



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

DR. SZÉLL KÁROLY (EGYETEMI DOCENS)

Automatizáció az oktatás kontextusában

**BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA**

Budapest
2025.04.20.

Tartalom

1	A kutatás előzményei.....	4
2	Új tudományos eredmények	11
2.1	Első téziscsoport	11
2.2	Második téziscsoport	32
3	A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja	37
4	Irodalmi hivatkozások listája	38
5	Tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények 40	

Ábrajegyzék

1. ábra: Webalapú oktatási keretrendszer.....	12
2. ábra: SLAM hardver-architektúra	18
3. ábra: Ipari robotcella oktatási keretrendszer	22
4. ábra: Kollaboratív robotcella oktatási keretrendszer.....	24
5. ábra: Költséghatékony robotkar fejlesztése	28
6. ábra: Steril csőhegesztő robotizálása	33
7. ábra: Steril gyorscsatlakozó robotizálása	34

1 A kutatás előzményei

A modern technológiai paradigmaváltások, különösen az Ipar 4.0 térnyerése, új kihívásokat teremtett a digitalizáció, az automatizáció és az adatsere területén. Munkám során az Ipar 4.0 által támasztott kihívásokat vizsgáltam, melyet két téziscsoport köré építettem fel.

Fregan és szerzőtársai szerint a munkahelyek jelentős része veszélyben van a digitalizáció miatt. A folyamat munkahelyek megszűnésével, új munkahelyek létrehozásával jár, beleértve a kialakuló új munkaköröket is. A foglalkoztatás szerkezete és a munkakörnyezet változik. Ez magában foglalja az új emberi kompetenciák, az ember és a gép közötti kommunikáció és együttműködés tömeges fokozódását. [1]

Módné [2] és Pogátsnik [3] szerint a munkaerőpiac elvárásai egyre inkább a szakmai tudás és a puha készségek kombinációjára helyezik a hangsúlyt. A megfelelő szakmai ismeretek mellett az intelligencia (IQ) és az érzelmi intelligencia (EQ) is kulcsszerepet játszik. A

munkavállalóknak rugalmasnak és együttműködőnek kell lenniük, továbbá követniük kell az élethosszig tartó tanulás elvét, amely magában foglalja a folyamatos fejlődést, a megfelelő tanulási készségeket és a belső motivációt.

A vállalatok egyre inkább projektmunkára támaszkodnak, ezért a munkavállalóknak rendelkezniük kell a csapatmunka, az együttműködés, a konfliktuskezelés és a stressztűrési képességeivel. Az elvárások között szerepel a proaktivitás, a helyzetek felismerésének és kihasználásának képessége, valamint a kreatív és kritikai gondolkodás. A kommunikáció és a prezentációs készség szintén kiemelten fontos.

Az oktatás kulcsfontosságú szerepet játszik abban, hogy a tanulók olyan gyakorlati és elméleti tudást szerezzenek, amely összhangban van a munkaerőpiaci elvárásokkal. A modern oktatási stratégiák célja, hogy a diákokat interdiszciplináris, problémamegoldó és csapatmunkára épülő gondolkodásmódra készítsék fel, ezáltal biztosítva számukra a jövő kihívásaira való felkészülést.

Ennek megfelelően az első téziscsoport az oktatásra fókuszál, ahol kutatásaim célja, hogy a jövő mérnökei számára

elérhetővé tegyem a rendelkezésre álló legújabb szoftveres és hardveres eszközöket, kutatási eredményeket. Kutatásaim során olyan oktatási keretrendszerek kidolgozása a cél, amelyek segítik a diákokat az Ipar 4.0-kompatibilis laboratóriumi technológiák és folyamatok megértésében és alkalmazásában. Az oktatásnak kiemelt szerepet kell játszania abban, hogy az új generációt felkészítse az ipar és a kutatás digitális jövőjére.

Az "élethosszig tartó tanulás" gondolkodásmódja azt jelenti, hogy az embernek tanulnia kell akkor is, amikor már dolgozik. Munka mellett sokan nem tudnak előadásokra részt venni, még a hétvégéken sem, és inkább az önálló, online tanfolyamokat választják. Az oktatás széles körben hozzáférhetővé vált az internet elterjedésével. A távoktatási programok arra törekednek, hogy könnyen érthető tudományos anyagokhoz jussanak a hallgatók, akár otthon, önállóan is. Egyre több hallgató választja a távoktatást az osztálytermi tanulás helyett.

Egy másik trend a külföldi tanulmányok iránti érdeklődés. Számos hallgatói csereprogram van, és külföldi diákokat lehet találni világszerte az egyetemeken. Számukra kihívást jelenthet az adott ország nyelvének megismerése

vagy a számukra megfelelő tananyag felkutatása. Ezért az egyetemek egyre több angol nyelvű anyagot használnak. Ezen hallgatók számára nagyon hasznos olyan oktatási programok létrehozása, amelyben megtalálhatják az összes szükséges anyagot tudományos fejlődésük érdekében, amely bármikor, egyszerűen az interneten keresztül elérhető. [4]

A tézisekben alkalmazott oktatási módszerek hatékony eszközként szolgálnak a hallgatók kompetenciáinak fejlesztésében, különös tekintettel a gyakorlati készségek és a problémamegoldó képesség erősítésére. Az alábbiakban bemutatom a legfontosabb megközelítéseket, amelyeket a keretrendszerek kidolgozásához alkalmaztam.

Problémaközpontú oktatás: Ez a módszer a hallgatók analitikus gondolkodásának fejlesztésére és a problémamegoldó készségek erősítésére összpontosít. A tanulási folyamat során a hallgatók önállóan fedezik fel a problémákat, információkat gyűjtenek és kidolgozzák a lehetséges megoldásokat, míg a tanár facilitátorként működik [5].

