



SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI, INFORMATIKAI ÉS
VILLAMOSMÉRNÖKI KAR

SZAKDOLGOZAT

Palettázó robot tervezése

Jakab Sándor Kálmán
DFTETO

Gépészmérnöki BSc szak
Gápgyártástechnológiai szakirány
Titkosított

Belső konzulens:

Sarkadi-Nagy Balázs

Járműgyártási tanszék

Külső konzulens:

Nyakas Barnabás

ENGINEERINSTRUMENTS KFT.

Győr, 2020

Feladat-kiíró lap szakdolgozathoz

Hallgató adatai

Név: Jakab Sándor Kálmán

Neptun-kód: DFTETO

Szak: Gépészmérnöki BSc

Specializáció: Gépgyártástechnológia

Tagozat: Nappali

A szakdolgozat adatai

Kezdő tanév és félév: 2020/2021/1

Nyelv: Magyar

Típus: Titkos

Palettázó robot tervezése

Feladatok részletezése:

- 1) Robotprogramozás megismerése, biztonsági szabványok és kötelező előírások feldolgozása, robot szerkezeti egységeinek kutatása
- 2) Egy automatizált gépsorhoz a szükséges nyersanyag adagolás problémájának megoldása
- 3) Palettázó robot tervezése, szükséges költségek számítása, alkatrész beszerzések

Belső konzulens adatai

Név: Sarkadi-Nagy Balázs

Tanszék: Járműgyártási tanszék

Beosztás: Egyetemi tanársegéd

Külső konzulens adatai

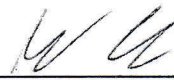
Név: Nyakas Barnabás

Munkahely: ENGINEERINSTRUMENTS Kft.

Beosztás: Gépész tervezőmérnök

Győr, 2020.07.10.


belső konzulens


külső konzulens


Járműgyártási Tanszék

Dr. Jósvai János tanszékvezető

ENGINEERINSTRUMENTS Kft.
H-9028, Győr, Örhely utca 8.
11737007-21366446
Közösségi adósz.: HU25371136

Nyilatkozat

Alulírott, Jakab Sándor Kálmán, gépészmérnök Bsc szakos hallgató kijelentem, hogy a Palettázó robot tervezése című szakdolgozat feladat kidolgozása a saját munkám, abban csak a megjelölt forrásokat, és a megjelölt mértékben használtam fel, az idézés szabályainak megfelelően, a hivatkozások pontos megjelölésével.

Eredményeim saját munkán, számításokon, kutatáson, valós méréseken alapulnak, és a legjobb tudásom szerint hitelesek.

2020.11.26.

dátum

Jakab Sándor Kálmán
hallgató aláírása

Kivonat

Palettázó robot tervezése

Ezen szakdolgozatban én, Jakab Sándor Kálmán, egy robotcella tervezését írom le, pontosabban egy általam készített zsákok pakolására alkalmas, palettázó robot tervét, részeit, és azok működésének elvét írom le részletesen. A robot egy általam látott/tapasztalt polimer színezék granulátumokat gyártó cég gyártóterületére képzeltem el, ahol zsákokba csomagolják a granulátumokat. A robot a csomagoló területen helyezkedne el, ahol a feltöltött zsákokat palettára helyezi. Ennek a robotnak a beszerelése nem csak idő és költséghatékony, hanem a dolgozók egészségügyi kockázatait is csökkenti. Céлом a szakdolgozattal, hogy bemutassam a modern ipari eszközökön keresztül a tervező mérnök által alkalmazott tudást, úgy mint a palettázó robot megfogóján keresztül a pneumatika henger működését, a robot csuklóin keresztül a gépek koordináta rendszereit, esetleg a megfogó karmok által a forgatónyomatékokat és más alapvető, a tervező mérnök számára elengedhetetlen ismeretanyagot. A szakdolgozatban katalógusokat, cégeket és termékeket mutatok be, melyek a szakdolgozat elkészítésekor, és a tervezés folyamán a legmegfelelőbbnek bizonyult az én szemszögemből.

Abstract

Design of a palletizing robot

In this thesis I, Sándor Kálmán Jakab, describe the design of a robot cell, to be more exact a palletizing robot, designed by me, which is capable of bag lifting and I also describe its parts and layout. I imagined the robot to work in a factory, which I saw/experienced, that produces colouring polymer granulates, where they packaging the granulates in bags. The robot would be placed at the packaging area, where it places filled bags on pallets. The setup of this robot not just money and time efficient, but also decreases the health risk of the workers. My goal with this thesis is to show through the modern industrial technologies the applied knowledge of a design engineer, for example through the gripper the operation of a pneumatic cylinder, through the wrists of the robot axis system of machines, through the gripperclaws torque and other basic, for a design engineer essential knowledge. In the thesis I mention catalogues, companies and products, which the time I write this thesis, were considered the most fitting from my perspective.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Irodalomkutatás	4
2.1. Robotika történet.....	4
2.2. Betekintés a fejlődési trendekre	7
3. Feladatleírás.....	15
4. A tervezés lépései	20
4.1. Gondolatmenet leírása	20
4.2. Robot.....	22
4.3. Megfogó.....	25
4.4. Szállítószalag	30
4.5. Érzékelők	32
4.6. Programozás.....	35
4.7. Palettázás és zsákok	37
4.8. Biztonsági szabványok és óvintézkedések	39
5. Összefoglalás.....	44
6. Irodalomjegyzék.....	46

1. Bevezetés

A technológiai fejlődésének köszönhetően az ember feladata a modernizált iparágaknál egyre kevésbé az egyszerű eszközök (kalapács, csavarhúzó) használata illetve saját kézi erejével való anyagmozgatás, mind inkább a kreatív gondolkodás (tervezői munka, innovatív megoldások kutatása) valamint az összetett informatikai és megmunkálógépek, -eszközök használata felé irányul. Ennek a tendenciának a kialakulásához nagyban hozzájárult a robotika, illetve a fejlett programozási technikák. Az olyan húzó iparágazatok, mint az infokommunikációs technológia, az autóipar és annak automatizálása, vagy épp a különböző kutatási és fejlesztési területek arra törekednek, hogy az egyszerű, azaz könnyen behatárolható és ismétlődő feladatok terheit az embertől mentesíthessék, hogy a képességeinek megfelelő feladatokat képes legyen ellátni. Erre ténylegesen legjobb, legszembetűnőbb példa a robotika.

Gépek, melyek programozás útján szinte végtelen lehetőségek tárházát nyitják meg előttünk. Pakoló robotok, megmunkáló robotok, szállítószalagok, ezek mind a monoton és megterhelő feladatokat képesek viszonylag állandó teljesítménnyel és pontossággal elvégezni. Természetesen ezek a robotok is egy idő után elhasználódnak, de ennek bekövetkezését képesek vagyunk előre megjósolni, vagyis tervezhetünk vele és kijavíthatjuk a bekövetkező hibákat, de még ha nem is tervezett hibáról beszélünk, a problémát az ember képességeinek köszönhetően kijavíthatóak, a gépek fejleszthetőek. Belátható, hogy a robotika rengeteg ipari területnek az alapköve már most és a későbbi fejlesztések csak még inkább függővé teszik őket a termelési ágazatokban.

Éppen ezért választottam szakdolgozatom témájaként egy robot tervezését. A pakoló robotok a legalapabb robotok közé tartoznak, ugyanis egyszerű és világos feladatuk van: áthelyezni egy elemet egy másik helyre. Ez a feladat ma már könnyen automatizálható, és megfelelően képes helyettesíteni embert egy olyan munkakör betöltésére, amely nem igényel szinte semmilyen szaktudást, vagy éppen hosszútávon nagyon veszélyes lehet a számára. A gyártósorok rugalmassá tétele illetve a technológia gyors fejlődése miatt a robotok beépítésére egy gyártósorban nincs egységes szabályozás, mivel a gyár sajátosságai nagyban befolyásolják a lehetőségeket. Természetesen elérhetőek robotok a kereskedelemben, illetve a beállításokra és felállításokra vannak szabályok, szabványok, ám egy robotcella felállításához elengedhetetlen a pontos helyismeret, a lehetőségek felmérése.

Szakdolgozatomban egy palettázó robot tervét fogom leírni egy valós gyártósoron alapuló rendszerbe beépítve. Céлом az volt ezzel a feladattal, hogy az alapvető mérnöki ismereteimet felhasználjam egy konkrét projekt elkészítéséhez. Tanulmányaim során rengeteg mérnök ember

adta át tudását, tapasztalatát arról, hogy milyen hosszadalmas és nehézkes egy ilyen projektfeladat elkészítése, dokumentációk megírása és általánosságban egy ilyen kaliberű feladat elvégzése. Mivel mérnökként elsősorban tervezési feladatokat kell ellátnom, úgy gondoltam, hogy előzetesen egy ilyen munka elvégzése jó gyakorlatot szerezhet a számomra.

Egy robotcella tervezése, mint projektfeladat nem önálló munka. Leggyakrabban egy erre szakosodott csoport végzi el ezt a feladatot, mivel azonban szakdolgozatomban csak konzulenseim tanácsaira támaszkodhattam, így leginkább koncepcionális szinten ragadtam meg a feladatot, de még így is rengeteg próbálkozás útján jutottam el a tervezési szakasz végére. A legnagyobb nehézséget a dolgozat készítésekor az okozta, hogy a különböző cégek, akik termékeiről érdeklődtem, nem adtak közé nyilvánosan is elérhető leírásokat, árakat, modelleket és szerelési útmutatókat. Sajnálatos módon csak hivatalos, céges megkeresés útján lehet esetleg ezekhez hozzáférni, de mint egyszerű mérnökhallgató, ebben sajnos korlátozva vagyok, mégis megpróbáltam felkutatni a számomra megfelelőbb elemeket eme projektfeladat elkészítéséhez, és talán segítséget tudok nyújtani olyanok számára, akik hasonlóan tervezői munkát akarnak folytatni, de nem tudják, hogy fogjanak hozzá. Tapasztalat szerzés és annak átadása céljából ez a feladat hasznosnak bizonyulhat hosszútávon.

A tervezési feladat során igyekeztem olyan eszközök és termékek használatára szorítkozni, melyek elérhetőek bárki számára. A feladatom elkészítéséhez az úgynevezett Fusion 360 nevű modellező szoftver alkalmaztam, mivel ez az egyik legmegbízhatóbb modellező program. Rendelkezik felhő alapú tárolóval, nagyon egyszerű felülettel, és ami a legfontosabb, diákként is elérhető, és nem szükséges többszázezer forintot licenszre költeni, hogyha használni akarjuk. és a robotcella elemeiről készült fotók mind innen származnak. A szükséges darabok modelljeit különböző internetes katalógusokról szereztem, mivel igyekeztem főképp kereskedelmi termékeket használni, azonban így is kellett egyedi alkatrészeket terveznem, melyek elkészítése azonban kiadható különböző megmunkáló műhelyek számára. A robot, annak irányítása és elkerítése az ABB robotgyártó cégtől származik, mivel az ő weboldalaikról tudtam a legtöbb információt megkapni, minden más terméket elszórta a megjelölt forrásokból szereztem be. Érzékelőket pedig az elektronikai szenzorokat gyártó SICK kft.-től szereztem be, mivel náluk volt elérhető könnyedén mind a CAD modellje az érzékelőknek, illetve használati utasítás, és beszerelési lehetőségeket.

Szakdolgozatomban először a robotika történetét fogom leírni, betekintést nyújtva, hogyan is jutottunk el idáig. A következő fejezetben a jelenleg elért fejlődési teljesítményeket mutatom be, szorítkozva a palettázásra, robotikára. Ezután egy rövid fejezet következik, melyben a problémát írom le részletesen, illetve az elkészült robotcelláról egy általános bemutatót. Az

ezután következő fejezetben részletesen kifejtem a robotcellám felépítését, működését, a tervezés fontosabb állomásait. Ki fogok térni mindegyik alkotóelemre, milyen fizikai törvények szerint működnek, illetve a programozásról is szót ejtek. A dolgozat végén pedig egy összefoglalót lehet olvasni, melyben leírom tapasztalataimat és a feladat készítésekor levont tanulságokat.

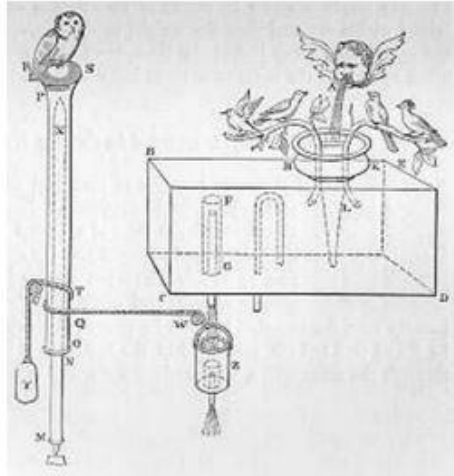
2. Irodalomkutatás

Ezen fejezetben rövid áttekintés szeretnék mutatni abban, hogyan jutott el a robotika a mai szintjére. Milyen állomásai voltak, hogyan voltunk képesek eljutni az egyszerű zenélő gépektől a kezdeti autóiipari robotokon át egészen a mesterséges intelligenciáig és az önálló okos gyárákig, vagy a kollaboratív robotokig, emberi mozgásokat leutánozni képes ipari robotokig. Ezután betekintést adok a mai legfejlettebb robotikai vívmányokra, programozásokra és megoldásokra, mivel a jövőben lehetséges, hogy ezek a technikák általánossá válhatnak az automatizált gyárakban.

2.1. Robotika történet

A robot szó szláv eredetű, jelentése: szolgamunka. A régi hűbéres rendszerben ezzel a megnevezéssel ellátott, szó szerint ingyen munkával fizették ki a földesuraknak tartozásaikat a parasztok. Gyakorlatilag fizetség és mindennemű ellenszolgáltatás nélkül, pusztán a földesúri adó kifizetése érdekében végezték ezt a tevékenységet. A robotoknál is tulajdonképpen ez a helyzet. Így láthatta Karel Čapek cseh író is, akinek 1920-ban készült híres drámája, a R. U. R. (Rossumoni univerzálni roboti), mely leírja, hogyan használják ki az emberek az önálló gondolkodásra képes gépeket (akkoriban leginkább android, vagy automata néven illették a bizonyos szintű önműködésre képes eszközöket), szolgai munkára kényszerítve őket. Ezen szó használatával illette az ilyen fémszerkezeteket, és ez a megnevezés vált elterjedté. [1]

Általánosságban elmondható, hogy robotnak nevezünk minden olyan szerkezetet, gépet, amely valamilyen utasítás vagy program alapján képes feladatot ellátni. Ilyen képességgel rendelkező gépen már az ókori görögök is gondolkoztak, példa erre Alexandriai Hérón énekes madár robotja (1. ábra), ám elképzeléseik megvalósítására várniuk kellett. A késő középkorban, kora újkorban számos ember próbálkozott automaták készítésével, mint a zenélő robotok középkori vásárokon, da Vincinek az önmozgó lovagja, vagy a bécsi Anker Óra. A későbbi századokban már sokkal szofisztikáltabb robotok készültek, mint például Jacquet-Droz automatája, az Író. [2, 3]



1. ábra Alexandriai Héron énekes madár robotjának elméleti rajza [2]

Másik tulajdonsága a robotnak, hogy egy ember által végzett egyszerű parancsokból álló feladatot képes ellátni. Unalmas, szakmai tudást nem igénylő, vagy fizikailag fárasztó, veszélyes feladatok ellátását ilyen gépek feladataul adták ki. Erre nem is lehet jobb példát adni, mint szakdolgozatom témája, a palettázó robot. Sean Gallagher és John R. Heberger az egészségügyi kockázatokat vizsgálta zsákpakolási munkálatoknál, miután felfigyeltek rá, milyen magas arányban fordultak elő hátsérülések és egyéb megerőltető feladatokból eredő sérülések az Egyesült Államok bányászati munkaterületein. Ellenőrzött körülmények között egy szállítószalagnál történő pakolási munkálatokat vizsgáltak, és kiderítették, hogy az egyszerű emelési munkálatok, ergonómiailag rosszul kialakított környezetben, akár 5000 Newton terhelést is erőltethetnek az ember gerincére. Az ilyen helyzet nem csak komoly egészségügyi kockázatot, de a cégek számára is teljesítményromlást is eredményez, mert a dolgozó lassabban tudja elvégezni munkáját. [4]

Ezek után belátható, hogy a gyárak fejlődésének egyik elengedhetetlen része volt a robotika bevezetése. Ennek kezdetét az 1950-es évektől tekintik, mikor egy Amerikában egy feltaláló, George Devol beadta „Programmed article transfer”, lefordítva Programozott tárgymozgatás nevű szabadalmát (2. ábra), majd Joseph Engelberger vállalkozóval 1954-ben társulva létrehozta az Unimation nevű ipari robotokat gyártó céget, majd rögtön a General Motors számára készített ipari robotokat. Sok mérnök és vállalkozó a robotok teljesítményét és lehetőségeit látva elhatározta, hogy létrehozza saját cégét és hasonló robotokat kezdett el gyártani autógyáraknak és más cégeknek, ezzel elindítva a robotika beépülését az iparba, gyakorlatilag egy robotforradalmat. [5]

June 13, 1961

G. C. DEVOL, JR
PROGRAMMED ARTICLE TRANSFER

2,988,237

Filed Dec. 10, 1954

3 Sheets-Sheet 1

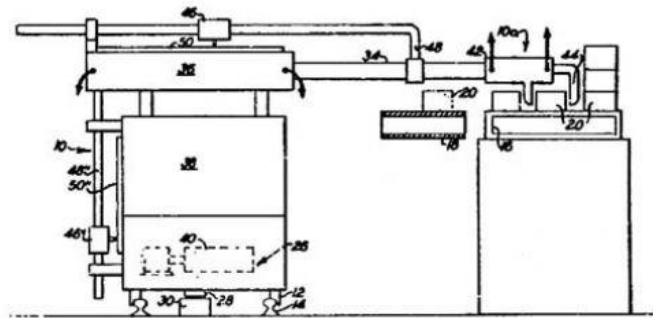


Fig. 1

2. ábra George Devol által tervezett, a világ első programozható robotja [6]

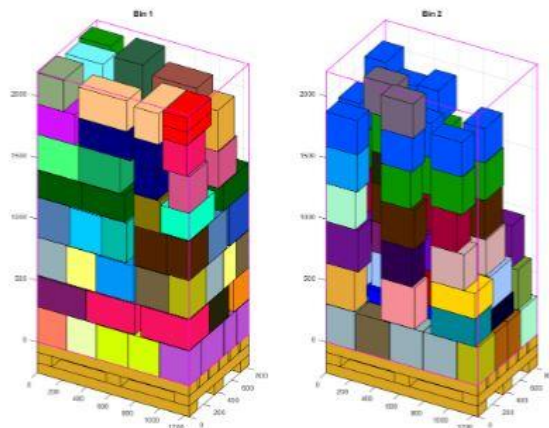
Innentől kezdve rövid korszakok következtek, melyek a robotikában elért mérföldkövektől számítottunk. A második korszak a 70-es években indult a PLC-k (Programmable Logic Computer) bevezetésével, melynek köszönhetően a robotok bonyolultabb feladatokat is képesek voltak ellátni, illetve a korábbi hidraulikus aktuátorokat felváltotta az elektronikus aktuátorok használata. Hátránynak számított viszont, hogy ekkor még nem voltak egységesítve a számítógépes rendszerek a robotoknál, így minden egyes robot saját egyedi programmal és szoftverrel rendelkezett, és csak a számukra egyszer kiadott feladatot voltak képesek elvégezni. A szakember hiány miatt pedig az újraprogramozás, a robot más feladatra való betanítása nem volt könnyen megoldható. Ebben a korszakban jöttek létre, váltak ismertté a ma legfontosabb robotgyártók, mint a PUMA, a KUKA, és az ABB (akkoriban ASEA). A harmadik korszak a 80-as évektől az ezredfordulóig volt, mikor már a robotok programozása sokkal egyszerűbbé vált, valamint képesek lettek a gyárak robotjaikat számítógépekhez kötni, a CAD programok fejlődésének köszönhetően, ezzel az off-line, azaz nem helyszíni programozás vált elérhetővé termékek gyártásakor. A negyedik korszak, melyben most is vagyunk, leginkább az összeköttetésről és a mesterséges intelligencia és szenzorok pontosságáról szól. Embernélküli gyárak, a tervezés és a késztermék közti idő lecsökkentése, akár pár nap alatt elkészülve. Folyamatosan új és új programokat, eszközöket és alkatrészeket gyártunk a robotok számára, hogy a lehető legpontosabban és leggyorsabban végezzék el a feladatokat, és itt gyakran nem csak egyszerű emelő és anyagmozgató feladatokról beszélünk, hanem megmunkálásokról, összeszerelésről, és talán a jövőben a mesterséges intelligencia fejlődésével akár kreatív megoldások felismeréséről és alkalmazásáról is beszélhetünk. [5]

2.2. Betekintés a fejlődési trendekre

A kutatási és fejlesztési ágazat folyamatosan azon dolgozik, hogy a bonyolultnak tűnő feladatokra megfelelő rendszereket építsenek ki, mely megkönnyíti a problémák megoldását. Másik igen fontos feladat a megkönnyítése ezen bonyolult feladatok automatizálása programozással, találmányokkal, innovatív megoldásokkal, vagy szimplán egy újfajta megközelítést adni. Annak érdekében, hogy feladatom relevánsnak lehessen mondani a mai ipari körülmények között, fejlődésre alkalmasnak kell mutatkoznom, azaz nyitottnak kell lennem az új dolgokra. Éppen ezért ebben a fejezetben bemutatom a különböző újításokat, technológiai fejlődéseket, melyek az utóbbi pár évben jelentek meg, melyek lehetséges, hogy hamar hétköznapi dolgokká válhatnak.

