



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

# Mobil robot modulcserélő sínrendszerének tervezése

Design of module exchange rail system of mobile robot

OE-BGK

2022.

Hallgató neve:

Hallgató törzskönyvi száma:

Név: Krámli Benedek

T009153/FI12904/B



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem  
Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar  
Anyag- és Gyártástudományi Intézet

## SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Krámlí Benedek  
Szakdolgozat száma: SZD22053013323452  
Törzskönyvi száma: T009153/FI12904/B

Neptun kódja: XXXXXXXXXX

Szak: gépészmérnöki  
Specializáció: gépészmérnöki - CAD-CAM-CNC

A dolgozat címe: Mobil robot modulcserélő sínrendszerének tervezése

A dolgozat címe angolul: Design of a module exchange rail system of a mobile robot

A feladat részletezése:

1. Röviden mutassa be vállalatot, ismertesse a megoldandó problémát!
2. Végezzen kutatást a szakirodalomban a feladat témakörében!
3. Mutassa be a mobil robot tulajdonságait, végezzen összehasonlítást a kereskedelemben kapható hasonló termékekkel kapcsolatban!
4. Készítse el a tervezendő sínrendszer követelményrendszerét, tervezzen meg több variánst, hasonlítsa össze a megoldásokat!
5. Válassza ki és dokumentálja a megfelelő variánst, készítse el a tervezet költségszámítását!

Intézményi konzulens neve: Dr. Czifra György

Külső konzulens neve: Tóth Péter  
Munkahelye: DSS Technologies Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2024. 05. 15.

Beadási határidő: 2022. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2022. 10. 21.



Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom

belső konzulens

külső konzulens





ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem

Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

### HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat/diplomamunka saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban/diplomamunkában található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2022. 12. 08.

hallgató aláírása

## Tartalomjegyzék

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 1. Bevezetés .....                                   | 4  |
| 2. Irodalomkutatás .....                             | 5  |
| 2.1 Robotokról általánosan: .....                    | 5  |
| 2.2 Robotok csoportosítása: .....                    | 6  |
| 2.3 Helyhez kötött robotok: .....                    | 6  |
| 2.4 Mobil robotok: .....                             | 8  |
| 2.4.1 Iparban használatos mobil robotok: .....       | 12 |
| 2.4.2 Automated Guided Vehicle (AGV): .....          | 12 |
| 2.4.3 Autonomus Mobile Robot (AMR): .....            | 15 |
| 3. A projekt jelenlegi állapotának áttekintése ..... | 17 |
| 3.1 Váz felépítése: .....                            | 17 |
| 3.2 Meghajtás: .....                                 | 18 |
| 3.3 Mecanum kerekek elrendezése és meghajtása: ..... | 18 |
| 3.4 Elektronikai rendszerek: .....                   | 20 |
| 3.5 Burkolat: .....                                  | 22 |
| 3.6 UV-C modul: .....                                | 23 |
| 4. Tervezés folyamata .....                          | 25 |
| 4.1 Modul tervezés: .....                            | 25 |
| 4.2 További modulok tervezése: .....                 | 29 |
| 4.3 Modulflotta kezelése: .....                      | 29 |
| 4.4 Modulcsere tervezése: .....                      | 31 |
| 4.4.1 Kúpos csere verzió: .....                      | 31 |
| 4.4.2 Gördülő vezeték: .....                         | 33 |
| 4.5 Kézi modulcsere tervezése: .....                 | 37 |
| 4.6 Automata modulcsere tervezése: .....             | 44 |
| 5. Összefoglalás .....                               | 58 |
| 6. Summary .....                                     | 60 |
| 7. Irodalomjegyzék .....                             | 62 |

## 1. Bevezetés

Szakedolgozatom témaválasztását nagymértékben meghatározta jelenlegi munkahelyem, ahol gyakornoki állásomat betöltöm. A DSS Technologies Kft. fő profilja az ipari robotok teljeskörű automatizálása és egy autonóm robotegység fejlesztése. Gépészmérnök gyakornokként a fő feladataim közé a fejlesztés során felmerülő mechanikai, dinamikai és kinematikai kérdések megválaszolása tartozik.

Az általunk tervezett robot hardveres és szoftveres egységei is a cég fejlesztésének eredménye. Az alap robot egy 655x655x450 mm-es befoglaló méretű, 4 mecanum kerekkel ellátott, autonóm szerkezet. A szakedolgozatom célja az erre az alapegységre szerelhető különböző modulok feladatainak megfogalmazása, megtervezése, gyártásuk optimalizálása, a modulok cseréjének kialakítása és megvalósítása.

