



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar

Mérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT

Niryo One 3D-nyomtatott robotkar kinyomtatása, összeépítése és programozása különböző feladatok szimulálására

OE-AMK

2024

Hallgató neve: Keresztes Róbert

Hallgató törzskönyvi száma: T000792/FI12904/A-M



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Alba Regia Műszaki Kar
Mérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Keresztes Róbert

Szakedolgozat száma: SZD2209160941021628

Törzskönyvi száma: T000792/F112904/A-M

Neptun kódja:

Szak: gépészmérnöki

Specializáció: Folyamattechnika

A dolgozat címe: Niryo One 3D-nyomtatott robotkar kinyomtatása, összeépítése és programozása különböző feladatok szimulálására

A dolgozat címe angolul: Print, Assemble and Program a Niryo One 3D-Printed Robotic Arm to Simulate Various Tasks

A feladat részletezése: A hallgató feladata a Niryo One robotkar összes alkatrészének kinyomtatása, meglévő STL file-k felhasználásával, csavarok, motorok és egyéb alkatrészek beszerzése, majd összeszerelése. A feladat fő része a robotkar megfogóinak egyedi igényeknek történő megfeleltetése, alap mozdulatokra történő programozása. Az alapmozdulatok programozását követően összetettebb mozgások elvégzésére történő alkalmazhatóság kiépítése. A hallgató valósítsa meg pár konkrét szituáció szimulálását.

Intézményi konzulens neve: Bráda Csaba Attila

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. 02. 10.

Beadási határidő: 2023. 12. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Székesfehérvár, 2023. 12. 14.



P. Kuc

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2023. 12. 15.

[Signature]

belső konzulens

2024.05.12

külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Alba Regia Műszaki Kar
Geoinformatikai/Mérnöki/
Természettudományi és Szoftvertchnológiai Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Keresztes Róbert [REDACTED] hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Velence, 2024.05.14.


.....
hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	1
1.1	Célkitűzések	2
2.	Szakirodalmi áttekintés	4
2.1	Polimerek	4
2.2	3D nyomtatás	6
2.3	Gyorsprototípus gyártás	12
2.4	Ipari robotok.....	13
2.5	ROS ökoszisztéma	18
2.6	Arduino platform.....	18
2.7	Niryo One.....	20
2.8	Saját robotom irányítása.....	24
3.	A robot megépítése	25
3.1	Nyomtatási beállítások	25
3.2	A robot főbb részeinek nyomtatása.....	29
3.3	Kiegészítő elemek nyomtatása	31
3.4	Nem nyomtatott alkatrészek.....	33
3.5	A robot összeszerelése	35
4.	A robotkar mozgatása	36
4.1	Hardverek felépítése.....	36
4.2	Programozás.....	40
5.	Összefoglaló.....	41
6.	SUMMARY	42
7.	Irodalomjegyzék	43

8. Ábrajegyzék	47
----------------------	----

1. BEVEZETÉS

Az ipari automatizálás a XXI. század egyik legmeghatározóbb technológiai és gazdasági trendje, amely forradalmi változásokat hozott és még fog is a modern gyártási folyamatokban. Az automatizált rendszerek és gépek előnyei széles skálán terjednek, a termelékenység növelésétől és a költségek csökkentésétől kezdve egészen a termékminőség és a munkavállalók biztonságának javításáig.

Az automatizáció már régóta az ipari termelés motorja és a technológiai fejlődéssel párhuzamosan folyamatosan nő a hatékonysága és az alkalmazási területe. A gépek egyre pontosabbak, stabilabbak, megbízhatóbbak és folyamatosan működnek anélkül, hogy emberi beavatkozásra lenne szükség. Képesek egymással szinkronizáltak, egységben együtt dolgozni. Ezáltal nemcsak a termelés sebessége növekszik, hanem csökken a hibalehetőség, ami további költségcsökkentést tesz lehetővé (selejtelek csökkentésével, vagy akár alkatrészek meghibásodása nélkül, kevesebb munkaerő alkalmazásával) , továbbá kiküszöböli az emberi tényezőket, kockázatokat. Ezenkívül a munkavállalók számára kisebb a kockázati tényező, mivel a veszélyes és monoton feladatokat átveszik a gépek.

Ezen folyamatok, rendszerek egyik legfontosabb eleme az ipari robotok megjelenése és fejlődése. Egy modern gyár manapság már szinte elképzelhetetlen robotok alkalmazása nélkül, míg nagyon sok gyárban gyakorlatilag már a teljes gyártást is robotok végezhetik [1]. A robotok telepítése, az automatizálás és maga a robotika egy nehéz szakma, amelynek végzéséhez komoly feltételek és szakmai tudás szükséges. Ennek kiküszöbölésére az oktatás fejlesztése lehet a legalkalmasabb kezdő lépés.

Egyszerűbb, kézenfekvő megoldást nyújt az ipari alkalmazások, technológiák megismerése, és a velük való tanulásra az iparban már nem használt, lecserélt, de még működőképes és korszerű technológiák, berendezések oktatási intézményeknek történő átadása, amelyeken ezután a tanulók, hallgatók gyakorolhatnak és elmélyíthetik az oktatásban megszerzett tudásukat a technológiával kapcsolatban. Több szituációban, így az ipari robotok esetében is előfordul, hogy a gyártásból kiemelt eszközökön kívül

léteznek olyan oktatói csomagok, amelyek kisebb teljesítményű, komplett egységként beszerezhető formában megtalálhatók több oktatási intézményben is [2]. Több gyártó is előszeretettel forgalmaz ilyen oktatócsomagokat, teljes biztonsági körrel ellátva.

1.1 Célkitűzések

Megfigyelhető, hogy a költségekre érzékenyebb területeken a kész megoldások megvásárlása helyett, vagy akár emellett, gyakran egyedi, sajátos megoldást hoznak létre egyének vagy csoportok az adott szerkezet, berendezés vagy alkatrész megteremtése érdekében. Ez nincs másként a gépiparban sem. Az interneten számos különböző forrás fedezhető fel, ahol például forgácsoló berendezéseket, akár CNC vezérléssel együtt is létrehoznak, majd ezt a folyamatot dokumentálva be is mutatják a nézők, olvasók számára. Talán a 3D nyomtatók esetében lendült fel igazán ez az ágazat, amíg a kifejezetten alacsony árú, megbízható gépek is megjelentek, amelyeket akár már 100 euró áron meg lehet vásárolni.

Gyakran előfordul, hogy egy-egy ilyen „csináld magad” (do it yourself, DIY) projekt annyira jól sikerül és olyan népszerűsége tesz szert, hogy a forrás fájlokat és a továbbfejlesztési lehetőségeket is publikálják a szerzők. Ezek akár komplett 3D nyomtatók is lehetnek, mint például a Voron Design kiemelkedő képességű keretrendszere [3], vagy, ami a dolgozat témájához is közelebb áll, oktatási célokra alkalmazható „ipari” robotkarok [4].

A szakdolgozatom készítése során bemutatom a Niryo első robotkarának, a Niryo One karnak a barkács jellegű körülmények közötti elkészítését és programozását, amelyet a későbbiekben az egyetemem oktatási célokra tud felhasználni, a hallgatók fejlődése érdekében. A robotkar főbb alkatrészeit (karokat, összekötő elemeket) a mai korszerű technológia segítségével, a 3D nyomtatással állítottam elő, meglévő modellek alapján. A robot hajtásához több, különböző motort felhasználva (szervomotor, léptetőmotor) két Arduino összehangolásával terveztem meg az elkészült robot irányítását. A tervezésnél figyelembe kellett vennem továbbá azt is, hogy a kész robotom alapanyagköltségeit minél jobban le tudjam redukálni.

A projektemmel szeretném azt is hangsúlyozni, hogy nem mindig a legdrágább a legjobb, lehet kis költségvetésből is egy stabilan működő, oktatási célra tökéletesen megfelelő robotot előállítani.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

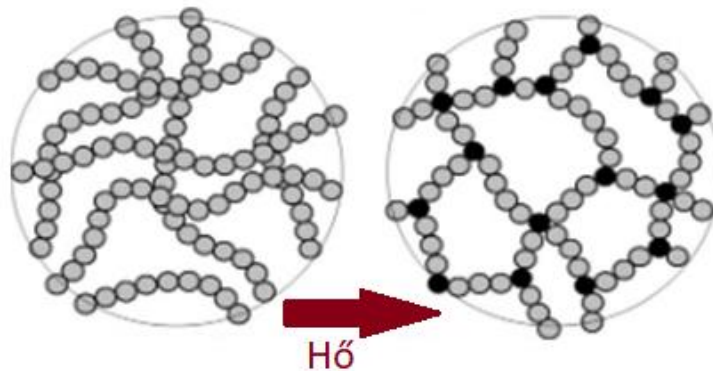
2.1 Polimerek

A polimerek nevében a „poli” az „sokaság” -ot jelent, mivel a polimerek ismétlődő kapcsolatokból és molekuladarabokból, azaz monomerekből állnak össze. A sok monomer által alkotott nagy láncok miatt hatalmas méretű molekulák épülnek fel, amely molekulák kapcsolata egymás között felettébb változatos formákat ölthet, amely magában foglalja, hogy a mechanikai tulajdonságaik is hasonlóképpen sokszínűek. Egyes típusok maradó alakváltozás nélkül képesek egy adott méretük többszörösére nyúlni, míg mások akár szemmel alig látható deformáció hatására is képesek tönkremenni.

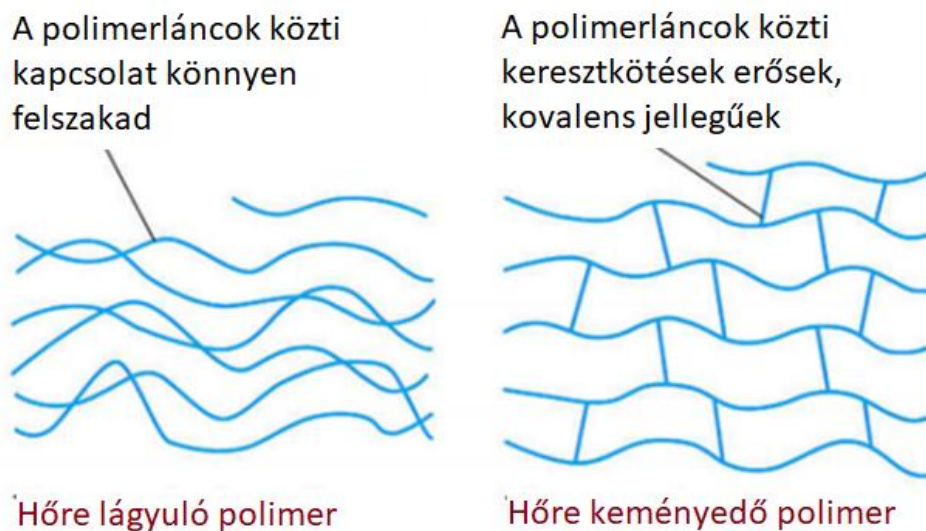
Egyes polimerek hő hatására kilágyulnak, míg mások nem. Ezen két típus a hőre lágyuló és hőre keményedő polimerek csoportja.