Az egyik legnagyobb probléma egy szállító, csomagoló, pakoló munkálatban, tehát általánosan beszélve a nagy beszállító és raktározó cégeknél, hogy megtaláljuk a megoldást arra, hogy a legtöbb terméket a legkisebb területen biztonságosan elhelyezzük. Zsákok pakolásánál sem mindegy, hogy milyen helyzetben helyezzük le, különösen azért, mert a rosszul elosztott súly a rakomány eldőléséhez vezethet. Ez megelőzhető helyszíni szemlével, meg mérésekkel, de ez időigényes, és a megoldásra gyakran csak többszöri próbálkozás után tudunk rájönni

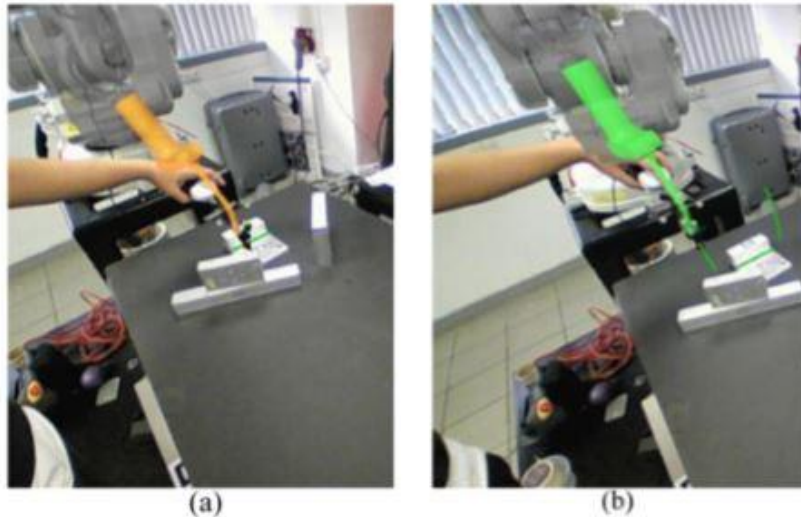
Fatma Gzara és társai erre a megoldásra találtak megoldást. Egy olyan algoritmus kifejlesztésével, mely képes betáplált térfogatú, sűrűségű és tömegű termékek, akár nem hagyományosan téglalap alakú termékek, vagy esetleg randomizált tulajdonságú termékek elhelyezésére egy adott területen. Az algoritmus figyelembe veszi a termékek sűrűségét, teherbírását, méreteit, valamint, és ami a legfontosabb és újítás a területen, a gyakorlati problémákat, minthogy a palettára felhelyezett súlyok egyensúlyban tartása, a termékek forgathatóságának limitáltságát, vagy épp azok törékenységet. Az algoritmus úgy működik, képes váltogatni a kötelező 4 sarkos támaszt és a legalább 70%-os támaszt a rétegeknél, és a maradék helyeken helyezi el az elférő termékeket, figyelembe véve azok teherbírását. További előnye, hogy az algoritmus még a termékek zsugorodását is figyelembe veszi rakodás során. Ennek köszönhetően egy olyan algoritmust kapunk, mely a korábbi, gyakorlati problémákat figyelembe nem vevő algoritmusokat képes lecserélni. Bizonyíték erre az általuk készített szimulációs modellek, melyek valós és generált adatokkal dolgozva 8%-os stabilitást értek el, és 80%-a termékeknek stabil helyzetben van. Egy mintapéldát a szimulációra az alábbi képen lehet látni (3. ábra). [7]



3. ábra Palettákön való termék elrendezés az algoritmus által készítve (190 darab esetén) [7]

Belátható, hogy ilyen növekedés az áruk palettára helyezésénél nem elhanyagolható a nagy cégek számára, mert így sokkal magasabbra tudják építeni a palettára helyezett árukat, és maximálisan ki tudják használni az elérhető helyeket. [7]

Algoritmusok után kötelező megemlítenem a programozásban és robotikában elért fejlődéseket. A robotok programozására ma már olyan szinten felfejlődött, hogy már túl vagyunk az egyszerű programsorok írásán, és mamár virtuális környezetben, rendkívül szofisztikáltan tudunk a robotnak utasításokat adni. Erre példa lehet kibővített valóságban (augmented reality, AR) való robotprogramozás. Ennek a lényege, hogy a robotnak a modellje olyan virtuális környezetben helyezkedik el, mely leképezi a valóságban a robot által érzékelt területet, kvázi egy virtuális gyárat kell elképzelni, amin belül a robotot képesek vagyunk programozni, irányítani. Vannak próbálkozások ilyen rendszerek kiépítésére, pusztán mert rendkívül megkönnyíti az átállítást a robotnak és a termelést sem kell leállítani. A kiterjesztett valóság áthidalja a valóság, ember és robot közti utat és képesek leszünk a robotokat könnyebben betanítani új feladatokra. egy ilyen alkalmazás látható az alábbi ábrán (4. ábra). [8]



4. ábra Robot hegesztésre való betanítása, az (a) résznél a hegeszteni kívánt felület kiválasztása, a (b) résznél az útvonal betanítása. [8]

A digitális leképezése és azon keresztül való irányítása, felügyelete nem egyedi ötlet, ugyanis ennek a rendszernek a gyerekcipőben járó társa a digitális ikrek (digital twin). A digitális ikrek eredete Michael Grieves-től, PLM, azaz Product Lifecycle Management (termék életciklus menedzsment) úttörőjétől származik, aki egy olyan szemléletet adott a gyártási folyamatokba az informatikai eszközök adta lehetőségekkel, hogy képesek legyünk a egy termék gyártási folyamatának minden egyes pontjának a megfigyelését. Számára a tökéletes PLM egy olyan rendszer, ahol valós időben tudjuk követni az informatikai eszközök által a termelést, és azon keresztül akár irányítani is és ebből jött létre a digitális ikrek fogalma. A digitális iker a kiterjesztett valósághoz hasonlóan leképezi a robotot, és egy távoli számítógépre, szerverre küldi az adatokat. Előnye, hogy az összegyűjtött adatok és modellezés által a teljes gyárnak a leképezése lehetségessé válik, és így maga termelés is. Például ha CNC gépnek készítjük el a digitális ikrét és tevékenységét távoli számítógépről tudjuk figyelni, akkor azt is ellenőrizhetjük, mekkora sebességgel forog a fűrő, mennyire elhasznált a forgácsoló lapka, milyen hőmérsékletű lesz a munkadarab megmunkálás során, és a helyzetnek megfelelően tudunk reagálni, szerszámot, alkatrészt cserélni.. [9]

Erre már vannak próbálkozások, Talkhestani és Weyrich egy olyan kis méretű gyártósort épített, ahol 4 lemezlapból egy kisautót hegesztett össze a hegesztő robot, majd egy szállítóeszközre az úgynevezett iWarehouse-ra, egy kis guruló asztalra helyezi őket. Az iWarehouse saját PLC és önvezető programmal rendelkezik. Az egész rendszer érzékelők sokaságából áll össze, és a cél az volt, hogy egy olyan robot által felügyelt és ütemezett gyártósort készítsenek, mely rugalmasan lehet változtatni, nem szükséges minden egyes alkatrész (hegesztő robot, termék szállító, termék tároló) újraprogramozására, hanem a

leképzett CAD modellek és a hozzájuk írt programok segítségével, felhasználva a robotok folyamatos követését, lehetséges legyen távolról, minél kevesebb idővel átállítani őket. Ennek köszönhetően a kis termelési egységnél az újrakalibrálási, beállítási, és átállási időt együtt képesek voltak 50%-kal csökkenteni, ami minden rugalmasan működő gyár álma lenne. [10]

A tökéletesen megpakolt paletta, és rugalmasan működő, dinamikusan alkalmazkodó robot még kevés ahhoz, hogy egy gyár tökéletesen működjön, ugyanis az anyagáramlásra is megfelelően ügyelni kell. A termelés halála az állás, vagyis ha bármilyen gép huzamosabb ideig kihasználatlan marad. A megfelelő szállítószalag rendszerrel ez könnyedén elérhető. A szállítószalagoknál gyakran nem a tervezés és kiépítés a probléma. Gondoljunk csak az Amazon szállítmányozó, kereskedelmi cégre, melynek több országban van központja, hatalmas gyárterületeken kilométernyi hosszú szállítószalagok vannak kiépítve. Megépíteni ezeket, szabályozni őket lehetséges, és egyirányú vezetésük, egyértelmű kiépítésük segíti az ilyen bonyolult rendszerek kiépítését. A problémát azonban az esetleges tönkremenetel okozhatja. Mivel nagy területről van szó, szinte lehetetlen mindegyik szállítószalagról megállapítani, melyik szorul javításra, csapágy vagy szalagcsere, javításra. Csak mikor a baj történik meg, akkor tudunk reagálni, ami kieséshez vezethet. Erre adhat megoldást a szállítószalagok ellenőrzésére szolgáló hang alapú hiba diagnosztika. Néhány kínai egyetemi kutató olyan ötlettel állt elő, hogy a szállítószalagok dobjainak forgásának a hangja alapján képesek legyünk megmondani, mikor kezd el elhasználdni az adott dob. Kísérletük tárgya egy bánya területén használt szállítószalag, mely több kilométeres távolságból szállítja a több száz kilogrammos ásványokat. Belátható, hogy ebben a helyzetben egy hibás szállítószalag akár életveszélyes is lehet. A kutatók hang és videóanyagok készítésére alkalmas érzékelőket helyeztek el az egyes dobok mentén, és több ezernyi mintát vettek a szállítószalagról. Kimutatták, hogy a hibás szállítószalag dob sokkal hangosabban és gyakrabban ad ki hangjelzést, és a szűrő algoritmusok segítségével 98%-os arányban képesek voltak kiszűrni a meghibásodott szállítószalag alkatrészeket. [11]

Látható, hogy a megfelelően kiépített szenzorokkal milyen hasznos dolgokat lehet elérni. Ezeknek a szenzoroknak azonban van hátrányuk. Csak bizonyos dolgokat képesek figyelni érzékelni, pontosan behatárolt hatóköreik vannak, így ha bármilyen váratlan esemény következik, ha súlyos, lehet nem szólal meg, ha meg jelentéktelen, akkor folyamatosan jelez. Nem is beszélve arról, hogy az összeszerelési soroknál továbbra is emberi munkára van szükség, mivel az alkatrészeket gyakran összekeverve gyártják, vagy küldik tovább a szerelő állomásokra. A robotokra lehetne ilyen feladatot bízni, azonban ehhez új típusú érzékelőkre van szükség, fejlett algoritmusokra. A mindennapos ipar megelégszik az egyszerű jelzést adó egy

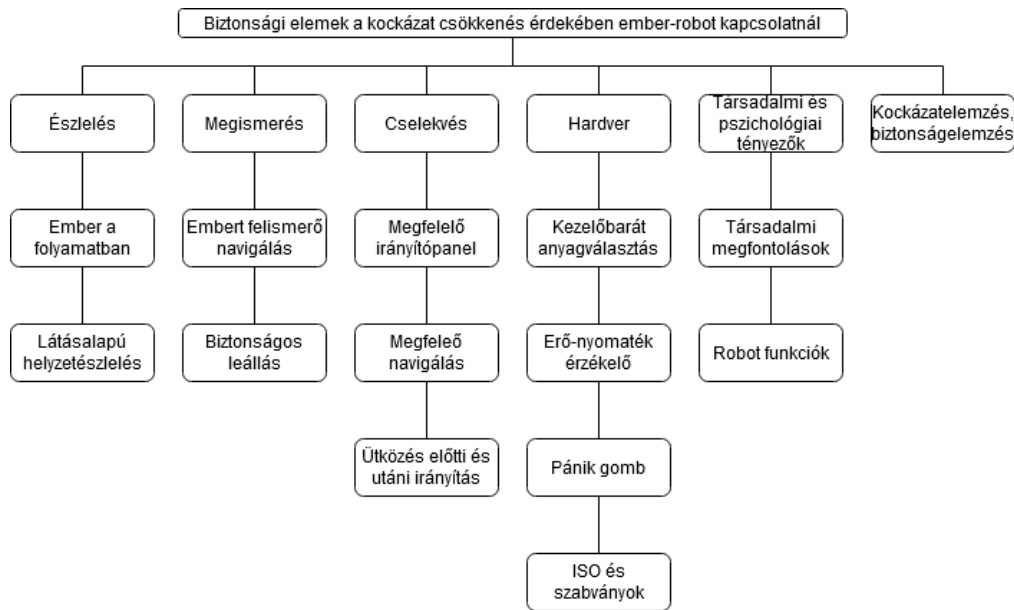
tulajdonságot megfigyelő rendszerekkel, ám a korábban említett digitális ikrek, a kiterjesztett valóságok és más programozási és virtuális eszközök arra ösztönzik a gyárt tulajdonosokat, hogy a gyártósorokat minél rugalmasabbá tegyék, és a gépeket beállítsák, hogy minél hamarabb reagáljanak a megváltozott körülményekre. Az érzékelők fejlődési iránya azt mutatja, hogy mármár nem az a lényeges, hogy képes-e időben jelezni a probléma megjelenését, hanem a folyamatos megfigyelés által az adatok felhasználásával képes lenne előre megjósolni, hogy mikor és hogyan fog bekövetkezni a probléma és erre már vannak komoly kutatások. [12]

A másik nagyon fontos kérdés hogy az iparban nagy haszna lenne olyan szenzorok kiépítésére, melyek nem igénylik a kábelezt, vagy az állandó áram felhasználást. Az ezen eszközök által okozott korlátozások nagyban megnehezítik a tervezési munkákat. Azonban kutatások már elkezdődtek vezeték nélküli szenzor rendszer kiépítésére. Ennek a rendszernek a lényege, hogy korlátozottan tud a működéséhez szükséges energiához hozzájutni, vagy azzal, hogy a környezetéből veszi fel (rezgés, hő, más elektromos rendszerek által sugárzott hullámok, vezeték nélküli töltés), az energiát vagy esetleg más érzékelők áramellátástól kölcsönözni a működéshez szükséges energiát. Egy ilyen kiépítése azért is jó, mert egyes érzékelőknél nem szükséges az állandó megfigyelés, mert csak bizonyos területet kell vizsgálni minimális ideig, és amennyiben ez az idő a gyártástól függ, alkalmazkodni is tudnia kell hozzá. [12, 13]

Amennyiben nem tudunk sem a fejlett érzékelőkre, modellekre, algoritmusokra hagyatkozni, úgy marad az ember és robot összhangban való dolgozása, azaz a kollaboratív robotok. Kollaboratív robotnak nevezünk minden olyan robotot, mely az ember munkájában (összeszerelés, mérés) segítőkezet ad, vagy épp maguk el tudják végezni, csak előzetes pozicionálást igényelnek. A cégek, gyárak már kezdenek felfejlődni a kollaboratív robotok irányába, főleg az autóipar, ám használatuk sokszor okoz biztonságtechnikai aggodalmakat. Mi van, ha a robot túl nagy sebességgel és erővel mozog, mi van ha olyan esemény következik be, melyhez gyors reakció szükséges különben baj lesz, és a ember meg tudná akadályozni, de a robot az útját állja? Angeliki Zacharaki és társai összegyűjtötték az elmúlt 10 évben elvégzett kutatásokat, melyeknek célja a robot-ember együttműködést biztonságosabbá tétel. Az általuk összegyűjtött irodalom 6 fő kategóriába sorolja a biztonságtechnikai lehetőségek kiterjesztését. [14]