Az alap modul egy alapvetően egészségügyi környezetbe szánt UV-C lámpákkal felszerelt fertőtlenítő modul. Azonban bármilyen nagyterületű épületben hatékonyan használható pl. repterek, iskolák, gyárépületek, bevásárlóközpontok.

A robot képes feltérképezni a környezetét, ami a valóságban egy szobát vagy akár komplett emeletet is jelenthet. A feltérképezés során eltárolja a fizikai akadályokat, és ezt követően ezek a térképek bármikor meghívhatók a saját adattárolójából.

A fertőtlenítő modulon túl még egyéb szállítómodulok fejlesztése is szerepel a kitűzött célok között. Gyógyszerszállító, tisztítószeres, ételhordó és hűtő egységek is alkalmazhatók a fent említett környezetekben.

Ezek a modulok valamilyen módon kapcsolódnak az alapegységhez. Cseréjük automatizálása a cég hosszútávú célkitűzései között szerepel. A fejlesztés ezen szakaszában a sínrendszer prototípusainak tervezése és gyártása megtörtént.

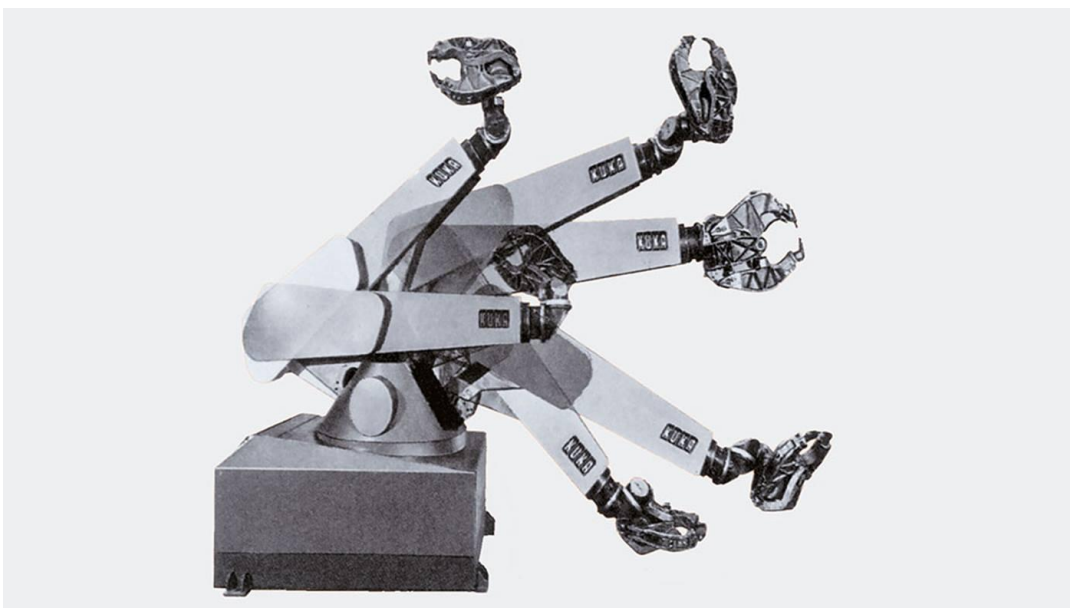
## 2. Irodalomkutatás

### 2.1 Robotokról általánosan:

A történelem során a robotok jóval előbb jelentek meg az irodalom és a fantázia világában, mint a való életben. Így nem meglepő, hogy a robota (szolgaság, munka) kifejezés egy cseh írótól (Karel Čapek 1920) származik.

A robotok tényleges megjelenésére a 90-es évek második feléig várni kellett. A világ első mechanikus robotkarja az Unimate #001 nevet viselte és 1961-ben a General Motorsnál állandó részévé vált a termelési láncnak. [1]

A következő évtizedekben a dinamikus fejlődésnek köszönhetően a komolyabb gyártórendszerek nélkülözhetetlen elemei lettek. Két alapvető fejlesztési iránynak kellett párhuzamosan megvalósulnia és fejlődnie. Egyik részről a mechanikai korlátok kiszélesítése, ilyen például az elérhető szabadsági fokok száma, meghajtás gyorsasága és pontossága. Másrészt pedig ezek informatikai támogatása és rendszerbe foglalása, értve ezalatt a programozást, számítási kapacitást és sebességet. E fejlesztéseknek köszönhetően 1973-ban a Kuka cég piacra dobta az első hattengelyes, elektromechanikus hajtású robotját a Famulust. [2]



1.1 ábra Kuka cég Famulus nevű 6 tengelyes robotkarja 1973 [2]

A következő nagyobb ugrást a 2000-es évek elején megjelent kollaboratív robotok (kobot) jelentették. Ezek a szerkezetek képesek az emberi munkaerővel közösen dolgozni. Azonos helyen és időben támogatást nyújtanak a humán erőforrásnak ezzel biztosítva a hatékonyságot és a nagyfokú pontosságot.

