



# LABORFEJLESZTÉSEK ÉS OKTATÁST SEGÍTŐ MÓDSZEREK A KIBERFIZIKAI ÉS INTELLIGENS ROBOTRENDSZEREK LABORATÓRIUMBAN

## LABOR DEVELOPMENTS AND METHODS FOR SUPPORTING EDUCATION IN THE CYBER-PHYSICAL AND INTELLIGENT ROBOT SYSTEMS LABORATORY

Masuk Abdullah,<sup>1</sup> Diós Szabolcs Sándor,<sup>2</sup> Dinya Tamás,<sup>3</sup> Szántó Attila,<sup>4</sup> Husi Géza<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Debreceni Egyetem, Járműmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, [masuk@eng.unideb.hu](mailto:masuk@eng.unideb.hu)

<sup>2</sup> Debreceni Egyetem, Mechatronika Tanszék, Debrecen, Magyarország, [dios.szabolcs@eng.unideb.hu](mailto:dios.szabolcs@eng.unideb.hu)

<sup>3</sup> Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Debrecen, Magyarország, [tamasdinya@gmail.com](mailto:tamasdinya@gmail.com)

<sup>4</sup> Debreceni Egyetem, Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Debrecen, Magyarország, [szanto.attila@eng.unideb.hu](mailto:szanto.attila@eng.unideb.hu)

<sup>5</sup> Debrecen University, Járműmérnöki Tanszék, Debrecen, Magyarország, [husigeza@eng.unideb.hu](mailto:husigeza@eng.unideb.hu)

### Abstract

This study investigates the education and laboratory market trends in the Cyber-Physical and Intelligent Robot Systems Laboratory and presents the previous works. The laboratory utilizes augmented reality, virtual reality, and simulation technologies to offer immersive learning experiences. The program emphasizes industry-aligned projects to prepare students and researchers for Industry 4.0. The curriculum teaches collaborative problem-solving and human-robot interaction. The lab trains flexible automation professionals for industry. The integration of technology and pedagogy empowers students to apply CPS and IRS concepts effectively. The laboratory is instrumental in advancing the educational landscape in these domains and is at the forefront of preparing students for the evolving challenges of automation technologies.

**Keywords:** *Cyber-Physical Systems, Intelligent Robot Systems, Laboratory Developments, Robotics Education.*

### Összefoglalás

Jelen tanulmány célja az oktatási és munkaerőpiaci trendek vizsgálata, valamint a Kiberfizikai és Intelligens Robotrendszerek Laboratóriumában végzett munkák általános bemutatása. A laboratórium kiterjesztett, virtuális valóságot, valamint különféle szimulációs technológiákat alkalmaz. Ennek köszönhetően innovatív tanulási technikákat integrál. A labor az iparághoz igazodó projektekre helyezi a hangsúlyt, hogy felkészítse a hallgatókat és kutatókat az Ipar 4.0-ra. A tanulmány célja az együttműködésen alapuló probléma megoldása és az ember-robot interakció elsajátítása. A labor maga automatikában jártas szakembereket képez az ipar számára. A technológia és a pedagógia integrációja lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy hatékonyan alkalmazzák a CPS és az IRS koncepcióit. A laboratórium fontos szerepet játszik az oktatási környezet fejlesztésében és a diákok felkészítésében az automatizálási technológiák változó kihívásaira.

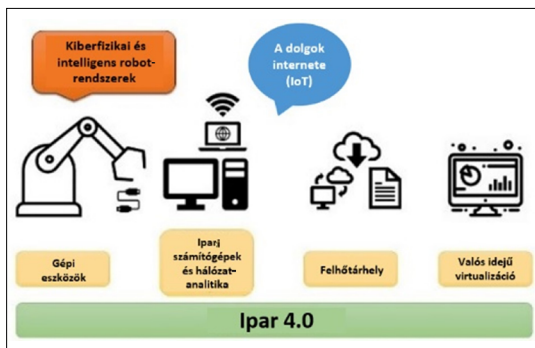
**Kulcsszavak:** *kiberfizikai rendszerek, intelligens robotrendszerek, laborfejlesztés, robotikai oktatás.*

### 1. Bevezetés

A Cyber-Physical Systems (CPS) és az Intelligent Robot Systems (IRS) integrációja (1. ábra) forradalmasította az automatizálási technológiákat,

mely hidat képezett az elméleti tudás és a gyakorlati jártasság között.