Az első kategória a gépi észlelésen alapul, vagyis hogy a robot felismeri, ha ember van a közelébe. Két típust lehet megkülönböztetni, amikor az ember is benne van a gyártási folyamatba és annak mozgását figyelve végzi a folyamatokat, vagy a másik, amikor munka közben folyamatosan figyeli a körülötte lévő teret és emberi jelenlétre reagál. A második kategória egyik ága a gépi érzékelésen alapul, vagyis betáplálni a szenzorba, hogy képes legyen

az ember mozgását megkülönböztetni más tárgyaktól. Ezzel elérhető, hogy a robot az emberi mozgással harmóniában legyen képes mozogni, például egy pakoló robot lelassul ha ember közeledik felé, vagy épp kézjelek felismerésére képes, ezáltal nagyobb összhangban képesek együtt dolgozni. A másik ága ennek a kutatásnak az, mikor a robotot úgy tervezzük, hogy a veszélyes helyzeteket képes legyen felismerni, és alkalmazkodva azokhoz fogja változtatni a rá bízott feladatok elvégzését. A harmadik kategória a robot cselekvőképességének korlátozására összpontosít, leginkább önirányítás és önnavigálás szempontjából. Itt arra kell gondolni, hogy a robotnak csak olyan feladatokat adunk, olyan erőt képes használni, melyre az ember is képes, például tárgyak megfogása, vagy akadályok kikerülése. A negyedik kategória az általánosabb biztonságtechnikai tervezés. Ebbe a kategóriába tartozik a szabványok betartása, a vészleállító vagy pánik gombok használata, vagy épp egyszerű erő és forgatónyomaték érzékelők, melyek lekapcsolják a gépet, ha feladatuk elvégzésénél nagyobb energiát kell felhasználniuk a mozgáshoz. Az ötödik kategória a viselkedés pszichológiával foglalkozik, azaz az emberek mennyire érzik magukat biztonságban robot közelében, milyen beállítások szükségesek ahhoz, hogy az ember magabiztosan közeledjen a robothoz. Az ide tartozó kutatások rámutattak, hogy az ember-robot kapcsolat hasonló viselkedési formát mutat a különböző országokban az egyszerű ember-ember kapcsolatoknál. Ahogy megfigyelhető, hogy a déli országoknál az emberek sokkal közelebb állnak egymáshoz és barátságban érintkeznek egymással, még idegenekkel is, addig az északiak inkább távolságtartók és óvatosabbak. Ugyanezt tudták kimutatni a kollaboratív robot esetén is más országok gyáraiban. A másik terület ami ezen belül foglalkoztatja a kutatókat az robot olyan szerkezetű felépítése, hogy az ember kevésbé legyen ideges a robot közelében. Lehet ez valamilyen felfestés, arc vagy fejforma mimikálása. Az utolsó kategóriába pedig a kockázatelemzések tartoznak, különböző elemzési metódusok felhasználásával megismerni, milyen akadályai vannak az együttműködésnek, ám ide nem lehetett elegendő forrást találni. Az előbb elmondottakról az alsó ábra (5. ábra) ad összefoglalást. [14]



5. ábra A kollaboratív robotokra kiterjesztett biztonságtechnikai lehetőségek és irányelvek összefoglalása [14]

A utolsó terület, melyet fontosnak tartok leírni a robottechnikán belül, mely érinti szakdolgozatom témáját, az a megfogók, pontosabban azok jelenleg legfejlettebb formái. Az ipar jelenleg arra van berendezkedve, hogy megfogóikat pontosan meghatározott alakú és méretű elemek megfogására alkalmazzák, ám a rugalmas gyártósorok számára az esetleges új megfogó beszerelése időigényes, nem is beszélve azok újrakalibrálásáról. Éppen ezért a kutatók abba az irányba haladnak, hogy emberi kéz leutánzó megfogókat alkalmazzanak, melyek képesek szabályozni saját erejüket attól függően, mit akarnak megfogni. Ezeket a kutatásokat leginkább a mezőgazdaságban tesztelik és alkalmazzák, ahol a különböző gyümölcsök és zöldségek állaga rendkívül eltérő és kiváló alapot nyújt hasonló érzékenységű ipari elemek megfogásához, beszereléséhez. A megfogásnak a típusait a megközelítés módja által a következő típusokba lehet beosztani. A kapcsoló típusú megközelítés, amikor a megfogás folyamata addig megy, amíg a megfogó egy bizonyos helyzetet el nem ér (legáltalánosabban használt). A tapintás alapú megfogók, melyek úgy épülnek fel, hogy valamilyen hullám alapú (ultrahang, fény). Elektromosság alapú (vezetés/ellenállás); más mechanikai tulajdonságokon alapuló érzékelő (erő, rezgés, nyomás). Végül a megfigyeléseken alapuló megfogás (mérések, kamerás érzékelés). Számos megközelítése van a megfogó kialakításának, ám a fejlődési irány azt mutatja, hogy a megfogók a jövőben akkor lehetnek a leghatékonyabban, ha képesek a megfogandó elem alakjához igazodni, illetve fejlett tapintó érzékelőkkel rendelkeznek, valamint képes alkalmazkodni a megváltozott körülményekre, esetlegesen mesterséges intelligenciát lehet alkalmazni. [15]

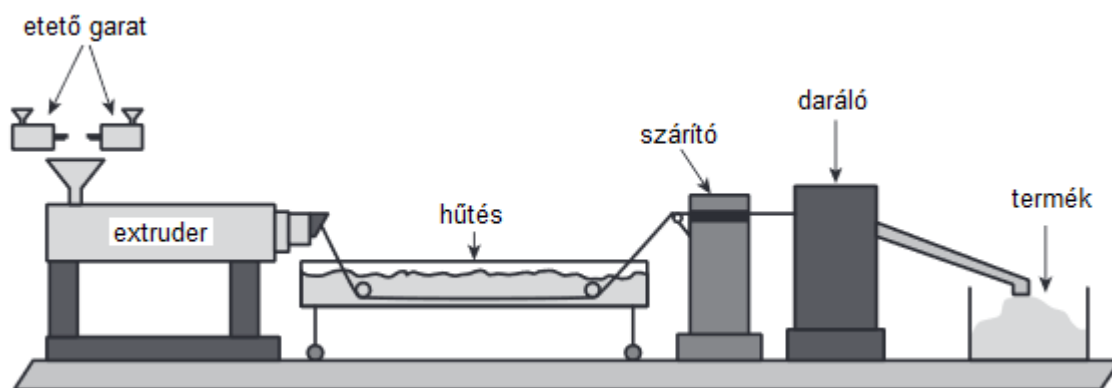
Mindezen felsorolt fejlődési és kutatási trendek arra mutatnak rá, hogy a termelési

ágazatoknak a rugalmasság és az összekapcsolódás a cél. A robotikának és a fejlett információs technológiai eszközöknek köszönhetően ez a cél egyre közelebb kerül. A gyártási folyamatok a termelési módszerek egyre gyorsabban változnak és mérnökként ezeket a változásokat figyelembe kell venni, hogy a leghatékonyabb és legtudatosabb gyártási modellt tudjuk létrehozni.

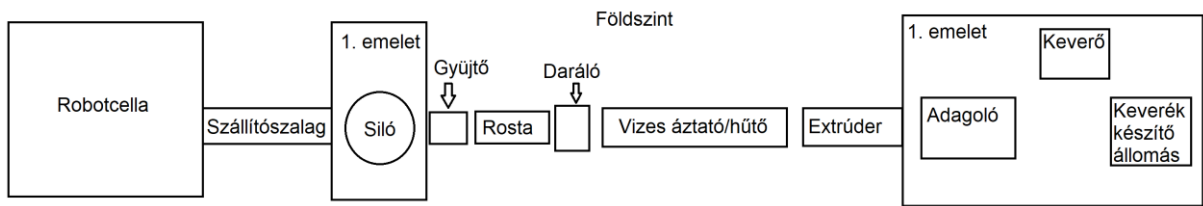
3. Feladateleírás

Szakdolgozatomban egy viszonylag egyszerű, ám többretegű tervezői feladatot szeretnék leírni. Adott egy polimer granulátumokat gyártó üzem. A polimer granulátumok különböző színben illetve különböző mennyiségben rendelhetőek. Lehet aranszínűt 100-150 kilogramm mennyiségben, vagy sokkal nagyobb, akár több tonnányi fehér színű granulátumot rendelni. A cég a vevő igényeihez viszonyul. Mivel a megrendelni kívánt mennyiségek és színek különbözőek, így a cégnek külön kell ezeket a megrendeléseket csomagolni.

A gyártási folyamat úgy történik, hogy az emeleti szinten a megfelelő szín és állag elkészítéséhez hatalmas hordókban összekeverik az alapanyagokat, majd leküldik a földszinti extrúderbe, vezetékeken keresztül. Az extrúder felmelegíti, összepréseli, forró folyékony keverékké alakítja a port. A keverék kijön a lyukacsos szerszámon, szálakká alakul. Ezeket a szálakat átvezetik egy hűtő folyadékban, legtöbbször vízben, hogy megfelelő hőmérsékletre lehűljön. Ezután a darálóba vezetik a szálakat, melyeket apró granulátumokká aprít a gép. A darabolóból egy rostára vezetődnek a darabok, mely állandó rezegtető, rostáló mozgást végez, ezzel kiszűrve a túl nagy darabokat, melyeket visszaküldenek az extrúderbe, illetve a hűtőfolyadék lerázását is ezzel a módszerrel oldják meg. A megfelelő méretűre darabolt granulátumokat silóba felszívják, mely adagolóként fog szolgálni. A dolgozó ezután egy üres zsákot, pontosabban annak nyitott száját a silóból kivezető fémcsőbe vezeti. A zsák alatt közvetlenül mérleg helyezkedik el, és a nyitó szerkezet segítségével megfelelő mennyiséget, azaz maximum 25 kg-ot, tud a dolgozó a zsákban elhelyezni. Ezután márcsak fel kell helyezni a palettára a kész zsákokat, majd villás emelőgéppel lehet a csomagoló részleghez vinni. Az alábbi képeken az extrúziós technológia ábrája látható (6. ábra), valamint az általam elképzelt gyárnak a layout-ja (7. ábra).



6. ábra Műanyag granulátum gyártása [16]



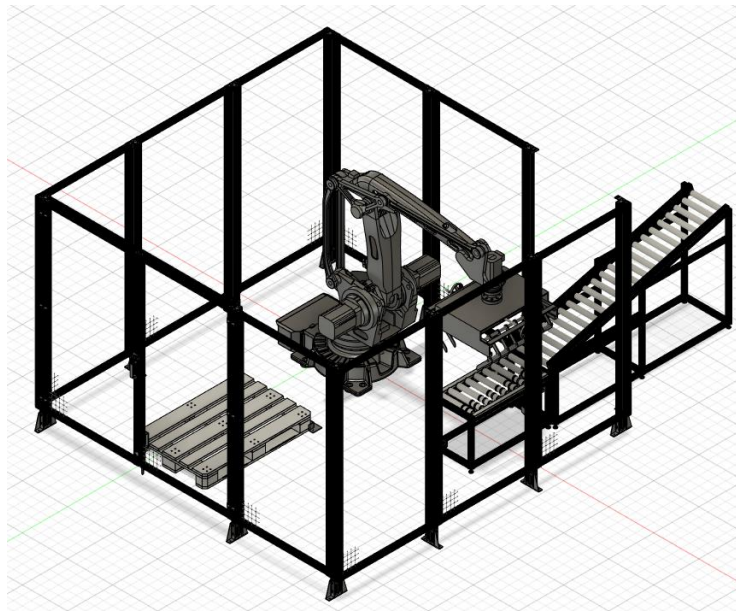
7. ábra Általam elképzelt gyárterület layout-ja

Ezen munkámban úgy döntöttem, hogy ennek majdnem teljesen a valósághoz hű gyártó részlegnek a palettázó részét automatizálom. Vagyis a zsák lezárása után futószalagra lehetne helyezni azt, majd egy pozíció elérésekor egy palettázó robot megfogja és rápakolja egy palettára a zsákokat. A zsák feltöltését nem tartom érdemes automatizálni, mivel ez az utolsó lehetőség arra, hogy a munkás leellenőrizze a terméket, hogy megfelelő színű és állapotú-e. Tapasztalatok alapján pedig a siló nem megfelelő tisztításakor előfordul, tehát egyedül ember által keletkező és érzékelhető hiba esetén, hogy új termék csomagolásának kezdetekor a korábbi termék belekeveredik. Valamint amennyiben nem pontosan 25 kg-ot kell tölteni az utolsó zsákba, hanem elég mondjuk csak tízet, azt automatizálni eléggé nehéz.

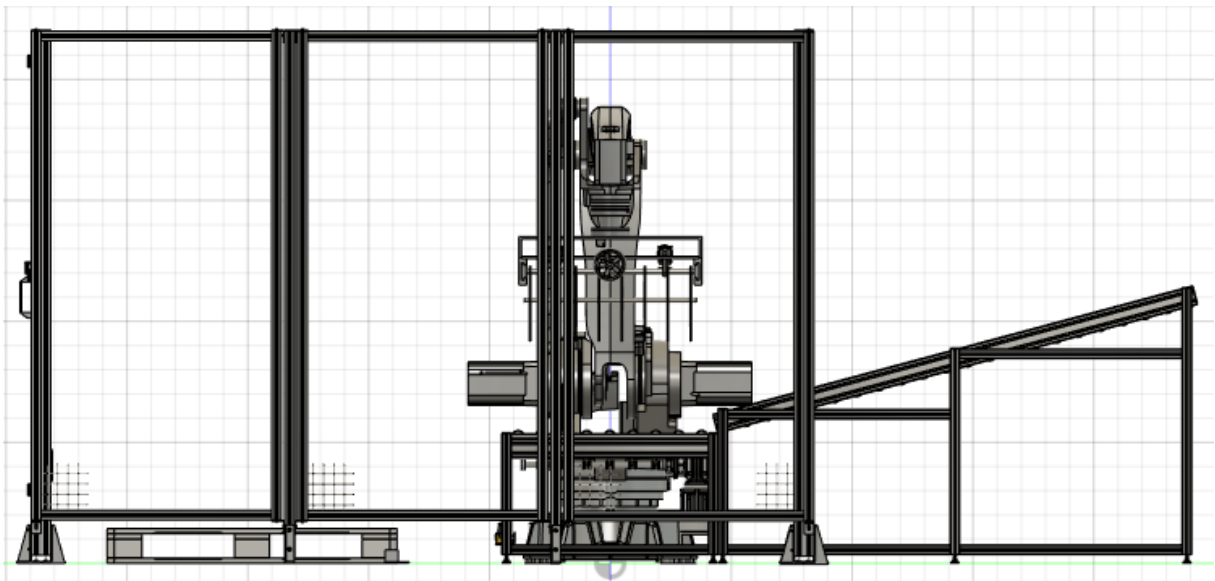
Miért csak pont ezt a részt automatizáljuk akkor? 25 kg-os zsákok pakolása megerőltető feladat minden ember számára, és hogyha ezt huzamosabb ideig csinálja, az egészségügyi problémákhoz vezethet. Granulátumok ellenőrzésére és csomagolására jelenlegi ipari technológia nem képes elég gyorsan és hatékonyan reagálni, így ez a munka továbbra is az ember feladata. Viszont egy ilyen állomás kiépítésével a gépkezelő és a csomagolást végző dolgozó munkája is sokkal könnyebb lesz. Továbbá azért is előnyös ennek a rendszernek a kiépítése, mert képes kiváltani egy ember munkáját. Gyakran előfordul, hogy amíg a gyártás folyik, a csomagolónak nincs feladata, így kihasználatlan marad. Miután a gyártás befejeződik, az extrúder kezelője fogja pihenőre, mivel ki kell tisztítani az extrúder csigákat, mikor új színt kell keverni, és ehhez elsősorban meg kell várni, míg az összes anyag teljesen kifolyik, illetve a gép megfelelően lehül, hogy a tisztítás lehetséges legyen. Általában ilyenkor segít a csomagolónak, ugyanakkor ez alatt a darálót is lehetne tisztítani, a rostákat, a selejtes szálakat, és így tovább, ami időt vesz el mindenkitől. Azonban ha ezt a robotcellát kiépítjük, úgy akár egy ember is képes az egész csomagolás és extrúder kezelés elvégezni.

Hogyan épülne fel egy ilyen robotcella? A korábban említett futószalagra a lerakott zsákot a szalag egy másik rövidebb szalagra helyezi, majd a megfogóra szerelt érzékelő jelzést küld a robotnak, hogy zsák került a helyére. Azért használok görgős szállítószalagot, hogy a megfogó karmai megfelelően képesek legyenek alá nyúlni a zsáknak. A robotba előzetesen be lesz táplálva, hogy hány zsákot kell pakolnia. Ez azért fontos, mert hogyha kevesebb zsákot kell rakni a paletta utolsó sorára, minthogy a robot az utolsó sor mintáját teljesen kitöltené, akkor

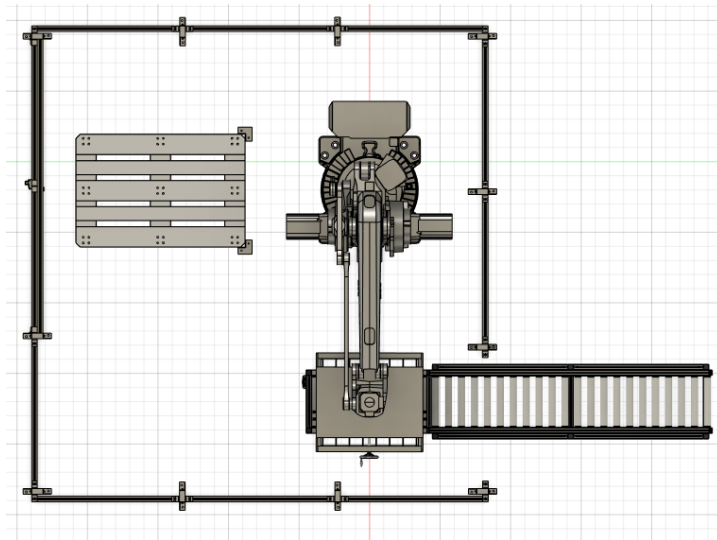
véletlenül se folytassa azt a mintát, hogy az elején összedőljön a felépített új paletterakás. Ezt a gépkezelő egyszerűen kiszámolja, vagy ha a megrendelő lap nála van, akkor abból leolvassa a kért zsák mennyiséget. A megrendelő lap előírás szerint egy termék elkészítésekor mindig minden gépkezelőnél (keverékkészítő, extrúder kezelő, csomagoló személy) van. Miután a zsákot megfogta a megfogó, felemeli, majd 90 fok környéki forgást végez, végül megfelelő távolságra leengedi és lerakja a programsor szerinti mintával megegyezően. A következő képeken (8-13. ábra) a cella már véglegesített modelljét lehet látni, hogy jobb áttekintést adhassak a feladatomra.