2025-re az iparban teljesített munkaórák 52%-át számítógépek és intelligens gépek, míg a fennmaradó 48%-ot emberi munkaerő végzi majd. Teljesen egyértelmű tehát, hogy a robotok fejlesztésére és felhasználásuk kiszélesítésére a továbbiakban is nagy szükség lesz. [1]

## 2.2 Robotok csoportosítása:

A robotokat számos szempont alapján csoportosíthatjuk: felhasználás, mobilitás, autonómia, méret, mozgásforma és még egyéb szempontrendszerek szerint. Esetünkben a mobilitás szintjeit érdemes a leginkább vizsgálni.

Mobilitás szerint:

- helyhez kötött robotok;
- mobil robotok.

## 2.3 Helyhez kötött robotok:

A kinematikájuk alapján két részre oszthatjuk: soros és párhuzamos kinematikájú robotok. A soros kinematikával rendelkező robotok esetében a kinematikai lánc egymásra épülő szegmenseket foglal magában. [3]



1.2 ábra Kuka cég ipari robotkarjai [2]

Az egyes robotegységek vagy szegmensek közötti egy szabadságfokú kapcsolatot rotációs (csuklók) vagy lineáris (transzlációs) módon hozzák létre. A létrejött sorosan tagolt egységek végső eleme a megfogó (végeffektor) mely az adott alkalmazási területnek megfelelően képes ellátni a robot meghatározott feladatát. Az iparban széleskörűen elterjedt robotkarok is ennek a kinematikai modellnek a csoportjába tartoznak. (1.2 ábra)

A párhuzamos kinematikájú robotok fellépését három fő részre oszthatjuk:

- hosszukat változtatni képes lábak;
- egy álló és egy mozgó platform;
- a lábak platformhoz való csuklós kapcsolata.

Ezek általában 3 vagy 6 különálló lábbal vannak ellátva. A lábak hosszmeretei külön-külön változtathatók, így a mozgó platform a munkatér bármely pontjára eljuttatható. Az elérhető munkatér nagyságát a lineáris aktuátorok mozgástartománya és ezeknek esetleges ütközési pozíciója határozza meg. A 6 lábás (hexapod) robotok nagy teherbírással, jó merevséggel és általában nagy álló platformmal rendelkeznek. [4]



1.3 ábra Symétrie Puna típusú hexapod [5]

A 3 lábú (tripod) kivitelek mozgásvariációi korlátozottabbak. Ezzel az elrendezéssel csak 3 tengelyű mozgásvizony valósítható meg. Ez azt jelenti, hogy a mozgóplatform koordinátarendszerének orientáció soha nem változik. A torziós merevsége a tripod



kivitelnek kisebb, mint a hexapod robotok esetében, azonban felépítésük és vezérlésük jóval egyszerűbb, így jelentősen kedvezőbb árban elérhetőek. Az ipari felhasználásuk gyors ütemben terjed. Pontosságuk és gyorsaságuk eléri az iparban használatos egyéb robotkaroként és sok esetben tökéletesen kiválthatják azok feladatait.



1.4 ábra drylin DLE-DR delta robot (tripod) [6]

## 2.4 Mobil robotok:

A mobil robotok legfőbb jellemzője, hogy képesek a helyváltoztatásra. Nem egy kötött, fizikailag behatárolt pályán való mozgásra, hanem tényleges pozicionálásra a környezet térképezésével együtt. Ehhez szüksége van érzékelőkre, szenzorokra, amelyek pontos információkkal látják el a mobil robot önálló vezérlőegységét. Ehhez elengedhetetlen, hogy a szerkezet rendelkezzen valamilyen belső, saját energiaforrással és a központi számítógép képes legyen a navigációnak valamilyen szintjére. A teljes tájékozódási, helyzetváltoztatási és térképezési folyamatnak különböző autonómiái léteznek. Értve ezalatt, hogy robot milyen környezetben, milyen pontossággal és milyen gyorsasággal képes ezt mind együttesen végezni.

