

Robot cellába illeszthető ATmega2560 mikrokontroller vezérelt tesztpanel tervezése & készítése oktatási céllal

Vinnai Bence

Mechatronikai Tanszék
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Debrecen, Magyarország
vinnai.bence@gmail.com

Erdei Timotei István

Mechatronikai Tanszék
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Debrecen, Magyarország
timoteierdei@eng.unideb.hu

Husi Géza

Mechatronikai Tanszék
Debreceni Egyetem, Műszaki Kar
Debrecen, Magyarország
husigeza@eng.unideb.hu

Absztrakt— Jelen írás témája egy oktatási célra tervezett és készített tesztpanel, amely KUKA KR5 robot köré épült robot cella vázra illeszthető, és Atmel mikrokontroller vezérléssel működik. Bemutásra kerül a panel felépítése, működése, a tervezés és az elkészítés folyamata. A panel a Debreceni Egyetem, Mechatronikai Tanszék, robot laborjában került tesztelésre.

Kulcsszavak— *Arduino; KUKA; tesztpanel; nyomtatott áramkör;*

I. BEVEZETŐ

A Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Mechatronikai Tanszékének Robot laboratóriumában zajlik a mechatronikai mérnök szakos hallgatók gyakorlati oktatása a Robottechnika témakörében [16]. A laboratóriumban többek között található egy KUKA KR5 [5] típusú ipari robot, amely segítségével a hallgatók a robotikáról tanult elméleti tudásukat átültethetik a gyakorlatba. A robot labor folyamatos fejlesztésen megy keresztül. A KUKA KR5 robot is részt vesz ezekben a fejlesztésekben, például új szerszám egységet kapott, és a közelmúltban egy robot cella vázzal egészült ki. Ezeknek a fejlesztéseknek a célja az oktatás minőségének folyamatos javítása. A tervezett és elkészített tesztpanel is ennek okán, jött létre. Segítségével újfajta feladatok végezhetőek el, segítve ezzel a tapasztalatszerzést. Célja, hogy felhasználva az oktatás során, a hallgatók önálló munkavégzését, és ismereteik elmélyítését segítse, tegye lehetővé az autodidakta tanulást.

A tesztpanelt Arduino ATmell [1] mikrokontroller vezérléssel lett ellátva el. Mivel az Arduino, felépítéséből adódóan, könnyen és viszonylag olcsón beszerezhető, és használata is könnyedén tanulható, flexibilis eszközként van jelen.

A feladat gyakorlati kivitelezése előtt irodalomkutatást került elvégzésre, a KUKA KR5 ipari hegesztő robotot kapsán. Tanulmányozásra került a robot cella váza, majd megtervezésre a tesztpanel szerkezeti kialakítását, és annak működése. Ezután megtervezésre került az áramköri kapcsolás, készítve lett egy háromdimenziós terv a panelról, amihez PCB is legyártásra került.

Illetve szimulálásra került az ATmega mikrokontroller-re írt program.

Végül fel lettek szerelve a panelokat a robot cella vázra, és a robottal együtt tesztelésre került. A kutatás/fejlesztésnek a Debreceni Egyetem adott otthont [14][15].

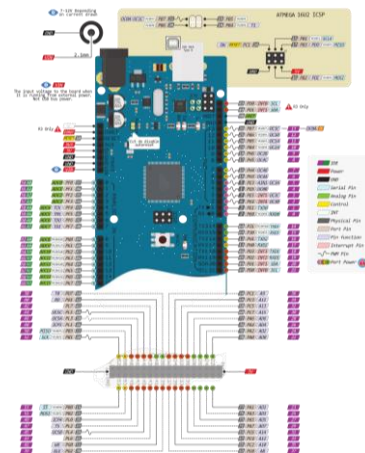
II. ATMEGA2560 MIKROKONTROLLER

Az Arduino platform története 2003-ig nyúlik vissza. Kolumbiában Hernando Barragán létrehozta a Wiring platformot diplomamunkájaként, majd ezt nyílt forráskód alatt közzé tette. A platform azóta is aktív, bár nem örvend akkora sikernek, mint az Arduino, ami a Wiring alapján készült. Maga az Arduino platform 2005-ben született meg Massimo Banzi és Casey Reas munkájának gyümölcseként. A platform a nevét az Olaszországi Ivrea városának történelmi alakjáról, Arduin of Ivrea-ról kapta. Az Arduino szó magyarul "bátor barát"-ot jelent [1].