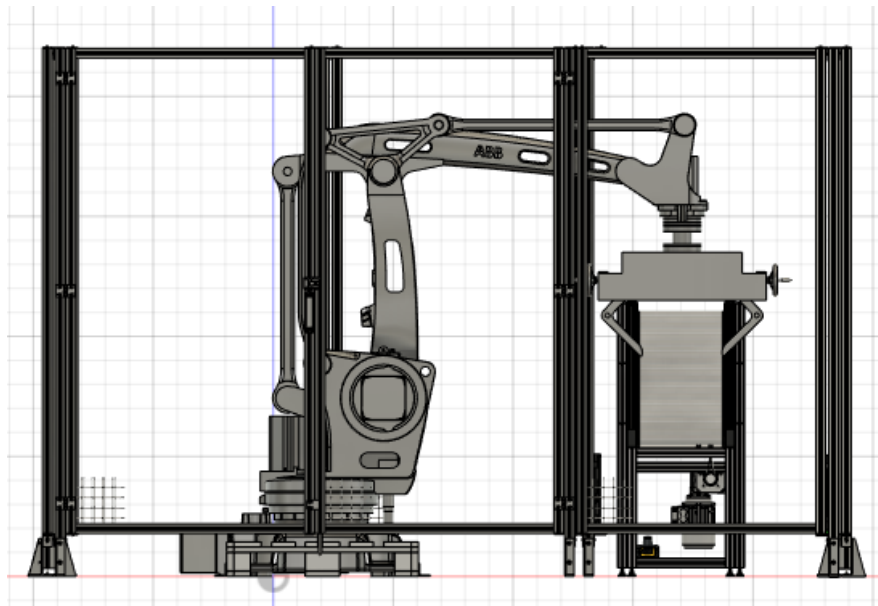
8. ábra Robotcella 3D modellje Fusion 360-ban



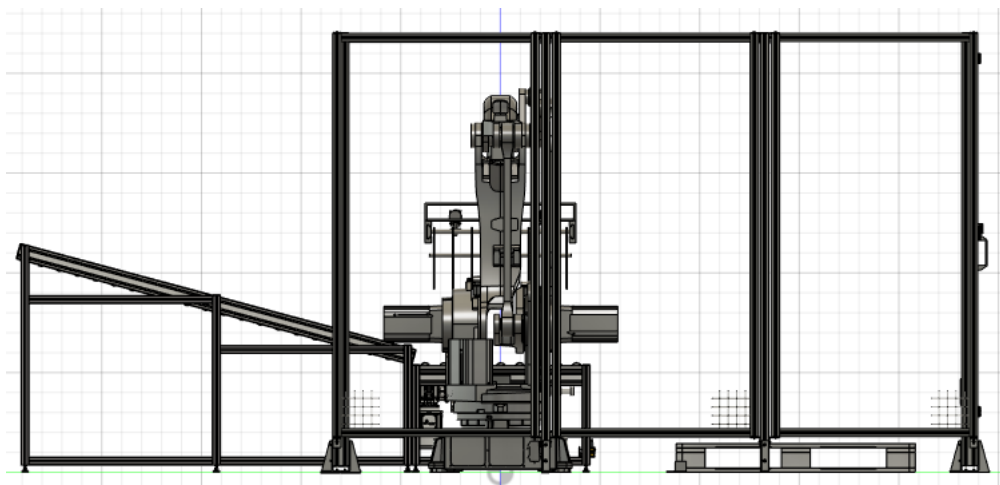
9. ábra A robotcella hosszában fotózva



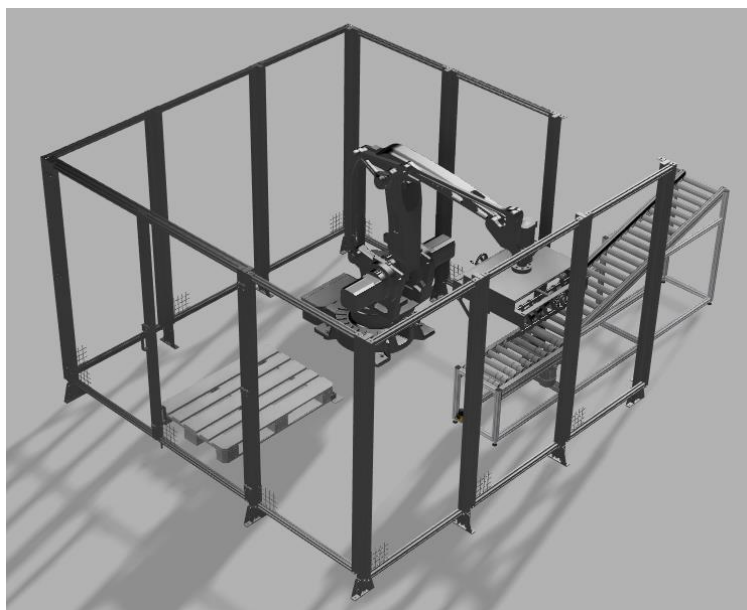
10. ábra Felülnézet



11. ábra Bejárat felöli nézet



12. ábra Robot mögüli nézet



13. ábra Renderelt kép a celláról

Természetesen jogos azon kérdés, mi történik, hogyha valami, vagy esetleg valaki belép a robot munkaterébe? Mivel a robot mozgás tartománya bizonyos mértékig be van korlátozva, így a maradék részt körbe lehet keríteni biztonsági kerítéssel, ahogy a képeken is látható. A kerítésnek plusz előnye, hogy kívül lehet elhelyezni a kezelő panelt, ahol a programozást lehet végezni, illetve bevinni, hány zsákot kell az adott palettára pakolni. Természetesen egyéb kötelező előírásoknak eleget téve el fogok helyezni érzékelőket a munkaterületre, hogy a robot véletlenül se üssön el embert.

Két haladás útvonal van a robotcellánál. A futószalag számára, mely a zsákokat viszi, illetve egy biztonsági kapu, melyen keresztül a palettát lehet behelyezni, illetve később kivenni. A biztonsági kapu alacsony feszültségű biztonsági zárral rendelkezik, egyszerű fém karral záródik, és amíg a kar nem zárja a kaput, a robot nem fog elindulni. Áramkimaradás esetén a gép megáll az adott pozícióban, mikor az áramkimaradás történik. Mivel a megfogó kar pneumatikus, így ha épp zsák van benne, nem fogja azt elengedni, különösen azért, mert útválasztó segítségével biztosítottam a levegő kiáramlásának a lehetőségét. Mivel előzetesen be lesz táplálva hány zsákot kell pakolnia, így áramkimaradás esetén is megőrzi a program a folyamatot. Ha az utolsó zsákot nem kell teljesen feltölteni, akkor azt egyszerűen a rakás tetejére lehet tenni.

4. A tervezés lépései

Ebben a fejezetben a robotcella minden fontosabb elemnek a kiválasztási, tervezési metódusát fogom leírni, majd külön fejezetben magát a robotot, a megfogót, az érzékelőket, valamint a kezelést, programozást részletesebben leírom.

4.1. Gondolatmenet leírása

Itt most egy rövid brainstorm (magyarul agyvihar, pontosabban ötletek áradata) következik, amelyben a tervezésem gondolatmenetét írom le. Ez a leggyakrabban alkalmazott módszere egy projektfeladat elkészítésekor, hogy a lehető legtöbb megoldást összeírjuk, és leszűkítjük a legmegfelelőbbre. Ilyenkor minden ötletet érdemes bedobni, bármilyen ostobának is hangzik. Mivel viszonylag határozott elképzelésem volt arról, hogy mit akarok elkészíteni, és mivel az egész tervezési folyamatot kisebb kutató munka előzte meg, amely új feladat elkészítésekor ajánlott, így nagyon rossz ötleteket minimálisra tudtam fogni.

Azt már tudtam, hogy robotot akarok elkészíteni, és az is adott volt, hogy hogyan akarom elkészíteni. A következő feladatot volt kitalálni, hogy hogyan kellene elrendezni. Az egyértelmű volt, hogy a robotot a szállítószalag mellé kell felépíteni, mivel ilyen pakoló robot feladatának ellátásához nem igényel emberi jelenlétet, sőt, az adagolásnak automatizálása csak még precízebbé teszi a működését. Tehát egy szállítószalag tervezése is szükséges. Az adagoló elég magasan van, így spórolva az energiaköltségeken egy lejtő szállítószalagra lesz szükségem.

Nagyon fontos kérdés volt előtte, hogy a megfogóm milyen mechanizmus útján fog működni. Olyan eszközre volt szükségem, melynek működése egyszerű és érthető. A gyárterületen, melyre elképzeltem a robotcellát, rendelkezik sűrített levegőfűvóval és porszívókkal, tehát ki van már építve egy pneumatikai rendszer: Ez azért lehetséges, mert az eszközök tisztítása rendkívül fontos új termékek gyártása előtt, és a leghatékonyabban a levegős rendszerrel lehet. Alkalmaznak vizes tisztítást is, de az a víz pazarlása miatt mellőzni érdemes. Tehát van egy rendszerünk a levegőt összesűrítik, előkészítik, és megfelelően el lehet vezetni a felhasználás helyére, így kézenfekvő ötlet volt pneumatikus hengerek használata. A levegő olcsó és környezetbarátan felhasználható eszköz, hidraulikai rendszer kiépítését egy ilyen gyárterületen, ahol egy véletlen meghibásodás esetén az egész robotcellát eláraszthatja a víz vagy olaj, nem éppen szerencsés körülmény.

Eredeti terveimben az szerepelt, hogy az alapfelület, melyre a zsák érkezik, és ahonnan a robot felveszi a zsákot, egy mérleget építsek. Úgy gondoltam, hogy a zsák jelenlétét úgy kéne érzékelnie a robotnak és a programnak, hogy mikor a zsák a helyére kell, a súlymegnövekedés

hatására a digitális mérleg jelez a robotnak és az alapján menne a program. Azét találtam ezt a megoldást jónak, mert így a robot csak akkor markol az adott irányba, ha a terület legalább 20 kg súlynövekedést jelez, vagyis tényleg csak akkor markoljon, ha zsák van a helyén. A tervezési folyamat során azonban ezt az ötletet el kellett vetnem, pusztán azért, mert egyszerűen túl bonyolult lett volna kiépíteni. Ha a zsák érkezési helyét tartó oszlopokba építenék rugós erőmérőt, azaz így mérne súlyt, akkor a rugók és a mozgó elemek nagyon hamar elhasználnának. Ha az állványt helyezem egy mérlegre, akkor képtelen vagyok a rögzítést megoldani. Rászereléssel nem mindig kapnék biztos eredményt. Éppen ezért ezt az ötletet elvettem.

Miközben kifejtettem a terveimet, a belső konzulensem ráhívta a figyelmet, hogy valamilyen elválasztó rendszert kellene alkalmaznom, annak érdekében, hogy a zsákok ne torlódjanak fel a szalagon. Ezt én nem láttam szükséges tervezési elemnek, mivel a zsákok feltöltésére bő fél percre van szükség, beleszámítva a zsák felhelyezését a siló kivezető nyílásába, az adagolás szabályozására közelítve a 25 kilogrammhoz, illetve a zsák lezárása és címkézése, majd elhelyezése a görgősoron bőven ad időt a robotnak ahhoz, hogy a zsákot elhelyezze a palettán.

Miután elképzeltem a robotot és a szállítószalagot, jöhetett a többi alkatrész. Mivel akarom megfogni a zsákot? A zsák viszonylag határozott méretekkkel rendelkezik, azonban alakját erő hatására változtatja (hajlik, tartalma különböző helyeken összesűrűsödik, ezzel változtatva tömegközéppontját). Olyan megfogóra lesz szükségem, mely a teljes testet képes megemelni, anélkül, hogy a tömegközéppont változna, azaz a megfogónak akkorának kell lennie, mint a zsák. Továbbá fontos, hogy a megfogó alá tudjon nyúlni a zsáknak, másképp nem képes felemelni. Tehát egy karmos megfogó lesz a megfelelő. Kevés anyag szükséges a karmok kialakításához, mégis kellő szilárdsággal rendelkezik, hogy kibírja a zsák súlyát.

Ezután következik a többi szükséges elem. Megvan, hogy honnan, mit, hogyan, mivel, de nincs meg a hova. Mivel a gyártósoron eddig is alkalmaztak palettákat, így hamar meg lett a megoldás, hogy azokat alkalmazom. Ekkor jutott eszembe, hogy mi a helyzet, ha valaki a robot útjába áll? Azonnal a kerítésre gondoltam, így ezzel meg is oldottam. Konzulenseim azonban felhívták rá a figyelmem, mi van, hogyha egy ember bemászik oda, illetve hogyan érzékeli a zsákot a megfogó, mi lesz, ha elmegy az áram? Tanácsaikra így beépítettem különböző érzékelőket, melyek ember jelenlétét érzékelve lekapcsolják a rendszert, és gondoskodtam arról, hogy a zsák ne legyen a robot által elengedve.

Ezután egy másik problémára lett felhívva a figyelmem, miszerint hogyan lesz a paletta pozícionálva. Ekkor számos ötletem volt, mint hely felfestése, esetleg biztonsági ragasztás

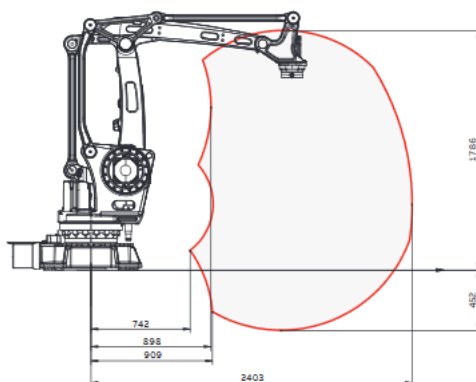
felhelyezése, de inkább a földre csavarozott sarok elemet választottam, mivel ezt gondoltam tartósnak, és ez a kereskedelembe elérhető sárga-feketére festett sarok védőburkolat, könnyedén alkalmazható erre a feladatra

Mindezen tervezések és ötletelések végén már véglegesíteni tudtam modelletem, amit a korábbi képeken lehetett látni. Így most már a robotcella elemeivel tudtam külön foglalkozni. Az elkészítési folyamatok során azonban egyéb problémákba ütköztem, melyeket a fejezetek megfelelő részénél fogok kifejteni.

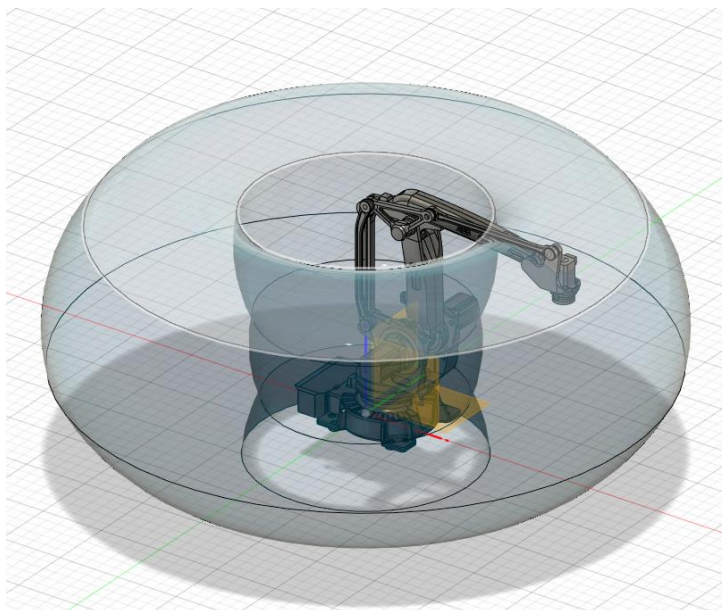
4.2. Robot

A megfogóhoz az iparban jól ismert ABB robotikai cégtől az IRB 460 típusú robotot alkalmaztam. Megvizsgálva más gyártókat (Fanuc, KUKA, Yaskawa) ezt a típust választottam, mivel ez a cég múltja alapján rendelkezik a legtöbb tapasztalattal, a weboldalukon a legtöbb információt a robotról ettől a cégtől kaptam, illetve a kiegészítőkről való tájékozódás innen volt a legjobb, pusztán mert mind 3D CAD modelleket, műszaki ábrákat és pontos leírásokat is elérhetővé tettek bárki számára. Az eredeti terveimben az szerepelt, hogy ugyanettől a cégtől szerzem be a megfogót, ám a cég nem tette nyilvánossá a megfogó CAD modelljét, belső konzulensem fel is hívta rá a figyelmem, hogy nem is fogok találni olyan céget amely közzé tesz ilyesmit, úgyhogy úgy döntöttem, hogy egy ilyen megfogó tervezését is beleillesztem dolgozatomba.

Az IRB 460 a cég elmondása szerint a világ leggyorsabb és legpontosabb palettázó robotja. 4 tengelyű, ami azt jelenti, hogy 4 csukló ponton van forgástengelye. 110 kilogramm súlyt képes felemelni, és külön palettázásra lett tervezve. Az általa elérhető távolságokat, azaz a munkaterét a következő két kép mutatja be (14-15. ábra).

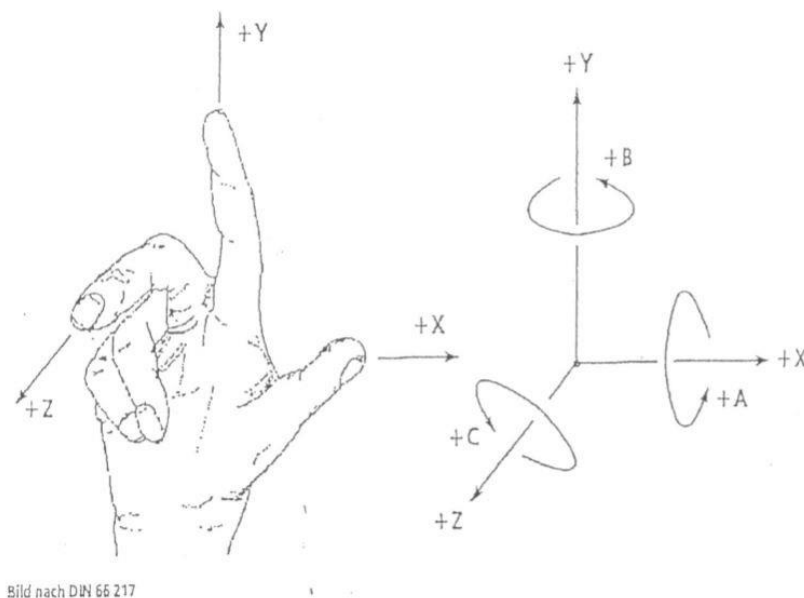


14. ábra A robot mozgástartománya 2D-ben [17]

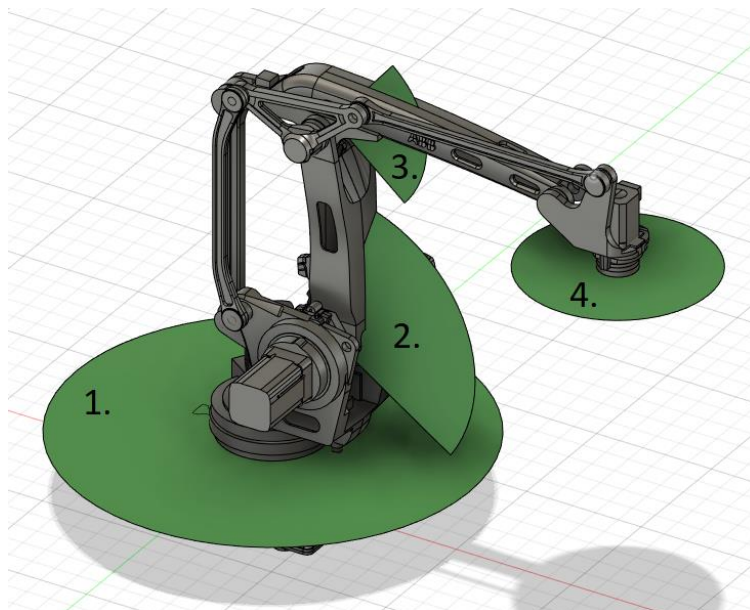


15. ábra Robot mozgástere 3D modellben

Egy robotnak egyik legfontosabb jellemzője a mozgástengelyei, azaz ha egy csuklóját egy koordináta rendszerbe helyezzük, mely tengelyek mentén tud elmozdulni, fordulni. Az alábbi képeken az általános mozgástengelyek jelzését lehet látni (16-17. ábra), illetve az általam kiválasztott robot csuklóinak mozgás irányait. Ezen két ábrán keresztül szeretném levezetni, hogy lehetséges egy csuklóinál minimális mozgásra képes robot egy több köbméteres térfogaton belül mozogni.