A mobil robotok esetében elengedhetetlen a mozgásuk megvalósítása. Széles körben alkalmazhatók: levegőben, vízben, víz alatt és szárazföldön. Ezekhez a rendszerekhez mind-mind alkalmazkodnia kell az adott egységnek. Meghajtásukra az alábbi megoldásokat szokás alkalmazni: kerék, láncalp, láb, propeller, fúvóka. [7]

A levegőben alkalmazott legismertebb típusok közé sorolhatók a pilóta nélküli, különböző harcászati célokra fejlesztett repülőegységek. Felderítő drónok, kifejezetten támadó célzattal épített robotrepülőek és különféle egyéb katonai műveletek végrehajtását segítő eszközök. A mezőgazdaságban is gyors ütemű terjeszkedés és fejlesztés tapasztalható. Különböző vizsgálati módszereket alkalmazva növelhető a terméshozam. Ezek a mezőgazdasági drónok a betakarításon és permetezésen kívül, számos hasznos adatot képesek szolgáltatni a felhasználóik számára.



1.5 ábra DJI AGRAS T10 drón [8]

A vízi környezetben használt robotok jelentős hányada mélytengeri felderítő, kutató tengeralattjáró. A robothajók fejlesztése napjainkban jelentős figyelmet kap. Az egyik ilyen jelentős fejlesztés az IBM és a Promare nevű tengerkutató vállalat közös projektjeként megvalósuló Mayflower. 2021. nyarán indult útnak, hogy átszelje az Atlanti-óceánt. Ez az út azonban technikai okok miatt megghiúsult. 2022 április 27-én újra útnak indult és 40 nappal később sikeresen célba ért. Egy teljes egészében mesterséges intelligencia által vezérelt és irányított trimarán, amely új távlatokat nyithat a tengeri kutatások történetében. [9]



1.6 ábra Mayflower [10]

Kétségtelenül a szárazföldi felhasználást tekinthetjük a legszéleskörűbbnek a robotokat illetően. Ezeket a típusokat nagyon nehéz egzakt módon csoportokba rendezni. Ha figyelmen kívül hagyjuk az iparban használatos helyhez kötött robotokat és csak a helyváltoztatásra képes mobil egységekre gondolunk még abban az esetben is számos szempontot tudunk felsorolni a különböző csoportosításukra. Azonban egy jó szűrőként tekinthetünk ezek mozgását biztosító megoldásokra. Két alapvető csoportra oszthatjuk: a kerekeken, láncalpakon mozgó, valamint járó, lépegető robotokra.

A gördülő elemekkel ellátott csoportnak számos előnyös tulajdonságát felsorolhatjuk. Az egyik jelentős különbség az energiaigény, kisebb energiabefektetéssel képesek a mozgásra, mindezt relatív nagy sebességekkel társítva. Ezen robotok irányítása, szoftveres vezérlése is egyszerűbb, mint járó, lépegető társaiké. Az iparban alkalmazott mozgásra képes robotok döntő többsége ehhez a csoporthoz sorolható, így ezekről egy külön fejezetben még bővebben lesz szó.

A járó, lépegető robotok egy igen érdekes ágazatként vannak jelen a robotok történetében. Megjelenésüket leginkább az emberi mozgásviszonyok tanulmányozása hívta életre. Ha figyelembe vesszük, hogy az emberi test hány féle mozgásformára képes és milyen környezeti akadályok mellett teszi mindezt, rájöhethetünk, hogy egy tökéletesen megalkotott „gépet” láthatunk. Az úgynevezett humanoid robotok pont

ezeket a mozgásokat próbálják a lehető leginkább lemodellezni. A technika előrehaladtával azonban a mozgáson túl további emberi tulajdonságok megteremtésével is próbálják egyre hozzánk hasonlóbbá tenni ezeket a gépeket. (1.7 ábra)

A lábakkal ellátott robotok esetében gyakran találkozhatunk egyéb, a természetből vett példákkal is. Számos állat mozgását és testi felépítését érdemes alapul venni egy-egy szerkezet mechanikai mozgásvizonyainak tervezésekor.