Projektalapú oktatás: A hallgatók egy komplex projekt kidolgozásán keresztül sajátítják el a tananyagot, amely

gyakorlati alkalmazási lehetőséget biztosít számukra. Ez az oktatási forma különösen hatékony a STEM területeken, ahol a gyakorlati készségek fejlesztése kulcsfontosságú [6].

Blended learning: A hagyományos tantermi és az online oktatás ötvözte, amely lehetőséget biztosít a hallgatók számára, hogy saját tempójukban, rugalmas időbeosztásban tanuljanak. A módszer elősegíti az önálló tanulást és a technológia hatékony alkalmazását, ami az Ipar 4.0 digitalizációs kihívásai miatt kiemelt fontosságú [7].

Fordított osztályterem: A hallgatók otthon sajátítják el az elméleti anyagot, míg az órák során a gyakorlati alkalmazásra helyeződik a hangsúly. Ez a módszer interaktívabb tanulási környezetet biztosít, és több időt enged a bonyolultabb témák alapos feldolgozására [8].

Kooperatív tanulás: A hallgatók csoportokban dolgoznak együtt egy adott feladat megoldásán. Ez nemcsak a tudásmegosztást támogatja, hanem fejleszti a kommunikációs és szociális készségeket is, amelyek elengedhetetlenek a szakmai életben való sikeres érvényesüléshez [9].

Peer-tanítás: A hallgatók egymásnak tanítanak különböző témákat vagy készségeket, amely nemcsak az

önbizalmukat növeli, hanem mélyebb megértést is biztosít számukra [10].

A fent ismertetett módszereket az ipari igényekhez igazítva ötvözőm, alkalmazásuk lehetőséget biztosít arra, hogy a hallgatók aktív szereplői legyenek saját tanulási folyamatuknak, miközben olyan kompetenciákat fejlesztenek, amelyek elengedhetetlenek az ipari és mérnöki környezetben történő sikeres alkalmazkodáshoz.

A második terület a gyógyszeripari laboratóriumok automatizálásával foglalkozik. A laboratóriumi folyamatok hatékonyságának növelése érdekében elengedhetetlen az automatizáció alkalmazása. Kutatásom célja, hogy kidolgozzak egy Plug & Play laboratóriumi automatizációs (Labor Automation Plug & Play, LAPP) keretrendszert, amely egyszerűsíti a robotok integrációját és a folyamatok vezérlését, támogatva az Ipar 4.0 elvárásait.

A LAPP keretrendszer alapvető koncepciója a laboratóriumi munkafolyamatok szervezésére és ütemezésére irányul. A keretrendszer azt célozza meg, hogy egyszerűsítse a robotok integrációját és beállítását azáltal, hogy a

felhasználót mentesíti a kommunikáció és a robotmozgások manuális tanításának terhétől. [11]

A keretrendszerben a digitális ikertestvér alkalmazása lehetővé teszi a robotra vonatkozó információk tárolását és megosztását a rendszer különböző komponenseivel. A digitális ikertestvér kulcsfontosságú elem a robotok számára, különösen a robotkar pozícióinak standardizált módon történő tárolása révén, ami lehetővé teszi a készülék Plug & Play módon történő kezelését.

A rehabilitáció célja az említett területeken elért eredmények bemutatása és értékelése. A végső cél az, hogy hozzájáruljon a laboratóriumi kutatások és az ipari folyamatok hatékonyságának növeléséhez az Ipar 4.0 korszakában, és segítse a jövő generációk felkészítését a digitális transzformáció kihívásaira.

2 Új tudományos eredmények

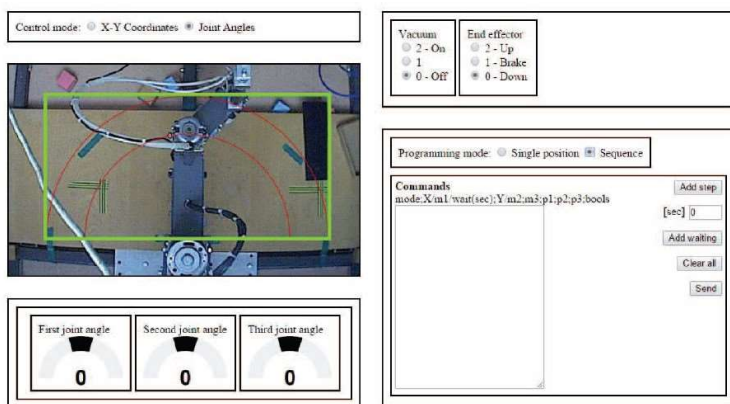
A két területen elért eredményeimet két téziscsoport köré építettem fel.

2.1 Első téziscsoport

Kifejlesztettem egy webalapú robotikaoktatási keretrendszert, mely magában foglalja a hardveres, a szoftveres környezetet, valamint a tananyagot. A robotikaoktatás sajátos kihívásait figyelembe véve célom egy olyan integrált oktatási környezet megteremtése volt, amely az alapvető elméleti ismeretek elsajátításától a gyakorlati, valós idejű mérésekig és vezérlési feladatokig kíséri végig a hallgatókat. A kifejlesztett oktatási keretrendszer három alapelemre épül: a SCARA típusú robotkarra, a kapcsolódó hardveres vezérlőeszközökre, valamint a szoftveres keretrendszerre, amely a távoli elérést és az oktatási folyamat strukturált támogatását teszi lehetővé.