16. ábra Mozgástengelyek a DIN 66217 szabvány szerint [18]



17. ábra A különböző csuklók forgástengelyei

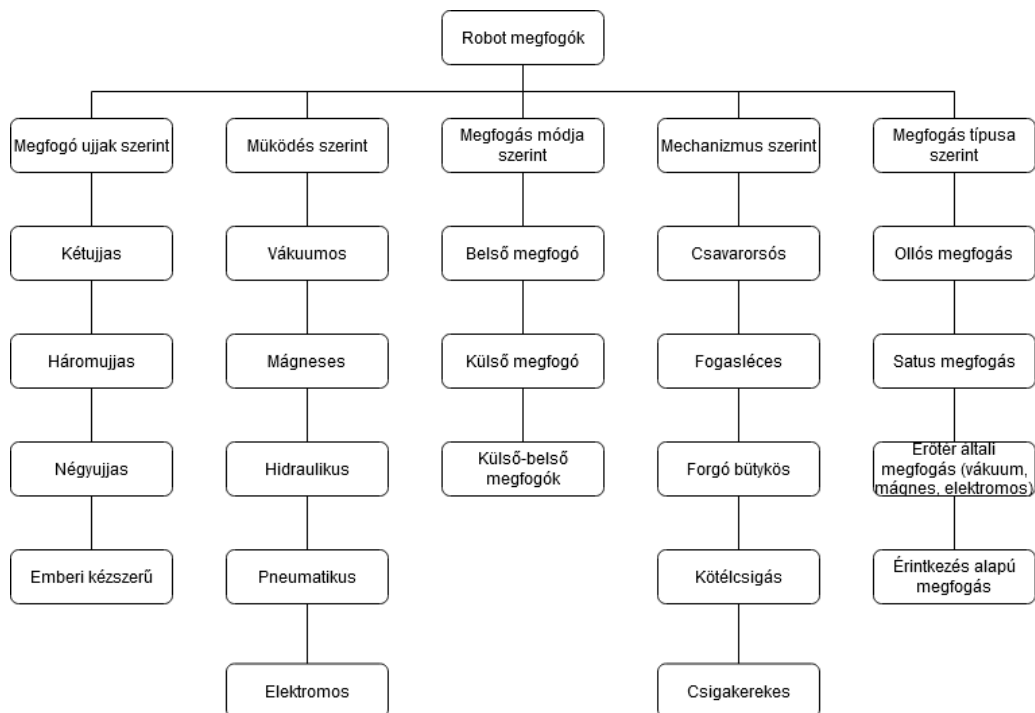
A robot 4 csuklóval rendelkezik, amelyek közül az első, a bázishoz közelebbi forgáspont. Ezen a helye a robot alaphelyzetétől képes balra, illetve jobbra 300 fokot mozogni az Y tengelyen forogva. A kábelezés miatt teljes 360°-os fordulat nem lehetséges, de nem is érdemes ilyet kérni egy robottól, hogyha másik irányba is képes legalább 180 fokot fordulni. A második csukló a 140°-os körív mentén képes elmozdulni a Z tengely körül, segítségével a robot könnyedén tud a bázisától távolabbra nyúlni, amit a harmadik forgástengely is megerősít a maga 120 fokos mozgásával, szintén a Z tengely körüli forgásával. A 4. tengely az elsővel azonos síkon képes a forgásra, ám a kábelezés miatt szintén korlátozva van +/- 165 fokos fordulatra, szintén az Y tengelyre hagyatkozva ilyen irányú mozgásában. [17]

A robot a rászerezelt megfogót csak a földdel párhuzamosan, vízszintesen képes tartani, azaz az X és Z tengely által létrehozott síkon. Lehetséges olyan robotot rendelni, mely plusz csuklók segítségével képes maga fölé emelni a zsákot, de mivel nekünk egyszerű zsákpakolási feladatot kell ellátni, így az nem szükséges.

Az ABB weboldalán számos leírás és útmutatás található, hogyan is kell elhelyezni, beépíteni a robotot a cellába, mik a programozás elméleti hátterei, illetve a telepítés során mikre kell ügyelni. kitér olyan dolgokra, hogy hogyan kell kalibrálni a robotot, az alkatrészeket milyen gyakorisággal kell cserélni, sőt még a kábelek elrendezésére is ad pontos leírást. Azonban, mint minden egyedi gyártó cég, itt is az a legcélszerűbb, ha végtől kérünk be egy olyan személyt, aki jártas ilyen robotok telepítésében és programozásában.

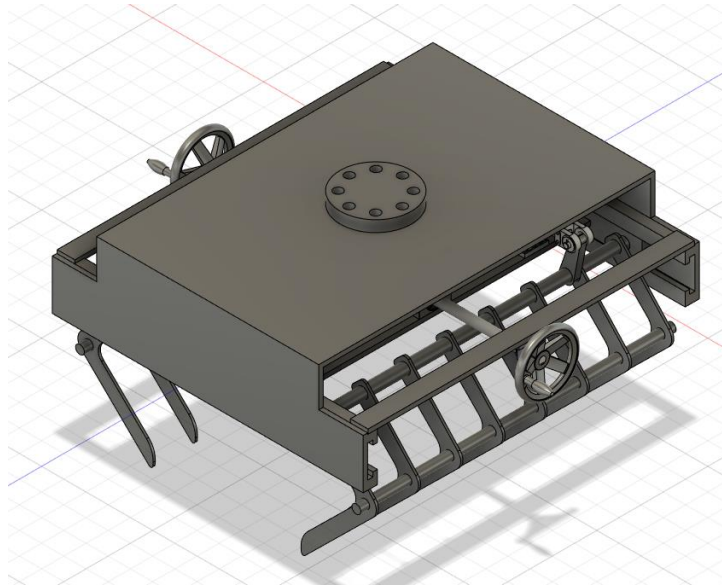
4.3. Megfogó

A megfogó a palettázó robot legfontosabb része. Az iparban rengeteg típust alkalmaznak, a legnagyobb variáció a kisebb méretű termékek elhelyezésénél található, egyszerű két-, három-, vagy négykarú megfogó, vákuumos megfogó, karmos megfogó, markoló, mágneses. A típusokról összefoglalást az alábbi kép ad (18. ábra).



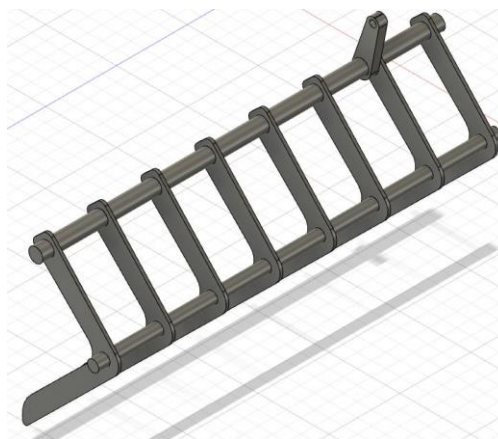
18. ábra Megfogók osztályozása [15]

a lehetőségek tárháza végtelen-e tekintetben, ám mivel nekünk zsákemeléshez szükséges, így ezek nagy részét ki kell zárunk. Vákuum-os és mágneses rögtön kiesik, mivel azokhoz nem tudunk jó felületet biztosítani a zsák megfogáshoz, valamint a megfogás helyzete miatt a zsák kiesése nagy valószínűséggel bekövetkezne. A sima karokkal való megfogásnál túl nagy terhelésnek tennénk ki az alkatrészeket, és a fogást sem lehet 100%-os biztosra venni. Az iparban leginkább használt, és szerintem a feladathoz legjobban illeszkedő megoldás a széles karmos megfogó (19. ábra).



19. ábra Általam tervezett megfogó Fuisson 360-ban

Az általam tervezett karmos megfogó fontosabb elemei: karmok, csúszka, lécek, váz, pneumatikus hengerek, csapágyak, orsó. A váz teremt közvetett kapcsolatot a robottal, egy összekötő elem segítségével. A vázon speciálisan kialakított sínszerű részek találhatók, melyekre a csúszkát lehet helyezni. Mind a csúszka, és a váz sínszerű területe kezelt felületű, de igény szerint akár kenő anyagot is lehet használni a megfogó szélességének változtatásához, ám mivel a szélesség változtatását ritkán kell megtenni, és a sínek elhelyezkedése, plusz a váz teteje nyújt olyan védelmet, hogy ilyen anyag alkalmazása mellőzhető legyen. A karmok egyszerű lemezekből áll össze, megfelelő távolságokban vannak hozzáhegesztve a furataikon átvezetett rúdon, ezzel elérve a szükséges stabilitást és szilárdságot, mely egy zsák mozgatásához szükséges. Ezt alsó ábra mutatja be (20. ábra).



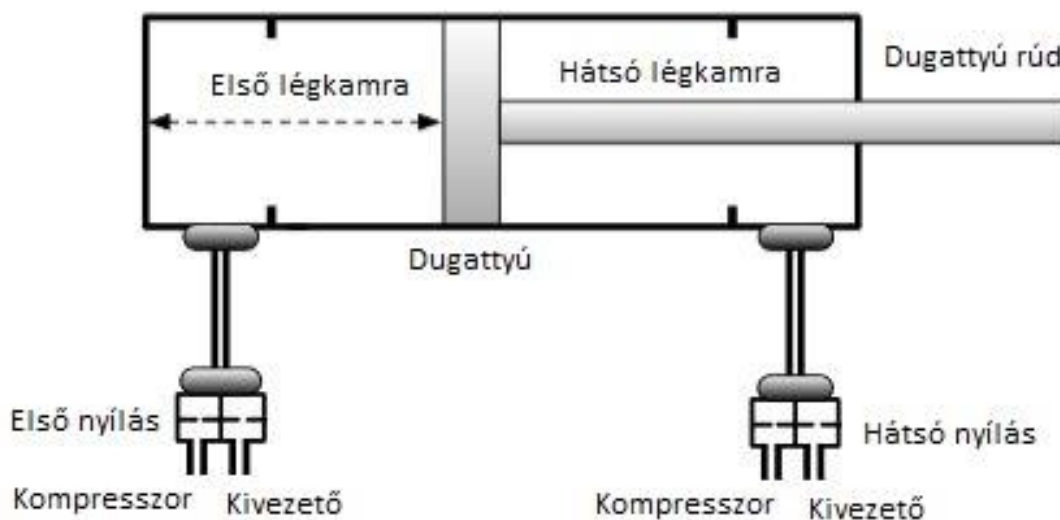
20. ábra Megfogó egyik karomfél

A csúszka 2 lyukkal rendelkezik, az egyikbe a megfogó rúdját lehet behelyezni, a másikba a pneumatikus hengereket tartó léceket. Mind a csúszka, a lécek, a váz, illetve a megfogó

rozsdamentes acélból készülnek melyeket rajzként továbbítva bármilyen gyártó cég képes elkészíteni.

A megfogót úgy terveztem, hogy lehetséges legyen különböző szélességű zsákokat emelni, akár 50 kilogrammos zsákokat is. A pneumatikus henger 50 mm átmérőjű és 50 mm lökethosszal rendelkezik, kilökéskor több mint 1500 N erőt képes kiadni. A megfogónak 5 fő része van. A karmok, a hengerek, a csúsztatót, a csavarorsó, és a váz. A csavarorsó segítségével, a karmok szélesebbre állíthatóak a nagyobb zsákokért. Belső konzulensem tanácsára, mivel a zsák méretek viszonylag egységesek, azaz közel azonos szélességgel rendelkeznek a különböző típusok, így a megfelelő zsák szélességhez való beállítás megtalálásához a csavarosón elhelyezett színes jelöléseket alkalmaznék, ezzel az egyszerű munkás is könnyedén beállíthatja, mekkora szélesség szükséges a megfogásához.

A karmokat egy-egy pneumatikus henger működteti. A pneumatikus munkahenger egy olyan szerkezet, mely a levegő segítségével mozgatja zárt munkatérben a dugattyút, amelynek végére kapcsolt darabot képes általában két irányba (előre- és hátra mozgatni. Egy pneumatikus hengernek a működéséről az alábbi ábra mutat példát (21. ábra).



21. ábra Pneumatikai henger elvi működését leíró ábra [19]

A pneumatikus henger végállásai biztosítják, hogy a karom teljesen elengedje a zsákot, vagy épp biztosan tartsák. Mivel a megfogók az általános zsák emelésénél összeérintkeznek, melyet előzetesen a Fusion által alkalmazott szimulációkkal ellenőriztem le, így tökéletes tartást biztosítanak a zsákhhoz. A szimulációk fűtatásánál szembesültem egy olyan problémával, hogy a hengert nem szabad teljesen fixen rögzíteni. A karmok egy forgástengely körül forognak. Tehát a karmok végei körpályát írnak le. És ugyanez igaz az összekötő elemre, mely a karmok

és a henger között teremtenek kapcsolatot. Ha a henger tökéletesen van rögzítve, akkor a dugattyúrúd csak egyenes vonalú mozgást tud végezni, akárcsak a 16. ábrán. Ennek érdekében egy olyan rögzítőelemet kellett találnom, mely stabil pont a henger számára, azonban a dugattyúvég képes lesz a körpályát követni. Így egy úgynevezett lengő karimás dugattyút választottam, mely segítségével a dugattyú vég képes lesz emelkedni és lesülyedni.

Egy karomfél képes a zsákot egy maga is elbírní. Ezt forgatónyomaték számolás segítségével ellenőriztem, melyet alábbi képleteknél látható.

l_1 : A karom forgórésze és a henger közti távolság

l_2 : A karom forgórésze és a karom vég közti távolság

F_1 : A henger által kifejtett erő

F_2 : A zsák által kifejtett erő

$$l_1 = 70 \text{ mm}$$

$$l_2 = 230 \text{ mm}$$

$$F_1 = 1729 \text{ N}$$

$$F_2 = 250 \text{ N}$$

$$M_1 = l_1 * F_1 = 0,07 * 1729 = 121 \text{ Nm}$$

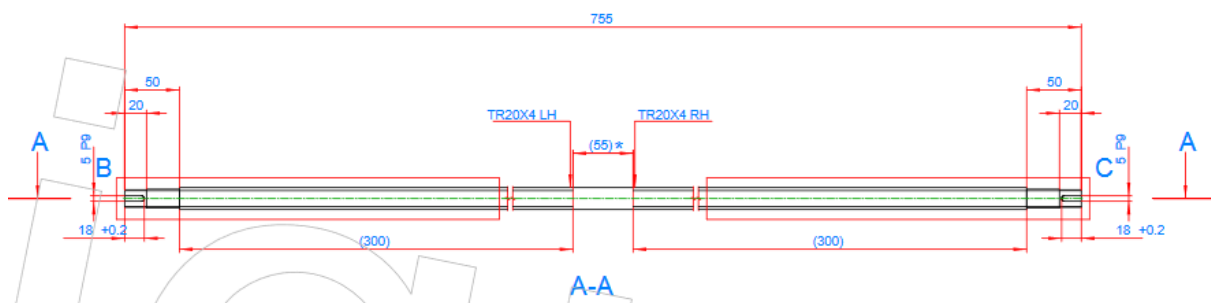
$$M_2 = l_2 * F_2 = 0,23 * 250 = 57,5 \text{ Nm}$$

Látható, hogy a henger nagyobb forgatónyomatékot képes elbírní, mint egy zsák, úgyhogy a henger bőven megfelel. Természetesen azért is fontos volt az ilyen szintű túlméretezés, hogy a megfogó képes legyen nehezebb zsákok megfogására is.

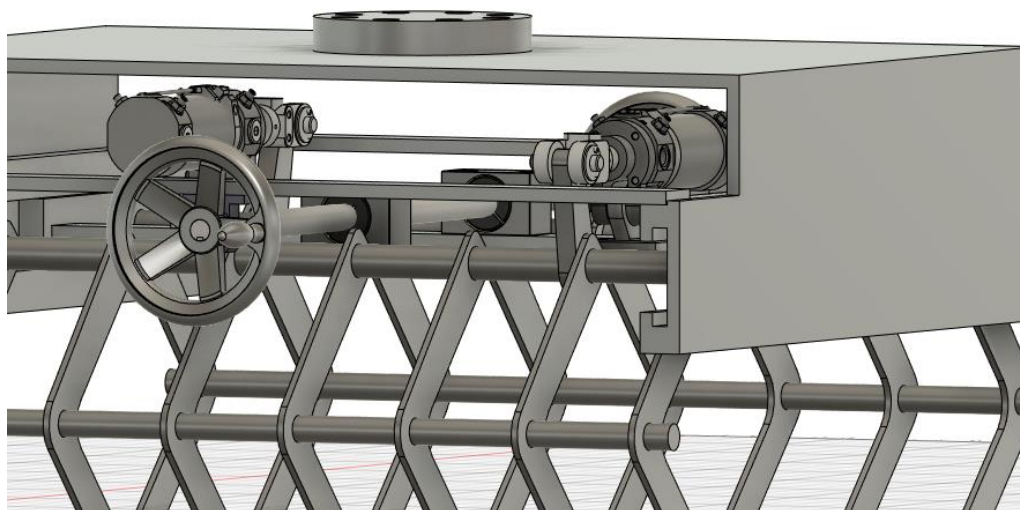
Kutatásom során összefutottam további kiegészítőkkel egy karmos megfogó számára, mint például a pozicionáló lapok. Ezek azt a célt szolgálják, hogy mielőtt a karmos megfogó megmarkolná a zsákot, velük párhuzamos lapátok, melyek merőlegesek a földhöz képes, párhuzamosba helyezik a zsák széleit a megfogó két oldalával, ezzel jobb pozicionálást elérve a megfogásánál. Ezeknek beszerelését két okból nem kívántam a sajátomba. Az egyik, hogy a megfogó előtti görgős szállítószalag pálya már rendelkezik vezetékkel, mely biztosítja, hogy az adott zsák párhuzamos legyen a megfogó karmok vonalával, és mikor a karmok összeszorulnak, a zsák eleve párhuzamos pozícióba kerül, így csak fölösleges tervezésnek tartottam. A másik indok, hogy ezek a pozicionáló lapok bekorlátozzák a megfogó teljesítményét. Az én megfogómnak az a nagy előnye, hogy amennyiben szükséges, könnyedén át lehet állítani nagyobb méretűre, ha azonban beszerelnék egy pozicionáló lapot, akkor fölöslegesen nagyobbra kellene terveznem a megfogót, és a tervezetnél magasabb zsákok beakadnának ezekbe a lapokba. A célom az volt, hogy ez az egyedileg gyártott és viszonylag olcsó megfogó

ténylegesen több típusú zsák mozgatására legyen képes, és ilyen lapátokkal való tervezés behatárolja a lehetőségét ennek.

A megfogó további fontos része a csavarorsó, mellyel szélesebbre lehet nyitni a pofákat. A csavarorsó kétirányú csavarmenettel rendelkezik, kivéve középen, ahol a megfogó vázzal lehet összekapcsolni. Ez a csavarorsó egyedi tervezésű az Igus-tól, melynek weboldalán készítettem el a modellt, amelynek műszaki ábrája és modellje az alsó ábrán lehet látni (22-23. ábra).



22. ábra Csavarorsó ábrája az Igus által nyújtott tervező program segítségével elkészítve



23. ábra A csavarorsó helyzete a megfogóban

A csavarorsó trapézmenetes anyával van összekapcsolva a karmokkal, a megfogó vázhoz pedig csapággal, melyet egy fém léchez van csavarozva, és így megfelelően központosítva és rögzítve a megfogó vázhoz. A könnyű kezelés érdekében szabványos tekerőkarokat helyeztem a csavarorsó két végére, reteszkötéssel biztosítva.