Azonban ezeknek az eszközöknek a megalkotása igen összetett feladat. A természetes mozgásvizonyok lemodellezése és végrehajtása rendkívül energiaigényes. Sok esetben apró mozdulatsorozatok sokaságára van szükség ezek létrejöttéhez. Mesterséges környezetben különféle szervomotorok, hidraulikus és pneumatikus henger tökéletesen összehangolt rendszerére van szükség.

Az 1.7-es ábrán látható Atlas nevű humanoid robot jelenlegi fejlesztési szintjének köszönhetően egészen elképesztő mozgássorozatokra képes.



1.7 ábra Boston dynamics Atlas típusú robotja ugrás közben [11]



### **2.4.1 Iparban használatos mobil robotok:**

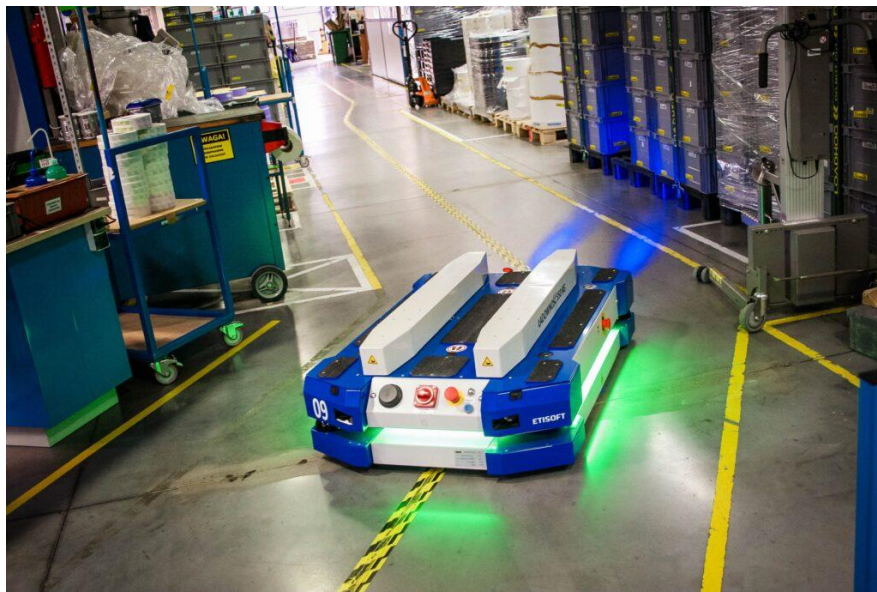
A mai felgyorsult termelési környezetben a robotok alkalmazása szinte elkerülhetetlen. Számos ipari környezetben képesek az emberek által végzett feladatok kiváltására. A gyártás, összeszerelés és raktározás is mind nagy ütemben fejlődik és gyorsul. A logisztikai feladatok optimalizálására különböző számítógépes algoritmusok hada áll rendelkezésre az ipar számára. Az egyre inkább digitalizált környezetbe tökéletesen integrálhatók a mobil robotok.

Ha megfigyelünk egy termelési láncot, ahol nagy mennyiségű alkatrésze, szerszámra, alapanyagra van szükség láthatjuk, hogy mindez egy jó közelítéssel modellezhető, időben lekövethető rendszert alkot, amelyben az egyes folyamatokat megelőzi és követi egy másik lépés. Sok esetben ezek a folyamatok helyhez kötöttek, itt alkalmazhatók a helyhez kötött ipari robotok, azonban ezen munkafolyamatok láncszerű összekapcsolásához egyre nagyobb igény mutatkozik a mobilizált, sok esetben relatív nagy távolságokat megtenni képes, robotokra. Egy mesterségesen létrehozott környezetet szem előtt tartva, mint például gyáépület, raktárépület, logisztikai központ tökéletes megoldást jelentenek a kerekekkel ellátott mobil egységek. Az egyik legelterjedtebb típusként szokás megemlíteni az automatizált irányított járművek (automated guided vehicle AGV) csoportját. A másik, egyre nagyobb jelentőséggel bíró típus az úgynevezett autonóm mobil robotok AMR (Autonomus Mobile Robot) csoportja. Hasonló feladatok ellátására alkalmazzák, mint egyszerűbb társát, azonban a tájékozódási, integritási és flottakezelési előnyei messze túlmutatnak az AGV szintjén. [12]