A robotika összetett terület, széleskörű ismereteket igényel. A cél az volt, hogy a hallgatók akár programozási előképzettség nélkül is képesek legyenek alapvető mérések és vezérlési feladatok elvégzésére. Ennek érdekében egy több rétegű szoftverarchitektúrát alakítottam ki,

amely lehetővé teszi a rendszer alacsony szintű működésének elrejtését, ugyanakkor fokozatosan feltárja annak működését a tanulási folyamat előrehaladtával. A keretrendszer kezdetben csak néhány paraméter beállítását igényli, például csuklószögek vagy koordináták megadását, amelyeket egy egyszerű, grafikus felületen keresztül végezhetnek el a hallgatók. A későbbi fázisokban viszont lehetőség van a vezérlési algoritmusok paraméterezésére, illetve azok módosítására is, így a hallgatók egyre mélyebb szintű betekintést nyerhetnek a robotika és irányítástechnika világába.



1. ábra: Webalapú oktatási keretrendszer

A mérési összeállítás számos lehetőséget kínál különböző vezérlési módszerek tesztelésére, mint például a Ziegler–Nichols, Kessler vagy a csúszó módú szabályozás. A rendszer egyik különlegessége, hogy a vezérlési algoritmus valós időben, soronként megfigyelhető, és a fizikai robotreakciók – például a robotkar mozgása – webkamera segítségével nyomon követhetők. Ez különösen fontos a távoktatásban, ahol a hallgatók a világ bármely pontjáról csatlakozhatnak, és akár éjszaka is használhatják a rendszert. A beépített világítás, a biztonsági áramköri elemek, valamint a prioritáskezeléses hozzáférésvezérlés mind hozzájárulnak a rendszer stabil, megbízható és biztonságos működéséhez.

A keretrendszer fokozatosan vezeti be a hallgatókat a robotkar kinematikájába, a vezérlési elvekbe és az adatfeldolgozási technikákba. A hallgatók nem csupán megfigyelők, hanem aktív résztvevők: saját mérési szekvenciákat állíthatnak össze, adatokat gyűjthetnek és elemezhetnek, valamint saját vezérlési algoritmusokat fejleszthetnek. Ezen keresztül nemcsak az elméleti ismeretek mélyülnek, hanem a gyakorlati kompetenciák is fejlődnek,

összhangban az ipari elvárásokkal és a modern, élethosz-szig tartó tanulás paradigmájával.

A rendszer gyakorlati alkalmazhatóságát különböző okta-tási formákban is teszteltem. A fejlesztett webalapú keret-rendszer sikeresen integrálható volt mind a jelenléti, mind a távoktatási kurzusokba, ahol a hallgatók önállóan, akár otthoni környezetből is képesek voltak végrehajtani a la-borfeladatokat, valós idejű visszacsatolás mellett. Jelenléti formában a hallgatók közvetlenül is dolgozhattak a robot-karokkal, így összehasonlíthatták a távoli és helyszíni ve-zérlés tapasztalatait. A visszajelzések alapján a hallgatók mindkét esetben hatékonyan tudták elsajátítani a gyakor-lati ismereteket, ami megerősíti a keretrendszer oktatás-ban való sokoldalú alkalmazhatóságát. **(1.1 altézis)**

Az ipar egyre inkább automatizált megoldásokra törek-szik, ami miatt az automatizált vezetett járművek (AGV-k) iránti igény dinamikusan növekszik. Az intralogisztika és az okos gyártás fejlődése olyan mobil robotikai rend-szerek alkalmazását teszi szükségessé, amelyek képesek autonóm módon tájékozódni és navigálni strukturálatlan vagy részben ismert környezetekben. Ennek érdekében

kidolgoztam egy átfogó szimulációs és valós tesztkörnyezetet, amely alkalmas a különböző SLAM (Simultaneous Localization and Mapping – egyidejű helymeghatározás és térképezés) algoritmusok vizsgálatára, fejlesztésére, oktatási és kutatási célú alkalmazására.

Olyan szimulációs környezetet valósítottam meg, amely lehetőséget nyújt a robotikával kapcsolatos algoritmusok tesztelésére és tanulmányozására. A kiválasztott platform kompatibilis a Robot Operating Systemmel (ROS), így biztosított az ipari rendszerekbe való könnyű integráció és az Ipar 4.0 követelményeinek való megfelelés. A platform lehetővé teszi a valós idejű mozgásmodellezést, szenzoradatok szimulációját, valamint egyéni robotmodellek beépítését. A hallgatók így valósághű környezetben tesztelhetik a fejlesztett algoritmusokat, anélkül, hogy kockáztatnák a fizikai eszközök sérülését.

A valós környezetben történő tesztekhez ipari laboratóriumi környezetet alakítottam ki, amelyben különböző gyártók hatsuklós ipari robotjai (FANUC, Universal Robots, ABB, KUKA) kaptak helyet. Ez a környezet lehetőséget nyújtott a mobilrobotok gyakorlati működésének tesztelésére, különösen az akadálykerülés,

útvonaltervezés és pozícióbecslés feladataiban. A padló burkolata és a környezeti elemek (pl. bútorlábak) változatlansága kihívásokat jelentett a szenzoros érzékelés és a SLAM algoritmusok pontossága szempontjából, ezáltal kiváló tesztkörnyezet jött létre.