A másik fontos rész az érzékelő. Ahhoz, hogy a robot tudja, mikor van zsák a megfogó területén. Lézeres útmérővel lehet szerintem a legjobban megoldani ezt a problémát melyet egy későbbi fejezetben fogók kifejteni. A megfogó felső része körülbelül 50 centiméterre lesz a zsáktól. Ha az útmérő ennyinél kisebb méretet érzékel, akkor a program elindítja a megfogási mechanizmust. A zsák legalább 10 centiméter magas, így elegendő méretváltozás történik

ahhoz, hogy az útmérő érzékelje a megváltozott viszonyokat.

4.4. Szállítószalag

A szállítószalagok célja, hogy egy meghatározott úton a feldolgozandó gyártási anyagokat egyik helyről a másikra helyezzük. Ennek elhelyezése egy ipari területen a gyártás bármely szakaszán. Lehet az éppen beszállított alapanyagokat eljuttatni a raktárba, vagy éppen a már becsomagolt készterméket teherautóhoz eljuttatni, ezzel elindítva útját a világ bármely pontja felé. Legfontosabb tulajdonságuk, hogy mindig egy adott, fix pályával rendelkeznek, és a terméktovábbító elemek mindig azonos irányba vezetnek azt. Természetesen a mai mérnöki csodák segítségével elérhető, hogy a szállítószalagok flexibilisen változtassák irányukat, ezzel bonyolultabb rendszerek működését biztosítva, de az egyszerűség kedvéért ezeket nem tárgyalom.

A szállítószalagnak 3 fontos része van: váz, továbbító elem, hajtás. A váz a szállítószalag pályáját határozza meg, a továbbító elem a munkadarabbal közvetlen érintkezés során mozgatja adott irányba, melyhez energiát a hajtás biztosít. Felépítésük szerint sok típust vagyunk képesek megkülönböztetni. Szalagos szállítószalag a legegyszerűbb, esetén a munkadarab továbbítása egy végtelenített, önmagába zárt széles szalag által történik, melyet legtöbbször dobhajtással mozgósítanak. A szalag ráfeszül egy hengeres testre (dob), amit aztán különböző módokon (fogaskerék, tengelykapcsoló, szíj) motorral összekötnek, ezáltal elindítva a szállítószalagot. A szalag alatt több hengeres test/görgő/dob szokott elhelyezkedni, és ezek pozicionálásával biztosítható a szalag vezetése és állandó feszességének megőrzése. Ezen típust apróbb alkatrészek szállítására alkalmazzák, vagy épp olyan területen, ahol a tisztaság rendkívül fontos, mint például az élelmiszeripar, vagy bonyolult elektronikai eszközök szerelés munkaterületein. [20] [21]

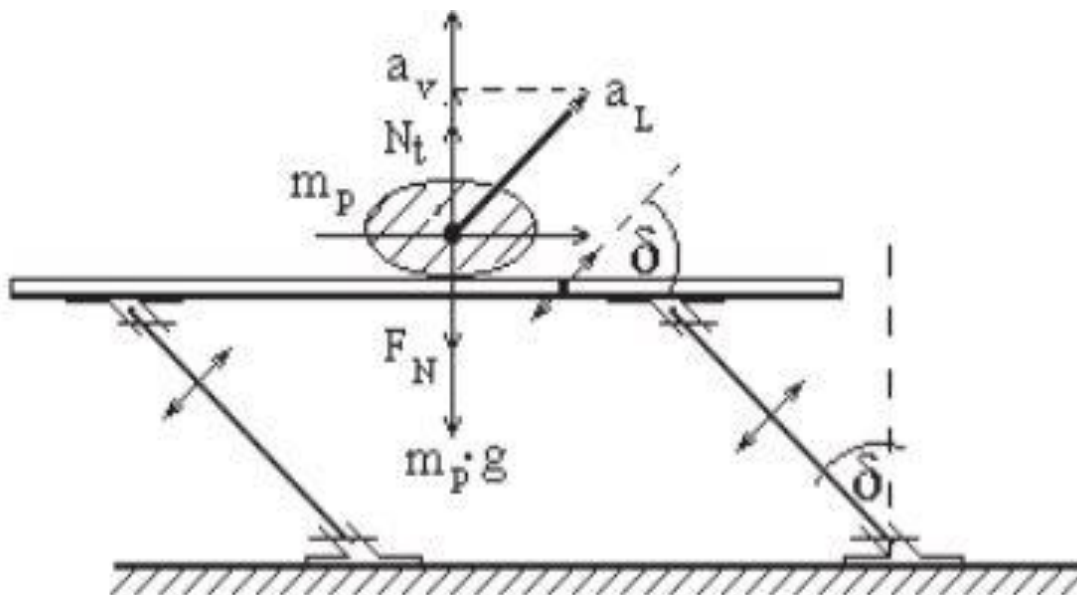
A görgős szállítószalag ugyanezen elven működik, azzal a különbséggel, hogy itt nincs szalag, a munkadarab közvetlenül érintkezik a dobbal/görgővel, és így továbbítja adott helyre. Ezeknél a típusoknál pontos tervezés szükséges, megfelelő távolság kell legyen a görgők között, hogy a munkadarab továbbítása sikeres legyen, vezetékkel kell tervezni, hogy ne eshessen le a pályáról, illetve a sebességet is jól meg kell választani, hogy a darab súlya, és időben való megérkezése ne legyen akadály. [20]

Egy másik típus a moduláris szállítószalagok. Ezen típusoknak a különlegessége, hogy ugyan a terméket egy szalag szállítja, ám a szalag különleges építőelemekből (modulokból) áll össze, melyek úgy épülnek fel, akár a bicikli láncok. A modulok önmagukban szilárdak, de összekapcsolva más elemmel egy flexibilis szalagot tudunk létrehozni. Kiválóan alkalmas

rugalmasan alakítható szállítószalagok összeszerelésére, a kemény felület és modulok kialakítása lehetővé teszi, hogy esetleg szakaszosan beépített rekeszekbe helyezzük az adott munkadarabot, jobban válogatható legyen. [21]

Láncos szállítószalag a moduláris szállítószalaggal azonos. A szalag kemény elemekből, modulokból áll össze, ám a hajtás egy külön álló egységgel, láncsal végzik. A modulárisnál a hajtás a motor és a szalag között szinte közvetlen, ám a láncosnál a lánc össze van kötve először a motorral, majd annak segítségével mozgatja a szalagot, melyhez csatlakoztattuk. [20]

A következő típus a rezgő szállítószalag. Ennek lényege, hogy a szállítószalag nem egy végtelenített szalagból áll, hanem lapokból, melyek alatt megfelelően szabályozott rezgőmotorok biztosítják a darab továbbjutását. Ennek elméleti ábráját az alábbi képen lehet látni (24.ábra). [20]



24. ábra Rezgő szállítószalag működési elve [22]

Újabb variánsa a szállítószalagoknak a forgóasztal lehetne, amiket csak megemlítek, mivel sokkal kisebb úton tud továbbítani terméket. Meg természetesen ott vannak a speciális, kisebb görgőkből álló szállítópályák, vagy a sínrendszerek mentén mozgó kocsik, de a feladatomhoz a hagyományosan vett szállítószalagok felelnének meg a legjobban. [20]

Az én esetemben a szállítószalag görgős lesz, mivel ezt a típust láttam leggyakrabban alkalmazva zsákok továbbításánál, és felépítését és energiaigényét figyelembe véve ez tűnt a lehető legjobb megoldásnak ilyen robotcella megtervezéséhez. A görgős szállítószalagokat az ELCOM cég gyártja, a görgők csapágyazásához, csapágyház vázhoz ITEM profilokat alkalmaztak, ami számomra előnyös volt, hisz a szalagok tartó vázát el tudtam készíteni ITEM profilakkal. További előnye, hogy az ITEM profilok könnyen szerelhető, szabványos elemek,

így amennyiben ki kell bővíteni a szalagot, mert szélesebb zsákat akarunk feltölteni, akkor elegendő csak pár darab új alkatrészt beszerezni, és akár egy órán belül készen áll az új görgős szállítószalag a termelésre. Az alig több mint 2 méteres görgős szállítószalag megdöntve lesz felállítva, körülbelül 15 fokos mértékben, hogy a gravitáció által induljon el a helyére. A görgősor megemelt része a zsákfeltöltő résszel egy magasságban lenne, így a dolgozó akár egy álló, vagy ha megfelelően ki van építve, ültő helyzetben el tudja végezni a zsákok feltöltését. Minimális kezdősebességet lehet feltételezni, mert a zsákot feltöltő munkás mindig ad egy lökést a zsáknak, hogy az biztosan elinduljon. A megfogó alatti görgősor végére egy lap lesz szerelve, hogy a zsák ne guruljon le. Mivel a hosszabbik szállítószalag már rendelkezik vezetékekkel, így nincs szükség ott is, mivel csak akadályozná a zsák megfogását.

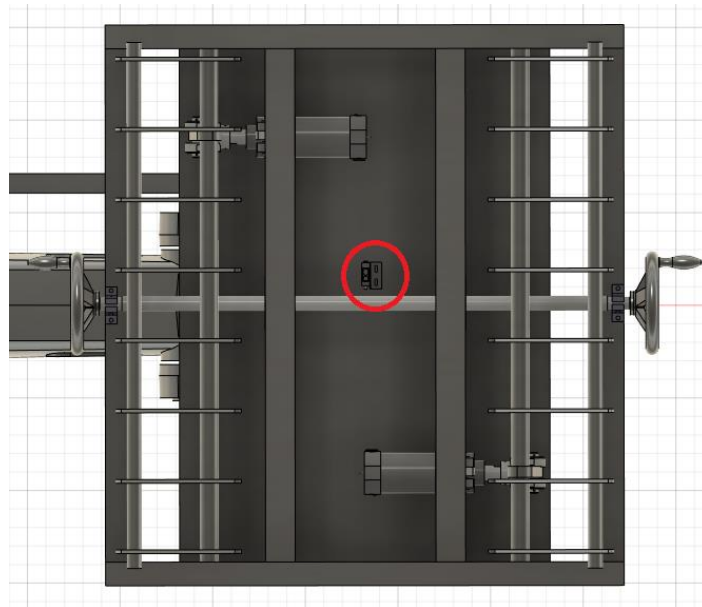
Annak érdekében, hogy a zsák biztosan helyre kerüljön, a megfogó alatti görgősor első görgője motor által hajtott lesz. Sajnálatos módon nem találtam olyan irodalmat, mely a görgősorokon szállított zsákokkal foglalkozik, vagy ha igen, akkor azon számítás fals-nak bizonyult, így a 15%-os megdöntés és a motoros hajtás az én ötletem alapján kerülne megvalósításra., ha pedig túlhaladna a zsák, az utolsó két görgő rögzítésével, vagy egy lap beszerelésével a zsák megállítható.

4.5. Érzékelők

Az automatizálás 2 legfontosabb alkotó eleme a programozás, és az érzékelők. Az érzékelők, vagy idegen nevén szenzorok, olyan fontos eszközök a robotikában, és bármilyen más automatizált gép esetén, mely képes bizonyos feltételek teljesülése esetén jelet továbbít a program számára, mely az általa előírt feltétel teljesülése esetén a következő programsort indítja el. Általánosságban megfogalmazható, hogy az érzékelő egy olyan irányítástechnikai eszköz, mely egy általa mért fizikai tulajdonságra reagálni képes. Egy érzékelő legfontosabb tulajdonsága, hogy az, amit letapogat, vagyis mér, képes megfelelően reagálni rá, azaz ahogy a neve is diktálja, érzékeny rá. Egy érzékelőnél fontos meghatározni, hogy mekkora mérés tartományban, milyen mekkora érzékenységgel rendelkezik. Elvárás érzékelő használatakor, hogy az általa vizsgált tárgyat ne befolyásolja, hisz az a mérésnek a romláshoz vezethet. Mérés esetén tudunk beszélni közvetett, illetve közvetlen mérésről. A kettő közötti különbség csupán annyi, hogy közvetlen méréskor valamilyen segédeszközt alkalmazunk, melyen a mérni kívánt mennyiség skála szintjén valamilyen formában elérhető. Tulajdonképpen összehasonlító mérésről beszélünk. A közvetett méréskor pedig nem használunk ilyen segédeszközt, hanem valamilyen természeti törvény segítségével vezetjük le a mérendő tulajdonságot. Példa lehetne erre a sebesség mérés. Nem vagyunk képesek egy adott pillanatban tökéletesen megmondani,

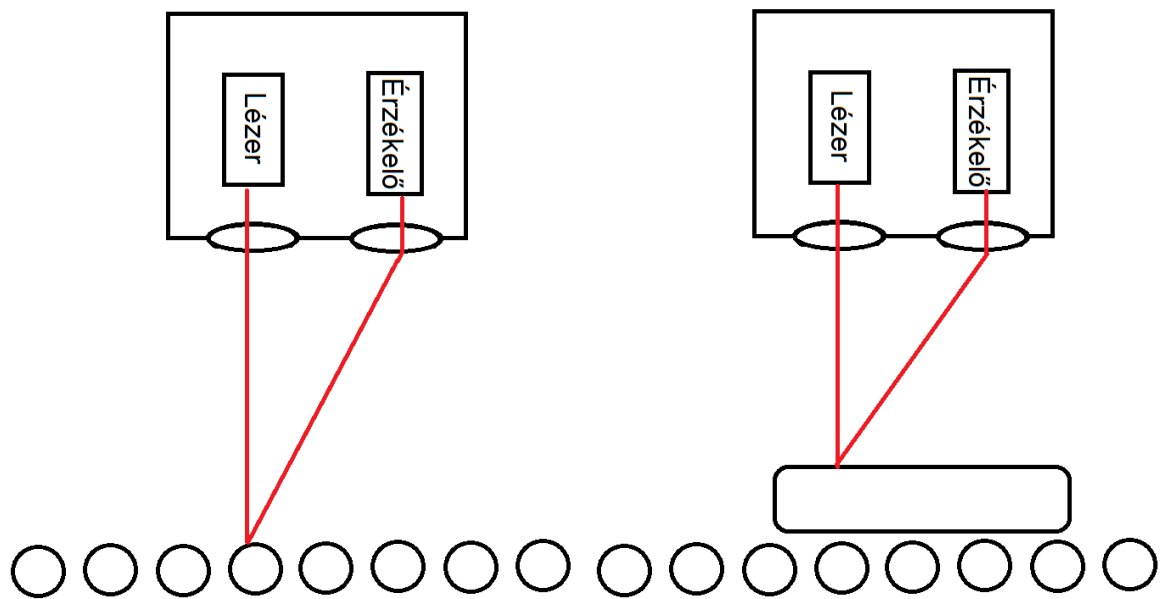
hogy egy test milyen sebességgel mozog, közvetlenül megmérni ezt lehetetlen. Éppen ezért ki kell jelölni egy minimális távolságot és azt mérni, hogy mennyi idő alatt képes ezt az utat megtenni az adott test, ezzel egy természeti törvényt, képletet alkalmazunk $v=m/s$. Elengedhetetlen, hogy a mérés számára zavaró jelektől távol tartsuk, vagy képes legyen kiszűrni azokat.

A folyamat egyik nagyon fontos pontja az érzékelés. Hogyan tud jelet kapni a robot, hogy a kijelölt területen elérhetővé válik a zsák, melyet a palettára kell helyezni? Ehhez legegyszerűbb megoldásnak találtam egy lézeres szenzor alkalmazását. Az Omron cég által kínált E3Z típusú kisméretű fotóelektromos lézerfényes érzékelőt a megfogó aljára szereltem fel, ahol az áthaladó zsák hatására a lézerfény megtörik, hossza megváltozik, és ezzel jelzi, hogy zsák került a helyére. Elhelyezését az alsó (25. ábra) mutatja.



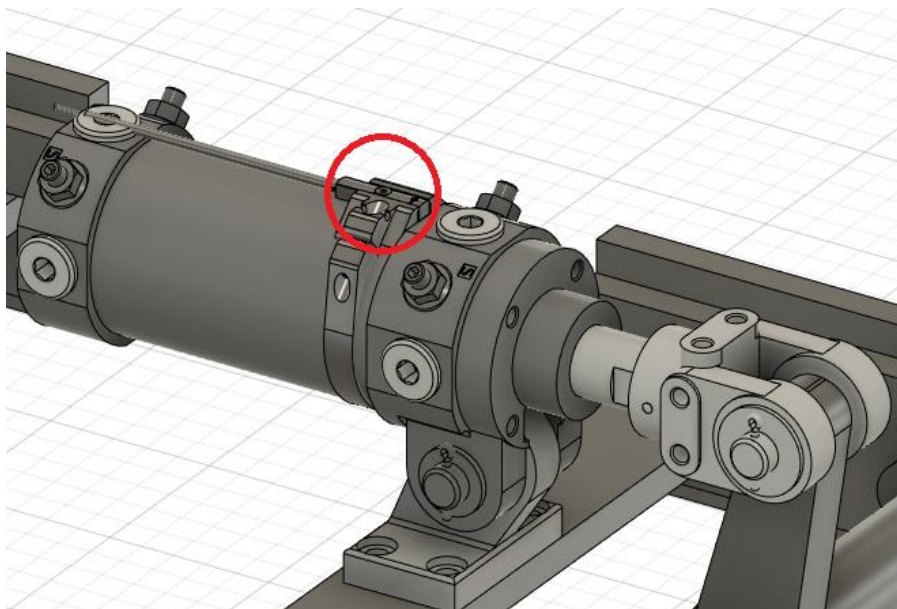
25. ábra Az érzékelő elhelyezkedése

A lézer háttérelnyomásos elven működik, azaz amikor egy tárgy körül az útjába a lézerfénynek, a fény rövidebb út alatt teszi meg a visszautat, ez pedig jelzést ad a robotnak. Ennek elméleti hátterét az alábbi kép ábrázolja. (26. ábra)



26. ábra A lézer érzékelő elvi ábrája zsák jelenléte nélkül és zsák megjelenése után

További érzékelő, amit felszerelünk a megfogó pneumatikai hengerére, az egy pozicionáló érzékelő. Ennek a típusú érzékelőnek a tulajdonsága, hogy képes a pneumatikai hengernek a mozgását figyelni, és mikor az egy adott pozíciót elér, jelet tud küldeni a robot programjába. Ennek az érzékelőnek a célja az lenne, hogy mikor a pneumatikai henger a végállását eléri, azaz összezáródik, akkor a pakoló program a következő lépést indítja el, a zsák felemelését és mozgatását a palettához. Egy ilyen érzékelő beszerelése látható az én modellelmen is (27. ábra).