Az első board megjelenésétől kezdve az Arduino platform egyre nagyobb és népszerűbb lett, köszönhetően az „Open - Source” filozófiának.

Az Arduino IDE fejlesztőkörnyezet ingyenesen hozzáférhető.

Napjainkban sokféle Arduino board közül választhatunk attól függően, hogy mennyire komplex és kiterjedt a feladat, amit el akarunk végezni, (pl. Linux disztribúció futtatása, wifi kapcsolat, stb.). A feladat szempontjából Arduino Mega 2560 Rev3 panel lett kiválasztva [8].



1. ábra: Arduino MEGA 2560 Rev 3. [8]

Az Arduino Mega 2560 az eredeti Arduino Mega továbbfejlesztett változata. Az eredeti Mega board az ATmega1280 mikrovezérlő köré épült, míg az új változat az ATmega 2560 vezérlőt használja. Összesen 54 digitális I/O pin található rajta, melyekből 15 használható PWM kimenetként, ezen felül 16 analóg bemenettel is rendelkezik. A 16 MHz-es oszcillátor és a 256 KB Flash memória alkalmassá teszi nagyobb projektekhez való felhasználását. [2] Az Arduino Mega panelt kialakításából adódóan az összetettebb, több ki-, és bemenetet használó projektek esetén használják. Ilyenek például a házilag készült robotok, drónok, vagy 3D nyomtatók.

Az Arduino programozására keresztplatformos Java, C/C++ nyelven történik, amit gépi kódra fordítunk, amit a mikrovezérlő kezelni tud. A mikrovezérlők (néhány kivétellel) mind az Atmel által gyártott AVR család tagjai [3].

Az Arduino program két fő részből áll egy Arduino program:

- setup(): A program futtatása során ez fut le először. A kódban leelőször a változókat deklaráljuk, a setup() funkciót ez után szokás elhelyezni. Ez az első függvény, ami lefut a programban, csak egyszer fut le és az I/O csatlakozókat, vagy a soros kommunikációt állítjuk be vele.
- loop(): Ez a rész (ahogy a neve is mutatja) folyamatosan ismétlődik - a bemenetek olvasása, kimenetek vezérlése, számítások, stb. Itt történik (majdnem) minden, a munka nagy része [4].

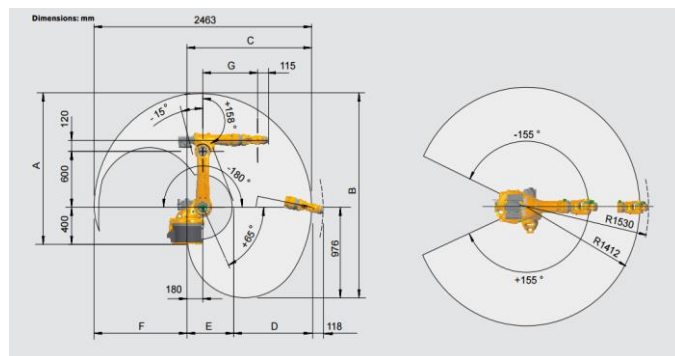
III. KUKA KR5 ARC

A KUKA 1898-as indulása óta napjainkra a világ egyik vezető ipari robot gyártó és fejlesztő vállalata lett [5]. Bár a kezdetekkor még többféle dologgal foglalkoztak (az írógépektől a szemétszállító járművekig), fő találmányaik az automatikus hegesztéshez kapcsolódtak. 1973-ban mutatták be a történelmi jelentőségű FAMULUS robotot, amely az első, hat elektromechanikailag meghajtott tengellyel rendelkező ipari robot. Legújabb fejlesztéseik közé tartozik az LBR iiwa robotcsalád. Ez a világon az első olyan könnyűépítésű robot, ami ipari felhasználásra alkalmas. A robot különlegessége hogy minden tengelyében érzékelők vannak [6].

A KUKA KR5 egy korábbi robotcsaládból származik, alapvetően hegesztési munkákra fejlesztették ki, de más feladatokat is el tud végezni.