A CPS és az IRS Laboratórium úttörő ezen a területen, fejlett technológiákat és pedagógiai mód-



1. ábra. Kiberfizikai rendszer implementálása robot-rendszerben

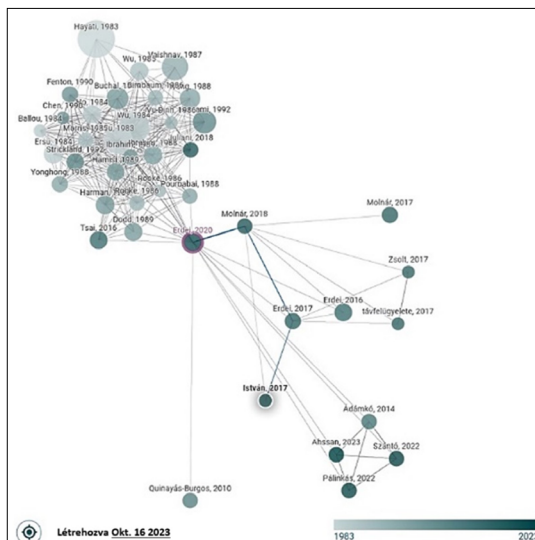
szertanokat alkalmazva képes hasznosítható tudás átadására, fizikai alkalmazások révén.

A kiterjesztett valóság (AR) és a virtuális valóság (VR) platformok kifinomult szimulációs környezetekkel kombinálva javítják a tanulók CPS- és IRS-rendszerének megértését. A labor tananyagát úgy alakították ki, hogy igazodjon az Ipar 4.0 trendek követelményeihez, hangsúlyozva a gyakorlati projekteket, amelyek a valós ipari kihívásokat tükrözik.

A technikai készségeken túl a laboratórium az együttműködésen alapuló problémamegoldást és az ember-robot interakciós tanulmányokat helyezi előtérbe, elősegítve a holisztikus készségeket. A workshopokon, szemináriumokon és stratégiai iparági partnerségeken keresztül a hallgatók és kutatók olyan átfogó tudáshoz jutnak, mely túlmutat a hagyományos módszereken. Ez a holisztikus megközelítés biztosítja, hogy a végzett mérnökök alkalmazkodóképes és ipára kész szakembereké váljanak, akik képesek az automatizálási technológiák terén a fejlődésre. A laboratórium szerepe a robotikai mérnökök és kutatók oktatási környezetének alakításában jelentős, hiszen ötvözi a tapasztalati tanulást, a legmodernebb technológiákat és ezek dinamikus iparági integrációját.

## 2. Cyber-Physical Systems (CPS)

A kiberfizikai rendszerek olyan komplex vezérlőrendszerek, amelyek smart eszközökön és hálózatokon (pl. autók, repülőgépeken) átívelnek. A komplex CPS-rendszerek létrehozásához ismerni kell az internetes hálózati korlátokat, valamint meg kell határozni, hogy a valós idejű, zárt hurkú rendszer mely részei valósíthatók meg internet-protokoll segítségével. Az úgynevezett valós idejű (real-time) számítástechnika, az 1960-as és 1970-es évek óta a számítógépes rendszerek területén történő kutatások elsődleges célja [1]. A 2. ábra pre-



2. ábra. A laborhoz köthető publikációk

zentálja azon további kulcsfontosságú irodalmak összekapcsolt grafikonját, melyek a létesítményben belüli CPS-labor eszközök felhasználásával készültek az elmúlt években.