### **2.4.2 Automated Guided Vehicle (AGV):**

Az AGV-k már a hetvenes évektől jelen vannak az iparban. Fő feladatuk a mai napig az anyagmozgatás. A nagyobb gyártó vagy logisztikai környezeteknek szinte elengedhetetlen elemei. Számos típusaival találkozhatunk, amik az adott feladathoz és körülményhez optimalizálhatók. Az egyik ismert fajtája az úgynevezett lapos AGV-k, melyek rendszert alkotó tárolóegységek vagy más nagy tömegű anyagok mozgatására nyújtanak széleskörű alkalmazhatóságot és megoldást. De léteznek villás emelővel

ellátott típusok is, valamint raklapmozgató és tárolókocsikat vontató járművek is. Irányításuk a mai technológiák fényében igen kezdetlegesnek mondható. Az autonómia szintje meglehetősen alacsony. A telepített útvonalak követését eltérő módszerekkel képesek megoldani, azonban minden esetben szükséges valami féle előre meghatározott és fizikailag kijelölt környezet létrehozása. Ebben a jól körül határolt térben képesek az AVG-k teljesíteni önállóan a feladatukat. [12]



1.8 ábra Etisoft AGV [13]

Ezeknek az automata járműveknek az együttes, összehangolt mozgatása és sok esetben emberi munkaerő körüli munkavégzése teszi kritikus ponttá a forgalomirányítási rendszert, amely magán a járművön vagy egy központi számítógépen is futhat. A rendszer szintű vezérlést különféle módon valósíthatják meg:

- zónavezérléssel;
- elektromágneses vezérléssel;
- mágnesszalagos vezérléssel;
- QR kódos navigációval;
- szalagvezérléssel;
- lézerszkenneres vezérléssel;
- kombinált vezérléssel.

**Zónavezérlés:** ennek módszernek a lényege, hogy az adott területet zónákra osztják és az AVG-k képesek jelezni a zónán belüli helyzetüket. Ha foglalt a zóna, akkor a zónán kívüli járművek stop jelzést kapnak, addig míg az irányítástól „mehet” parancsot nem érkezik. A zóna telítettsége és mérete egyedi paraméterezés kérdése. A központi vezérlő lehet egy különálló egység, ebben az esetben a robotokon adókat helyeznek el, így képesek az információkat fogadni. A másik gyakori elterjedt típusa, mikor az egységeken külön-külön adókat és vevőket is telepítenek, ezáltal pedig képesek az egymás közti minimális kommunikációra.

**Elektromágneses vezérlés:** ez egy régi és viszonylag egyszerű módja az AVG-k pontos útvonalkövetésére. A padlószint alá vezetékeket helyeznek el, az előre kijelölt út mentén. Áram alá helyezve ezek a vezetékek elektromágneses teret hoznak létre maguk körül, amit a robot az alján lévő érzékelő segítségével képes végig követni. Nagy előnye, hogy a kijelölt vezetékrendszer a padlóba van integrálva, így csökkentve a sérülésveszélyt és a meghibásodás.

**Mágnesszalagos vezérlés:** ez a módszer lényegében ugyanaz, mint az elektromágneses társa. Annyiban különbözik csupán, hogy a mágnesszalagot nem szükséges áram alá helyezni, valamint a telepítése és utólagos módosítása, bővítése egyszerűbb lévén, hogy a padlóra helyezik le.

**QR kódos navigáció:** Ez a módszer nagyon elterjed ebben az ágazatban. A QR kóddal ellátott matricákat a kívánt útvonal mentén ragasztják le a földre. A robot lefelé néző kamerája beolvassa ezeket a kódokat. Így megkapja a pozíciójának információit és egyéb, a munkára vonatkozó, utasításokat. Egy nagyon költséghatékony megoldás, amely lehetővé teszi a robot számára, hogy az útvonalalkövetésen kívül egyéb utasításparancsokat is fogadhasson. A kódok magukban hordozhatnak olyan lényeges mozgási utasításokat, mint például: emeld fel, rakd le, állj meg, várj 10 másodpercet stb. Hátrányaként viszont mindenképp meg kell említeni, hogy a felragasztott matricák ki vannak téve a mechanikai behatásoknak és könnyen olvashatatlaná válnak ilyen esetekben.

**Szalagvezérlés:** ez egy optikai vezérlési módszer. A kívánt útvonalat speciális szalagokkal vagy lakkal jelölik ki. Az AVG optikai érzékelői lekövetik ezek és így

képes haladni a meghatározott útvonalán. Előnye, hogy nagyon gyorsan és egyszerűen változtatható, azonban csak tiszta és sík munkakörnyezetben használható.

