 3,7 méter, legnagyobb vízszintes kiterjedése 5,2 méter. A 2. egység magassága megegyezik az előzőével, viszont a legnagyobb vízszintes kiterjedése 3,9 méter.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

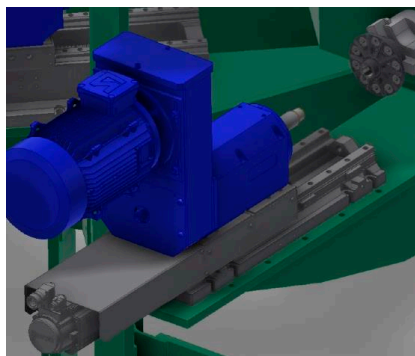


5. ábra Az első célgép 3D-s modellje



6. ábra A megtervezett 2. célgép 3D-s modellje

Az első célgépnél a 2. pozícióban lévő központi furat megmunkálását a 7. ábra érzékelteti.



7. ábra Az első célgépen történő egyik megmunkálási folyamat

Az iparban többször előfordulhat olyan eset, amikor egy hagyományos megmunkáló központ már nem tud megfelelő gyártási darabszámot biztosítani egy adott időn belül, ekkor a cég számára megoldást jelenthet egy célgép megtervezése.

A cikkben közölt forgácsoló célgép egy differenciálmű házának készre munkálását hivatott elvégezni kis ciklusidő biztosítása mellett. A 3D-s modellezés előtt szükségesek voltak mérnöki számítások, amelyek kulcsfontosságúak az aggregát egységek kiválasztásához. A megmunkáláshoz felhasznált aktuátorok kereskedelmi forgalomból elérhetők.

A jövőbeni tervek között szerepel más típusú célgépek tervezési feladatának megfogalmazása, amelyek nemcsak forgácsolásra valók, hanem pl. szerelésre, ragasztásra stb.

6. IRODALOM

- [1] BAPAD P., ACHARYA J. Y.: *Case Study of Designing a Special Purpose Machine*, Novateur Publications, IJIERT, Vol. 1., Issue 1., 2014.
- [2] MUKHERJEE A., THAKRE C., UMATE I. N., KHANDADE S. S., BOOB G.: *Design of Special Purpose Machine for Labelling of Grinding Wheel*, Research and Development in Machine Design, Vol. 4., Issue 2., 2021.
- [3] KAPSE A., NIMSE M., BHALEKAR A., ZAMBARE U., ROUT J., HINGE T.: *Design and Development of Special Purpose Machine for Sensor Hole Punching and Bracket Pasting Operation*, International Conference on Computing, Communication and Green Engineering, IEEE, 2021.
- [4] KIS D.: *Forgácsoló célgép tervezése differenciálmű ház gyártásához*, Miskolci Egyetem, GÉIK, Szerszámgépészeti és Mechatronikai Intézet, 2021.
- [5] TAKÁCS GY., ZSIGA Z., SZABÓNÉ MAKÓ I., HEGEDŰS GY.: *Gyártóeszközök módszeres tervezése*, Nemzeti tankönyvkiadó, 2009.
- [6] WALTER AG.: *Walter GPS program*
<https://www.walter-tools.com/hu-hu/gps>
- [7] DUDÁS I.: *Gépgyártástechnológia I.*, Miskolci Egyetemi Kiadó, 2000.
- [8] SUHNER GmbH weboldala:
<https://www.suhner.com>

MEMÓRIAJÁTÉKON ALAPULÓ MODULÁRIS RENDSZER FEJLESZTÉSE

DEVELOPMENT OF A MODULAR SYSTEM BASED ON MEMORY GAME

Balázs Márton Tóth*, Pálma Kapitány**

ABSTRACT

The well-known Simon memory game is used not only for entertainment but also for mental therapy and development purposes, as well as for the development of machine learning and automation tasks. This article deals with building a basic Simon's game from a student budget and then programming it in two uses. First, it provides an opportunity for interested people visiting department of mechatronics to play. Second, it demonstrates the possibility of camera image processing and the operation of a machine opponent. In this project Arduino Nano development platforms are used with LED lights, button, potentiometer, extended USB camera and actuators programmed by language Phyton.