A kutatóközpont célja a meglévő technológiák optimalizálása és a balesetek megelőzése a folyamatban lévő kutatási projektek figyelemmel kísérésével [2]. A Debreceni Egyetem Műszaki Karának egy 2020-ban készített tanulmánya a robotok alkalmazásának fontosságát elemzi a 21. században, az ipar 4.0 kontextusában. A kutatás főként robotrendszerek ember-gép interfészen (HMI) vagy vezeték nélküli hálózati kapcsolaton keresztül történő vezérlésre szorítkozik. A tanulmány rávilágít arra, hogy a robotok hogyan javíthatják a feldolgozó- és termelési egységek hatékonyságát folyamatos és önálló munkavégzésükkel. A projekt elsősorban egy, a Microsoft Xbox Kinect mélységérzékelőjével felszerelt mobilrobot alkalmazására összpontosít, melyet a Cyber-Physical System Lab 3D-s cloud mappingre használtunk. A cloud map leképezésének folyamata során Linux UBUNTU-n futó ROS OS lett alkalmazva. A mobil robotegységünk SLAM-t használt, hogy megbecsülje helyzetét, miközben feltérképezi az adott laborkörnyezetet. Ezen laborban készült tanulmány fő célja az volt, hogy egy olyan mobilrobot kifejlesztése valósulhasson meg, amely képes önállóan feltérképezni és felismerni ismeretlen területeket és objektumokat [3].

Általánosan a CPS-ek olyan elosztott rendszerek, amelyek a számítási és fizikai folyamatokat egyesítik, így pedig olyan funkciók használata is

lehetségessé válik, mint az adatgyűjtés és -elemzés, vagy rendszererőforrás-allokáció.

Az említett rendszerre magas szintű automatizálást és visszacsatolást is szükségessé tesznek. Az energiaellátás pedig önmagában is jelentős kihívást jelent a CPS-ek számára, hiszen hálózati instabilitás vagy áramszünet esetén a rendszer megbénulhat. Továbbá a kereslet-kínálat is jelentősen befolyásolja egy CPS-rendszer kiépítését. Éppen ezért a kutatási program során komoly kihívást jelent a fizikai rendszerek integrálása a kibertérbe. Hiszen fontos szerepet játszanak a beágyazott rendszerek és a szenzorhálózatok is [4, 5].

## 2.1. Intelligent Robot Systems (IRS)

Egy, a labort érintő projekt részeként 2020-ban egy ipari hegesztőrobot, név szerint a KUKA KR5 szingularitásának kérdése volt elemezve. A szingularitások negatív hatással lehetnek a robot teljesítményére, ezért figyelembe kell venni az összeszerelő sorok tervezésénél (1. táblázat).

A probléma elemzése céljából kifejlesztésre került egy egyedi mérőrendszer, amely közvetett módon képes mérni a robot tengelyeinek elmozdulását. A rendszer maga egy vezérlőből, robotkarból, lézerekből, gyorsulásmérőből és egy szögsebesség-érzékelőből áll [6]. A problémával kapcsolatban korábbi kutatások foglalkoztak, melyek alapul szolgáltak a rendszer kialakítása során [7].

Szintén a laborhoz köthető (2016) tanulmányában egy 6-DOF ipari robot adatfeldolgozásával és force-controllal foglalkozott, aminek az automatizálásra is kihatással van.