TÁBLÁZAT I. KUKA KR5 SPECIFIKÁCIÓK

Terhelhetőség	5kg
Maximum terhelés	37kg
Axisok száma	6
Rögzítési pontok	Talaj, Cella
Vezérlő típus	KR C2
Súly	127kg
Üzemi hőmérséklet	+10C – +55C



2. ábra: KUKA KR5 Arc munkatere [7]

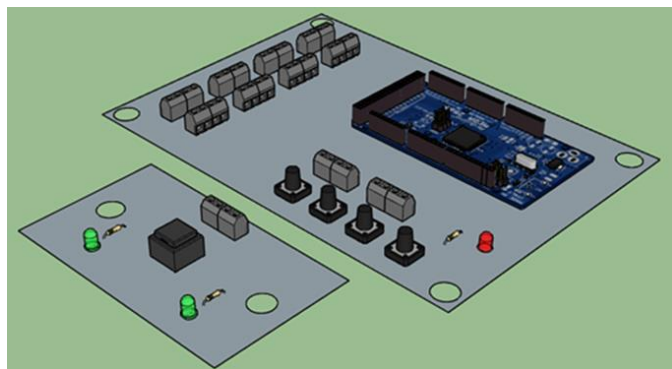
A KUKA KR5 hat tengellyel rendelkezik. Maximális sebessége 2m/s. Az ipari hegesztő robotkar munkaterét elsődlegesen az axisok határozzák. A robot sebessége tengelyekre lebontva.

- Axis 1 (A1) 154°/s
- Axis 2 (A2) 154°/s
- Axis 3 (A3) 228°/s
- Axis 4 (A4) 343°/s
- Axis 5 (A5) 384°/s
- Axis 6 (A6) 721°/s [10].

IV. ATMEGA2560 MIKROKONTROLLER TESZTPANEL SZIMULÁCIÓJA & 3D TERVE

Az oktatási panel két fő részből áll, az egyik a fő panel, ami a vezérlés feladatát látja el. Ezen található az ATmega2560 mikrokontroller, továbbá a 4 darab vezérlő nyomógomb, egy hibajelző LED, és a csatlakozók, amiken keresztül a többi panelhez tud csatlakozni [9].

A másik részét a munkapanelek alkotják. Ezekből négy darab van, mindegyikükön csatlakozók, két darab LED és egy nyomógomb található.

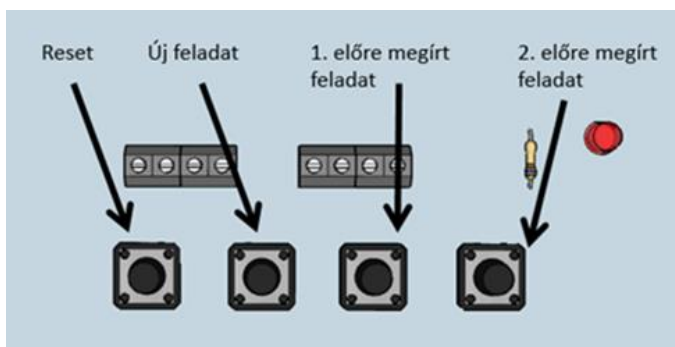


3. ábra: Oktatási modul 3D terve

A 3D modell elkészítésének, egyik fő oka az volt, hogy végleges összeszerelt egységeket láthassuk. Illetve, egy esetleges doboz terv készítésekor alkalmazni tudunk 3D nyomtatási technológiát.

A megírt program működését tekintve, indításkor generál egy feladatot, ami a következőképpen épül fel: a négy munkapanel között felállít egy véletlenszerű sorrendet. Egy munkapanel többször is következhet, akár egymás után is. Az első munkapanel egyik LED-je világít, ez jelzi, hogy az ezen a panelen lévő gombot kell megnyomnia a robotnak. Amikor a gomb lenyomva van, a másik LED jelzi, hogy a program észlelte a gomb lenyomását, és jó gomb van lenyomva. Ha a helyes gombot nyomja meg a robot, azután a sorrendben következő panel LED-je világít, és így tovább. Ha rossz gombot nyom meg a robot, akkor a fő panelen lévő piros hibajelző LED világít, majd a program újraindul. Összesen 8 lépés van, ha mindet helyesen teljesítjük, akkor minden panelen kigyullad egy-egy LED, ezzel jelezve, hogy a feladat véget ért. Ekkor, mint a program futása közben bármikor a fő panelen lévő vezérlő gombokkal adhatunk utasítást az Arduino-nak. A gombok funkciója a következőképpen alakul:

- Reset: újraindítja az aktuális feladatot
- Új feladat: új véletlenszerűen generált feladatot készít, és aktiválja
- 1. előre megírt feladat
- 2. előre megírt feladat



4. ábra: A vezérlő nyomógombok

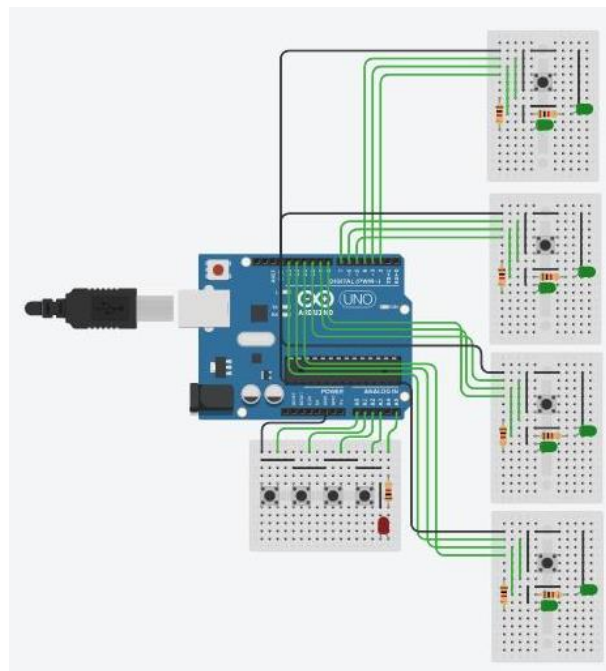
Az előre megírt feladatokat az adott nyomógombbal tölthetjük be. Ez azért fontos, mert ezeket a feladatokat bármikor megismételhetjük, míg a véletlenszerűen generált feladatokat nem tudjuk biztosan megismételni, ha már másik feladat lett betöltve.

Az előre programozott feladatok ugyanúgy futnak le, mint a véletlenszerűen generáltak. A program futásának folyamatábráját a 3. ábra mutatja be.

A tesztpanelek áramkörének fejlesztésénél a Tinkercad online tervező felülete biztosított lehetőséget. A Tinkercad az Autodesk tulajdona, így Autodesk profillal belépve rögtön elérhetjük a már korábban készített kapcsolásainkat. A Circuits oldalt használhatjuk áramkor tervezésére. Itt grafikus felületen helyezhetjük el az alkatrészeket, és köthetjük össze őket. Egy forrasztásmentes próbapanel szimulációja történik. Az áramkörhöz az egyszerű ellenállástól az integrált áramkörökön át az Arduino UNO-ig sokféle alkatrészt hozzáadhatunk. Ezen felül előre összeállított egyszerűbb áramköröket is beilleszthetünk/szimulálhatunk [11].

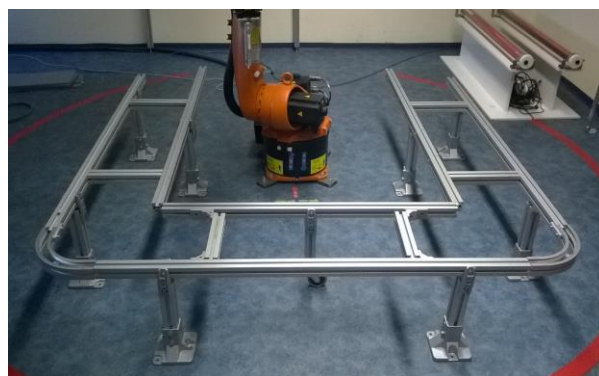
A Code Editor gombra kattintva megjelenik egy Arduino fejlesztői környezet, amivel az áramkörben lévő Arduino

panel programját írhatjuk meg. Ebben a fejlesztői környezetben szinte minden megvan ami a hivatalos Arduino IDE-ben megtalálható. A kódot lefordíthatjuk, ekkor a weboldal jelez, ha valamilyen hibát vétettünk. Rátölthetjük a programot a szimulált Arduino-ra, vagy ki is exportálhatjuk az Arduino panelek által használt .ino kiterjesztésű fájlba, amit a valódi panelra tölthetünk fel. A szimuláció egy kiemelt funkció, mivel egy esetleges hiba esetén nem teszünk kárt a tényleges eszközökben, a hiba gyorsabban kereshető és kijavítható.