Hőre keményedő polimerek gyártásukkor hőre keményednek ki (1. ábra), majd későbbi melegítés hatására nem változtatják jelentős mértékben tulajdonságaikat, azonban egy kritikus ponttól kezdve bomlásnak indulnak a polimerláncok, megindul a kokszosodás. Másrészt ezek az anyagok olyan szerkezettel rendelkeznek, mely az anyag elolvadását nem teszi lehetővé, nem lehet újra formázni. Tehát, ha az egyszer megkötött, az úgy is marad, mint a beton. Ilyenek például a poliuretánok, a műgyanták vagy akár a bakelit is. Ezek általános körülmények között (szoba hőmérséklet) többségében folyékony halmazállapotúak, majd a hő hatására válnak szilárd/szilárdabb állapotúvá. Tulajdonságait tekintve a kémiai szereknek és a magasabb hőmérsékletnek nagyobb mértékben ellenállnak, olyan erős felépítéssel rendelkeznek, mely nehezen formázható.

A hőre nem lágyuló polimerek láncai között erősebb a kapcsolat, mint a lágyuló típusok között (2. ábra), ezért mechanikai szempontból sokszor előnyösebb a használatuk a hőre lágyuló polimerekkel szemben [5], [6]. Ilyen anyag például a DLP/SLA additív gyártásban alkalmazott műgyantás fotopolimerek csoportja is, amelyek UV sugárzás hatására keményednek ki.



1. ábra Hőre keményedő műanyag megkötése



2. ábra A hőre keményedő és lágyuló polimerek láncszerkezete

A hőre lágyuló polimerek rendelkeznek egy másik kritikus hőmérsékleti ponttal is, még a bomlási pont alatt, amelyen megolvadnak, és újra formálhatók lesznek, ezáltal könnyen újra fel lehet őket használni. Sok esetben ez nem egy pont, hanem egy átmeneti tartomány. Az újraformálást akár többször is el lehet végezni, azonban nem korlátlan számban. A fröccsöntés, 3D nyomtatás és más extrudálások fő alapanyaga a hőre lágyuló polimer, amelyet alapanyagként leggyakrabban pellet vagy tekercs formájában alkalmaznak. A korábban említett kritikus pont az üvegesedési hőmérséklet, amelyen áthaladva az anyag

meglágyul, de még nem olvad meg. Ezen hőmérsékleten hőkezelhetők is a termékek, amelyeket én is és más kutatások is felfedeztek már [7] [8] [9]. Hőállóságot, keménységet vagy rugalmasságot lehetséges befolyásolni a módszer segítségével. A legtöbb hőre lágyuló polimer megolvastva újraformálható, újrahasznosítható, ami a hőre keményedő műanyagokról nem mondható el. Hőre lágyuló polimer típusú anyagok például a PE, PC, vagy akár a PVC is.

Azonban ezek közül, az egyik nagyon elterjedt hőre lágyuló polimer a PET (Polietilén-tereftalát), amely a közéletben is megtalálható PET palackokról lehet ismert. A PET-nek mint anyagnak sok tulajdonsága ismert, többek között a nagyon alacsony nedvességfelvétel, alacsony sűrűlási tényező és csúszó kopás. Ennek módosított verziója, a PETG (Polietilén-tereftalát-glikol) nagyon kedvelt és népszerű 3D nyomtatási alapanyag, ugyanis nagyobb szilárdsággal, tartóssággal rendelkezik, továbbá rendkívül ütésálló. Olvadáspontja ~ 220 °C, üvegesedési hőmérséklete 70 °C, míg szakítószilárdsága átlagosan 45 MPa [10]. A PETG továbbá kiválóan alkalmas különféle technológiákhoz, például a stanolás, hajlítás, vagy akár a marás.

2.2 3D nyomtatás

Ennek a technológiának az 1980-as években bukkantak rá az első példáira. Ekkoriban azonban nagy és drága konstrukciójú gépek készültek, melyeknek a felhasználási lehetőségei eléggé korlátozottak voltak. Dr. Carl Deckard fejlesztette és szabadalmaztatta az SLA rendszert, melyhez hasonlót már korábban szabadalmaztattak, de annak gyakorlati alkalmazása nem volt. Maga a „3D nyomtatás” mint fogalom a Massachusettsi Műszaki Egyetem-ből ered, ugyanis itt két doktorandusz egy tintasugaras nyomtatót alakított át olyan módon, hogy az a papírra ne tintát fecskendezzen ki, hanem rétegeket olvasszon egymásra úgy, hogy az térbeli objektumokat alkosson.

Chuck Hull egy szálhúzáson alapuló (FDM) technológiai módszert fejlesztett ki az 1980-as évek végén, melynek alapján egy évvel később, 1990-re elkészítettek egy piacképes gyártmányt is.

A 2000-es évek eleje táján ezek alapján több technológiát felújítottak, illetve újakat találtak fel. Ilyenek például a gyantanyomtatás a viaszöntéshez, az kötőanyag-sugárzó eljárás a homokkőszerű alkatrészekhez, továbbá a réteges tárgygyártás papíralapon, nem utolsósorban az elektronsugaras olvasztási eljárás a fémek terén. Az idő múlásával további alapvető 3D-nyomtatási eljárásokat fejlesztettek ki, mint például a szelektív lézerolvasás.

A 3D nyomtatás egy olyan gyártási folyamat, mellyel az alapanyagot vékony rétegekben egymásra tudjuk felhelyezni, építeni úgy, hogy az egy háromdimenziós tárgyat alkosson, egy digitális modell segítségével. Ennek a technológiának az alkalmazása teljesen új dimenziókat nyit meg az emberiség számára termékgyártások terén. Rengeteg előnnyel rendelkezik, melyek közül kiemelkedik, hogy olyan komplett és összetett geometriai alakzatok/formák készíthetők vele, melyekre a korábban még korszerű, hagyományosöntési eljárás, vagy akár a CNC marás nem képes. Másik nagy előnye, amiért én is ezt a technológiát választottam, hogy lehetővé teszi prototípusok, egyedi termékek hatékony, gyors és gazdaságos előállítását. A technológia fontosságát jelenti, hogy már most az Európai Bizottság az európai ipar egyik jelentős pillérének tekinti a 3D nyomtatást. Ez a technológia a mai napig folyamatos fejlődésen megy keresztül és egyre több területen, szélesebb körben alkalmazzák, mint például autóipar, hadiipar, gépipar, fogászat, egészségügy. Az előbb említett iparágak közül úgy tűnik az utolsó kettőre lesz a legnagyobb hatással.

Manapság egyre szélesebb körben terjed a köznapi életben is a 3D nyomtatás, sok hétköznapi ember kezd el akár sajátos módon is foglalkozni vele. Ennek oka lehet az is, hogy a különböző gyártók egyre több és több nyomtatót dobnak a piacra, melyeknek már az áram sem megfizethetetlen. Akár egy egyszerű kis 3D-s nyomtatóval is szinte bármit létrehozhat az ember, amit csak el tud képzelni, továbbá rengeteg trükkös otthoni vagy akár munkahelyi probléma viszonylag olcsón megoldható ezeknek a segítségével. Széleskörű használatukban még jelentős szerepet játszik az is, hogy magának a 3D nyomtatónak az üzemeltetése igen csak olcsó mulatság, persze leszámítva az alapanyagárat. A piacon rengeteg különféle filamentek és gyanták találhatók meg, melyek különböző tulajdonságokkal rendelkező tárgyak elkészítésére használhatóak fel,

a színektől indulva a rugalmasságukon át a megszilárdulás sebességéig vagy akár csak a keménységéig.

Ahhoz azonban, hogy elkezdődjön a 3D nyomtatásunk, szükségünk van egy modellre, ami alapján az eszköz végre tudja hajtani a kívánt folyamatot és el tudja készíteni a háromdimenziós alkatrészt. Manapság már rengeteg 3D modellt meg lehet találni az interneten, le lehet őket tölteni (akár ingyen is), illetve ha valami egyedit szeretnénk, saját elképzelésünk alapján, rengeteg tervező programot tudunk használni az alkatrészek megtervezéséhez. A 3D-s modellek elkészítéséhez a leggyakrabban használt szoftverek például a FreeCad, Fusion 360, SketchUp . Ugyanis a leggyakrabban használt adatformátum a CAD szoftver és a 3D nyomtató között az STL (Standard Tessellation Language) fájl, ami egy térbeli test felületét kicsi, apró háromszögekre bontva tárolja el. Ezek a háromszögek minél kisebbek, a közelítés annál pontosabb. Vannak még VRML (Virtual Reality Modeling Language) formátumú fájlok is, melyek kezdeti előnye az volt, hogy nem csak geometriai formát, hanem színeket is használ. Azonban a nyomtatást támogató szoftverek fejlődésével, az ilyen formátumú fájlok használata egyre jobban a háttérbe szorult.

Ahhoz, hogy bármit egy modell alapján ki tudjunk nyomtatni, szükségünk van még egy szeletelő programra is, mely előállítja a nyomtatási fájlt. Ez a program a beolvasott 3D-s modellt rétegre szeleteli fel, majd legenerálja a hozzájuk tartozó szerszámpályát, mely kimenet egy G-Code lesz, akár csak a CNC gépeknél. Ilyen szeletelő programok például a Slic3r vagy a Repetier. Ezekben a szeletelő programokban tudjuk a technológiai és a nyomtatási beállításokat elvégezni. Itt tudjuk beállítani, hogy szeretnénk-e alapot, továbbá alátámasztásokat adni a modellünkhöz, menet közben akarunk-e nyomtatófejet tisztítani, továbbá a nyomtatás sebességét, hőmérsékletét is itt tudjuk beállítani.

A 3D modell kinyomtatásának létezik olyan módja is, mikor egy fizikai tárgyat 3D szkennel segítségével olvasunk be. Ezen eszközök képesek arra, hogy egy háromdimenziós tárgy alakját és felületét beolvassák és digitális formára alakítják át. Azonban itt figyelembe kell vennünk azt, hogy a pontossága nem teljesen 100 százalékos, így a kapott nyomtatást nem lehet összehasonlítani egy digitálisan programozott modell alapján történő nyomtatással. A szkenneléssel inkább csak egyszerűbb háromdimenziós

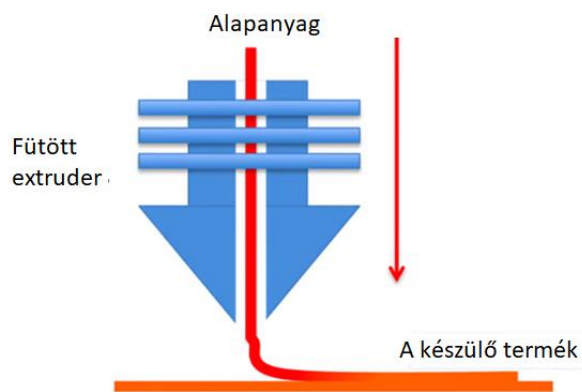
objektumokat lehet jó minőségben kinyomtatni. Ezekre manapság akár már mobilalkalmazásokat is használhatunk, feltéve ha a telefonunk rendelkezik LiDAR típusú lézeres érzékelővel.

A 3D nyomtatás terén a megszületése óta (több, mint 30 év) nagyon sok különböző technológiai eljárás jelent meg és terjedt is el a világban, de ezek közül mindössze csak két olyan típusra élesedtek ki, melyek megfizethetőek és hazai körülmények között is használhatóak. Ugyanis ezeknek az eszközöknek a gyártói az elmúlt időkben leginkább a mindennapi felhasználókat célozták meg, mivel ez a legszélesebb szegmens.