A labor maga állandó felügyelet alatt van, ugyanis korábban egy másik kutatás tárgyát ké-

1. táblázat. KUKA KR5 robot pozíciói [10]

| Név                | Érték    | Mértékegység |
|--------------------|----------|--------------|
| Tool/Base          |          |              |
| -                  | #NONE    | Tool         |
| -                  | #NONE    | Base         |
| <b>Pozíció</b>     |          |              |
| X                  | 396.160  | mm           |
| Y                  | 40.593   | mm           |
| Z                  | 1255.304 | mm           |
| <b>Írányultság</b> |          |              |
| A                  | 4.30     | deg          |
| B                  | 26.93    | deg          |
| C                  | 10.59    | deg          |

pezte, egy, az épületen belül található felügyeleti rendszer kiépítése, biztonságtechnikai szempontokat figyelembe véve. Az egyes események megfigyelésére a CPS-laborban TCP-IP kamerák lettek telepítve [8].

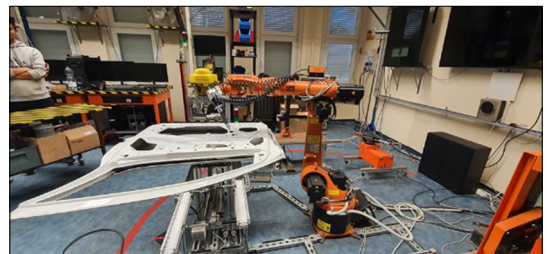
Ipari szimulációk témakörében is történtek (2019) előrelépések a Debreceni Egyetem robotikai laborjának fejlesztése kapcsán. Ennek témakörében készült el a KUKA KR5 kockatartójának átalakítása, a lineáris meghajtású rendszer implementálása, valamint egy gyártási folyamat szimulációja a robotcellán belül. Az automata módban a folyamat szekvenciális módszert követ, így könnyen követhetőek az egyes lépések és módosítható a meglévő program.

A vezérléséhez CodeSysben került tesztelésre a program, amelyben egy szimulációs modell készült el. Többek között manuális és automatikus futtatási lehetőségekkel. A KUKA KR-5 robottal (3. ábra) együtt a kockák meghatározott módon történő mozgatásához lineáris meghajtókat használtunk [9].

A robotcellára alapozva, a jövőbeli ipari szimulációkkal prediktálható lehet a robotmanipulátor viselkedése. Így támpontként szolgálhat a gyártósorokba való integrációnál. A szimulációs modellekkel akár pneumatikus és elektromos megfogó mozgások is tesztelhetőek lehetnek [11]. A KUKA KR5 ipari hegesztőrobot új alkatrészek 3D-nyomtatásával pedig bővíthető. A laborban KUKA KR5 integrációja és programozása sikeres volt, de a vezérlő- és az operációs rendszer miatt korlátozottak a lehetőségek [12].

## 2.2. Kiterjesztettség- (AR) és virtuálisvalóság- (VR) technológiák

A kiterjesztettség- (AR) alapú technológia rendkívül sokoldalú. Javíthatja az ipari körülmények „vizualizációját”, szimulációját, programozását, karbantartását és képzési metodikáját. Az AR-, oktatási környezetben való használata innovatív megoldást nyújt, különösen a roboti-



3. ábra. KUKA KR5 robot [10]

ka területén. A robotkarok 3D-CAD-modelljének AR-környezetbe való integrálása segíthet a hallgatóknak megérteni az ipari robotok működését és funkcionalitását anélkül, hogy a drága fizikai berendezésekre lenne szükségük (4. ábra) [10]. Ahol láthatóvá tehető, hogy ki mikor és milyen formában fért hozzá egyes szenzitív adatokhoz. Ezenkívül a rendszer képes lehet a robotoknak szánt parancsok titkosítására, így biztonságos kommunikációt és vezérlést tesz lehetővé [13].

2022-ben digitalizációs VR-, AR- és „digital twin”-technikákat alkalmazva kiegészítésre került a labor edukációja. Fontos megjegyezni, hogy ezen technológiáknak a meglévő rendszerekbe való integrálása kihívást jelent, ugyanis nem minden szabványosított (5. ábra). A digitalizáció ezen formája kevésbé elterjedt, éppen ezért is időigényes ilyen rendszerek fejlesztése, mint Kiberfizikai és Intelligens Robotikai Laboratórium esetében is történt. A virtuális laborok lehetőséget biztosítanak a szakemberek számára a virtuális úton történő képzésre, lehetővé téve számukra, hogy informálisan gyakorolhassanak, a fizikai sérülés minimális kockázata nélkül [14].