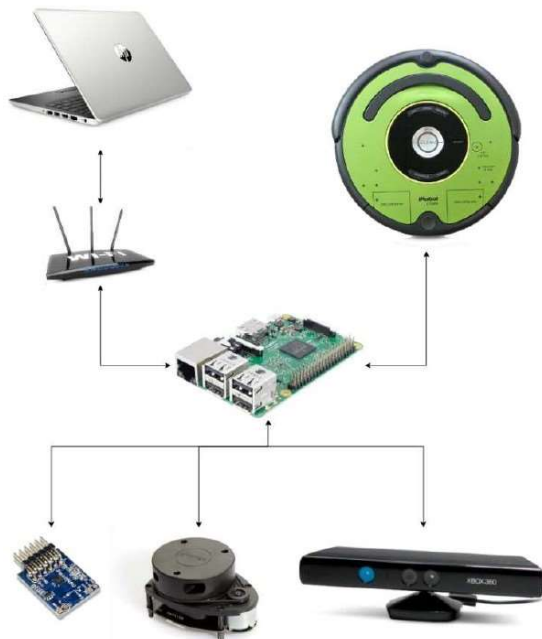
A kísérletekhez költséghatékony mobilrobot platformokat alkalmaztam, amelyek alapját az iRobot Create adta. Ennek nyílt kommunikációs protokollja lehetővé tette az aktuátorok és szenzorok vezérlését, valamint a robot beépített akkumulátorának felhasználását a kiegészítő elektronikai komponens tápellátására. Háromféle platformverziót fejlesztettem ki:

- Lidar-alapú robot, amely lézerszkennер segítségével érzékeli a környezetet, ideális a GMapping, Hector SLAM és Cartographer típusú algoritmusok tesztelésére.
- Kinect-alapú robot, amely RGB-D kamerát alkalmaz, így a vizuális SLAM módszerek – például ORB-SLAM vagy LSD-SLAM – tanulmányozására alkalmas.

- Mobil manipulátorral felszerelt robot, amely egy kisebb robotkarral rendelkezik, lehetővé téve a tárgyak mozgatását és manipulációs feladatok végrehajtását, kiegészítve a mobilitással.

A rendszer vezérlését és adatgyűjtését Raspberry Pi platform végezte, amely fogadta a szenzoradatokat, vezérelte a mozgást és biztosította a kapcsolatot az adatfeldolgozó végző külső számítógéppel. A ROS-alapú feldolgozókörnyezet lehetővé tette a komplex SLAM algoritmusok futtatását, valamint az Ipar 4.0 szempontból releváns kapcsolódásokat, például ERP rendszerekkel vagy Big Data platformokkal való integrációt.

Az így kialakított rendszer nemcsak kutatási és fejlesztési célokra, hanem oktatási alkalmazásra is alkalmas. A hallgatók a szimulációs és valós környezetben is kipróbálhatják algoritmusait, megismerkedhetnek a szenzoros adatfeldolgozás, a vezérlés és az ipari integráció kihívásaival. A gyakorlatorientált megközelítés révén az elméleti ismeretek valódi, mérnöki feladatokban hasznosulnak, elősegítve a mélyebb megértést és a modern technológiai rendszerek iránti nyitottságot.



2. ábra: SLAM hardver-architektúra

A tesztelési eredmények és a hallgatói visszajelzések alapján igazoltam, hogy a kialakított környezet nemcsak technikailag alkalmas a SLAM-alapú mobilrobotikai technológiák bemutatására és fejlesztésére, hanem biztonságos és hatékony oktatási platformként is működik. A rendszer kialakítása során kiemelt figyelmet fordítottam arra, hogy a hallgatók interaktív módon, valós környezetben vagy szimuláció segítségével, kockázatmentesen

kísérletezhessenek különböző algoritmusokkal és vezérlési stratégiákkal, mely lehetővé teszi a hibák biztonságos kezelését és az önálló tanulás támogatását, így a rendszer megfelel a korszerű mérnökképzés követelményeinek.

(1.2 altézis)

Ahogy az ipar egyre több robotikai megoldást alkalmaz, szükségessé válik az automatizált cellák elméleti és gyakorlati oktatásának fejlesztése felsőoktatási szinten. A digitális oktatás térnyerésével, valamint az Ipar 4.0 koncepció előtérbe kerülésével a felsőoktatási intézményekre egyre nagyobb nyomás nehezedik, hogy olyan korszerű laboratóriumi környezeteket hozzanak létre, ahol a hallgatók gyakorlati tapasztalatot szerezhetnek komplex ipari rendszerek működéséről. Ennek részeként egy többfunkciós, valós ipari elemeket tartalmazó kutatási és oktatási célú robotcellát dolgoztam ki, amely alkalmas több műszaki terület oktatásának támogatására.

Munkám során olyan kutatási és oktatási környezetet dolgoztam ki, amelyben a hallgatók biztonságosan ismerkedhetnek meg a modern automatizálás alapjaival, a robotok programozásával, a robotcella kiegészítő elemeinek

működésével, valamint a munkavédelem és biztonság-technika alapvető követelményeivel. A cella felépítése során kiemelt figyelmet kapott a skálázhatóság, a valós ipari eszközök alkalmazása, valamint a rugalmasság, hogy különböző tantárgyakhoz és oktatási szintekhez igazítható legyen. A hallgatók az ipari robotkarokkal történő munkavégzés során megismerhetik az alapvető pozíció- és pályavezérlést, szerszámkoordináták alkalmazását, a végrehajtási utasítások paraméterezését, valamint az automatizált anyagmozgatás megvalósításának különböző lehetőségeit.

A robotcella fő hardverkomponensei egy ABB IRB 1400 6 tengelyes ipari robotkar, egy KUKA KR-16 6 tengelyes ipari robotkar, egy futószalag, egy rezgőadagoló, valamint egy Siemens PLC vezérlés. A futószalag rendszer egy oválpályás szállítószalag, amely négy állomással rendelkezik (két operátor- és két robotoldali), és lehetővé teszi komplex logikai működések programozását PLC vezérlés segítségével. A cella biztonságos működtetése érdekében egy PILZ típusú biztonsági PLC is beépítésre került, amely felügyeli az E-stop gombokat, lézerskennereket, valamint a vezérlőrendszerek állapotát. A biztonsági kör

megszakadása esetén a rendszer automatikusan leáll, garantálva az oktatási környezetben elengedhetetlen munkavédelmet.