FDM/FFF

Manapság messze a legelterjedtebb 3D nyomtatási technológia lett az úgynevezett FDM (Fused Depositon Modeling), vagy már kereskedelmi célokra az FFF (Fused Filament Fabrication) kifejezés. Mind a kettőnél ugyan arról a működési elvről van szó, továbbá ha az asztali 3D nyomtatókról beszélünk, akkor többségük már ezt a technológiát alkalmazza modellezésre. A most említett nyomtatási technológiájú nyomtatók az esetek nagy részében egy műanyag szállt, az úgy nevezett filamentet használják, mely a szállított anyag összeolvasztásának az elvén működik. Az ilyen FDM nyomtatók otthoni felhasználók számára elérhető nyomtatási terei 100-500 mm oldalhosszúságú kockát foglalhat magába. Ez a nyomtató tálcájában egy orsóra kerül, ahonnan az eszköz szépen fokozatosan letekeríti az anyagot bele a nyomtatófejbe, ahol egy bizonyos hőmérsékleten megolvad ott az anyag. Majd ezek után a nyomtató nyomtatófeje a szálakat rétegről rétegre halmozza fel, egy fizikai 3D modellé, melyet a korábban említett fájlokból vesz át a gép. Egy extrudáló rendszer egy forró fúvókán keresztül ömlesztve tolja át az anyagot, amely a fúvóka asztal, vagy korábbi réteg feletti mozgásától néhány tizedmilliméter széles vonalakat alkot belőle (3. ábra). Úgy működik, akár csak a közönséges tintasugaras nyomtatók, csak ez tinta helyett rétegről rétegre olvadt anyagot tesz a hordozóra. Ez a nyomtatási technológia a legolcsóbb 3D nyomtatási technológia napjainkban, ezért is terjedt el rohamosan ilyen széles körben. További előnye, hogy nyomtatás közben a szálak, illetve azok elolvadása egyáltalán nem, vagy csak nagyon minimális szagot termel, így nincs szükség szellőztető rendszer kiépítésére sem.

Természetesen mindennek van hátrányai is, ezen technológia hátrányai közé tartozik például, hogy a nyomtatás igen sok időt igényel, illetve a nyomtatási minőségnek nagy a szorása, mely nyilván függ a felhasznált alapanyagtól és a nyomtató minőségétől. További hátránya még a különféle tervezési korlátok (összetettebb modellek esetén figyelembe kell venni például a támasztások nyomtatását is). Ezeken felül időről időre a nyomtatások során előfordulhatnak hibák, melyeket okozhat például a nyomtató pontatlan beállításából adódóan a rétegek helytelen rétegződése, mely teljesen tönkretelheti a kész kinyomtatott modellt.



3. ábra Az FDM eljárás sematikus ábrázolása

SLA

A másik jelenleg legelterjedtebb 3D nyomtatási típus az SLA. Az SLA szó rövidítése mögött a sztereolitográf áll, mely a polimergyanta UV-fény, illetve LED-ek segítségével történő, előre meghatározott keményítést foglalja magába. Ennek a nyomtatási technológiának a rendkívüli pontosság a fő szempontja, mely meghaladja a korábban említett FDM/FFF nyomtatóknak a nyomtatási felbontását. Azonban ezért a pontosságért viszonylag magasabb árat kell fizetnünk, amellet, hogy a nyomtatni kívánt modellek méretében is korlátozottak a lehetősége. Másik hátránya még ennek a technológiai típusnak, hogy az elszívást is meg kell oldanunk a nyomtatás során, ugyanis a gyanta általi kikeményedés során mérgező gázok szabadulnak fel, melyek akár károsak is lehetnek nagyobb mennyiségben, akár a mérgezés ockázata is fennállhat. Az ilyen típusú nyomtatók tehát méretigényesek, illetve zárt nyomtatási felülettel rendelkeznek,

melyhez egy kipufogó csatlakozik hozzá. Ilyen nyomtató telepítésénél tehát a helyiség szerkezeti felépítését is figyelembe kell venni.

További nyomtatási technológiák

CJP

A CJP (Color Jet Printing) egy olyan gyártási eljárás, mely teljesen ideális többszínű egyedi modellek, ajándékok, vagy éppen akár építészeti tervek kisebb méretben történő megvalósítására. Ezek az eszközök a nyomtatási folyamat során kompozit por alapanyagra nyomtatnak, hozzáadva rétegenként ragasztóval, ezen rétegek vastagsága kb. 0.1 mm. Ez azt jelenti, hogy a nyomtatási felület beterül fehér porral, majd azon a részen ahol a termékünk keletkezik speciális ragasztót ad hozzá az eszköz, majd a nyomtatási folyamat végén a fennmaradó, felesleges (nem ragasztott) fehér port el kell távolítani. A ragasztó mellett festéket is juttathatunk a porhoz, ezáltal valódi, sokszínű és ötletes termékeket tudunk létrehozni. A kész termékünk anyaga tapintásra legjobban a homokkőhöz hasonlít.

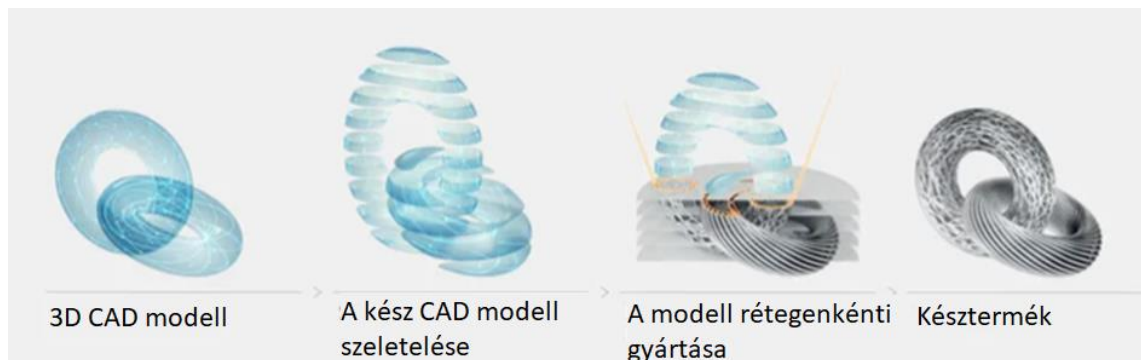
Binder Jetting

Ez a technológia lényegében a háromdimenziós fém nyomtatást jelenti, mely kifejezetten alkalmas teljes funkcionalitású tárgyak előállítására, mint például lakberendezési tárgyak, ékszerek, mindennapi hasznélati eszközök, ajándékok. Ezen technológia segítségével számos anyagot használnak fel, többek között acél, titán, alumínium. Ezek a típusú nyomtatók a fémes por alapanyagot elterítik rétegről rétegre, miközben egy folyékony kötőanyagot adagolnak hozzá, majd a modell így szilárdul meg végleges formájára. Az ilyen nyomtatásoknál a rétegek vastagsága körülbelül 0.02-0.1 mm. A nyomtatás befejezése után a fém terméket magas hőfokra felfűtött kemencébe helyezik a végleges keménység és szilárdság elérése érdekében, majd ezek után a fennmaradó por részecskéket ecset vagy légfúvó alkalmazásával távolítják el.

2.3 Gyorsprototípus gyártás

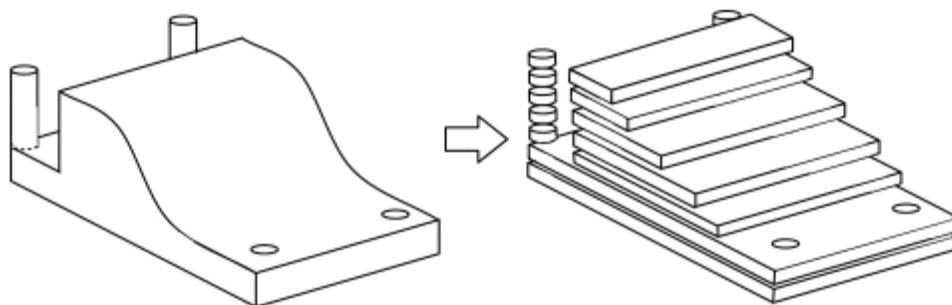
A gyors-prototípusgyártási eljárások során gyorsan, jellemzően minimális hulladékkal és anyag hozzáadással, azaz additíven hozunk létre kísérleti modelleket, méretarányos másolatokat, valamint a technika fejlődésével készterméket is. Fontos tulajdonsága az eljárásoknak, hogy nincs külön szerszámigénye, egy „szerszám” vagy gép képes elkészíteni az egész tárgyat. Hatalmas lehetőség a technológiában, hogy gyakorlatilag bármit lehetséges méretarányosan legyártani, akár szélcsatornás, vagy már, áramlástani, esetleg mechanikai viselkedés vizsgálatára.

Amennyiben a technológiával alkalmazható alapanyag mechanikai tulajdonságai elegendők, úgy sok esetben a késztermék legyártása olcsóbb és gyorsabb is lehet, mint az azonos funkciót betöltő elem más technológiával történő elkészítése. Ez eleinte főleg dísz tárgyak esetén volt megfigyelhető, ma már azonban a technológia elérhetőbbé válása miatt rengeteg funkcionális tárgyat készítenek ezzel a technológia csoporttal. Kiemelkedő sajátosság még, hogy úgynevezett bennszülött alkatrészek gyártása is lehetségessé válik (4. ábra), ahol helyben egy teljes szerkezetet állít elő a berendezés, amely nem igényel összeszerelést, egyszerűen működik, amint eltávolítjuk a munkatérből [11].



4. ábra Bennszülött alkatrész gyártásának folyamata [11]

A gyártáshoz elengedhetetlen egy 3D-s CAD modell, amellyel a szinte kizárólag rétegenként építkező eljárásokhoz számítógéppel megtervezik a gyártást (5. ábra), majd azt egy automata gyártó berendezés legyártja. Az első gyorsprototípusgyártási technológia a sztereolitográfia volt [12], [13], [14].



5. ábra A céltárgy rétegekre bontva [14]

Egyes altípusai, mint az FDM és SLA, olyan áron elérhetők, hogy nehezen találunk olyan illetőt akár az utcán, aki ne hallott volna a 3D nyomtatásról, és ne lenne olyan ismerőse, aki rendelkezik is ilyen berendezéssel. Ez egy öngerjesztő folyamat során vált lehetővé, ahol az egyre egyszerűbben kezelhető gépek – hiszen eleinte mérnöki tudást igényeltek az FDM berendezések – felhasználói az egyszerűbb kezelhetőség miatt egyre gyarapodtak, saját tudásukat a témához adva még egyszerűbbé téve a felhasználást. Ma már gyermekeknek oktató céllal gyártanak FDM nyomtatókat. Az igények terén mutatott ugrásszerű növekedésnek köszönhetően az alapanyagok fejlesztésébe fektethető tőke is megugrott, amelynek hála azok minősége, felhasználhatósága és sokszínűsége is jelentősen javult [15].

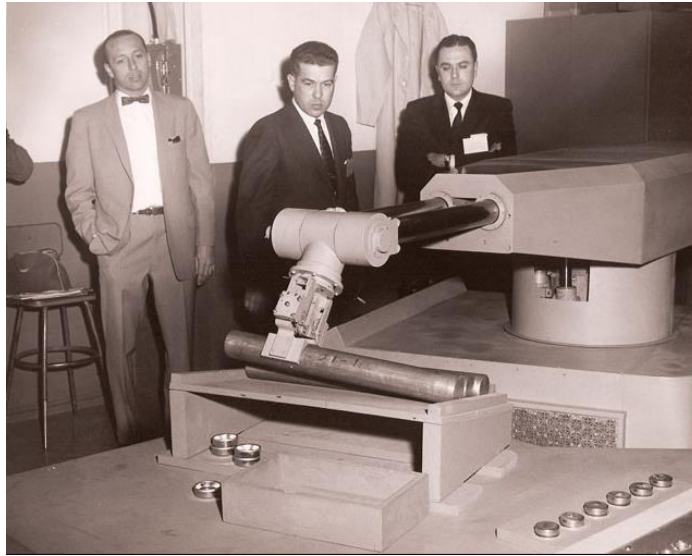
A tárgyak előállításához szükség van a készíteni kívánt munkadarab 3D CAD modelljére, amelyből a szeletelő program hozza létre a gyártás egységeit vagy lépéseit képező szeleteket, amelyekből majd a termék felépül késztermékké. FDM és SLA technológiák esetén is rétegenként épül fel a tárgy, amelyek a 3D modell 2D-s szeleteit testesítik meg. Minden réteg elkészülte után a tárgyasztal egy rétegvastagságnyi relatív süllyedést tesz az anyaghozzáadást végző gépegységhez képest, majd az elkészíti az új réteget. Mindkét technológia igényel különböző mértékű utómunkálatokat [16].