5. ábra: Az összeállított rendszer Tinkercad-ben

A panelek úgy lettek kialakítva, hogy az alumínium profilhoz könnyedén csatlakoztatható legyen. Ezzel a konstrukcióval nagyobb mértékben kihasználhatjuk a KUKA KR5 robot mozgásterét és képességeit.



6. ábra: KUKAK R5 V0.1 robot cella

A tesztelésekhez szükség volt előre meghatározott feladatok felprogramozására is, ezért került a programba kettő előre megírt feladat. A kész panel-rendszer a robottal való tesztelésekor ezek a feladatok nagyon hasznosnak bizonyultak.

Az áramkör kialakítása során a nyomógombok elé nem került felhúzó ellenállást, helyette az Arduino beépített felhúzó ellenállása lett használva. Ennek aktiválása úgy történt, hogy a programban a nyomógombok állapotát figyelő bemenetet „input” típus helyett „input_pullup” típusként lett deklarálva,

A végleges kialakítás szerint minden munkapanel 4 vezetékkel csatlakozik a fő panelhoz. Ezek a két LEDet vezérlő kimenet, a nyomógomb állapotát figyelő bemenet, és a GND.

Az Arduino Mega 2560 panelen használt a kiosztás II. táblázatban kerül összefoglalásra.

V. VEZÉRLŐ PROGRAM BEMUTATÁSA

Ebben a részben a tesztpanel vezérlő program struktúráját kerül bemutatásra.

A program elején a „setup()” függvény előtt konstansként lett deklarálva a változókat, értékül a hozzájuk tartozó ki-, bemeneti lábat lett megadva. Később ezekkel a nevekkkel

TÁBLÁZAT II. ARDUINO MEGA 2560 REV3 KIOSZTÁS

Arduino kimenetek és bemenetek kiosztása	Funkció	MEGA pin
btn1	1-es panel nyomógomb	23
btn2	2-es panel nyomógomb	22
btn3	3-as panel nyomógomb	29
btn4	4-es panel nyomógomb	28
LED1	1-es panel LED	25
LED2	2-es panel LED	24
LED3	3-as panel LED	31
LED4	4-es panel LED	30
aLED1	1-es panel visszajelzés	27
aLED2	2-es panel visszajelzés	26
aLED3	3-as panel visszajelzés	33
aLED4	4-es panel visszajelzés	32
errorLED	hibajelzés	6
resetbtn	reset	2
newtskbtn	új feladat generálás	3
task1btn	1-es előre programozott feladat	4
task2btn	2-es előre programozott feladat	5
--	GND	GND

Következő lépésként definiálva lett a nyomógombok állapotát tároló változók; a „state”, ami az éppen aktív panel sorszámát veszi fel értéként, és a feladat tárolására

alkalmazott „task” vektort. A vektor 8 elemet tartalmaz, ezek az elemek tárolják el az éppen aktuális feladat sorrendjét: az első elem mutatja melyik panel az első, a második elem mutatja melyik panel a második, és így tovább.

A „setup()” függvényben csupán a csatlakozók kommunikációs irány szerinti beállítása történik a „pinMode” parancs alkalmazásával. A kimeneti csatlakozókat (LED vezérlés) „output”-ra, a bemeneti csatlakozókat (nyomógombok) a már korábban említett okokból „input_pullup” módra állítottam. Már ebben a részben is az előzőekben megadott névvel hivatkozok az adott csatlakozóra.