### 2.3. CPS és IRS algoritmusok

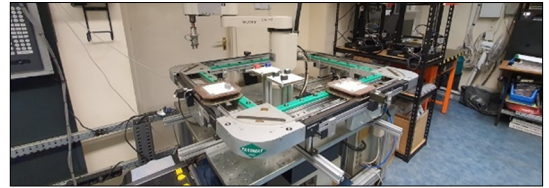
A közösségi hálózatokhoz hasonlóan, a CPS is lehetővé teszi a gépek állapotának elemzését HMI-n keresztül.

A gép állapotában vagy munkaterében bekövetkezett változások nyomon követése, az adatokból való következtetések levonása, mind algoritmusokat igényel [15]. Adatszintézis segítségével (2022) a laborban, 3D-robotmodellből előállított képek alapján képesek voltak virtuális képkockák előállítására.

A Blender segítségével virtuális állapotok szimulálása történt különféle textúrák, geometriák, fényeffektusok és kameranézetek felhasználásával. A tesztelés során hozzáadásra került a Ray Tracing Precision, az OptiX temporal zajtalanítás és az Optimal compact BVH. A zajmentesítés kulcsfontosságú volt, mivel gyorsabb képalkotást és tisztább képet eredményez a renderelés során [16].

A laborelemek 3D-nyomtatásához 2016-ban, nyílt forráskódú Arduino platformra alapozva, egy deltatípusú (FDM) “fused deposition modeling” 3D-nyomtató került megalkotásra (6. ábra).

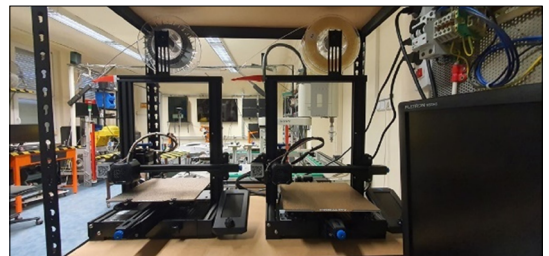
Ezen technológia gyors prototípus-készítést tesz lehetővé, ami csökkenti a fejlesztés idejét, valamint költségeit. A nyomtató által használt motorok maximális áramerőssége fázisonként 1,3 A. Az alkatrészek nyomtatása 50 mm/s sebességgel



4. ábra. Sony SRX-611 Lab robotkar



5. ábra. FANUC Spider Robot



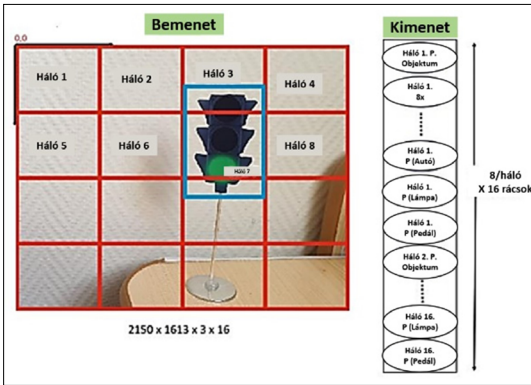
6. ábra. 3D-printer

történik, 0,2 mm rétegvastagsággal, 30%-os kitöltési tényezővel [17].

### 2.4. AI-ökoszisztéma

Az ipar 4.0 mesterséges intelligencia ökoszisztémájának kiépítése rendkívül fontos a gépek közötti interakciók és adattechnológiák szempontjából. Azonban ki kell emelni a kibertérrel kapcsolatos sebezhetőséget, mely kockázatot rejt. Továbbá szintén problémákat jelenthet a valós adatok és AI által prediktált értékek validálása [18].