2.4 Ipari robotok

Mivel továbbra is szükség van a nagyobb áteresztőképesség növelésére és a költségek csökkentésére, a gyártók automatizálási és Ipar 4.0 megoldásokat keresnek

hatékonyságuk növelése érdekében. Az automatizálás a gyártás kontextusában a berendezések vagy a gyártási folyamatok automatizálására történő felhasználását jelenti. A végső cél a hatékonyság növelése a termelési kapacitás növelésével vagy a költségek csökkentésével, gyakran mindkettővel. Az automatizálás inkább úgy vált ismertté, mint a gépek használata az emberek által végzett munka csökkentésére. Olyan elektromechanikus rendszerekkel vált összefüggésbe, amelyek sokféle folyamat végrehajtására vannak programozva. Az automatizált gyártórendszerek a gyárban a fizikai terméken működnek. Olyan műveleteket végeznek, mint a feldolgozás, összeszerelés, ellenőrzés és anyagmozgatás, sok esetben több ilyen műveletet is elvégeznek ugyanabban a rendszerben. Azért nevezik automatizáltnak, mert a műveleteket a kézi folyamatokhoz képest csökkentett emberi részvétellel végzik. Néhány magasan automatizált rendszerben gyakorlatilag nincs emberi részvétel. A tendenciák azt mutatják, hogy a világon jelentős számú és folyamatosan növekvő automatizáció a robot telepítésekre is hatással van, hiszen az automatizációval az ipari robotok fejlődése és telepítése is kéz a kézben jár [17].

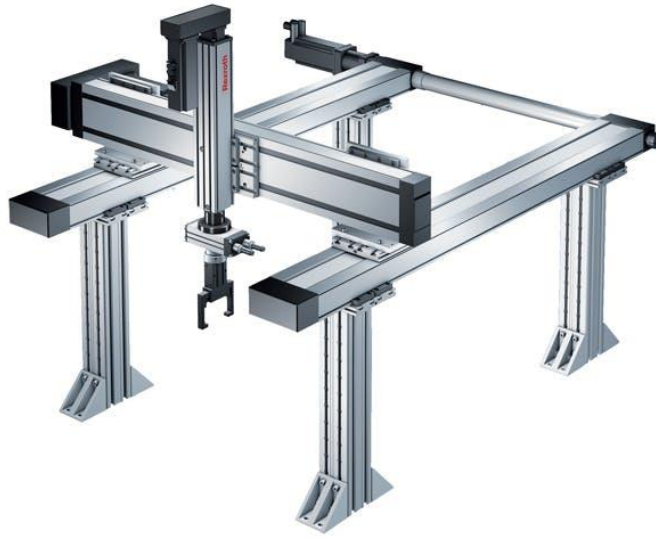
Az ipari robotok olyan mozgó rendszerek, amelyek legalább 3 tengely mentén képesek mozgásukkal munkát végezni. A mozgás jelenthet rakodást, megmunkálást, vagy akár szórakoztatást is [18]. Az ipari robotok története az 1950-es évek végéig nyúlik vissza, amikor az első ipari robotokat kifejlesztették az Egyesült Államokban [19]. Az első ipari robot Unimate néven került piacra 1961-ben a Unimation által (6. ábra).



6. ábra A Unimate robot [19]

Az ipari robotok az ipari termelés számos területén elengedhetetlenek. A modern gyártási folyamatokban az ipari robotok nagy segítséget jelentenek a hatékony és gazdaságos termelésben. A 6 tengelyes robotkarok különösen fontosak ebben a folyamatban, mivel képesek bonyolult mozgásokra és nagy precizitásra. Ezenkívül az ipari robotok javítják a termelés minőségét és biztonságát is. Az ipari robotok képesek olyan feladatokra is, amelyek veszélyesek vagy nehéz fizikai munkát igényelnek, teherbírásuk a néhány száz grammtól a több tonnásig terjed, mégis elképesztő pontossággal tudnak dolgozni [19].

Többféle típus terjedt el, melyek közül a legegyszerűbb a derékszögű, vagy portál robot (6. ábra). A derékszögű elemek lineáris mozgása olyan kocka alakú munkaterületet ad a robotnak, amely a legjobban illeszkedik a pakoló alkalmazásokhoz, és 100 millimétertől több tíz méterig terjedhet. Ezek a robotok azért is népszerűek, mert nagymértékben testreszabhatók. Az ügyfelek meghatározhatják a robotok lökethosszát, sebességét és pontosságát, mert az alkatrészek nagy része külön érkezik, és a gépgyártók szerelik össze [20].



7. ábra Derékszögű robot [20]

Egy másik gyakori típus a SCARA elnevezést kapta (8. ábra). A SCARA robotok teljesebb megoldást kínálnak, mint a derékszögű vagy hengeres robotok. Ezek minden az egyben robotok, ami azt jelenti, hogy a SCARA robotok egy csomagban vannak felszerelve x, y, z és forgó mozgással, amely a karvégi szerszámokon kívül azonnal készen van. A munkaboríték hasonló a hengeres robotokéhoz, de több mozgási foka van egy sugarú vagy ív alakú térben. Az alkalmazások is hasonlóak a derékszögű robotokhoz, de a SCARA robotok gyorsabban tudnak mozogni. Kis munkaterületük miatt gyakran láthatók az elektronikai megoldásokban. Mivel a SCARA-k integrálása a legegyszerűbb, az alkalmazások többségéhez a legjobb megoldásnak tűnnek, de testreszabhatóságuk miatt a derékszögűek gyakoribbak [20].



8. ábra SCARA robot [20]

A legközismertebb típus azonban nem más, mint a hat tengelyes robotkar (9. ábra). Bár a 6 tengelyes robotok néha majdnem játék méretűek lehetnek, általában nagyon nagyok, és nagy összeszerelési munkákhoz használják, például ülések elhelyezésére egy autóban a futószalagon. Ezek a robotok emberi karként működnek, és fel tudják venni az anyagokat, és egyik síkról a másikra mozgatják. Példa erre az, ha felveszünk egy alkatrészt az asztallapról, és betesszük a szekrénybe – amit más típusú robotok nem tudnak könnyen megtenni. A 6 tengelyes robotok gyorsan tudnak mozogni, és olyan komplett megoldásokat kínálnak, mint a SCARA, azonban programozásuk bonyolultabb. A robotok olyan nagyok lehetnek, és olyan gyorsan mozognak, hogy ha hullámvasút üléseket erősítenek rájuk, vidámparki utazást szimulálnak vele [18]. Mivel az öt robottípus közül az egyik legnagyobb, a legtöbb tervező azért választja őket, mert képesek olyan mozdulatokat tenni, amelyeket mások nem tudnak kompenzálni a helyvesztés miatt [20].



9. ábra Modern 6 tengelyes robot [20]

2.5 ROS ökoszisztéma

A sikeresebb DIY fejlesztések a robotkarok világát is meghódították. Egy nagyon jó DIY berendezéshez elengedhetetlen mind a sikeres, támogatott szoftveres háttér, mind az észszerűen megtervezett hardveres rendszer. Az egyik legnépszerűbb ilyen szoftveres megoldást a ROS (Robot Operating System) fejlesztői készítették el. Ez a szoftver csomag egy nagy könyvtár készlet, különböző eszközökkel és modulokkal, amelyekkel saját robotos alkalmazás teljes szoftveres hátterét lehet elkészíteni. A hajtásvezérlők működtetésén át a mozgások algoritmusáig mindent képes megoldani ez a nyílt forráskódú eszköz [21].

A ROS keretrendszernek több verziója is létezik, számozott főverzióból is kettő érhető el, ROS 1 és ROS 2. Mindkét főverzió több alverzióval rendelkezik, amelyek egyedi néven futnak. Például a ROS 1 aktuális verziója 2023 év végén a Noetic Ninjemy, amely az utolsó ROS 1 kiadás, míg a ROS 2 esetében az aktuális verzió az Iron Irwini [22].

2.6 Arduino platform

Az Arduino egy olyan nyílt forrású fejlesztő platform, amelyet világszinten ismernek és egyszerű kezelhetősége miatt használnak. A platform felhasználása széleskörű, eredetileg oktatási céllal hozták létre, de elterjedt otthoni felhasználásokhoz és akár még ipari

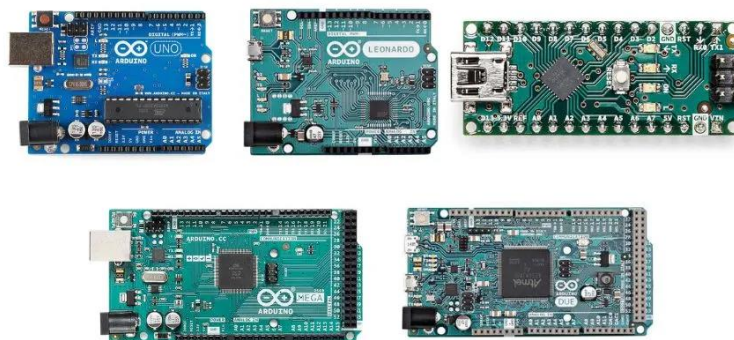
felhasználásokhoz is. Maga az Arduino platform két részből áll össze, egyik része a szoftveres környezet (IDE), a másik pedig az áramköri lap.

Az áramkörök legfontosabb része a mikrovezérlő amely egy integrált áramkör. Ez az áramkör tartalmaz processzort, memóriát, digitális és analóg be- és kimeneteket és más kiegészítéseket is. Ezek az áramkörök tovább fejleszthetők különböző shieldekkel, mint például a RAMPS, amely léptetőmotorokat segít irányítani. Ezeket a shieldeket egyetlen mozdulattal tudjuk csatlakoztatni az Arduino áramkörhöz és máris rengeteg plusz funkciót tudunk használni. Többféle Arduino vezérlőlap létezik, ezek méretben és funkciókban különbözőek.

Az Arduino IDE (Integrated Development Environment) szoftver telepítés után használható. Leegyszerűsített, felhasználóbarát megjelenésű, C/C++ alapú programozási nyelven íródó program. Az IDE-ben megírt programot egy USB kábel segítségével tudjuk feltölteni a mikrovezérlőre és futtatni.

A jelenlegi projekthez két darab Arduino Mega 2560-at, egy RAMPS és egy Dynamixel shielddet fogok használni.

Different Types of Arduino Boards: Their Uses and Features



10. ábra Különböző típusú Arduinok

2.7 Niryo One

A robotikai oktatási és öntanulási folyamatokhoz kapcsolódó sikeres DIY fejlesztések egyik fontos szereplője a Niryo, akik kifejlesztették saját olcsón reprodukálható robotkarukat, amely később nyílt forráskódúvá vált, majd a második generáció is megjelent.