1. INTRODUCTION

Nowadays, many scientific fields are dealing with the development and therapeutic use of games that resemble the well-known game called Simon. This game is also popular among young children and the elderly for mental development purposes [1] – [4]. On the other hand, researchers are dealing with the application of machine learning and other methods in solving this game [5] – [6]. Despite how simple a game may seem, it has many uses and research directions. Figure 1 shows the original Simon memory game, which consists of colourfully flashing push buttons, and has an audio signal accompanying the different colours. This game flashes LED lights in random order and expects the user to play back in correct order.



Figure 1. The Simon memory game [7]

In this project, first, basic memory game was built on Arduino Nano development platform. Randomly ordered tasks with flashing LED lights have running which able

to play back by customer in way of using potentiometer and button of set. In this case opportunity for human players is provided which is shown deeply in Section 2.

Next chapters of article included case of machine opponent with observer and actuator components, it is written about specific script in language Phyton, USB camera and another Arduino Nano development platform as actuator which get tasks from personal computer. Finally, this paper ended conclusions and plans for future developments.

2. PART OF BASIC GAME

At the first period of project was built and programmed a testbench which include 4 LED lights for

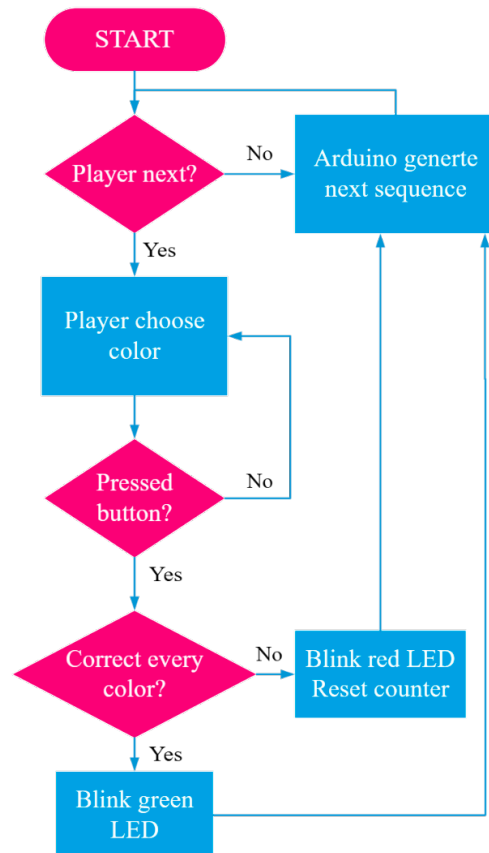


Figure 2. Flowchart of basic game

* Student specialised in mechatronics, University of Miskolc, Robert Bosch Department of Mechatronics

** Assistant lecturer, University of Miskolc, Robert Bosch Department of Mechatronics

visual tasks, 1 potentiometer for selection, 1 customer's button for setting and 2 LED lights to provide feedback on correctness.

Figure 2 present flowchart of part of basic game. In the beginning, random colour is flashed on this platform (yellow, green, blue and red), after colour has chosen by player in correct order by rotation of potentiometer and pression of setting button. In case of right ordered answer green LED lights up, otherwise red one. Next level is given after successfully answer. Task by task the game is expanded by one additional random colour. In case of fault all points are gone (reset of counter) and game started from the beginning. Before every new round 4

LED light up at the same moment for draw attention. This construction can be developed in the future by audio functions increase user satisfaction or help the visually impaired participate. Furthermore, design is needed to create electrical circuit, mechanical components and ergonomics of test bench in relation to safety.

The term "Player" used in Figure 2 can be understood as human who plays the game, turning potentiometer and pressing button or a machine opponent. Presented program by flowchart is running continuously thanks for programmed ATmega328 microcontroller which is integrated into Arduino Nano development platform and included closed programming loop.