A laborban, mintegy előfutárként, AI-alapú algoritmus került alkalmazásra. 2020-ban a YOLO algoritmus (7. ábra) használatát a közlekedési táblák felismerésére használták autonóm járművek



7. ábra. YOLO input-output algoritmus [19]

ben, ezzel imitálva a II. szintű önvezetési módot egy terepasztalon [19]. Az algoritmus valós idejű képességeiről és objektumészlelési pontosságáról ismert, így pedig autonóm járművek fejlesztésében is alkalmazható [20]. (2. táblázat)

2. táblázat. Példa egy Output YOLO algoritmusra [19]

| Grid 7       |     |
|--------------|-----|
| P.Object     | 1   |
| Bx           | 0.8 |
| By           | 0.9 |
| Bw           | 1.5 |
| Bh           | 1.2 |
| P.Light      | 1   |
| P.Pedestrian | 0   |
| P.Car        | 0   |

\*P.Object: 0 az összes többi rácsához.

Általánosan elmondható, hogy a kiberfizikai rendszerek (CPS) olyan vezérlőrendszereket takarnak, amelyek egymáshoz kapcsolódó objektumok és hálózatok széles skáláját ölelik fel, beleértve, de nem kizárólagosan az autókat, repülőgépeket és egyéb járműveket [21].

A Debreceni Egyetem Műszaki Karán található kutatóközpont, megtervezte és bevezette az „Intelligent facility” korszerű felügyeleti és biztonsági rendszerét. Ezen fejlett rendszer a folyamatban lévő kutatási projektek nyomon követését és a létesítmény általános biztonságának megőrzését szolgálja. A kutatóközpont elsődleges célja a jelenlegi technológiák hatékonyságának növelése és a balesetek előfordulásának mérséklése.

A Kiberfizikai és Intelligens Robotrendszerek Laboratóriuma kiegészített digitális tanulási lehetőséget kínál a kiterjesztett és a virtuális valóság, valamint a szimulációs technológiák segítségével.

Felkészíti a hallgatókat az Ipar 4.0 követelményeire és az iparághoz igazodó projektekre egy olyan tanterv révén, amely elősegíti az együttműködésen alapuló problémamegoldást és az ember-robot interakción alapuló későbbi tanulmányokat. A kialakított laboratórium integrálja a technológiát és ötvözi a gyakorlati képzéssel, lehetővé téve a hallgatók számára, hogy hatékonyan alkalmazzák a CPS- és IRS-koncepciót.

### 3. Következtetések

A Kiberfizikai és Intelligens Robotrendszerek Laboratóriumának célja, hogy felkészítse a diákokat, valamint a fiatal kutatókat az Ipar 4.0-ra és a mesterséges intelligencia használatára, azáltal, hogy immerzív tanulási élményt nyújt a kiterjesztett valóság, a virtuális valóság és a szimulációs technológiák segítségével. A labor a mérnöki problémamegoldásra, valamint az ember-gép interakciós tanulmányokra fókuszál [22].

A kiberfizikai rendszerek (CPS) automatizálását, fejlett vezérlési technológiákat, megbízhatóságot és biztonsági intézkedéseket követelnek meg. A CPS-labor egyik tulajdonsága, hogy egyedi elemek is implementálhatóak a labor környezetébe. Az AR-rel pedig gyakorolhatóak a karbantartási, vezérlési és modellezési feladatok.

Ezen elvégzett kutatás segítséget jelenthet a jövőben olyan járműtémakörben, mint amelyet korábban az egyetemen végeztek, könnyű repülőgépek és antennák tervezése kapcsán [23, 24], valamint virtuális járműmodellek [25] tervezéséhez is támogatott nyújthat, vagy motorok jellemzőinek virtuális úton történő vizsgálatához [26].