Lézerszkenneres vezérlés: ezt a típust hagyományos és természetes lézerszkenneres navigációra oszthatjuk. A hagyományos módszer lényege, hogy az AVG-t ellátják egy szkennerral és a munkaterületet körül határolják visszaverő pontokkal. A kibocsátott lézersugarak visszaverődési idejéből és szögéből képes a robot a pontos helymeghatározásra. Hátránya, hogy igen költséges és bonyolult a telepítése, valamint leárnnyékolás esetén funkcióját veszti.

A természetes módszer ezzel szemben nem használ előre telepített visszaverődési pontokat, hanem a természetes környezetében fellelhető fizikai akadályok, falak, polcok stb. szolgálnak felületként. Hátránya, hogy ingen pontatlan pozícionálásra képes a robot és az esetlegesen a területen hagyott akadályok könnyen megzavarhatják a vezérlést.

A ma használatos AVG-et az előbb említett vezérléseken kívül még ellátják valamilyen ütközésselkerülési biztonsági rendszerrel is. Ez lehet lézeres, hangalapú, optikai vagy akár egy fizikai lökhárító is. [12]

### **2.4.3 Autonomus Mobile Robot (AMR):**

Az autonóm mobil robotok egyre széleskörűbb elterjedését az ipari igények folyamatos fejlődése szinte megköveteli. Az automata AVG rendszerek telepítése és különböző feladatokra való átállítása költséges és sok esetben nem is lehetséges. Ezzel szemben az AMR egy rendkívül sokoldalú, számos feladatot ellátni képes megoldást jelent. Nincs szükség előre telepített, bonyolult tájékozódást segítő rendszer kiépítésére. Így a gyors alkalmazhatóságuk mellett a gyors áttelepíthetőség is mellettük szól.

A központi számítógép és az érzékelők segítségével képes akadályokat kikerülni és megállás nélkül újra tervezni az útvonalat. [14]



1.9 ábra MIR cég AMR szállítás közben [14]

Az AMR sokoldalú felhasználást tesz lehetővé. Egy alapegység számos feladatra alkalmazható a különböző modulok és rájuk szerelt további egységek révén. Az anyagmozgatástól, a robotkarok mobilizálása mellett takarítási, fertőtlenítési és felügyeleti munkákat is végezhetnek. Az áttelepíthetőség igen felhasználóbarát, nem igényel programozói szaktudást, sok esetben egy egyszerű betanítás után pár óra alatt munkába állíthatók.



### 3. A projekt jelenlegi állapotának áttekintése

Az általunk fejlesztett mobil robot egységet leginkább az AMR-ek csoportjába lehetne sorolni. Egy operátor által végigvezetett térképezési folyamat után, képes önállóan tájékozódni a térképen, reagálva a felmerülő akadályokra mind vertikális, mind pedig horizontális irányban. Fontos tulajdonsága még, hogy nem igényel zárt rendszert, így például egy emberekkel teli üzemcsarnokban vagy kórházban is alkalmazható. A fejlesztés elsődleges célja egy UV-C fertőtlenítő egység létrehozása volt, azonban a robot további modulokkal is felszerelhető.

Az alábbi fejezetekben a robot pontos felépítése és működése kerül ismertetésre.

#### 3.1 Váz felépítése:

A robot vázának anyaga teljes egészében 7075 alumínium. Ez az egyik legerősebb alumínium ötvözet. A váz különböző elemei menetes kötőelemekkel kapcsolódnak egymáshoz. A menetek sok esetben közvetlenül a váz anyagába lettek belemunkálva. Ez az ötvözet képes elviselni a többszöri ki-és becsavarást. Előzetes ismereteink alapján és a tesztek során kiderült, hogy egy kevésbé ellenálló alumínium ötvözet pl. Al6061 egy 4-5 mm-es anyagvastagságnál 2-3 alkalommal történő gépi összeszerelés esetén nem képes biztosítani a csavarmenetek épségét.



2.1 ábra Összeszerelt robot váz [15]

A számítógépes tervek alapján megállapítottuk, hogy a hozzárendelt anyagtulajdonságok és alkatrészek felhasználásával kb. 80 kg össztömeggel számolhatunk a robot alapegységét illetően. A váz tervezése során ezt tömeget és a robotra utólagosan felszerelt szállítómodulok tömegét kellett alapul venni.