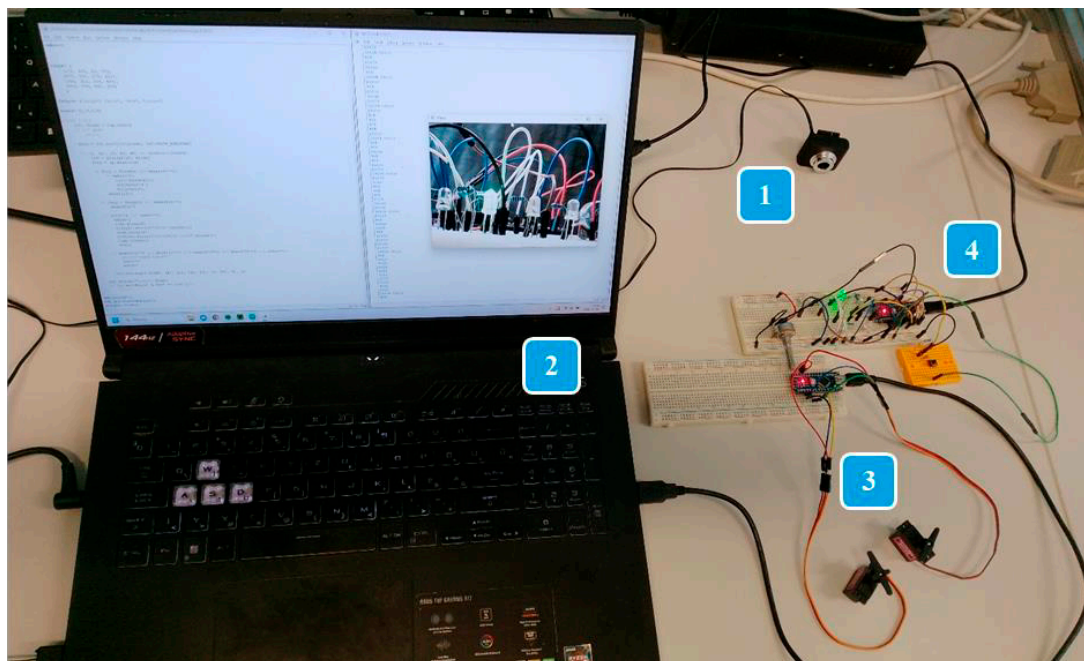


Figure 3. Assembly for testing

3. MACHINE OPPONENT

This chapter discusses the design of a machine opponent, which consists of two main components: an observer for detecting flashing lights and an actuator responsible for controlling the playback process.

3.1. OBSERVER OF MACHINE OPPONENT

In case of machine opponent, first topic was programming of camera. Three ways are known: camera containing lens, sensor and own communication protocol which able to connect Arduino development platform which runs program to display image and processing, e.g., OV7670. Another option to use camera which has integrated microcontroller; therefore, it can be programmed in a task-oriented manner, e.g., OpenMV Cam H7 Plus. In the third case USB camera is connected to personal computer and the selected programming

environment can handle the camera image and processing.

In this project, based on the design decision, the third way was selected. Figure 3 presents the test system where parts are denoted with numbers 1: connected USB camera, 2: personal computer, 3: actuator, 4: part of basic game. Observer of machine opponent is meaning the personal computer with USB camera.

The process of observer can be seen in Figure 4. The personal computer can run such a program code which are developed for this task and was written in language Python. In the beginning camera should be started, the script recolours the saved image in grey and detected areas based on brightness. There can be found after 4 predefined squares which are positioned to 4 LED lights. In this paper will be shown the development of autonomy and automatically search method for detecting position of blinking LED lights. After camera calibration follows the program.

It is known, that start of a new round is signed with 4 LED light up at the same time, first programmed decision belongs to this case: record status of LED lights and reset counter. In each tasks dedication list is rewritten and honour the last one blinked LED. End of the task observer sends data to actuator, as computer sends data to Arduino Nano development platform via serial port.

Program of observer saved each task of level and feedback of correction. This is the reason why only the last LED data is needed to send to actuator part.