### Szakirodalmi hivatkozások

- [1] W. Wolf: *Cyber-Physical Systems*. Computer (Long. Beach. Calif.), 42/3. (2009) 88–89. <https://doi.org/10.1109/MC.2009.81>
- [2] T. I. Erdei, N. C. Obinna, Z. Molnar, G. Husi, *Surveillance and Security System in the Building Mechatronics Research Center*. In 2017 International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC), IEEE, Jun. 2017, 509–512. <https://doi.org/10.1109/ICE.2017.8279928>.
- [3] Rohit Singh Chauhan, T. I. Erdei, Géza Husi: *ROS OS-based 3D Mapping of Cyber-Physical System Lab by the Depth Sensor*. Recent Innov. Mechatronics, 7/1. 2020. <https://doi.org/10.17667/riim.2020.1/5>
- [4] J. Shi, J. Wan, H. Yan, H. Suo: *A Survey of Cyber-Physical Systems*. In 2011 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), IEEE, Nov. 2011, 1–6. <https://doi.org/10.1109/WCSP.2011.6096958>

- [5] A. Masuk, O. M. Kende, A. Husam, I. Balajti: *Cyber-Physical System Aspects of Microstrip Patch Antenna of Radar Sensor Application*. In 23<sup>rd</sup> International Radar Symposium (IRS), IEEE, Sep. 2022, 378–383. <https://doi.org/10.23919/IRS54158.2022.9904974>.
- [6] T. I. Erdei, G. Husi: *Singularity Measurement in the Cyber-Physical and Intelligent Robot Systems Laboratory*. *Int. Rev. Appl. Sci. Eng.*, 11/2. (2020) 82–87. <https://doi.org/10.1556/1848.2020.20001>.
- [7] G. Á. Sziki, A. Szántó, J. Kiss, G. Juhász, É. Ádámkó: *Measurement System for the Experimental Study and Testing of Electric Motors at the Faculty of Engineering, University of Debrecen*. *Applied Science*, 12/19. (2022) 10095. <https://doi.org/10.3390/app121910095>.
- [8] T. I. Erdei, Z. Molnár, G. Husi: *Selecting Equipment and Supplies for Self-Replicating 3D Printer*. *Acta Technica Corviniensis*, IX/1. (2016) [https://www.researchgate.net/publication/296696614\\_Selecting\\_Equipment\\_and\\_Supplies\\_for\\_Self-Replicating\\_3D\\_Printer](https://www.researchgate.net/publication/296696614_Selecting_Equipment_and_Supplies_for_Self-Replicating_3D_Printer)
- [9] T. Pajkos, T. I. Erdei, G. Husi: *CodeSys Modeling of an Industrial Cell, and Linear Drive Control with PLC & ATmega2560 Microcontrollers for Testing and Improvement Purposes*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 568/1. (2019) 012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/568/1/012061>.
- [10] T. Istvan Erdei, R. Krakó, N. David Peter, G. Husi: *3D CAD Design of KUKA Robot Arm & Integration into AR Environment to Educational Purposes*. In: *IEEE 20<sup>th</sup> International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC)*, IEEE, Sep. 2022, 590–596. <https://doi.org/10.1109/PEMC51159.2022.9962864>.
- [11] A. Szántó, S. Hajdu, G. Á. Sziki: *Dynamic Simulation of a Prototype Race Car Driven by Series Wound DC Motor in Matlab- Simulink*. *Acta Polytech. Hungarica*, 17/4. (2020) 103–122. <https://doi.org/10.12700/APH.17.4.2020.4.6>.
- [12] T. I. Erdei, N. C. Obinna, Z. Molnár, T. Gönczi, G. Husi: *Industrial KUKA Robot Manipulator in Simulation Environment and Position Read-back*. In: *1<sup>st</sup> International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS 2016)*, 2016. [https://www.researchgate.net/publication/311970929\\_Industrial\\_KUKA\\_Robot\\_Manipulator\\_in\\_Simulation\\_Environment\\_and\\_Position\\_Read-back](https://www.researchgate.net/publication/311970929_Industrial_KUKA_Robot_Manipulator_in_Simulation_Environment_and_Position_Read-back)