A „loop()” funkció egy új feladat generálásával indul. Ezáltal a „task[i]” vektor feltöltődik a feladat lépéseivel. Kezdetkor $i=0$, majd minden sikeres lépés után eggyel nő, amíg eléri a 7-et, akkor a feladat véget ér. A state változó mindig az aktuális feladat aktuális lépésének megfelelő értéket vesz fel. Ehhez képest vizsgálva a nyomógombokat, a program eldönti, hogy jó, vagy rossz nyomógombot nyomtak meg, esetleg vezérlő gomb nyomása történt. A program bármelyik szakaszában működtethetjük a vezérlő gombokat, tehát újraindíthatjuk a feladatot, új feladatot generálhatunk, vagy betölthetjük a két előre programozott feladat egyikét.

A „loop()” függvényen kívül találhatóak azok a függvények, amelyeket a „loop()” meghív bizonyos esetekben. Ilyenek a vezérlőgombok funkciói, és a hibajelzés.

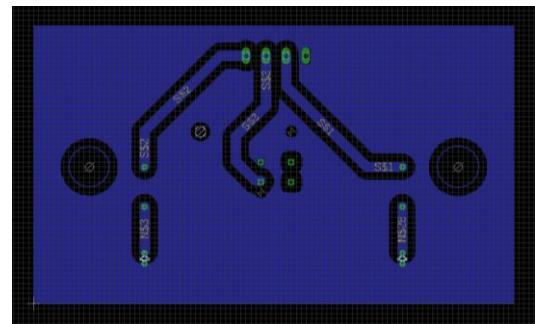
VI. EAGLE PCB TERV TERVEZÉSE

A nyomtatott áramkör megtervezésére az EAGLE program lett választva, annak az oktatási verziója. Az EAGLE az Autodesk Inc. kapcsolási rajz-, és nyomtatott áramkör tervező programja [12]

A kapcsolási rajz készítő felületen egyszerűen tervezhetjük meg az áramköröket. Az EAGLE könyvtáraiból rengeteg alkatrészt illeszthetünk be, ha mégsem találnánk számunkra megfelelőt, „lbr” állományként újabb könyvtárakat adhatunk hozzá a programhoz. Az alkatrészeket elnevezhetjük, értéket adhatunk nekik, és összekötve őket kialakíthatjuk az áramkörünket.

Az alkatrészek elrendezése után a vezetősávokat kialakíthatjuk kézzel, vagy az „autorouter” segítségével, ami több lehetséges vezetősáv-elrendezést mutat be, amikből választhatunk és módosíthatjuk is azokat.

A „Szerkesztés – Vezeték osztályok” menüpontban beállíthatjuk a vezetősávok vastagságát, a köztük lévő minimális távolságot és a furatok átmérőjét. Ezek a paraméterek a későbbi PCB gyártás során lesznek fontosak.



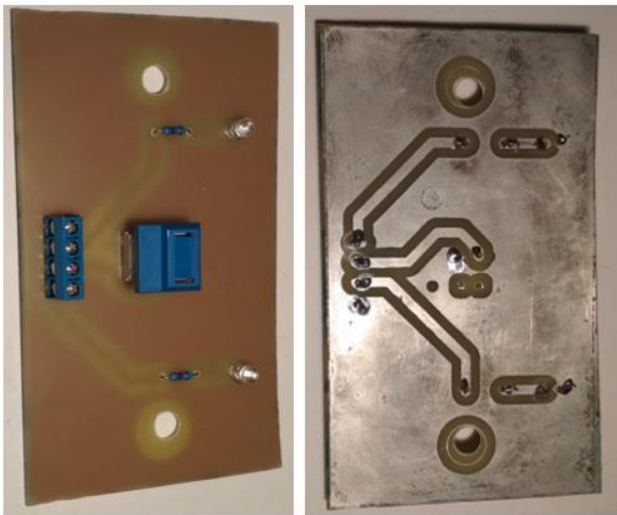
7. ábra: Oktatási tesztpanel „al modul”

Az áramkörtér tervezése után vasalós módszerrel került legyártásra.

Első lépésként méretre kell vágnunk a PCB lapot. Ezután a lap tisztítása következik, finomszemcsés csiszolópapírral és egy kis folyékony szappannal.

A tisztítás után következik az előre kinyomtatott nyomtatott áramkörtér rajz „felvasalása” a réz felületre. Nagyon fontos hogy a rajzot lézernyomtatóval, fényes műnyomó papírra nyomtassuk, mert így marad a papír felületén a legtöbb festék, ami majd a vasalás során a rézfelületre fog tapadni.