Az automatizált cella működésének oktatási és kutatási célú hasznosítása során lehetőség van különböző forgatókönyvek megvalósítására, mint például minőségellenőrzés mintavétellel, hibakezelési scenáriók gyakorlása, illetve gépi látással és képfeldolgozással történő munkadarab-azonosítás. A rendszer nyitottsága révén a hallgatók egyedi programokat írhatnak a robotkarokra, módosíthatják az automatizált folyamatokat, vagy akár új eszközöket integrálhatnak a rendszerbe – mindezt egy biztonságosan felügyelt oktatási környezetben.

Összességében a kifejlesztett robotikai oktatási cella egy komplex, ipari szintű gyakorlóterepet biztosít a hallgatók számára, amely nemcsak a technikai ismeretek elsajátítását, hanem a rendszerszintű gondolkodás, a hibakeresés, a karbantartási logika és az integrációs ismeretek fejlesztését is szolgálja. Ezzel a környezettel a hallgatók már az egyetemi évek alatt olyan gyakorlati tudáshoz jutnak, amely közvetlenül alkalmazható a modern ipari környezetekben. **(1.3 altézis)**



3. ábra: Ipari robotcella oktatási keretrendszer

A kollaboratív robotika aktuális téma az oktatásban és a gyártás területén egyaránt, mivel az ember és a gép közös munkájáról szól. Az együttműködés ezen formája biztonsági, tervezési és kommunikációs kihívásokat vet fel, ugyanakkor a gyártási hatékonyság és a munkavállalói komfort szempontjából is komoly előrelépést jelent. Ezért válik különösen jelentőssé a felsőoktatásban történő oktatásuk, hogy a jövő mérnökei megfelelő gyakorlati ismeretekkel rendelkezzenek a humán-robot együttműködésről.

Munkám során olyan kutatási és oktatási környezetet dolgoztam ki, amely a kollaboratív robotika alkalmazását mutatja be egy gyártási mintafolyamatban. A cél egy olyan oktatási és demonstrációs környezet létrehozása volt, amely lehetővé teszi a kollaboratív és klasszikus ipari robotok összehasonlítását, különös tekintettel a gyártási folyamatok egyes szakaszaira, azok automatizálhatóságára, az operátor részvételének mértékére. A mintafolyamat során a hallgatók valós ipari elemekkel és valós alkalmazási környezettel dolgoznak, így a tapasztalat közvetlenül alkalmazható ipari környezetben is.

Az oktatási és kutatási célú rendszer különös hangsúlyt fektet az Ipar 4.0 követelményeire is: a robotok és szenzorok által gyűjtött adatok központi adatbázisba kerülnek, amelyhez egy Manufacturing Execution System (MES) és Enterprise Resource Planning (ERP) rendszer is kapcsolódik. Ez lehetőséget nyújt a hallgatóknak arra, hogy megismerkedjenek a prediktív karbantartás, a gyártásoptimalizálás és az adatalapú döntéshozatal alapelveivel is.

A kollaboratív környezet kialakításánál kiemelt szempont volt a biztonság. A rendszer úgy lett megtervezve, hogy megfeleljen a kollaboratív munkakörnyezetekkel

szemben támasztott biztonsági elvárásoknak. A munkafolyamat minden lépése oktatófelügyelet mellett történik, így a hallgatók fokozatosan sajátítják el a gyakorlati ismereteket.

Összességében a rendszer egy olyan oktatási eszközt biztosít, amely egyszerre szolgálja a gyakorlati készségek fejlesztését, a kutatási célú teszteléseket, valamint az ipari alkalmazásra való felkészítést. A kollaboratív robotika oktatása révén a hallgatók nem csupán robotprogramozási, hanem interdiszciplináris készségeket – például rendszerintegráció, adatkommunikáció, munkabiztonság – is elsajátítanak, amelyek elengedhetetlenek a jövő gyártásában.



4. ábra: Kollaboratív robotcella oktatási keretrendszer

Az ipari, valamint a kollaboratív rendszer gyakorlati bevezetése során oktatási kurzusokon és laboratóriumi gyakorlatokon keresztül igazoltam, hogy a kialakított biztonságos robotikai környezet hatékonyan alkalmazható a felsőoktatásban. A hallgatók valós ipari eszközök mellett sajátíthatták el az automatizálási és robotprogramozási ismereteket, miközben felügyelt és jól strukturált környezetben végezhették el a szükséges feladatokat. A visszajelzések és a tanulási eredmények alapján a rendszer hozzájárul a mérnöki kompetenciák mélyítéséhez, és bizonyítottan alkalmas a gyakorlatorientált, ipari igényekhez igazodó képzés támogatására. **(1.3 altézis)**

Az ipar egyre nagyobb igényt támaszt a korszerű robotikai ismeretekkel rendelkező mérnökök iránt, ami megköveteli a robotika elméleti és gyakorlati oktatásának fejlesztését felsőoktatási szinten is. Az automatizálás és a robotizálás mára kulcsszereplővé vált a modern iparban, ahol a hatcsuklós ipari robotkarok felhasználása a gyártási folyamatok legkülönbözőbb területein – hegesztéstől a szerelésen át az anyagmozgatásig – mindennapos gyakorlattá vált. Ennek megfelelően adott az igény olyan

gyakorlаторientált oktatási környezetek kialakítására, amelyek költséghatékonyan biztosítják a hallgatók számára a robotkarok tervezésének, építésének és vezérlésének megismerését.

Munkám során olyan kutatási és oktatási környezetet dolgoztam ki, ahol a hallgatók egy robotkar megépítésén keresztül megismerkedhetnek a 3D nyomtatással, a robotkarok tervezésével, összeszerelésével és programozásával, alapvető gyakorlati tapasztalatot elsajátítva a robotika területén. A cél az volt, hogy a hallgatók ne csupán elméleti tudást sajátítsanak el, hanem saját kézzel készíthessék el és vezérelhessék saját hatcsuklós robotkarjukat. Ennek megvalósításához olyan open source platformokat alkalmaztam kiindulásként, amelyek egyszerre biztosítanak technikai rugalmasságot és alacsony költség szintet. A hallgatók így közvetlen tapasztalatot szereznek a robotika teljes életciklusában: a tervezéstől a kivitelezésen át a programozásig.