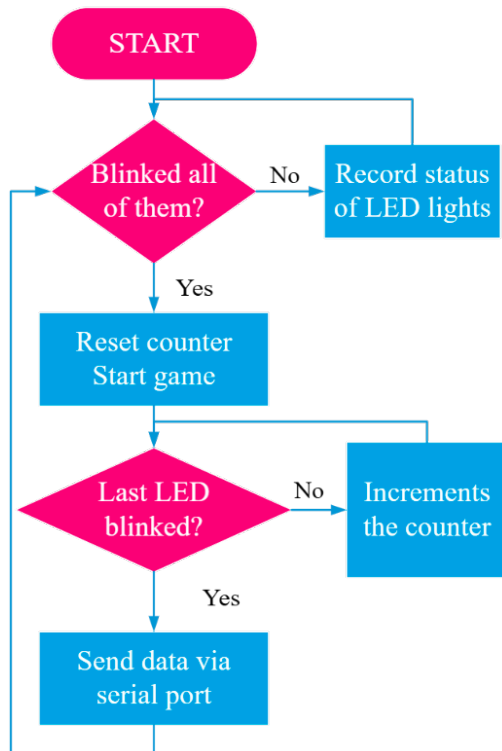


Figure 4. Flowchart of observer

3.2. ACTUATOR OF MACHINE OPPONENT

The last part of modular system is actuator part of machine opponent which consists of an extra Arduino Nano development platform with two controlled servo motors. In case of machine opponent one of servo motors is used to rotate potentiometer, the other one for push button of set. In Figure 3 can be seen this part marked by number 3. The flowchart of the actuator module, which receives data from the personal computer via serial communication is shown in Figure 5.

When transported data is received by the ATmega328 microcontroller, the list of sequence is expended the last one dedicated LED sign. Replay the hole sequence is started after end of serial communication. An improvement has been made: if two identical colours are to be played back consecutively, the button press no longer waits for the potentiometer to turn. Moreover, the servo motor of actuator and potentiometer of basic game

have different rotation ranges which requires calibration between them. Two options are available: mechanical solution using a gear mechanism, or a software-based one by modifying the colour-to-angle mapping. The second one is preferred by researchers.

After completing the playback of the entire sequence, the actuator waits for new data to arrive. Designed parts of mechanical connection will be produced in the future.

As of now, this test bench provided to test electrical connection, communication between parts and system capabilities. At the second period of project was developed opponent: human player via personal computer.

4. HUMAN OPPONENT VIA PERSONAL COMPUTER

Towards the end of the project, a small additional development was implemented to allow a human opponent to play as well, with the computer controlling the actuator module.

The image processing algorithm of the camera has been modified to include an automated detection of the four brightest points following grayscale conversion. The system then provides visual feedback by marking these points, in left-to-right order, with coloured squares: yellow, green, blue, and red. The method can be further enhanced through the integration of colour recognition. As shown in Figure 6, a display interface has been added adjacent to the camera feedback. In the upper-left row, black squares are displayed corresponding in number to the randomly generated colours available for interaction. Below these, buttons for colour selection, deletion, and configuration are provided.