A vasalót 200-230 °C-ra melegítjük, majd a kinyomtatott PCB tervet a PCB lap réz felületére helyezzük a nyomtatási oldallal lefelé. Először csak melegítve a papíron keresztül a panelt, majd lassú mozdulatokkal „felvasaljuk” a rajzolatot a rézrétegre. A vasalás után a felesleges papírréteget eltávolítjuk, a festék rajta marad a rézrétegen, és a következő lépés a maratás.



8. ábra: Elkészített oktatási tesztpanel „al modul”

A maratás után a tintát hígítóval eltávolítjuk a PCB lapról, felfedve ezzel a kialakult vezetősávokat. Egy alapos tisztítás után érdemes a panelt ónozó folyadékkal kezelni. Az ónozás a maratáshoz hasonlóan történik annyi különbséggel, hogy más folyadékot használunk. Az ónozás védi a panelt, és könnyebbé teszi a későbbi forrasztást.

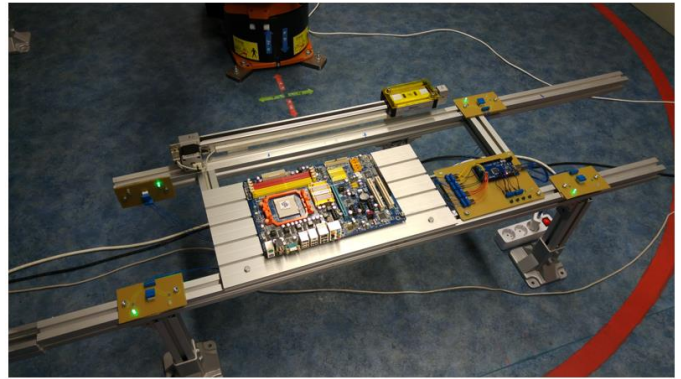
Végül be kell szerelnünk az alkatrészeket a panelba. Ehhez furatszerelt alkatrészek esetén először ki kell alakítanunk a furatokat. Felületszerelt alkatrészek esetén rögtön forraszthatunk.

VII. OKTATÁSI TESZTPANEL ÖSSZESZERELÉSE ÉS TESZTELÉSE

A PCB lapok elkészítését követően a Debreceni Egyetem, Mechatronikai Tanszék Robot laboratóriumában került sor a tesztelesekre.

A teszteléshez a KUKA KR5 ipari hegesztő robottal került tesztelve. Első lépésként fel lettek szerelve panelek a robot cella vázra. A robot cella szabványos 40x40 mm-es alumínium profilokból áll [13]. A panelek rögzítésére 6 mm átmérőjű, belső kulcsnyílású csavarokat és T-nútos a PCB-t használtam. Ehhez előtte ki kellett alakítani a furatokat, a tervezés során

megjelölt helyeken. A panel és az alumínium profil közé szigetelést lett téve, a tesztelési időszak alatt.



9. ábra: Elkészített oktatási tesztpanel „al modul”

A tesztpanel rendszer moduláris kialakításából adódóan egymástól bármilyen távolságra, és bármilyen helyzetben felszerelhetők a munkapanelek a robot cella vázra. A teszteléshez az egyik panelt az alumínium profil belső felületére lett szerelve, így a robotnak egy másik irányból, vízszintes mozgással kellett megközelítenie.

A tesztelés során a funkciók gyors ellenőrzése után az előre megírt programok kerültek használatra, amelyek bármikor újra betölthetők. A KUKA KR5 robot pozícióinak felvétele és a mozgások programozása után a robot végigment a feladaton hiba nélkül. A függőlegesen felszerelt panel gombját is meg tudta nyomni, bizonyítva ezzel hogy a mozgásteréből adódóan többféle pozícióban lévő panelt elér. Később teszt képen elő lett idézve egy olyan eset, amikor a robot hibázik, rossz gombot nyom meg. Ekkor a fő panelen lévő hibajelző LED kigyulladt, majd 2 másodperc múlva a feladat újrakezdődött.