2017-ben egy közösségi finanszírozási projektben jelent meg először a Niryo One robotkar sok prototípus után (11. ábra), amelyet meg lehetett vásárolni támogatási céllal, majd még az első példányok már abban az évben gazdára találtak. 2020-ban már a második generációs robotkar, a Niryo Ned jelent meg, amelyet két évvel később a NED2 követett [23]. A robotokat ők is forgalmazzák, valamint az otthoni felhasználók el is készíthetik maguknak akár saját robotjaikat.



11. ábra Niryo One prototípusok [24]

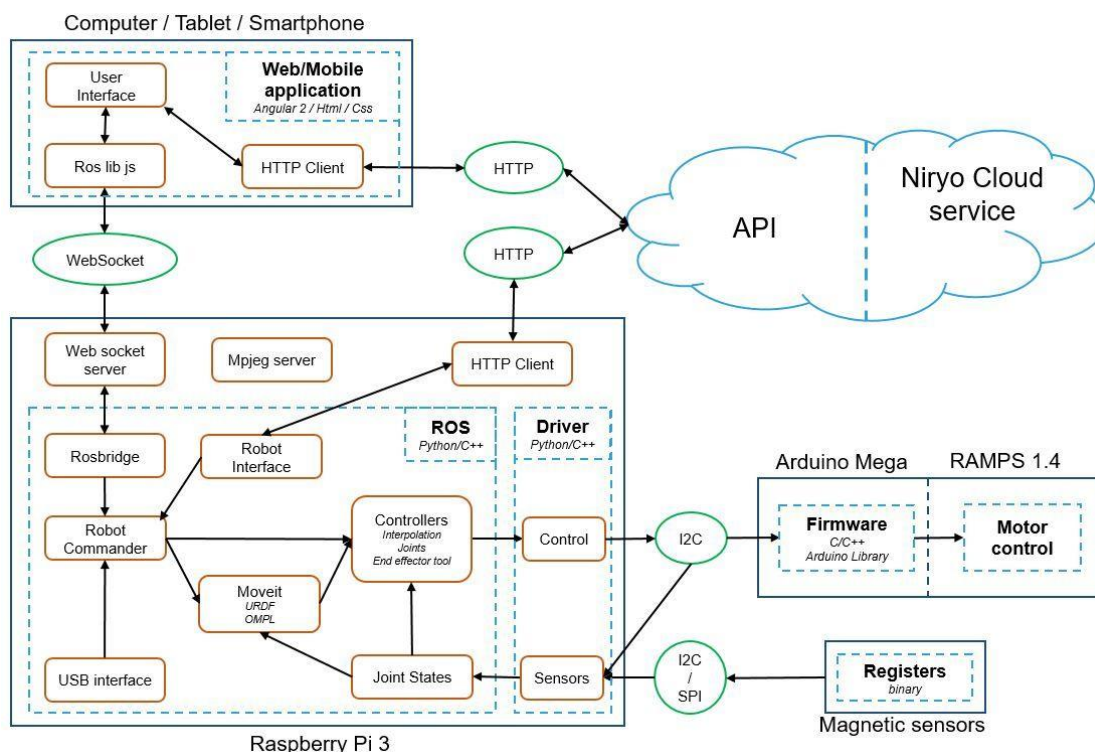
A Niryo One nyílt forráskódú alapokon készült el, melynek szerves részét képezi az Arduino Mega és a RAMPS 1.4 fejlesztői táblák párosítása. Utóbbi egy bővítőmodul az Arduino számára, amelyre a konkrét léptetőmotor vezérlők kerülnek ráhelyezésre. Az Arduino felelős a vezérlők irányításáért, azonban a mozgások komplikált számításaihoz szükség van egy további vezérlőre, amely a Raspberry Pi volt. Így tehát a Raspberry vált a robot agyává, míg az Arduino és a RAMPS tábla vezérelték az egyes motorokat a Raspberry parancsainak megfelelően (12. ábra) [24].



12. ábra A Raspberry Pi tábla (bal oldalon), az Arduino(a jobb oldalon) [25]

A Raspberry mini PC-n a ROS szoftveres környezet fut, amely felelős az egész robot irányított mozgásáért. A Niryo a kezdetektől fogva ROS alapokon szerette volna a robotjait megvalósítani, így az első robotot már azonnal ezzel a környezettel fejlesztették ki. A ROS nyílt forráskódú mivolta segít a könnyű továbbfejlesztésekben és módosításokban, valamint a közösségi projektek és segítségek hatására kifejezetten megfizethető marad [24].

A Raspberry-re egy hozzá való Ubuntu operációs rendszert kell először feltelepíteni, majd ezen fog futni a ROS keretrendszer. Ez végzi a kommunikációt a felhasználóval, az esetleges külső kezelőfelülettel, valamint a szenzorokkal és aktuátorokkal. A legfontosabb kommunikációs csatorna természetesen az Arduino-val köti össze. A működés hierarchiáját a 13. ábrán lehet jobban áttekinteni [25].

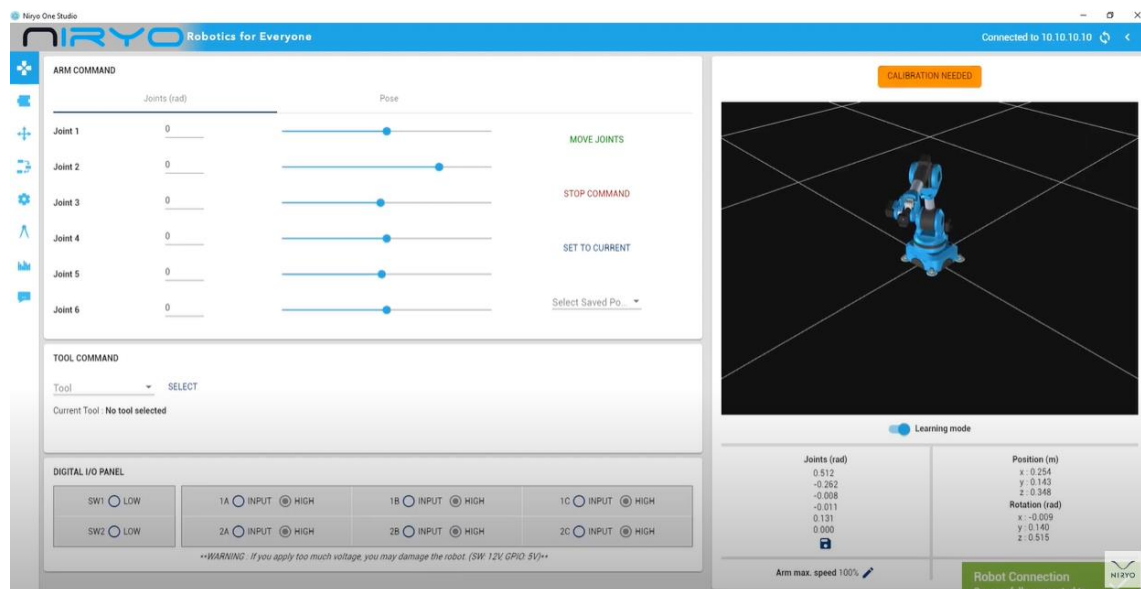


13. ábra A robot vezérlésének szemantikája [26]

Az ilyen kis robotok alapvetően nem számítanak ipari robotnak, így gyakorlatilag az azokra vonatkozó biztonsági előírások értelmezése is rugalmasan van kezelve. A Niryo robotjait kollaboratívként árulja, amelynek például egyik sajátos jele, hogy betanításra lehetőség van akár kézi mozgatás által is. Ekkor a robotot az adott pozícióba kell mozgatni kézzel, majd ezt a pozíciót elmenti a szoftver [26].

A Niryo One robotot már bárki elkészítheti magának otthon, csupán némi elektronikai tudásra és komponensekre, valamint egy 3D nyomtatóra lesz szükség hozzá. Az alkatrészek 3D nyomtatásához bármilyen FDM, vagy akár más technológiájú nyomtató megfelelő lehet, amennyiben az alkatrészek elérnek a munkatérben. A legnagyobb alkatrész a bázis, amelyhez 200*200 mm alapterületű munkatér szükséges [27]. A nyomtatást és a beszerezhető komponensek meglétét követően a Niryo saját használati utasítását követve lehetséges megépíteni a saját készítésű robotot, körülbelül 4 óra alatt [28]. Ezzel egy hat szabadságfokú, néhány száz gramm teherbírású csuklós robotkart kap a felhasználó.

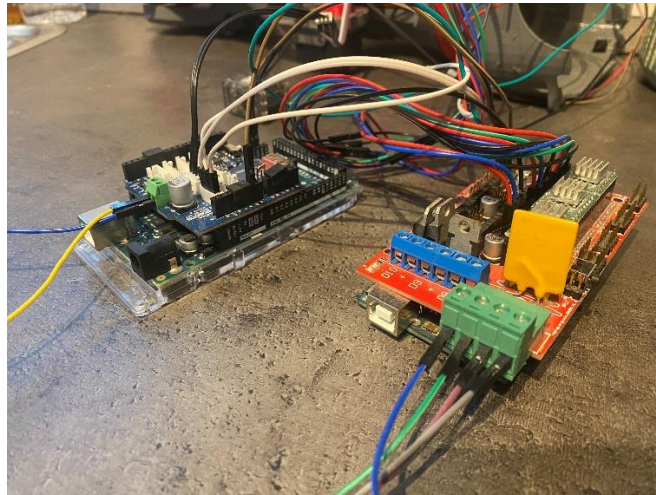
A szoftveres háttér az összeszerelés után következik. Ehhez a már korábban említett Arduino, valamint az Ubuntu-val ellátott Raspberry szükséges. A ROS telepíthető külön is az Ubuntu-s SD kártyára, valamint akár a teljes Raspberry SD képfájl is letölthető közvetlenül, amely tartalmazza az Ubuntu-t és a Niryo robothoz tartozó ROS könyvtárakat. Ezt a számítógéppel az SD kártyára kell írni, majd ezzel a Raspberry előzetes konfigurálása kész. A számítógépre telepíteni kell a Niryo One Studio alkalmazást, amely tulajdonképpen a kezelőfelülete lesz a robotnak. Erről a felületről mozgatható, programozható, szimulálható a robotprogram (14. ábra) [29].



14. ábra A Niryo Robot Studio felülete [30]

2.8 Saját robotom irányítása

Az eredeti Niryo One-al ellentétben az irányítást két Arduino Mega-val oldottam meg. Az egyik maradt az eredeti Ramps 1.4 irányítópanellal, amely a léptető motorok vezérléséért felel, a másik Arduinora egy Dynamixel servo shield-et csatlakoztatok, ami a szervomotorokkal képes kommunikálni. Ennek köszönhetően a Raspberry mini PC-t mellőzhettem a rendszerből. A programozás így az Arduino fejlesztő környezetben (IDE) történik. A két Arduinonak kommunikálását kellett megoldani, hogy egymásnak jeleket küldve szinkronizálva irányítsák a léptető- és szervomotorokat egyaránt.