A projekt során a diákok olyan fejlesztéseket is végezhetnek, mint új végszerszámok tervezése, a kar súlyának csökkentése vagy a robot strukturális szilárdságának javítása. A hallgatók a kar konstrukcióját is módosíthatják,

például adaptert tervezhetnek más végszerszámokhoz, vagy új tengelygeometriát alakíthatnak ki. A robotot ROS környezetből is lehet irányítani, így a diákok betekintést nyerhetnek a szoftveres szimuláció és valós hardvervezérlés összekapcsolásába.

A biztonság szempontjából ezek a platformok különösen alkalmasak az oktatásra. A kis tömegű robotkarok nem igényelnek védőkerítést vagy bonyolult biztonsági rendszereket, így a hallgatók biztonságos környezetben sajátíthatják el a vezérlés, hibakeresés és programozás alapjait. Ezzel megalapozzák azt a tudást, amellyel később az ipari robotcellákban is magabiztosan mozoghatnak.

Összességében az általam kidolgozott oktatási modell teljes mérnöki gondolkodási folyamatra épülő robotikai tapasztalatot biztosít. A hallgatók terveznek, gyártanak, programoznak, tesztelnek és fejlesztenek, miközben alacsony költségek mellett mély, gyakorlati tudásra tesznek szert. A robotkar-projektek nemcsak a mechatronikai, informatikai és gépészeti ismereteket integrálják, hanem a kreatív problémamegoldást és csapatmunkát is elősegítik. Így válik a robotkarépítés nemcsak technikai, hanem

pedagógiai szempontból is rendkívül értékes oktatási módszerre.



5. ábra: Költséghatékony robotkar fejlesztése

A hallgatói projektmunka tapasztalatai, valamint a visszajelzések alapján igazoltam, hogy a kifejlesztett, nyílt forráskódú platformokon alapuló laboratóriumi környezet költséghatékony és eredményes megoldást kínál a robotikaoktatás számára. A 3D nyomtatásra és könnyen beszerezhető komponensekre épülő rendszer lehetővé teszi a hallgatók számára, hogy elérhető áron, mégis ipari

szemléletű eszközökkel dolgozzanak. A megvalósított oktatási gyakorlatok során bebizonyosodott, hogy a platform nemcsak technikai szempontból működőképes, hanem kiválóan illeszkedik a mérnökképzés strukturált, gyakorlatorientált követelményeihez. **(1.4 altézis)**

1. téziscsoport

Oktatási és kutatási célú keretrendszereket dolgoztam ki az automatizáció területén. Igazoltam a bevezetett platformok biztonságos és hatékony alkalmazhatóságát.

1.1 altézis

Kifejlesztettem egy webalapú robotikaoktatási keretrendszert, amely biztonságos laboratóriumi környezetben teszi lehetővé a gyakorlati méréseket. A rendszer alkalmazhatóságát távoktatási és jelenléti formában is igazoltam.

[P1]

1.2 altézis

Oktatási és kutatási célú mobilrobot platformokat fejlesztettem SLAM algoritmusok vizsgálatára. Igazoltam, hogy a kialakított környezet alkalmas a technológia biztonságos alkalmazására oktatási környezetben.

[P2]

1.3 altézis

Kutatásaim során oktatási és kutatási célú környezeteket dolgoztam ki hatsuklós ipari, valamint kollaboratív robotkarok alkalmazására. Igazoltam, hogy a kifejlesztett biztonságos laboratóriumi környezet az oktatásban jól alkalmazható.

[P3, P4]

1.4 altézis

Kutatásaim során alacsony költségvetésű hatsuklós robotkarokat terveztem. Igazoltam, hogy a kifejlesztett platformok alkalmasak a robotikaoktatás költséghatékony megoldására.

[P5]

2.2 Második téziscsoport

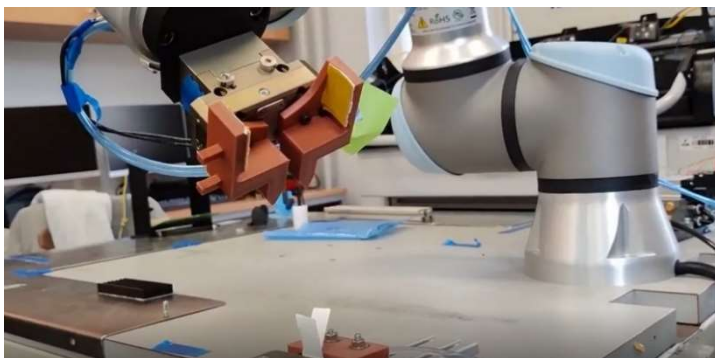
A steril csőhegesztést a gyógyszeriparban, biotechnológiában és orvostechikai gyártásban alkalmazzák csövek csatlakoztatására steril környezetben. Az ilyen típusú hegesztés elsősorban olyan folyadékelosztó rendszerek kialakításához szükséges, ahol az emberi beavatkozás minimalizálása és a sterilitás fenntartása alapvető követelmény. A hagyományos hegesztési eljárásokat manuálisan, jól képzett operátorok végzik, ami nem csak költséges és időigényes, de az emberi tényezők miatt nehezen szabványosítható. Ezért különösen fontos a steril csőhegesztési folyamatok automatizálása és robotizálása, különösen a gyógyszeriparban, ahol a GMP (Good Manufacturing Practice) előírások szigorú megfelelést követelnek meg. Ezeket a hegesztőket kifejezetten úgy tervezték, hogy biztonságos és szennyeződésmentes kapcsolatot hozzanak létre a folyadékok átvitele során használt csövek között, ahol a steril környezet fenntartása kulcsfontosságú. A hegesztési eljárások során alkalmazott eszközök rendkívül érzékenyek a tisztaságra és a kezelési pontosságra. A folyamatos emberi jelenlét nem csak a kontamináció

veszélyét hordozza, de hosszú távon akadályozza az automatizált, 24/7-es gyártási rendszerek kialakítását is. **(2.1 altézis)**