27. ábra Munkahengeres pozicionáló beszerelve

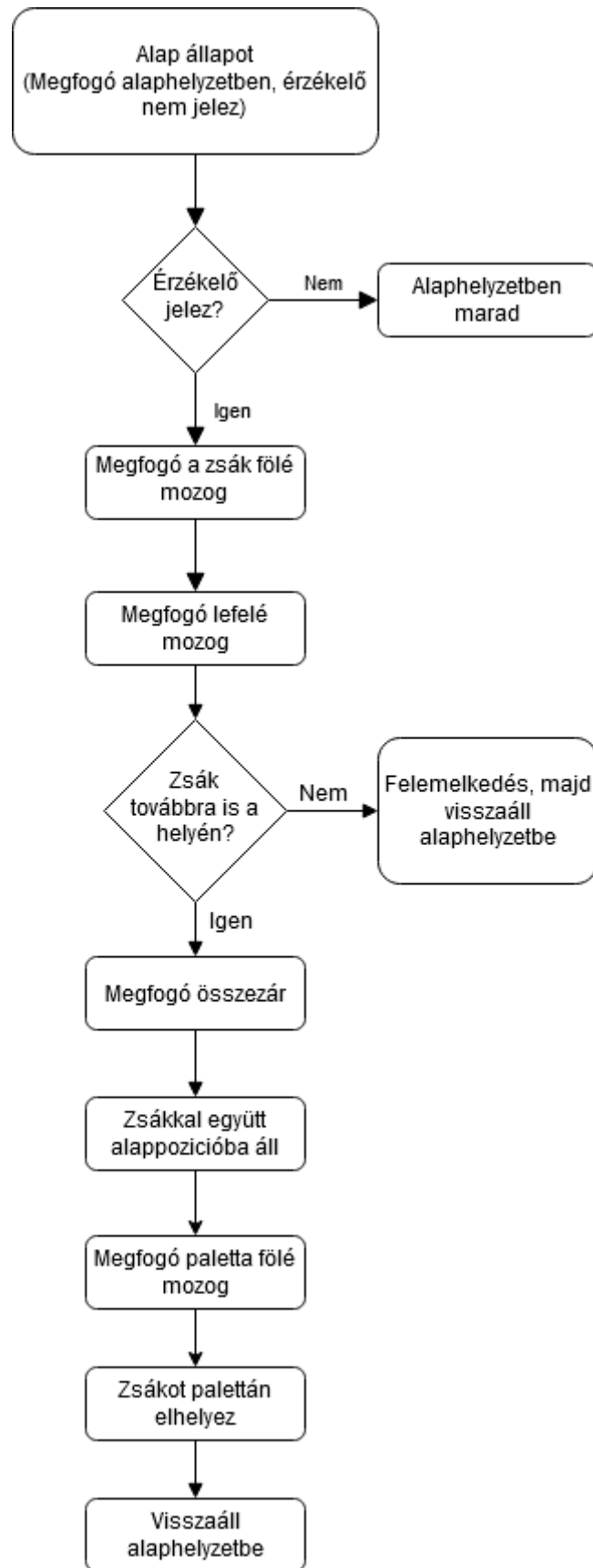
4.6. Programozás

A robot a korábban mutatott folyamatára szerint fog dolgozni. Mindössze két érzékelőre lesz szükségünk, minden mást a telepítésből és biztonságtechnikai intézkedéstől függ. Az ABB-nál a robothoz rendelni kell még egy úgy nevezett Flexpendant-ot, egyfajta programozó tabletet, mely segítségével a robot irányítása válik lehetségessé (28. ábra). Mivel a biztonsági okok miatt a robot munkaterében nem lehet azt tartani, így a legjobb megoldásnak találtam a biztonsági kerítésre felszerelni, ezáltal nem csak a gépkezelő tudja könnyen kezelni, de átprogramozás esetén is egyszerűen elérhető. Sajnos azonban a hozzáférése a robot ezen elemének szintén be van korlátozva, hogy csak valódi cégek tudjanak érdeklődni iránta illetve a felhasználó felület kezeléséhez szükséges útmutatók is csak szimulációs program által érhető el, így ezen elem beszerelése a valódi telepítés során tárgyalható.



28. ábra Különböző típusú Teach pendant-ek és a Flexpendant virtuális, programozható felülete [23]

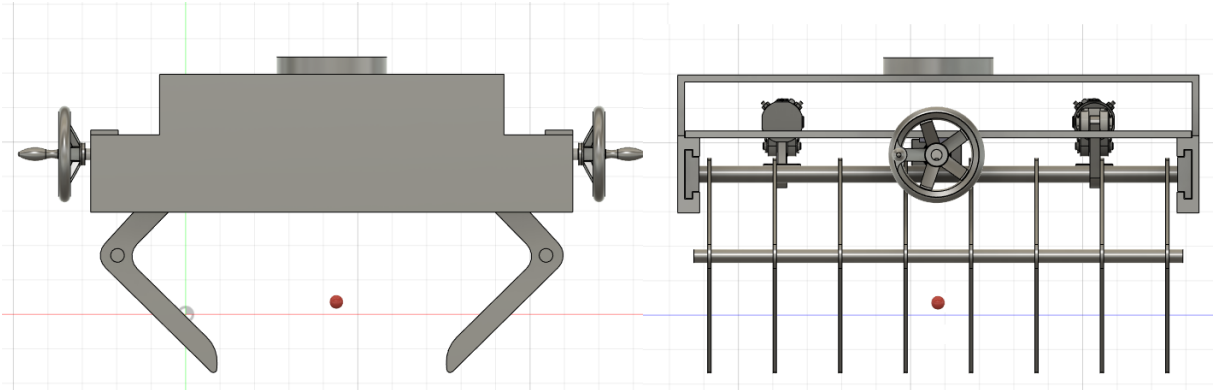
Annak érdekében, hogy a programozó szakember meg tudja írni a programot, valamilyen alapot kell neki adni. Elsősorban a folyamatot kellett érthetően leírnom, amit az alábbi ábrával csináltam (29. ábra), azaz elkészítettem a robot folyamatábráját, mely jó kiindulási pont lesz a programozáshoz.



29. ábra Robot működésének folyamatábrája draw.io-val elkészítve

Ezután egy vezérlőpontot kell kijelölnöm, mely ponthoz viszonyítva adom meg, mennyit

kell mozognia az egyes támpontok között a megfogófejnek. Ezt a vezérlőpontot a körülbelül a felemelt zsák tömegközéppontjára helyeztem (30. ábra). Így a robot is úgymond tisztában van a korlátaival, nem fog túlzottan alányúlni a zsáknak, és elhelyezéskor is a magasságokat könnyedén lehet programozni.



30. ábra Vezérlőpont (TCP) kijelölése

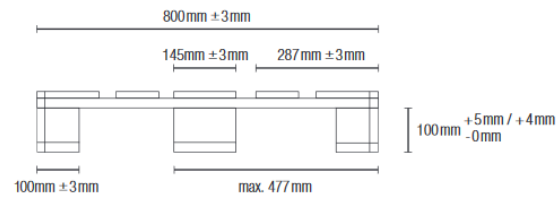
A robot tervezéséhez az ABB esetén a Robotstudio nevű programot lehet alkalmazni. Mindegyik nagy robotgyártó rendelkezik saját tervező programmal (Fanuc: Roboguide, KUKA: KUKA.Sim stb.). Ezek azonban vásárolt licenzzel érhetőek el, és a programozás is az adott gyártónak megfelelő robothoz a legmegbízhatóbb, éppen ezért a programozását nem tudom részletesebben kitárgyalni, azonban úgy érzem, elegendő támpontot adtam ahhoz, hogy ez elvégezhető legyen.

4.7. Palettázás és zsákok

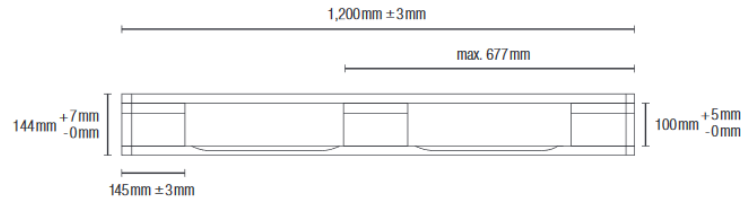
Ezen robotcella tervezésével azt akarom elérni, hogy a zsákok pakolása palettára, és annak becsomagolása könnyebb lehessen. Azonban az embernek megvan az a tulajdonsága, hogy bizonyos mértékig képes szemmel érzékelni, illetve súlyok becsülésével, hogy egy építmény mennyire stabil. Ilyen képességgel a robot még nem igazán rendelkezik, azonban a megfelelően tervezett paletta pakolási rendszer tervezésével ezt meg lehet oldani.

Az én esetemben a robot egy euro palettára pakolja a zsákokat, melynek méreteit az alábbi képen (31. ábra) lehet látni.

800 mm side



1,200 mm side



31. ábra Paletta műszaki rajza [24]

A paletta sztenderd méretekkel rendelkezik, így a név elmondása által a beszállító tudni fogja, mire gondolunk. A paletta méretén túl a zsák méretét is tisztázni kell, illetve ha különböző méretű zsákokat akarok a robotcellával pakolni, akkor ahhoz igazodó elrendezési mintát kell a rendszerbe betáplálnom. Zsákok pakolásakor a cégek leggyakrabban egy nyitott karton dobozt, igazából karton lapot helyeznek el mind az alján, mind a tetején a zsák rakásnak, ezáltal a műanyag fóliázó, csomagoló állomásnál könnyebben lehet a rakást körbetekerni, valamint tisztább határvonalakat ad a palettára helyezett zsákoknak, mintha csak egy dobozt kéne szállítani.

Zsáknak a méretei tapasztalati értékek, és a robotcellámat elsősorban erre az egy típusra terveztem, de mint azt korábban leírtam, más méretekhez is tud alkalmazkodni. Általánosságban egy 60 cm hosszú, 40 cm széles, és nagyjából 15 cm magas, feltöltött, 25 kg-os zsákról beszélünk. Rengeteg típusú felrakási mód létezik, melyeket lehet alkalmazni. Ezeket a típusokat az alábbi képen lehet látni (32. ábra). Az öt zsákos módszer az alkalmazott a cégnél és ez a fajta elrendezés a leghelykihasználóbb.

Zsák minta	Réteg elhelyezkedés			
	0	1	2	3
3 zsák				
4 zsák (kereszt)				
4 zsák (párhuzamos)				
5 zsák				
8 zsák				

32. ábra Általános mintarakás palettázó robotokhoz [25]

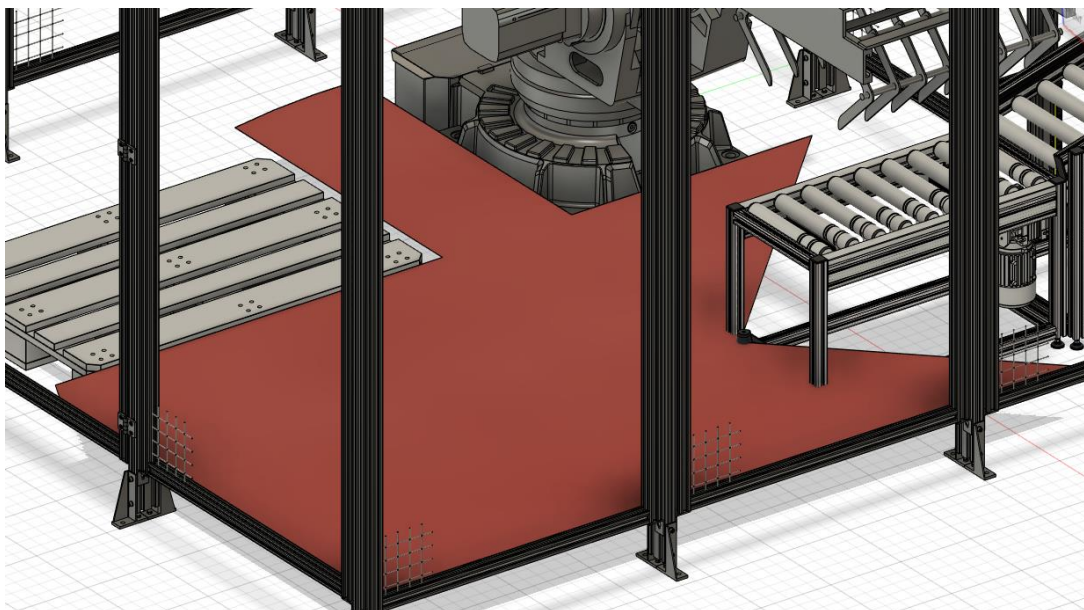
Tudom, hogy a zsákok minimálisan kinyúlnak, de a súlyeloszlás miatt a zsák leesésének esélye szinte nulla, továbbá ebből a célból szokták a karton lapot/dobozt felhelyezni. A palettákat nagy mennyiségű megrendelés esetén maximum 1250 kg-ig, azaz 10 sorban összesen helyezik el, ami az előző ábrán is látható volt.

4.8. Biztonsági szabványok és óvintézkedések

Annak érdekében, hogy a robot ne okozzon se anyagi kárt, se emberre ne legyen veszélyes, fontos biztonsági szabványokat kell betartani, illetve alkalmazni. A robotokkal, azok szerkezetével és biztonsági követelményeivel az ISO 10218-1:2011 illetve ISO 10218-2:2011 szabvány foglalkozik részletesen, és a robotcella tervezése során ennek korlátozottan elérhet tartalmát igyekeztem figyelembe venni. Előírás volt, hogy a robot mozgásterétől számított 20 cm-es távolságban valamilyen körbekerítő rendszert kell alkalmazni. Az ABB weboldalán ilyen termékek is elérhetőek voltak, így a robotcellát hegesztett rácsos kerítéssel vettem körbe. A kerítés megakadályozza, hogy bárki a robot munkaterébe lépjen, illetve ha mégis valamilyen oknál fogva benyúlna a rácson keresztül, a távolság miatt nem tud a robot útjába állni.

A robothoz 2 úton lehet bejutni. A zsákadagoló részen keresztül, illetve a kapun, ahol a palettát lehet ki- és berakni. A kapu biztonsági rendszerrel van berendezve. Egy fém kallantyúval lehet becsukni, mely egy áramkör lezárására képes, ezzel jelezve a robotnak, hogy a munkatér zárt, és a munkát el lehet kezdeni. Amennyiben egy ember úgy próbálja elindítani a robotot, hogy bent van a munkatérben, és zárva az ajtó, egy 270°-os mozgásérzékelő a SICK cégtől ezt megakadályozza. Ennek hatótávja és elhelyezkedése az alábbi képen látható (29.

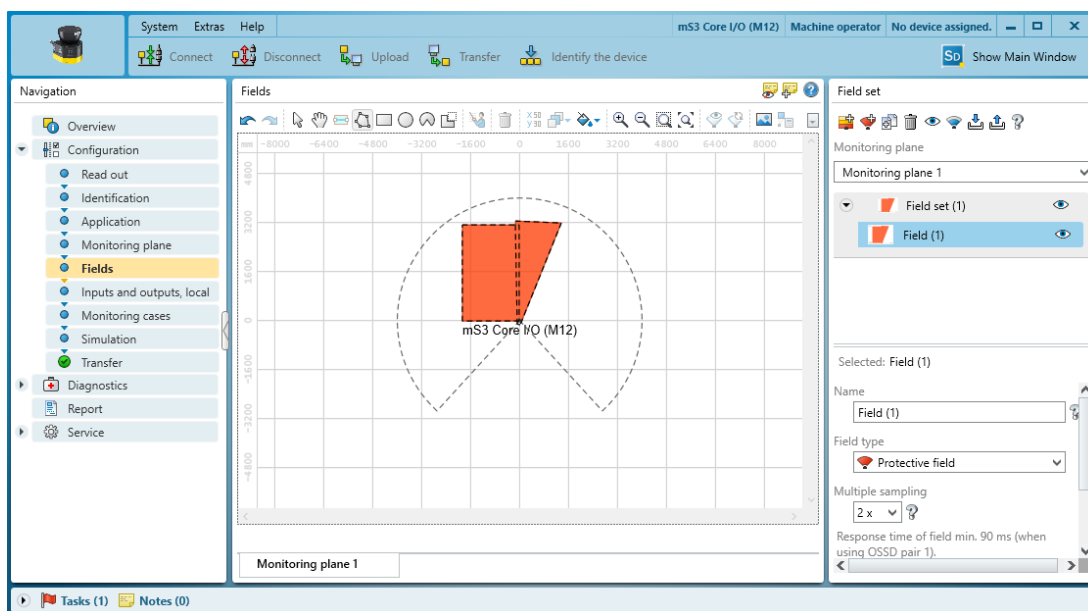
ábra). Az érzékelőt megfogó alatti „asztal” (ahova a zsák érkezik) lábára szereltem a 270 fokos érzékelőt, figyelve az üres munkaterületet. A hatótávot az alsó (33. ábra) mutatja. Azért helyeztem csak ezt az egy érzékelőt erre a pontra, mert a robot fő mozgástere ezen a területen helyezkedik el. A robot mögött, azaz a hozzá legközelebbi kerítés területnél azért nem szereltem be érzékelőt, mert ott az elektromos kábelek haladnak, illetve az egyetlen módja az odajutásnak a robot érzékelőin keresztül vezet így csak akkor lehetséges, hogy ember ott van, ha valaki direkt ott marad, miután a biztonsági ablakok lezárultak.



33. ábra Érzékelő elhelyezkedése és hatótávja

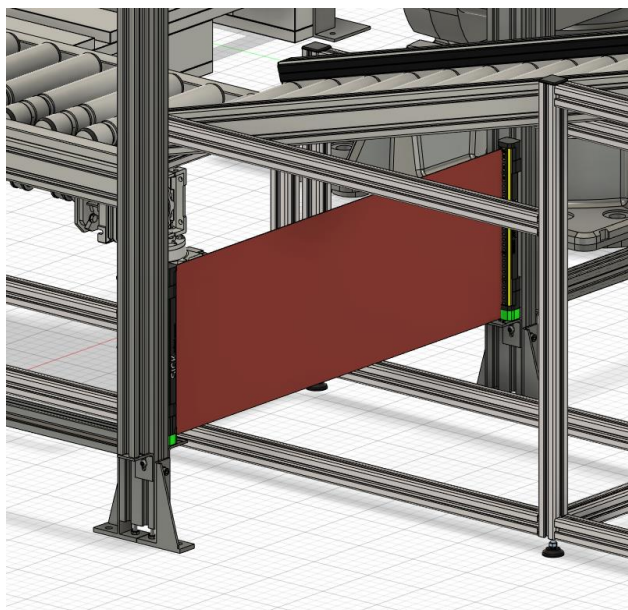
Ennek a típusú biztonsági 2 dimenziós érzékelőnek az a tulajdonsága, hogy a hatótávján belül képes érzékelni a mozgásokat és ezzel jelet küldve a programnak, hogy álljon le. További pozitív tulajdonsága, hogy az érzékelő hatótávját képesek vagyunk beállítani. Az érzékelő beszerelésekor jöttem rá arra, hogy elhelyezkedését tekintve képes lenne fals leállást indukálni azért, mert a kerítésen túli mozgást is képes jelezni, illetve legelső zsákréteg elhelyezése a palettán is a szenzor vészjelzését vonja maga után. Előzetesen azzal próbálkoztam, hogy a kerítés alját, mint határolót alkalmazzam ahhoz, hogy limitáljam az érzékelő hatótávját, ami működött, de a zsák pakolást okozta téves jelzéseket továbbra sem tudtam megoldani. Gondoltam arra, hogy a palettát egy emelvényre kellene helyezni, de akkor a több mint egy tonnás, felstócolt súly elbírása, valamint egyáltalán leemelése róla komoly biztonsági kérdéseket von maga után. Szerencsémre a cég szenzorai programozhatóak, és az általuk készített érzékelőket egy program segítségével meg lehet oldani. És nincs szükség különleges eszközökre, mert a program ingyenesen elérhető bármilyen számítógépre, illetve az érzékelő USB csatlakozóval is rendelkezik. Az előbb mutatott ábra szerint képzeltem el a hatótáv

korlátozást. A program felületére és egy példát az érzékelés kiépítésére az alábbi képen lehet látni (34. ábra).