15. ábra Két Arduino Mega Dynamixel shield (baloldal), RAMPS shield (jobboldal)

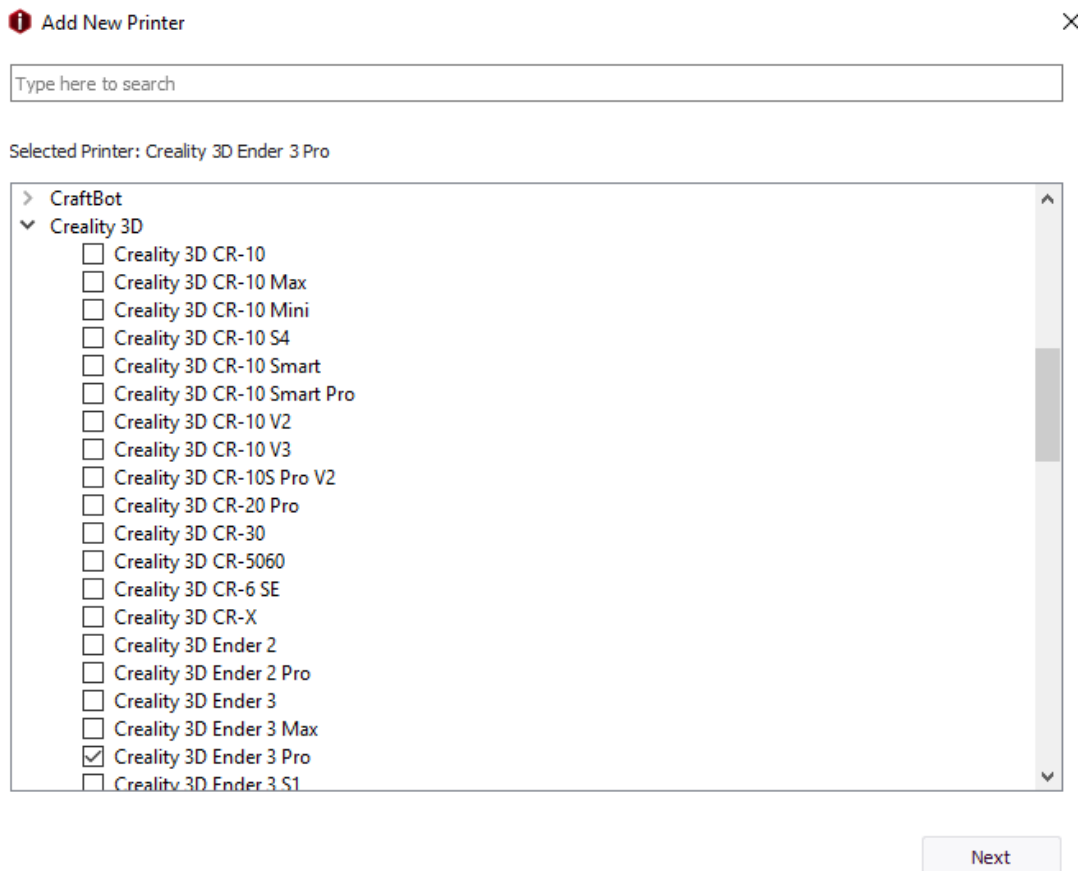
3. A ROBOT MEGÉPÍTÉSE

Ebben a fejezetben a robot létrehozását fogom részletezni. Elsősorban egy 3D nyomtatót kellett beszereznem hozzá. Rengeteg informálódás és keresgélés után a Creality Ender 3 Pro nyomtatóra esett a választásom, ami megfelelt a szükséges paramétereknek, megbízhatóságnak és a rászánt költségkeretnek is. Kitérek a nyomtatás fontosabb részeire, az általam használt nyomtatási beállításokra és a készítés során szerzett tapasztalataimra. Továbbá ismertetni fogom a robot összeszerelésének a folyamatát valamint kitérek azon alkatrészekre is amelyeket otthoni körülmények között 3D nyomtatóval nem tudtam létrehozni. Ezen alkatrészek közé tartoznak a különböző kötőelemek és csapágys.

3.1 Nyomtatási beállítások

Az oktató robot elkészítésének első lépése a 3D nyomtatás és a beszerezhető komponensek megvásárlása. A 3D nyomtatás egy hosszadalmas feladat lesz, hiszen rengeteg elemet kell elkészíteni. A robot teljes testét FDM technológiával, PETG alapanyagból fogom kinyomtatni, amelyhez a Creality Ender 3 Pro 3D nyomtatóját fogom alkalmazni. A berendezés gyári állapotú, módosítások nem lettek rajta elvégezve. A nyomtatáshoz használt szeletelő szoftver a Raise3D IdeaMaker 4.2.3 verziója.

A szoftverben megtalálható az általam használt 3D nyomtató profilja, így azt egyszerűen csak ki kell választani a menüszalag „Printer”->”Configuration Wizard...” menüpontjából (16. ábra).



16. ábra A 3D nyomtató profil választása

A nyomtató kiválasztását követően egy ablak ugrott fel, amellyel több alapanyag profilját is letölthetem a Raise3D adatbázisából. PETG alapanyagból elérhető volt egy univerzális Ender 3 profil, amit a Raise3D PETG profiljára építettek. Ezt a profilt importáltam a szoftverbe, majd leellenőriztem a beállításokat. A legtöbb fontosabb paraméter az igényeimnek megfelelően volt beállítva, ezek a következők:

- Rétegvastagság: 0,2 mm
- Kontúrok száma: 3 db
- Első réteg vastagsága: 0,2 mm
- Vonalszélesség: 0,4 mm
- Visszahúzás mértéke: 6 mm
- Belső kitöltés sűrűsége: 40%

- Belső kitöltés stílusa: négyzetrácsos
- Alsó és felső felületek tömör rétegeinek száma: 3 db
- Alátámasztások kitöltése: 25%
- Nyomtatási hőmérséklet: fej: 245 °C, asztal: 70 °C

Néhány paraméteren azonban változtatnom kellett, amelyek új értékei a következők:

- Belső kitöltési rétegek kombinálása: 2 db. Ennek hatására a belső kitöltés csak minden második rétegben készül el, azonban kétszeres rétegvastagsággal. Ezzel nyomtatási időt lehet megtakarítani, amelyet a belső kitöltésre vetítve közel 50% mértékűnek lehet számítani.
- Alátámasztások helye: mindenhol. Ennek köszönhetően például belső zsebekben is készül majd alátámasztás.
- Felületi tapadásjavítók: nincs. A PETG tapasztalataim szerint nem igényel sem szoknyát, sem légpárnát.
- Tárgyhűtés: 50%
- A nyomtatási sebességeket az első réteg és a külső körvonalak kivételével 60 mm/s értékre emeltem. Az első réteg és a külső körvonal sebessége 45 mm/s.
- A nyomtatófej gyorsulási értékét mindenhol 800 mms⁻²-re emeltem, amellyel jelentős mértékben javul a nyomtatási idő.
- A kanyarsebesség értékének növelése 13 mm/s-ra szintén hasonló eredményt hoz majd.

A beállítások elmentése után kinyomtattam egy apróbb alkatrészt (17. ábra), amellyel a beállítások helyességét ellenőriztem, mivel a beállított adatok tapasztalati adatok korábbi, de más alapanyaggal és szeletelő szoftverrel végzett nyomtatásaimból. A nyomtatás sikeres lett, így a legtöbb alkatrészt ezzel a profillal nyomtattam ki, változtatás nélkül.



17. ábra Az első kinyomtatott alkatrész, az egyik motor tengelykapcsolójának háza

3.2 A robot főbb részeinek nyomtatása

1. Niryo One

1.1 Overview

Niryo One is a 6-axis robotic arm. That means 6 degrees of freedom for the robot.

The robot can be broken down into 7 parts:

1 - Base	Orange
2 - Shoulder	Yellow
3 - Arm	Green
4 - Elbow	Turquoise
5 - Forearm	Blue
6 - Wrist	Purple
7 - Hand	Red



18. ábra A Niryo Robot részegységei

A robot főbb részei:

- Talp – Ez a robotkar alapja, masszívnak és stabilnak kell lennie, hogy a robot ne dőljön el.
- Váll – A talphoz hasonlóan fontos tartó szerepe van, emellett a robot ettől az elemtől számítva tud forogni.
- Kar – Két részből áll, két csuklóponttal rendelkezik, ez segít abban, hogy a talptól minél messzebb érjen el a megfogó.
- Könyök – Itt helyezkedik el az első szervomotor, a megfogót saját tengelye körül forgatja
- Alkar – Ez fogja és mozgatja a csuklót, a robot stabilitása érdekében ez az alkatrész kisebbre van kialakítva.
- Csukló – A megfogót tartva, az utolsó csuklópont
- Megfogó – Adott tárgy megfogásáért felel

A robot főbb alkotóelemei közül a megfogót szeretném kiemelni. Úgy gondolom, hogy bármilyen robot megtervezésénél a megfogó megfelelő kiválasztása az egyik legfontosabb lépés, hiszen rengeteg dolgot figyelembe kell venni. Többek között például azt, hogy milyen feladatokat szeretnénk a robotunkkal végrehajtani majd a későbbiek során, ugyanis ezek alapján kell akárcsak a méretét, akár a megfogó típusát kiválasztanunk. A megfogók típusát tekintve rengeteg megoldás van már manapság. Egy megfogó lehet akár szögelfordulásos megfogó, akár öntőcsónk megfogó, akár három ujjas megfogó, illetve lehet az általam választott két ujjas párhuzamos megfogó. Az ilyen típusú megfogókat használják általában előre kiszámítható geometriájú munkadarabok mozgatására. Ezek a megfogók két felületi ponton érintkeznek a megfogni kívánt munkadarabbal. Az általam tervezett folyamatok végrehajtására tökéletes volt az ilyen típusú megfogó alkalmazása. Ezért a Niryo One 2 Grippert nyomtattam ki és szereltem fel a robotomra. Ennek a megfogónak a mozgatását egy előre meghatározott motorral hajtom meg, amely a Dynamixel XL-320.

Mivel a Niryo nyílt forráskódú, ezért a nyomtatáshoz szükséges összes STL fájl megtalálható az interneten. Az elemek nyomtatását alulról felfelé kezdtem el, tehát a talpat nyomtattam ki legelőször. A robotnak ez a része volt a leghosszabb nyomtatás, a munkaidő három nap és négy óra volt. A váll, kar, könyök és alkar nyomtatása is túllépte az egy napos nyomtatási időt. A készítés alatt rengeteg hulladék keletkezett a nyomtatást segítő alátámasztások miatt. A nyomtatás alatt selejtes darabok is keletkeztek, ami miatt többször is kellett próbálkoznom az adott darabbal. Az eredeti kék-fehér színekombinációt lecseréltem szürke és piros színre. A nagyobb darabok színét felváltva cseréltem.



19. ábra A robot talpa



20. ábra Hibás nyomtatások

3.3 Kiegészítő elemek nyomtatása

A robot főbb részein kívül még ki kellett nyomtatni kisebb alkatrészeket, amelyek az összeszerelést segítik és az esztétikát javítják. Utóbbi a tengelyek csatlakozásainak takarásához és a talp oldalán a szellőzéshez szükségesek. Az összeszereléshez fontos alkatrészek voltak a léptető motoroknál használt szíjak feszítéséhez szükséges feszítők, amiket egy csavarral lehet állítani. A szervomotorokhoz már fent említett tengelykapcsolókat kellett készíteni, hogy a mozgást át tudja adni az adott alkatrészsre. A talp és a váll között elhelyezkedő karima, a robot gördülékeny forgásáért felelős csapágyat rögzíti.