6. ábra: Steril csőhegesztő robotizálása

További lehetőség a steril csatlakozásra a műanyag gyorscsatlakozók alkalmazása is. Ezek a megoldások elsősorban olyan esetekben használhatók, amikor gyakori csatlakoztatásra és szétválasztásra van szükség, például mobil eszközök esetén. A gyorscsatlakozók ergonómiája és működési elve azonban szintén emberi használatra lett tervezve, így a robotizált környezetbe történő integrálásuk jelentős áttervezést és mechanikai adaptációt igényel. **(2.2 altézis)**



7. ábra: Steril gyorscsatlakozó robotizálása

Mindkét csatlakozási megoldás esetében vizsgáltam, hogyan integrálhatóak a LAPP keretrendszerbe robotkarok alkalmazásával. Ehhez szükséges volt az érintett eszközök vizsgálata, melyek alapvetően emberi használatra lettek kifejlesztve. A steril csőhegesztők és gyorscsatlakozók működtetése általában manuális műveleteken alapul, például a hegesztőfej megfelelő elhelyezése, a csővégek összeillesztése vagy a csatlakozók zárása/nyitása. Ezeket a lépéseket robotkar számára is értelmezhető mozgássorozattá kellett alakítani. Ennek érdekében speciális megfogókat fejlesztettem ki, amelyek képesek biztonságosan rögzíteni a csöveket, illetve elvégezni a szükséges mechanikai interakciókat a berendezésekkel. Mindkét

csatlakozási eljárás során sikerült a folyamat robotizált megoldását implementálni.

Munkám során együttműködtem a Baxalta Innovations GmbH bécsi gyógyszeripari céggel, mely biztosította számomra a csőhegesztő készüléket is. Együttműködtem továbbá a CPC (Colder Products Company) amerikai céggel, mely a műanyag gyorscsatlakozókat biztosította számomra. A CPC a műanyag csövek gyorscsatlakozóinak és szerelvényeinek vezető szállítója többek között a gyógyszeripar és az orvosi eszközök területén.

Összességében a kutatásom hozzájárul a gyógyszeriparban alkalmazott steril csatlakozási folyamatok automatizálásához, elősegítve a rugalmas és szabványosítható robotikai integrációt a LAPP keretrendszerrel. A megvalósított megoldás nemcsak technikai értelemben újszerű, hanem oktatási és ipari környezetben is demonstrálja a robotizáció lehetséges irányait olyan területeken, amelyek eddig nagyrészt manuális műveletekre épültek.

2. téziscsoport

A LAPP keretrendszerrel kompatibilis folyamatok kidolgozása.

2.1 altézis

A LAPP keretrendszerrel kompatibilis folyamatokat dolgoztam ki a gyógyszeriparban is használatos steril csőhegesztés terén. Igazoltam a LAPP keretrendszer gyakorlati alkalmazhatóságát.

[P6, P7, P8, P9, P10]

2.2 altézis

A LAPP keretrendszerrel kompatibilis folyamatokat dolgoztam ki a gyógyszeriparban is használatos steril műanyag gyorscsatlakozók terén. Igazoltam a LAPP keretrendszer gyakorlati alkalmazhatóságát.

[P6, P7, P8, P9, P10]

3 A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja

A kutatásaimat publikációkban, hazai és külföldi konferenciákon, valamint vendég előadásokon mutattam be. Jelenleg összesen 73 közlemény szerepel az mtmt szerzői listámon, melyekre összességében 217 független hivatkozást kaptam. Hirsch indexem 10.

Kutatásaim eredményeként az elmúlt 4 évben az általam oktatott csapatok képviselik Magyarországot a Worldskills és Euroskills nemzetközi szakmai versenyeken ipari robotikában 2023-ban második helyezést érve el. Munkám több nemzetközi alapítvány figyelmét felkelte, így a laborok kialakítását támogatja az Arconic Foundation és a Howmet Foundation is.

4 Irodalmi hivatkozások listája

- [1] B. Fregan, I. Kocsis, és Z. Rajnai, „Risks of Industry 4.0 and Digitization”, *Műszaki Tudományos Közlemények*, köt. 9, sz. 1, o. 87–90, 2018, doi: 10.33894/mtk-2018.09.17.
- [2] J. Módné Takács, „The importance and development of safety awareness with soft skills in industrial environment”, *Opus Educ.*, köt. 8, sz. 3, Art. sz. 3, szept. 2021, doi: 10.3311/ope.467.
- [3] M. Pogatsnik, „Measuring Problem Solving Skills of Informatics and Engineering Students”, in 2019 IEEE 19th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics and 7th IEEE International Conference on Recent Achievements in Mechatronics, Automation, Computer Sciences and Robotics (CINTI-MACRo), 2019, o. 000093–000098. doi: 10.1109/CINTI-MACRo49179.2019.9105277.
- [4] J. Grodotzki, T. R. Ortelt, és A. E. Tekkaya, „Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI project at the TU Dortmund University”, *Procedia Manuf.*, köt. 26, o. 1349–1360, jan. 2018, doi: 10.1016/j.promfg.2018.07.126.
- [5] J. Savery, „Overview of Problem-based Learning: Definitions and Distinctions”, *Interdiscip. J. Probl.-Based Learn.*, köt. 1, sz. 1, máj. 2006, doi: 10.7771/1541-5015.1002.
- [6] D. Kokotsaki, V. Menzies, és A. Wiggins, „Project-based learning: A review of the literature”, *Improv. Sch.*, köt. 19, sz. 3, o. 267–277, nov. 2016, doi: 10.1177/1365480216659733.