34. ábra A SICK kft által nyújtott Safety program felület és egy példa az érzékelni kívánt terület beállításáról

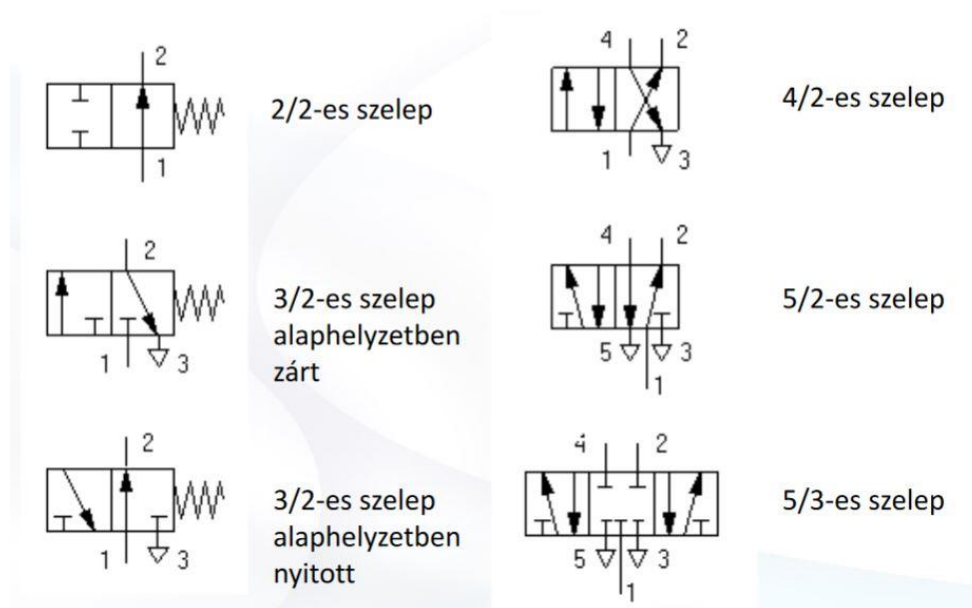
Az oka annak, hogy a szállítószalag felől olyan rés van a kerítésben, melyen keresztül egy ember könnyedén át mehet, az az, hogy ha esetlegesen szélesebb zsákokat kellene pakolni, akkor egy szélesebb szállítószalag miatt ne kelljen a kerítést szétszedni. Mivel a cég gyakran vállal egyedi megrendeléseket, így a szállítószalag cseréje, mely a kialakításnak köszönhetően rendkívül egyszerű, könnyedén szétszedhető és csak néhány plusz ITEM elemmel kibővíthető. Konzulensem felhívta rá a figyelmet, hogy érdemes lenne a kerítés tartó oszlopra is egy biztonsági függőnyt szerelni, amelynek később eleget is tettem egy deTec típusú eszközzel. A biztonsági függőny egy olyan biztonságtechnikai eszköz, mely a zsák érzékeléshez hasonló módon operál. Ebben az esetben azonban két külön alkatrészről beszélünk, egy kibocsájtó és egy fogadó félről. A kibocsájtó fél fénysugarat bocsájt ki melynek érkezését a fogadó fél kap. Amennyiben a fogadó fél nem kap fénysugarat, úgy jelez a rendszernek, hogy álljon le. Természetesen olyankor fordul ez elő, mikor valaki áthalad a két fél között. A függőny elhelyezkedése a szállítószalag alatt van, pont a két kerítés tartó oszlopra szerelve, ahol a rés helyezkedik el a szalag számára (35. ábra). Véleményem szerint az egyetlen módja annak, hogy baj történjen, ha valaki szándékosan indítja el a robotot úgy, hogy benne van a munkatérben, és elrejtőzik az érzékelők elől, ami súlyos kihágásnak minősül az veszélyes munkakörnyezetben. A következő képek ezen biztonsági eszköz elhelyezkedését és hatótávja látható.



35. ábra Fényfüggöny elhelyezése

A kerítések esetén is számos opciót választhattam volna. Van lehetőség teljesen zárt, illetve áttetsző üvegű biztonsági kerítést választani. A rácsos mellett azért döntöttem, mert sokkal átláthatóbbá teszi a felületeket a robotnak, továbbá az esetleges károk esetén könnyebben javítható, míg egy egész lapos kerítés kitörése esetén az egészet újra kéne szerelni. Ezen típust azért is tartottam jónak, mivel összeszerelés módjában nagyon egyszerű és az ITEM profil alapúságának köszönhetően sokkal egyszerűbben lehet az esetleges átalakítások, bővítéseket kieszközölni. Tanulság volt a tervezési folyamat során, hogy fényfüggönnyel nem tudtam úgy elhelyezni, hogy pontosan találkozzanak és egyforma helyzetben legyenek felszerelve a két oszlopra. Többszöri próbálkozás után jöttem rá, hogy a kiépített kerítés oldalai nem voltak azonos hosszúságban, és csak a kerítés teljes lebontása, újratervezése után tudtam a jó megoldást elérni.

Másik fontos probléma, melyet korábban említettem, az az áramkimaradás, vagy pneumatikai hiba esetén milyen opciók vannak. Olyan rendszer kiépítése vált elengedhetetlenné, mely megakadályozza, hogy bármilyen hiba kialakulása esetén a pneumatika ne essen szét. Ennek érdekében a levegő rendszert egy útválasztóval szereltem fel. A különböző típusokat az alábbi (36. ábra) mutatja, ezek közül én a 5/3-as útválasztót választottam.



36. ábra Pneumatikus útválasztók csatlakozási típusai. [26]

Az útválasztó egy olyan pneumatika eszköz, mely biztosítja a levegő megfelelő áramlását, a számjelzés pedig a rajzi ábrázolásra, illetve a lehetséges útvonalakat jelzi a levegő áramlásánál. A jelölések jelentését a DIN ISO 1219 szabvány tartalmazza, és a leggyakrabban használt típusokat a felső képen lehet látni. Röviden összefoglalva a négyzetek egy-egy állást mutatnak, melyek között kapcsolgatni lehet, vagy kézileg, mechanikus úton, vagy program által vezérelve. A nyilak a levegő lehetséges áramlás irányát mutatják. Az 5/3, melyet alkalmazni fogok, elsősorban zárt (középső rubrika), míg a megfogóm nyitott állapotban van. A baloldali kocka a nyitást jelzi, azaz nálam a dugattyú kilöködik és a megfogó összezár. Ezután az útválasztó ismét teljesen zár, és a zsák paletta fölé helyezéséig úgy is marad. Ezután következik jobb oldali rubrika, azaz a pneumatikus henger dugattyúja visszahúzódik, a megfogó szétnyílik. Szétnyitás után a szelep lezár, ezzel biztosítva, hogy a megfogó karmai nem mozdulnak el. [26, 27]

Egyéb biztonsági eszköz beszerelését tartom még szükségesnek, mint a szállítószalag közelében és a kapunál egy vészleállító beszerelése, meg természetes a robot energia és pneumatikai rendszerét ellátó villamos szekrényre jól látható indító és leállító gombokat, és ha amennyiben igény van rá, működést jelző lámpákat is lehet alkalmazni, de mivel a robot tevékenysége illetve annak hiánya látványos, továbbá csak ideiglenesen szükséges a robotot alkalmazni, így azt elhanyagolhatónak tartom.

5. Összefoglalás

Ezen szakdolgozatnak a tárgya egy programozható, flexibilisen állítható, alapvető pakolási feladatok ellátására szolgáló robotcella tervezése, modellezése volt. Bevezetesként elmagyaráztam a robotok fejlődését, alapvető tulajdonságaik, a jövőbe tekintő tervezéseket, majd bemutattam saját robotcellám tervét és működését. Ezután külön minden egyes alkatrészét leírtam, magyaráztam, választásaimat megindokoltam. Elsőként a cella magját, a robotot, melyet sok más gyártó megvizsgálása után választottam ki. Másodikként az általam megtervezett megfogót, melyre jelenleg csak egyedi gyártás útján, a részletek titkosításával lehet hozzájutni más cégeknél. Ezután a szállítoszalagot írtam le részletesen, kifejtve típusait és alkalmazásait. Végül a különböző érzékelők és biztonsági rendszerek részletezése, melyeket belső és külső konzulenseim segítségével tudtam kiválasztani. Mindezek mellett elmagyaráztam működési elvüket és szabályaikat annak érdekében, hogy bármilyen személy számára, még olyanok is, akik nem végeztek műszaki tudományokat is értse az elemek működését. Céлом az volt, hogy mindenki értse és világos legyen, mit miért csináltam, és alapot adhassak egy projekt tervezéséhez, elkészítéséhez.

Szakdolgozatom írása során sok az egyetem által oktatott tudást használtam fel. A modellező programok használatát, a tervezői munka lépéseit, a számolási módszereket, a gyártástechnológia résztudományait. Szakdolgozatomban érintettem a műanyaggyártást és granulátumok készítését, a robotprogramozást, és az automatizálást. Úgy gondolom, hogy számot tudtam benne venni mindenről, amit egyetemi tanulmányaim során szert tettem, és a dolgozat írásával még több új tudást tudtam szerezni. Mérnöknek lenni legtöbbször annyit tesz, hogy tervezünk, és én úgy gondolom, hogy eme képességemről ez a szakdolgozat tanúbizonyságot tesz.

Habár úgy tűnhet, egyszerű feladatot választottam ki szakdolgozatom témájául, mindebben nem látszódik a több hetes kutatási időszak, a többszöri újratervezése a megfogónak, szállítoszalagnak, illetve a megfelelő kereskedelemben elérhető termékek felkutatása. Eredeti tervem az volt, hogy egy érzékelő mérleg segítségével lehessen küldeni jelzést a robotnak, hogy zsák került pozícióba, futószalagosan akartam megoldani a zsák szállítását, eredetileg sokkal nagyobb megfogót terveztem, mellyel hosszabb zsákokat lehet emelni, és így tovább. A dolgozat elkészítése során megtapasztaltam, mennyire nehéz és hosszadalmas egy projekt elkészítése, miért szükséges több hónapos időszak csak a tervek elkészítésére, illetve miért fontos a projektet megfelelően ütemezni. További tanulság, amit levonhattam ennek a dolgozatnak a készítése során, amit már szakmai gyakorlatom idejére is felismertem, hogy

bármilyen projekt elkészítésekor először mindig a szabványos és/vagy kereskedelmi termékeket kell beszerezni, elhelyezni a modellben, és csak azután, ha nagyon szükséges, és megkerülhetetlen, akkor kell egy új alkatrészt tervezni, konstruálni az általunk elkészíteni kívánt hatalmas feladathoz.

Másik igen nagy tanulsága volt számomra a dolgozat írásának, amelyre néhány tanárom utalást is tett, az az, hogy érdemes dokumentálni a tervezési folyamatot is. Minden egyes kereskedelmi terméket, minden egyes elképzelést, minden egyes ötletet érdemes feljegyezni, és megőrizni. Sokszor fordult elő velem a tervezés folyamán, hogy hosszabb kihagyás után, vagy egyszerűen mert áttértem hosszú ideig a tervezés egy másik területére, hogy a korábban beszerzett modellt, vagy számolt eredményt nem tudtam visszavezetni az eredeti gondolatmenethez, így vagy meg kellett ismételnem a számolás/tervezés azon szakaszát, vagy teljesen új ötletekkel kellett előállnom, mert a korábban tökéletesnek bizonyult metódus egyszerűen nem jutott az eszembe.

Dolgozatomban elmondtam sok hibát és félretervezést, melyeket olvasva sokan talán megmosolyogják, de én mégis fontosnak tartottam leírni őket, mivel az egész folyamata a dolgozat készítésének a tanulásról szól. Sokszor hallom tudósoktól és tanároktól, hogy gyakran azért nem tudunk elérni tudományos fejlődéseket, mert az emberek nem teszik közzé a hibáikat, nem is említik meg őket, csak a sikereiket. És az emberek a sikereik alapján ítélnek meg másokat. Viszont számos példa van arra, hogy a tudományos áttörések leginkább egy hibából jönnek létre. Albert Michelson nem találta meg a fényt vezető étert. A Robert Woodrow Wilson nem pontosan 0 Kelvines hőmérsékletet mért az űr hőmérsékletének. Ezeket a hibákat publikálva más emberek le tudtak vonni következtetéseket és olyan dolgokra mutattak rá, melyek hozzájárultak technológiai fejlődésünk. Megértettük, hogy a fénysebességnél gyorsabban nem lehet haladni. Megtaláltuk a nyomát annak, hogy az univerzum az ősrobbanás által jött létre. A hibákból mindig tanulni lehet és kell is.

Ténylegesen rengeteget tanultam a dolgozat készítése során, és ezúton szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek, Sarkadi-Nagy Baláznak és Nyakas Barnabásnak, akik megfelelő tanácsokkal és szakmai tapasztalataikkal voltak képesek ellátni az elkészítés során. Illetve a meg nem nevezett műanyag gyárnak, ahol először tapasztaltam meg, milyen egy ipari gyárterületen dolgozni, és meg akarom köszönni minden tanáromnak, szaktársamnak és egyetemi dolgozónak, akik segítettek, hogy idáig eljuthassak.

6. Irodalomjegyzék

- [1] Thomas Ort: *Art and Life in Modernist Prague*, Palgrave Macmillan US, New York, 2013, 258
- [2] Jean-Pierre Merlet: *A Historical Perspective of Robotics*, in Marco Ceccarelli (Editor): *International Symposium on History of Machines and Mechanisms Proceedings HMM 2000*, Springer, Dordrecht, 2000, pp. 379-386
- [3] Shyamanta M. Hazarika, Uday Shanker Dixit: *Robotics: History, Trends, and Future Directions*, in J. Paulo Davim (Editor): *Introduction to Mechanical Engineering*, Springer, Cham, 2018, pp. 213-239
- [4] Sean Gallagher, John R. Heberger: *The effects of operator position, pallet orientation, and palletizing condition on low back loads in manual bag palletizing operations*, *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 47, 2015, pp. 84-92
- [5] A. Gasparetto, L. Scalera: *A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century*, *Advances in Historical Studies*, Vol.8 ,No.1, 2019, pp. 24-35
- [6] Bob Malone: George Devol: *A Life Devoted to Invention, and Robots*, IEEE Spectrum, IEEE, <https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/george-devol-a-life-devoted-to-invention-and-robots>, 2020.11.26.
- [7] Fatma Gzara, Samir Elhedhli, Burak C. Yildiz, *The Pallet Loading Problem: Three-dimensional Bin Packing with Practical Constraints*, *European Journal of Operational Research*, Vol. 287, Iss.3, 2020, pp.1062-1074.
- [8] S. K. Ong, A. W. W. Yew, N. K. Thanigaivel, A. Y. C. Nee: *Augmented reality-assisted robot programming system for industrial applications*, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Vol. 61, 2020, pp. 1-7.
- [9] Sabrina Waffenschmidt: *"I called it Doubleganger"*, *Best Practice*, Iss. 3, 2018, pp.14-15
- [10] Behrang Ashtari Talkhestani, Michael Weyrich: *Digital Twin of manufacturing systems: a case study on increasing the efficiency of reconfiguration*, *Automatisierungstechnik*, Vol. 68, Iss. 6, pp. 435–444
- [11] Mingjin Yang, Wenju Zhou, Tianxiang Song: *Audio-based fault diagnosis for belt conveyor rollers*, *Neurocomputing*, Vol. 397, 2020, pp. 447-456
- [12] Gethzi Ahila Poornima, B. Paramasivan: *Anomaly detection in wireless sensor network using machine learning algorithm*, *Computer Communications*, Vol. 151, 2020, pp. 331-337
- [13] Amin Shahraki, Amir Taherkordi, Øystein Haugen, Frank Eliassen: *Clustering Objectives in Wireless Sensor Networks: A Survey and Research Direction Analysis*, *Computer Networks*,

Vol. 180, 2020, pp. 1-18.

[14] Angeliki Zacharaki, Ioannis Kostavelis, Antonios Gasteratos, Ioannis Dokas: *Safety bounds in human robot interaction: A survey*, Safety Science, Vol. 127, 2020, pp. 1-19.

[15] Baohua Zhang, Yuanxin Xie, Jun Zhou, Kai Wang, Zhen Zhang: *State-of-the-art robotic grippers, grasping and control strategies, as well as their applications in agricultural robots: A review*, Computers and Electronics in Agriculture, Vol.177, 2020, pp. 1-20.

[16] Wagner, J. R., Mount, E. M., & Giles, H. F. : *Extrusion*, 2nd edition, Elsevier, Waltham, 2014, 636

[17] ABB, New ABB, ABB,
https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=ROB0206EN_A&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch, 2020.11.26.

[18] Horváth Szabolcs: *Alapfogalmak*, Szerszámgépek előadás anyaga, Széchenyi István Egyetem, Járműgyártási Tanszék, Győr, 2020.11.26.

[19] Yuval Tassa, Tingfan Wu, Javier Movellan, Emanuel Todorov: *Modeling and identification of pneumatic actuators*, IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, IEEE ICMA 2013 Conference, Takamatsu, 4-7 Aug. 2013.08.04-2013.08-07., pp. 437-443.

[20] Koray Eyyupoğlu: *Material Transportation Systems In Production Logistic*, Diplomamunka, Yıldız Technical University, İstanbul, 2019

[21] Stefan Hamacher: *The Drum Motor*, Springer Vieweg, Berlin, 2020, 108

[22] Željko Despotović, Vladimir Šinik, Slobodan Janković, Dalibor Dobrilović, Momčilo Bjelica: *Some Specific Of Vibratory Conveyor Drives*, INTERNATIONAL Conference Industrial Engineering and Environmental Protection Proceedings, V. International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection, Zrenjanin, 2015.10.15-2015.10.16., pp. 257-263.

[23] David Weintrop, Afsoon Afzal, Jean Salac, Patrick Francis, Boyang Li, David C. Shepherd, Diana Franklin: *Evaluating CoBlox: A Comparative Study of Robotics Programming Environments for Adult Novices*, CHI EA '18: Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '18: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Montréal, 2018.04.21-2018.04.26., pp. 1-12.

[24] EPAL, *Epal Pallets*, European Pallet Association e.V. (EPAL), https://www.epal-pallets.org/fileadmin/user_upload/ntg_package/images/Produktdownloads/Produktdatenblatt_GB/EPAL1_Produktdatenblatt_GB.pdf, 2020.11.26.

[25] Pickit N.V., *Pickit3D*, Pickit N.V.,
<https://docs.pickit3d.com/en/2.2/documentation/detection/bags/how-to-use-pickit-bags.html>,

2020.11.26.

[26] Sarkadi-Nagy Balázs: *4. Pneumatika és elektropneumatika*, Gépipari automatizálás, előadás anyag, Széchenyi István Egyetem, Járműgyártási Tanszék, 2020.11.26.

[27] ISO 1219-1:2012, *Fluid power systems and components — Graphical symbols and circuit diagrams — Part 1: Graphical symbols for conventional use and data-processing applications*, 2012