21. ábra Persely a tengelyekhez (kép teteje), takaró (jobb oldal)



22. ábra Főcsapágy helye

3.4 Nem nyomtatott alkatrészek

Bár a robot nagyrésze 3D nyomtatással készül, mégis vannak alkatrészek amiket meg kell vásárolni. Az összeszereléshez szükséges csavarok egytől-egyig beszerezhetőek csavarboltból, ehhez van egy külön lista amin a méretek és a darabszámok is rajta vannak. A megfelelő forgások miatt a tengelyek csapágyakkal vannak ellátva. A csapágyak szintén olcsón és egyszerűen beszerezhetőek kivéve a váll alatt elhelyezkedő csapágyat, amit csak külföldről tudtam megrendelni. Ez egy speciális nagyméretű csapágy, amely három részből áll, ennek köszönhetően tud forogni az egész robot a talp körül. A kar két helyen tartalmaz alumínium csöveket, ezeket azért kell alkalmazni, hogy terhelhetőbb legyen a robot, mivel ezek a csövek súly-terhelhetőség arányban jobbnak bizonyult mint az FDM technológia. A robothoz összesen hét darab motort kell venni, ebből három darab NEMA 17 léptetőmotor, két darab Dynamixel XL 430 és két darab Dynamixel XL 320 szervomotor. A léptetőmotorok szíjhajtással adják át a mozgatáshoz szükséges erőt, ezekhez fogaskerekeket és bordás szíjakat kellett rendelni. A szervomotorok már fentebb említett nyomtatott tengelykapcsolókkal működnek. Mivel a legnagyobb erőkar a vállban elhelyezkedő motorra hat, ezért ott használni kell egy rugót amely kíméli és segíti az ott elhelyezkedő léptetőmotor feladatát. Ez egy speciális rugó, aminek a tervrajzát megtaláltam az interneten és ez alapján le tudtam gyártatni. A rugónak előre kialakított helye van, ahova be kell helyezni feszítettlen állapotban.



23. ábra Gyártott rugó



24. ábra Főcsapágó

3.5 A robot összeszerelése

Mikor a robot összes alkatrésze meg lett vásárolva és ki lett nyomtatva, akkor már csak az összeszerelése maradt hátra, amit pár óra alatt kényelmesen el tudtam végezni. Az összeszerelés nem igényelt sok szerszámot, csak pár imbusz kulcsora és csavarhúzóra volt szükségem. Alapvető kezűgyességet azért igényelt a folyamat, mivel szűk, nehezen hozzáférhető helyeken aprólékos munkát kellett végezni. Fontos volt követni az összerakás sorrendjét, pontosan betartani azt, hiszen egymásra épülő folyamatokat tartalmaz. A csavarozások nem okozhatnak senkinek problémát, viszont a legnehezebb feladatok közé sorolnám a szíjak megfelelő felhelyezését. Óvatosan kellett elvégezni minden lépést, mert a robot lényegében műanyagból készült el, ezért könnyen el lehet roppantani vagy akár a csavarok menetét beleszakítani. Az elkészült robotkart érdemes volt rögzíteni, amit a talp négy sarkán kialakított rögzítőpontok segítségével a használatával értem el a legegyszerűbben. Ezután már csak a szoftveres része maradt a projektünknek.



25. ábra Az összeszerelt robotkar

4. A ROBOTKAR MOZGATÁSA

4.1 Hardverek felépítése

- Arduino Mega 2560

Az Arduino Mega 2560 mikrokontroller legfontosabb része az Atmega2560 processzor. Ez a típus 54 darab digitális be- és kimeneti tűskével rendelkezik, amik közül 15 darabot lehet használni PWM kimenetként is, ezenfelül még 16 darab analóg bemeneti csatlakozás helyezkedik el a boardon. Az említett ki- és bemeneti csatlakozások maximum 20 mA áramerősségű elektromos áramot tudnak fogadni vagy állítanak elő. Továbbá rendelkezik még három darab 5 V, egy darab 3.3 V feszültségű, öt darab földponteciól és egy darab Vin kivezetéssel. A boarddal a kommunikáció történhet sorosan USB-n vagy a rendelkezésre álló négy darab TX-RX pinpár segítségével is. A másik kommunikációs módszer az I2C (inter-IC) ehhez használhatjuk az SCA vagy SDL csatlakozást. Az Arduino Mega flash memóriája 256 kB ez arra hivatott, hogy az előre megírt programkódokat kikapcsolás ellenére is megtartja. Emellett az SRAM 8 kB, ami csak a programváltozóit tárolja, de ezek árammentes állapotban törlődnek és a programindításánál újratöltődnek. Végezetül az EEPROM a legkisebb, ami mindössze 4 kB, ez a programindulásához szükséges adatokat tárolja még kikapcsolt állapotban is.

- RAMPS 1.4 panel

A RAMPS (RepRap Arduino Mega Polulu Shield) vezérlőpanel legfontosabb célja, hogy az Arduino Mega jeleit felerősítse. Alapvetően 3D nyomtató vezérléséhez találták ki, hogy a szükséges motorokat, hűtőventilátorokat és végálláskapcsolókat könnyen el lehessen helyezni. A RAMPS az Arduino Megához készült, ezért azt egyszerűen csak rá kell dugni a mikrokontrollerre, mivel az összes ki-és bemeneti csatlakozás megegyezik. Pozitív hatása a RAMPS-nek, hogy kevesebb kábelezéssel, sokkal átláthatóbban tudunk különböző

egységeket bekötni, ami egy komplikáltabb projektnél nagyon fontos nézőpont. Számomra a legfontosabb része az öt darab léptetőmotor vezérlőjének fentartott csatlakozás, de emellett helyet kapott hat darab végálláskapcsolónak és három darab termisztornak a csatlakozási pontja is.

- Dynamixel panel

A Dynamixel pajzsot a ROBOTIS gyártja a saját gyártású Dynamixel szervomotor szériához. Ez a panel kompatibilis az Arduino UNO-val és a Megával is. Legfőbb feladata, hogy úgynevezett Smart Servo motorokat vezéreljen. Ez a panel lehetővé teszi más panel használatát is, ha azok pin használata nem keresztezi egymását, így akár két panel is használható egyszerre egy Arduinoval. Kilenc darab fő csatlakozása van, ezekből hat darab TTL és három darab RS485. A hat darab TTL portból három normál méretű és három darab kisebb kapott helyet. Utóbbi az XL320-as széria miatt szükséges, a többi szériához megfelel az alap méret. Ezen a shielden két kapcsoló van, az egyik a ki- és bekapcsolásért felel, a másik a motorokat mozgó program le- és feltöltéséért felel.

- A4988 léptetőmotor vezérlő

Az A4988 egy olyan vezérlő, amely bipoláris léptetőmotorokat, mikrolépéssel vezérel. Mivel a léptető motorok bipolárisak, ezért a forgási irányt tudjuk változtatni. Ezt úgy tudjuk elérni, hogy a két vezérlő vezetékéből az egyik csak a forgási irányért felel, míg a másik magáért a forgásért. Az elfordulás mértékét lépésekben tudjuk megadni, erre a vezérlő öt lépésközzel tud számolni: 1, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{16}$. Tápfeszültsége 8 és 35 V között mozog, folyamatos fázisáram passzív hűtés mellett 1.5 A, hűtéssel 2 A. Hűtése alapvetően egy ráragasztható hővezető hűtőborda, ezt akár később tovább lehet fokozni egy ventilátoros hűtéssel is, amely nagyobb biztonságot ad a dolognak.

- NEMA17 léptetőmotor

A léptetőmotoroknak alából két fő csoportja van, a bipoláris és az unipoláris. Legnagyobb előnye, hogy szénkefe nélküli motor, ezért csak a csapágynak a minősége befolyásolja az élettartamát. Az ilyen fajta motorok viszonylag egyszerűen állíthatóak a kitűzött pozícióba, mivel nem szükséges bonyolult visszacsatolás, csak a megfelelő vezérlés és a határértéken belüli terhelés a pontos pozíció eléréséhez. Két fontosabb hátránya van a hagyományos motorokkal szemben, az egyik az alacsony fordulatszám (500-600 fordulat/perc) és az hogy az azonos teljesítményhez nagyon méret és tömeg társul. Ezek a motorok szakaszos üzemre lettek tervezve, ami azt jelenti, hogy köztes állapotban, amikor a motor nem mozog, csak tartó áramot kapnak, ezzel is csökkentve a melegedés veszélyét. A NEMA17 motor felépítésénél az állórész lemezel és fogazott, a forgórész pedig állandó mágnesekkel szerelt. A forgórész fogaskerekein ötven fog található, ezekből négy darab, váltakozó polaritással helyezkedik el a forgási tengelyen egymás mellett. Emellett az állórésznél csak 48 fog helyezkedik el. Egy egész lépése 1.8 fok elfordulást jelent, ezért egy teljes kör megtételéhez 200 lépést kell megtennie. A motor legnagyobb tartónyomatéka 0.44 Nm, ezért a pontos elfordulás érdekében a nyomaték nem haladhatja meg ezt a számot, mert pontatlansághoz vezethet. Irányítását az A4988 driver segítségével fogjuk végezni.

- Dynamixel szervomotorok

A Dynamixel okos szervomotorokat a ROBOTIS gyártja, főként robotkar projektek meghajtására. Külső kialakításuk kompakt, kis méretűek és jól beépíthetőek. Okos szervoknak nevezik ezeket a motorokat, mivel digitális vezérlése kiterjeszkedi a sebességre, pozícióra és feszültség állításra is. Emellett képesek pozíció, sebesség, terhelés, hőmérséklet és bejövő feszültség visszajelzésre is. Továbbá ezeknek a motoroknak a bekötése nagyon egyszerű, ha több motort szeretnénk vezérelni, akkor nem szükséges egyenként visszakötni a

vezérlő panelhez, hanem az egyik motorból a másikba kötve az összeset tudjuk programozni. Programozásukhoz egy Dynamixel shieldet használtam, TTL csatlakozási pontjával. Anyagát tekintve műszaki műanyagból készült. Forgató nyomatékuk méretükhöz képest nagy, fordulatszámuk meglehetősen alacsony. A Niryo projekthez két darab XL-430 és két darab XL-320 motort használtam fel. Az XL-430 motorok nagyobb méretük és teljesítményük miatt a robot testének mozgásában kapnak szerepet, tömegük 57.2 g és maximálisan 1.5 Nm nyomatékra képesek. Az XL-320 motorok kis méretükből adódóan a megfogónál kapnak szerepet. Ugyan is a megfogó mozgásánál/hajtásánál figyelembe kellett vennem azt, hogy mekkora a rászertelt motorok tömege, hiszen a robotkar nem szabad a tömeg hatására összeroskadjon. Ezeknek a tömegük mindössze 16.7 g ebből kifolyólag nyomatékuk is sokkal kisebb, ami 0.39 Nm-re csökkent, viszont képesek 114 fordulat / percre, míg a 430-as maximálisan 61 fordulatra képes percenként.

4.2 Programozás

A robot programozása az Arduino környezetben történik. Két darab Arduino Megát használtam fel a motorok mozgatásához, mivel különböző shieldek vezérlik a léptető- és szervomotorokat. A motorok mozgatását egyenként bizonyos lépésszámmal lehet vezérelni, egyik vagy másik irányban. Miután mindkét típusú motort működésre tudtam bírni, a következő lépés az volt, hogy a két Arduino tudjon egymásnak jeleket küldeni, hogy egy mozgássorozatot véghez tudjon hajtani. Az adatok küldése a két vezérlés között úgynevezett serial communication-nel történik. Mindkét Arduino tud küldeni és fogadni jeleket, miután az adott mozgást elvégezte. Egy összetettebb mozgást lépésenként kellett leprogramozni, hogy az adott pozíciókat felvegye a robot, azután lehetett finomítani a mozdulatok folyamatosságán. Ezt a mozdulatsort szakdolgozatom védésénél prezentálni fogom.