VIII. ÖSSZEFOGLALÁS

A robot cellába illeszthető ATmega2560 mikrokontroller vezérelt tesztpanel elkészítésre került oktatási célra. A Debreceni Egyetem, Mechatronika Tanszék, Robot Laborjában elvégzésre kerültek a tesztek.

A panel lehetőséget biztosít arra, hogy pályabéjárás gyakorlatokkal lehessen oktatni a KUKA KR5 robottal, vagy más robot egységgel. Mivel Atmel mikrokontrollerre épít, így flexibilis és más vezérlések is tesztelhetőek rajta.

A hallgatók számára az előre megírt feladatokkal az alapvető mozgások és pozicionálások begyakorolhatók, a véletlenszerűen generált feladatok pedig az egyéb pályabéjárás folyamatokat, programozási módszereket és a koordináta-rendszerek gördülékenyebb használatát sajátíthatják el. Mivel a munkapanelek a cellán belül bárhol és bárhogy elhelyezhetők, újabb és újabb feladatokat oldhatnak meg a hallgatók.

IX. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.1-16-2016-00022 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Erdei Timotei István témavezetőmnek, hogy elvállalta, hogy konzulensem lesz, hogy a rendelkezésemre bocsátott minden szükséges eszközt és információt a szakdolgozat elkészítéséhez, és a folyamatos segítségért és támogatásért.

X. HIVATKOZÁSOK

- [1] „Az Arduino platform”, <https://malnapc.hu/arduino/az-arduino-platform/> [Hozzáférés dátuma: 2018.04.30]
- [2] „Arduino Mega 2560 rev 3”, <https://store.arduino.cc/arduino-mega-2560-rev3> [Hozzáférés dátuma: 2018.04.30]
- [3] Maik Schmidt: Arduino. Pragmatic Programmers LLC., USA, 2011
- [4] Tianhong Pan, Yi Zhu: Designing Embedded Systems with Arduino. Springer Nature Singapore Ltd., Singapore, 2017
- [5] „A KUKA története”, <https://www.kuka.com/hu-hu/a-kuka-r%C3%B3l/t%C3%B6rt%C3%A9net> [Hozzáférés dátuma: 2018.05.03] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” IEEE Transl. J. Magn. Japan, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetism Japan, p. 301, 1982].
- [6] KUKA Roboter GmbH: KUKA KR5 arc Specification. Zugspitzstrasse 140 D-86165 Augsburg Germany, 2016. KUKA Roboter GmbH: KUKA KR5 arc Specification. Zugspitzstrasse 140 D-86165 Augsburg Germany, 2016.
- [7] Pub Spez KR5 arc en, KUKA Roboter GmbH Zugspitzstrasse 140 D-86165 Augsburg Germany 2016.
- [8] „Arduino Mega 2560” [Online]. (2016, Június 5). Available: https://store-cdn.arduino.cc/usa/catalog/product/cache/1/image/500x375/f8876a31b63532bbba4e781c30024a0a/a/a000067_iso_1.jpg
- [9] „Arduino Mega 2560” [Online]. (2016, Június 5). Available: file:///C:/Users/prince/Downloads/Specz_KR_5_arc_en.pdf
- [10] KUKA KR5 Arc [Online]. (2016, Június 5). Available: https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_kr_5_arc_en.pdf
- [11] KUKA KR5 Arc [Online]. (2016, Június 5). Available: <https://www.tinkercad.com/>
- [12] EAGEL [Online]. (2016, Június 5). Available: <https://www.autodesk.com/products/eagle/overview>
- [13] Aluminium Profil [Online]. (2016, Június 5). Available: <https://alucentrum.hu/>
- [14] T. I. Erdei, Zs. Molnár, N. C. Obinna, G. Husi, „Cyber physical systems in mechatronic research centre,” MATEC Web Conf. Volume 126, 2017.
- [15] Zs. Molnár, T. I. Erdei, N. C. Obinna, G. Husi, „A novel design of an air-cushion vehicle and its implementation,” MATEC Web Conf. Volume 126,
- [16] T. I. Erdei, Zs. Molnár, G. Husi, „Robot visual and virtual control technology In industrial environment,” WoS (Web of Science) publication, International Symposium on Small-Scale Intelligent Manufacturing Systems (SIMS), Narvik, NORWAY- IEEE, Jun 21-24, 2016.