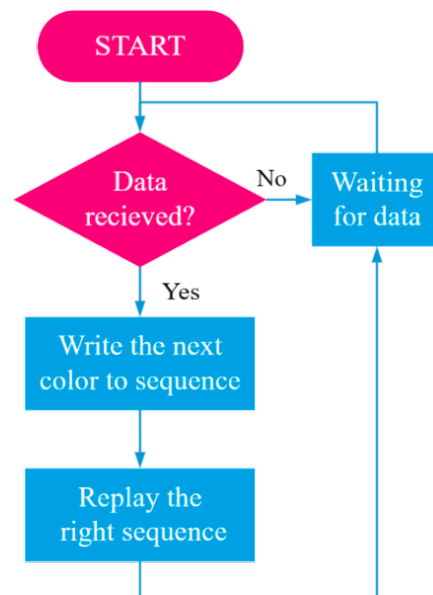


Figure 5. Flowchart of actuator

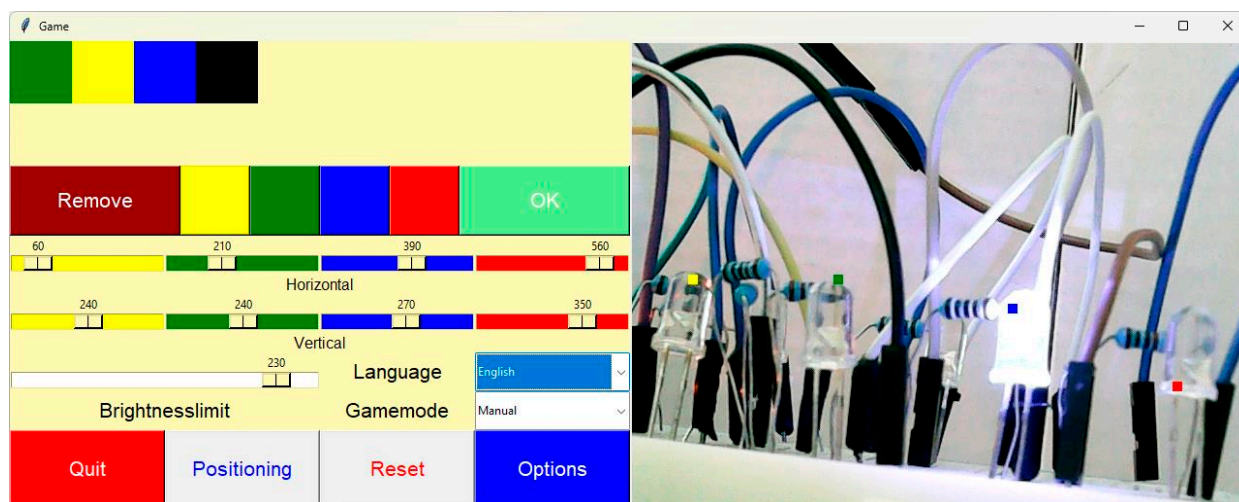


Figure 6. Human opponent option via personal computer and function settings

The interface also includes options for language selection, manual or automatic calibration, and a restart button. The sliders located in the central part of the console allow for manual adjustments; however, these controls are deactivated when the automatic calibration mode is enabled or when a non-human opponent is selected. In the latter case, the row of colour selection buttons is also hidden. The top row, which provides game feedback, and the bottom menu bar - including the dropdown menus - always remain accessible.

5. CONCLUSION

This research presents a modular system developed within a student budget, based on the well-known Simon memory game. During the first period of the project, a basic version of the game was implemented on the Arduino Nano platform, utilizing LED lights, a potentiometer, and a push button. Subsequently, a machine opponent was introduced, incorporating a USB camera and part of actuator, built on the Arduino Nano platform.

In the second period of project, combined gameplay mode between a human and a machine opponent was developed, featuring a graphical user interface and a menu system.

The constructed tests successfully validated the design concepts, providing a solid foundation for future development. Planned future work includes the extension of electrical circuit design, mechanical component development, and enhancements to the camera-based image processing algorithms.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the Institute of Machine Tools and Mechatronics for their professional support throughout the development of this project, and for their continued guidance in future work.

7. REFERENCES

- [1] Parrish AE, Perdue BM, Kelly AJ, Beran MJ: Working memory in children assessed with serial chaining and Simon tasks, *Behav Processes*, (2018) <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2018.06.005>
- [2] Toril P, Reales JM, Mayas J, Ballesteros S: Video Game Training Enhances Visuospatial Working Memory and Episodic Memory in Older Adults, *Front Hum Neurosci*, (2016) <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00206>.
- [3] Ballesteros S, Mayas J, Prieto A, Ruiz-Marquez E, Toril P, Reales JM: Effects of Video Game Training on Measures of Selective Attention and Working Memory in Older Adults: Results from a Randomized Controlled Trial, *Front Aging Neurosci*, (2017) <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00354>.
- [4] Chang CH, Yeh CH, Chang CC, Lin YC: Interactive Somatosensory Games in Rehabilitation Training for Older Adults With Mild Cognitive Impairment: Usability Study, *JMIR Serious Games*, (2022) <https://doi.org/10.2196/38465>.
- [5] Kuber, R., Tretter, M. & Murphy, E: Developing and Evaluating a Non-Visual Memory Game, In proceedings of INTERACT 2011, Part II, LNCS 6947, Lisbon, Portugal, pp. 541–553, (2011) https://doi.org/10.1007/978-3-642-23771-3_41
- [6] Bell C: Project: Simon Game, *Beginning MicroPython with the Raspberry Pi Pico*, pp. 411–451), (2022), https://doi.org/10.1007/978-1-4842-8135-2_11
- [7] User Manual of Simon's Memory Game, <https://instructions.hasbro.com/en-nz/instruction/simon-game>