26. ábra Arduino környezet

5. ÖSSZEFOGLALÓ

Amikor a szakdolgozatom témája körvonalazódott bennem, majd kiírásra is került, a céljaim meghatározásakor már tudtam azt, hogy ennek a munkának, amelyen dolgozom jelentős haszna lesz számomra, mind amellet, hogy ez az egyetemem hasznára is válik. Hiszen én ennek a robotnak a megépítésével, „életre keltésével” rengeteg további szakmai tapasztalatot szereztem az egyetemi évek alatt az oktatásban tanultak mellett. Megtapasztalhattam azt is a szakdolgozatom elkészítése során, hogyan zajlik le a mai ipari környezetek között is történő tervezési, összeépítési és programozási folyamat. Belelátta abba is, hogy ezek az egyes folyamati lépések mennyi előzetes kutatómunkát és háttértudást igényelnek, ugyanis amikor neki kezdtem a szakdolgozatomnak, még nem rendelkezttem azzal a megfelelő tudással, tapasztalatokkal, amely elegendő lett volna a szakdolgozatom elkészítéséhez, megírásához. Azonban a rengeteg kutatómunka és konzultáció olyan emberekkel, akiknek releváns tapasztalata van a téma kapcsán, elegendő szakismeretet és tudást biztosított számomra ahhoz, hogy el tudjam végezni mind a tervezése, mind pedig kivitelezési folyamatokat. Elsősorban az ilyen típusú és hasonló elven működő robotok szerkezeti felépítését, működését, illetve azok különböző munkafolyamatokban történő alkalmazását kellett mélyebben áttanulmányoznom ahhoz, hogy körvonalazódjon bennem, hogyan álljak neki a tervezésnek és a kivitelezésnek egyaránt. Ezek mellett szükségem volt még az oktatási kereteken belül megismert tervezőprogramokon kívül, más tervező programok használatára is (Solidworks, Creo) . A projektem sikerességét jelentette, hogy az általam elképzelt és megtervezett robotot sikerült felépíteni és olyan módon működésre bírni, ahogyan én azt a célt kitűzésekor szerettem volna. Összességében azt lehet elmondani, hogy az elkészült robot megfelel az előre felállított elvárásoknak és a továbbiakban segítséget nyújt majd az egyetem hallgatóinak az oktatásuk előrehaladásában.

6. SUMMARY

When the topic of my thesis was outlined in me and then it was published, I already knew when defining my goals that the work I was working on would be of significant benefit to me, in addition to the fact that it would also benefit my university. After all, by building and "bringing" this robot to life, I gained a lot of additional professional experience in addition to what I learned in education during my university years. During the preparation of my thesis, I was also able to experience how the planning, assembly and programming process takes place even in today's industrial environments. He also realized how much preliminary research work and background knowledge these individual process steps require, because when I started my thesis, I did not yet have the appropriate knowledge and experience that would have been sufficient to prepare and write my thesis. However, a lot of research work and consultations with people who have relevant experience on the subject provided me with enough expertise and knowledge to be able to carry out both the design and implementation processes. First of all, I had to study more deeply the structure and operation of robots of this type and those operating on a similar principle, as well as their application in different work processes, in order to get an idea of how to deal with both planning and implementation. In addition to these, I also needed to use other design programs (Solidworks, Creo) in addition to the design programs I learned within the educational framework. The success of my project meant that the robot I imagined and designed was built and operated in the way I wanted it to be when I set my goal. Overall, it can be said that the finished robot meets the pre-set expectations and will continue to provide assistance to the students of the university in the progress of their education.

7. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] C. Gorey, „Take a peek inside some of the world's largest automated factories,” Silicon Republic, 18 május 2018. [Online]. Available: <https://www.siliconrepublic.com/machines/automated-factories-video>. [Hozzáférés dátuma: 22 szeptember 2023].
- [2] Z. Szilágyi, „RobotLabor,” OE-AMK Robottechnikai Központ, [Online]. Available: <https://robotlabor.hu/rolunk/>. [Hozzáférés dátuma: 3 szeptember 2023].
- [3] Voron Design, „Voron Documentation,” [Online]. Available: <https://docs.vorondesign.com/>. [Hozzáférés dátuma: 23 szeptember 2023].
- [4] Niryo Team, „About Us,” [Online]. Available: <https://niryo.com/about-us/>. [Hozzáférés dátuma: 23 szeptember 2023].
- [5] A. Helmenstine, „What Is a Thermosetting Plastic? Definition and Examples,” Science Notes, 10 november 2020. [Online]. Available: <https://sciencenotes.org/what-is-a-thermosetting-plastic-definition-and-examples/>. [Hozzáférés dátuma: 25 szeptember 2023].
- [6] H. Dodiuk és S. H. Goodman, Handbook of Thermoset Plastics, Israel: Elsevier, 2014.
- [7] H. Simmons, P. Tuwary, E. J. Colwell és M. Kontopoulou, „Improvements in the crystallinity and mechanical properties of PLA by nucleation and annealing,” *Polymer Degradation and Stability*, %1. kötet166, pp. 248-257, 2019.
- [8] H. Tsuji és Y. Idaka, „Properties and morphologies of poly(l-lactide): 1. Annealing condition effects on properties and morphologies of poly(l-lactide),” *Polymer*, %1. kötet36, %1. szám14, pp. 2709-2716, 1995.
- [9] *What's the temperature resistance of annealed PLA, PETG and ABS?*. [Film]. CNC Kitchen, 2017.

- [10] Polymaker, „PolyLite PETG - Technical Data Sheet,” [Online]. Available: <https://polymaker.com/product/polylite-petg/>. [Hozzáférés dátuma: 27 szeptember 2023].
- [11] EOS, „How does additive manufacturing work?,” Eos GmbH, [Online]. Available: <https://www.eos.info/en/industrial-3d-printer/additive-manufacturing-how-it-works>. [Hozzáférés dátuma: 23 szeptember 2023].
- [12] F. B. Prinz, C. L. Atwood és R. F. Aubin, „JTEC/WTEC panel report on rapid prototyping in Europe and Japan. Volume 1: Analytical chapters,” Amerikai Egyesült Államok, 1997.
- [13] Efunda Engineering Fundamentals, „Rapid prototyping,” e-Funda Inc, [Online]. Available: https://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm. [Hozzáférés dátuma: 24 szeptember 2023].
- [14] G. Allaire, C. Dapogny, A. Faure és G. Michailidis, „Shape optimization of a layer by layer mechanical constraint for additive manufacturingShape optimization for a mechanical constraint associated with additive manufacturing processes,” *Matchematics Reports*, %1. kötet355, %1. szám6, pp. 699-717, 2017.
- [15] T. Rayna és L. Struikova, „From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation,” *Technological Forecasting and Social Change*, %1. kötet102, pp. 214-224, 2016.
- [16] ASTM International, „Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies,” West Conshohocken, 2012.
- [17] J. Subaciute-Žemaitiene, E. Šutinys, U. Samukaite-Bubniene és V. Bucinskas, „Advanced Applications of Industrial Robotics: New Trends andPossibilities,” *Applied Sciences*, %1. kötet135, %1. szám12, 2022.

- [18] FunCity, „Crazy Rush,” Funcity Kft., [Online]. Available: <https://funcity.hu/elmenyek/crazyrush>. [Hozzáférés dátuma: 30 szeptember 2023].
- [19] International Federation of Robotics, „Robot History,” IFR, [Online]. Available: <https://ifr.org/robot-history>. [Hozzáférés dátuma: 30 szeptember 2023].
- [20] R. Marquiss, „Five Types of Industrial Robots And How To Choose The Best Fit,” Industrial Media LLC, 15 március 2018. [Online]. Available: <https://www.manufacturing.net/operations/article/13196112/five-types-of-industrial-robots-and-how-to-choose-the-best-fit>. [Hozzáférés dátuma: 2 október 2023].
- [21] Open Robotics, „ROS - Robot Operating System,” [Online]. Available: <https://www.ros.org/>. [Hozzáférés dátuma: 10 október 2023].
- [22] Open Robotics, „Documentation for Active ROS Distributions,” [Online]. Available: <https://docs.ros.org/>. [Hozzáférés dátuma: 10 október 2023].
- [23] Niryo Team, „History,” [Online]. Available: <https://niryo.com/history/>. [Hozzáférés dátuma: 14 október 2023].
- [24] Niryo Team, „Niryo One, an accessible robot for makers powered by open source,” 15 december 2016. [Online]. Available: <https://niryo.com/niryo-one/niryo-one-an-accessible-robot-for-makers-powered-by-open-source/>. [Hozzáférés dátuma: 23 október 2023].
- [25] Niryo Team, „Niryo One and ROS (Robot Operating System),” 3 március 2017. [Online]. Available: <https://niryo.com/niryo-one/niryo-one-and-ros-robot-operating-system/>. [Hozzáférés dátuma: 24 október 2023].
- [26] Niryo Team, „Niryo One, soon on Kickstarter !,” 16 február 2017. [Online]. Available: <https://niryo.com/niryo-news/niryo-one-soon-on-kickstarter/>. [Hozzáférés dátuma: 24 október 2023].

- [27] Niryo Team, „Niryo One,” 8 október 2020. [Online]. Available: https://github.com/NiryoRobotics/niryo_one/tree/master. [Hozzáférés dátuma: 26 október 2023].
- [28] Niryo Team, „Assemble Niryo One,” 13 február 2018. [Online]. Available: <https://niryo.com/docs/niryo-one/assembly-guide/assemble-niryo-one/>. [Hozzáférés dátuma: 25 október 2023].
- [29] Niryo Team, „Update your robot,” 20 február 2018. [Online]. Available: <https://niryo.com/docs/niryo-one/update-your-robot/>. [Hozzáférés dátuma: 26 október 2023].
- [30] Niryo Team, „Evolution of Niryo One prototypes in 5 steps,” 21 november 2016. [Online]. Available: <https://niryo.com/niryo-news/evolution-of-niryo-one-prototypes-in-5-steps/>. [Hozzáférés dátuma: 11 november 2023].
- [31] L. dr. Hodossy, „Elektrotechnika II.,” Edutus Főiskola, Tatabánya, 2012.

8. ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra Hőre keményedő műanyag megkötése	5
2. ábra A hőre keményedő és lágyuló polimerek láncszerkezete	5
3. ábra Az FDM eljárás sematikus ábrázolása	10
4. ábra Bennszülött alkatrész gyártásának folyamata [11]	12
5. ábra A céltárgy rétegekre bontva [14]	13
6. ábra A Unimate robot [19].....	15
7. ábra Derékszögű robot [20]	16
8. ábra SCARA robot [20]	17
9. ábra Modern 6 tengelyes robot [20].....	18
10. ábra Különböző típusú Arduinok.....	19
11. ábra Niryo One prototípusok [24].....	20
12. ábra A Raspberry Pi tábla (bal oldalon), az Arduino(a jobb oldalon) [25]	21
13. ábra A robot vezérlésének szemantikája [26]	22
14. ábra A Niryo Robot Studio felülete [30]	23
15. ábra Két Arduino Mega Dynamixel shield (baloldal), RAMPS shield (jobboldal)..	24
16. ábra A 3D nyomtató profil választása.....	26
17. ábra Az első kinyomtatott alkatrész, az egyik motor tengelykapcsolójának háza	28
18. ábra A Niryo Robot részegységei	29
19. ábra A robot talpa	31
20. ábra Hibás nyomtatások.....	31
21. ábra Persely a tengelyekhez (kép teteje), takaró (jobb oldal)	32
22. ábra Főcsapágó helye.....	32
23. ábra Gyártott rugó.....	34
24. ábra Főcsapágó	34
25. ábra Az összeszerelt robotkar	35
26. ábra Arduino környezet	40