- [13] T. I. Erdei, Z. Molnár, N. C. Obinna, G. Husi: *A Novel Design of an Augmented Reality Based Navigation System & its Industrial Applications*. *ACTA IMEKO*, 7/1. (2018) 357. [https://doi.org/10.21014/acta\\_imeko.v7i1.528](https://doi.org/10.21014/acta_imeko.v7i1.528).
- [14] T. I. Erdei, R. Krakó, G. Husi: *Design of a Digital Twin Training Centre for an Industrial Robot Arm*. *Appl. Sci.*, 12/17. (2022) 8862. <https://doi.org/10.3390/app12178862>.
- [15] J. Lee, B. Bagheri, H.-A. A. Kao: *A Cyber-Physical Systems Architecture for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems*. *Manuf. Lett.*, 3. (2015) 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>.
- [16] T. P. Kapusi, T. I. Erdei, G. Husi, A. Hajdu: *Application of Deep Learning in the Deployment of an Industrial SCARA Machine for Real-Time Object Detection*. *Robotics*, 11/4. (2022) 69. <https://doi.org/10.3390/robotics11040069>.
- [17] T. Templom, T. István Erdei, Z. Molnár, E. Shaw, G. Husi: *Designing a Delta Tripod Based Robot Fused Deposition Modelling 3 Dimensional Printer Using an Open-Source Arduino Development Platform*. *MATEC Web Conf.*, 184. (2018) 02013. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201818402013>.
- [18] J. Lee, H. Davari, J. Singh, V. Pandhare: *Industrial Artificial Intelligence for Industry 4.0-Based Manufacturing Systems*. *Manuf. Lett.*, 18. (2018) 20–23 <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2018.09.002>.
- [19] Szántó A., Ádámkó É., Juhász G., Sziki G. Á.: *Simultaneous Measurement of the Moment of Inertia and Braking Torque of Electric Motors Applying Additional Inertia*. *Measurement*, 204. (2022) 112135.
- [20] C. Dursun, T. I. Erdei, G. Husi: *Artificial Intelligence Applications in Autonomous Vehicles: Training Algorithm for Traffic Signs Recognition*. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 898/1. (2020) 012035. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/898/1/012035>.
- [21] A. Masuk I. Balajti: *Mechatronics Engineering Aspects of VHF band Antenna Design of Industry 4.0 Applications*. In *23rd International Radar Symposium (IRS)*, IEEE, Sep. 2022, 77–82. <https://doi.org/10.23919/IRS54158.2022.9905051>.
- [22] Szántó A., Kiss J., Mankovits T., Sziki G. Á.: *Dynamic Test Measurements and Simulation on a Series Wound DC Motor*. *Applied Sciences*, 11/10.(2021) 4542. [23] A. Masuk, H. Géza: *Aero Graphene in Modern Aircraft & UAV*. *Recent Innov. Mechatronics*, 9/1. (2022) <https://doi.org/https://doi.org/10.17667/riim.2022.1/4>.
- [24] A. Masuk H. Géza: *Uses of Aero Graphene and CNT in Modern Aircraft*. 2023, 020029. <https://doi.org/10.1063/5.0181354>.
- [25] A. Szántó, É. Ádámkó, G. Juhász, G. Á. Sziki: *Simultaneous Measurement of the Moment of Inertia and Braking Torque of Electric Motors Applying Additional Inertia*. *Measurement*, 204, (2022) 112135. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.112135>.
- [26] A. Szántó, J. Kiss, T. Mankovits, G. Á. Sziki: *Dynamic Test Measurements and Simulation on a Series Wound DC Motor*. *Applied Sciences*, 11/10. (2021) 4542. <https://doi.org/10.3390/app11104542>.