JEGYZET

JEGYZET

JEGYZET

CONTENTS

1. Antal Apagyi:

A REVIEW OF REAL-TIME
ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE
SPECTROSCOPY FOR ON-BOARD
BATTERY MONITORING 5

*2. Péter Farkas, László Szőke, Dr. Szilárd Aradi,
Dr. Zoltán Gyurkó:*

IMPROVING THE PERFORMANCE OF
REINFORCEMENT LEARNING AGENTS
USING EXPERIENCE-BASED
CONTEXT 10

*3. Tamás Tóth-Katona, Dr. Péter Stumpf,
Dr. Gergely Szabó:*

SLIDING MODE CONTROL OF IPMSM
MACHINES ACCOUNTING FOR
WORKING POINTS 16

4. Dr. Zoltán Bihari, István Besenyei:

COMPATIBILITY TEST BETWEEN
ALUMINIUM PROFILES AND
GROOVE NUTS 22

5. Pálma Kapitány, Dr. László Rónai:

DESIGN OF A FOOD
DEHYDRATOR UNIT 26

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

KINEMATIC PROPERTIES OF THE
ECCENTER MECHANISM OF A
HEDGE TRIMMER 30

7. Gábor Simon, Dr. László Rónai:

DESIGN OF SINGLE-PURPOSE CUTTING
MACHINE FOR A COMPLEX PRODUCTION
PROCESS 34

8. Balázs Tóth, Pálma Kapitány:

DEVELOPMENT OF A MODULAR
SYSTEM BASED ON
MEMORY GAME 38

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 Jármay

Dr. József Kakuk

Dr. Gábor Kalácska

Dr. Márk Lelkes

Dr. János Kanócz

Dr. László Könözy

Dr. Tamás Mankovits

Dr. Márton Máté

Dr. Ferenc Orbán

Dr. Gyula Patkó

Dr. Attila Piro

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 operates with an approach that complies with the guidelines for scientific journal publishing, with printed volumes and an online interface. 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 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

Nemzetközi Vasúti jármű Forgóváz és Futómű Konferencia (BOGIE'25)

2025. november 10-12.

Kétévente kerül megrendezésre a GTE és a BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék közös szervezésében.



41. Géptervezők és Termékfejlesztők Szemináriuma

2025. november 13-14.



A 41. szeminárium idén is a felsőoktatási intézményekben és az iparban folytatott kutató és fejlesztő munkára, annak hasznosítására, valamint az oktatás kérdéseire fókuszál. A pályájuk elején álló fiatal kutatók eredményeinek ismertetésére külön szekciót biztosítanak a szervezők.

45. Balatoni Ankét

2025. november 27-29.

A nyomástartó rendszerek gyártása, javítása, karbantartása, vizsgálata területén. Az ipar-politikai tájékoztatás és az aktuális kérdések mellett elsődleges az alapkutatási eredmények minél gyorsabb hasznosítása a gyakorlatban. Kiemelt témánk a hidrogén tárolása. Idén 45. alkalommal rendezi meg a GTE.





Konferenciafelhívás!

A **Géptervezők és Termékfejlesztők XLI. Országos Szemináriumát**

a Gépipari Tudományos Egyesület

az MTA Miskolci Akadémiai Bizottsága

és a Miskolci Egyetem Gépészmérnöki és Informatikai Karának

Gép- és Terméktervezési Intézete

2025. november 13-14. között rendezi meg Miskolcon,
melyre minden érdeklődőt tisztelettel várunk.

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

A jelentkezéseket és szakkikkeket 2025. október 10-ig várjuk a konferencia
honlapján közzétett elérhetőségeken.

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