- [7] D. R. Garrison és H. Kanuka, „Blended learning: Uncovering its transformative potential in higher education”, *Internet High. Educ.*, köt. 7, sz. 2, o. 95–105, ápr. 2004, doi: 10.1016/j.iheduc.2004.02.001.
- [8] B. Kerr, „The flipped classroom in engineering education: A survey of the research”, in 2015 International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL), szept. 2015, o. 815–818. doi: 10.1109/ICL.2015.7318133.
- [9] P. Baligar, G. Joshi, A. Shettar, és R. Kandakatla, „Penetration for Cooperative Learning in Engineering Education: A Systematic Literature Review”, in 2022 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), márc. 2022, o. 610–619. doi: 10.1109/EDUCON52537.2022.9766551.
- [10] L. Facey-Shaw és P. Golding, „Effects of Peer Tutoring and Attitude on Academic Performance of First Year Introductory Programming Students”, in *Proceedings Frontiers in Education 35th Annual Conference*, 2005, o. S1E-S1E. doi: 10.1109/FIE.2005.1612175.
- [11] Á. Wolf és mtsai., „Towards robotic laboratory automation Plug & Play: The “LAPP” framework”, *SLAS Technol.*, köt. 27, sz. 1, o. 18–25, febr. 2022, doi: 10.1016/j.slast.2021.11.003.

5 Tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[P1]

Széll, Károly; Manhertz, Gábor

Development of a web-based training module in robotics

In: IEEE - IEEE (szerk.) 2016 International Symposium on Small-scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS) Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok: IEEE (2016) pp. 1-6., 6 p.

Nyilvános idéző összesen: 9 (független: 9)

[P2]

Károly, Széll

SLAM in Simulation and Test Environment

In: Orosz, Gábor Tamás (szerk.)

AIS 2019: 14th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas organized in the frame of Hungarian Science Festival 2019 by Óbuda University Székesfehérvár, Magyarország: Óbudai Egyetem (2019) pp. 5-8., 4 p.

[P3]

Péter Turcsányi, Máté; Vadász, Levente; Seebauer, Márta;

Széll, Károly

Automated Robotic Manufacturing Cell in Research and Education

In: Orosz, Gábor Tamás; Petőné Csuka, Ildikó (szerk.)

15th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas organized in the frame of Hungarian Science Festival 2020: AIS 2020

Székesfehérvár, Magyarország: Óbudai Egyetem (2020)
pp. 1-5., 5 p.

[P4]

Széll, Károly

Modeling manufacturing for collaborative and industrial robotics

In: Orosz, Gábor Tamás (szerk.)

AIS 2019: 14th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas organized in the frame of Hungarian Science Festival 2019 by Óbuda University

Székesfehérvár, Magyarország: Óbudai Egyetem (2019)
pp. 112-116., 5 p.

[P5]

Máté, Balázs; Valicsek, Dániel; Seebauer, Márta; **Széll, Károly**

Open-source Robot Arms in Research and Education

In: Orosz, Gábor Tamás; Petőné Csuka, Ildikó (szerk.)

15th International Symposium on Applied Informatics and Related Areas organized in the frame of Hungarian Science Festival 2020: AIS 2020

Székesfehérvár, Magyarország: Óbudai Egyetem (2020)
pp. 93-97., 5 p.

[P6]

Wolf, Ádám; Wolton, David; Trapl, Josef; Janda, Julien; Romeder-Finger, Stefan; Gatternig, Thomas; Jean-Baptiste, Farcet; Galambos, Péter; **Széll, Károly**

Towards Robotic Laboratory Automation Plug & Play:
The "LAPP" Framework

SLAS TECHNOLOGY 27: 1 pp. 18-25., 8 p. (2022)

WoS, Scopus

Nyilvános idéző összesen: 30 (független: 25)

[P7]

Wolf, Ádám; Romeder-Finger, Stefan; **Széll, Károly**; Galambos, Péter

Towards Robotic Laboratory Automation Plug & Play:
Survey and Concept Proposal on Teaching-free Robot Integration with the LAPP Digital Twin

SLAS TECHNOLOGY 28: 2 pp. 82-88., 7 p. (2023)

WoS, Scopus

Nyilvános idéző összesen: 5 (független: 2)

[P8]

Wolf, Ádám; Galambos, Péter; **Széll, Károly**

Device Integration Concepts in Laboratory Automation

In: IEEE, Publisher; Óbudai, Egyetem (szerk.)

2020 IEEE 24th International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES 2020)

Piscataway (NJ), Amerikai Egyesült Államok: IEEE (2020) 231 p. pp. 171-178., 8 p.

WoS, Scopus

Nyilvános idéző összesen: 8 (független: 5)

[P9]

Wolf, Ádám; Zsoldos, Panna; **Széll, Károly**; Galambos, Péter

Towards robotic laboratory automation plug & play: Reference architecture model for robot integration

SLAS TECHNOLOGY 29: 4 Paper: 100168, 13 p. (2024)

WoS, Scopus

Nyilvános idéző összesen: 3 (független: 1)

[P10]

Zsoldos, Panna; Wolf, Ádám; **Széll, Károly**; Galambos, Péter

Towards robotic Laboratory Automation Plug & Play: LAPP reference implementation with the TIAGo mobile manipulator

SLAS TECHNOLOGY 31 p. 100251 Paper: 100251, 13 p. (2025)

WoS