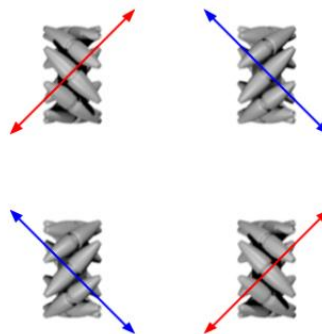
### 3.2 Meghajtás:

A robot meghajtását 4 db Nanotec szénkefe nélküli DC motor biztosítja. Ezeket 12V-os tápfeszültség működteti. A négy kereket 4 db külön motor hajtja összehangolt mozgásban. A robot omnidirekcionális hajtással van ellátva, így képes az irányváltoztatásra, anélkül, hogy az orientációja megváltozna. (Ez olyan, mintha egy személyautó oldalazva be tudna parkolni egy párhuzamos parkolóhelyre.)

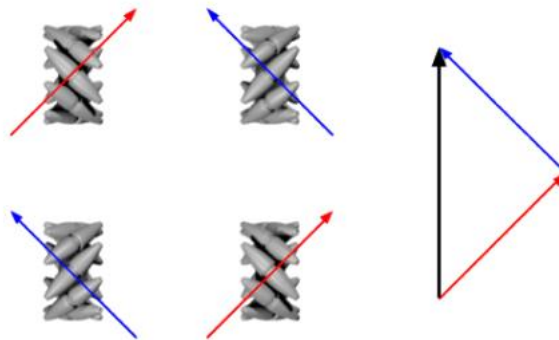
Az omnidirekcionális hajtás több módon is kivitelezhető, esetünkben az egyik elterjedt módszert alkalmazzunk. A négy motor 4 db mecanum kereket hajt meg, lényege, hogy a központi kerékre további kis görgőket szerelnek, melyek 45°-os szöget zárnak be a központi kerék tengelyével. [16]

### 3.3 Mecanum kerekek elrendezése és meghajtása:

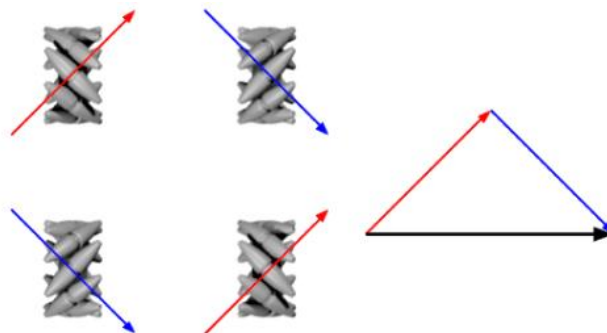
Ennek a hajtásformának a fizikai ismerete fontos a teljes robot tervezése során. A modulok tervezésekor figyelembe kell venni az oldalirányú mozgásokból eredő erőket és gyorsulásokat. Az alábbi ábrákon látható a kerekek elrendezése és a meghajtásból adódó erők együttes hatása:



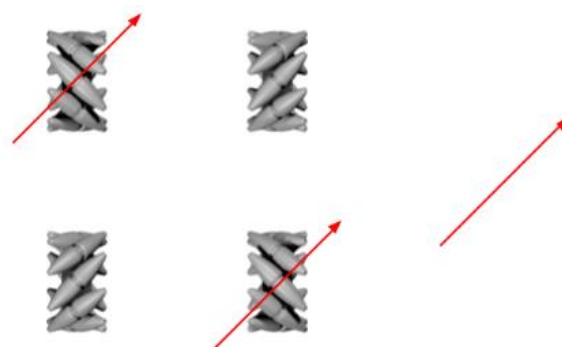
2.2.1.ábra Mecanum kerekek meghajtása, egyhelyben forgás [17]



2.2.2 ábra Mecanum kerekek meghajtása, előre haladó mozgás [17]



2.2.3. ábra Mecanum kerekek mozgása, oldalazó mozgás [17]



2.2.4. ábra Mecanum kerekek meghajtása 45°-os oldalazás [17]

### 3.4 Elektronikai rendszerek:

A teljes robotot egy 12 V-os egyenáramú akkumulátor látja el. Ezeket az energiaforrásokat egy partnercég fejleszti és gyártja. Elsősorban kisméretű hajók ólomsavas munkaakkumulátorainak kiváltására készülnek. Paraméterei és széles felhasználási lehetőségei teszik alkalmassá a robotban való működtetésre.

A robot elektronikai rendszerét három nagyobb perifériára lehet szétbontani. Az akkumulátorból közvetlenül 3 különböző DC/DC konverterbe kötjük a tápellátást. Egy 5V-os, egy 12V-os és egy 24V-os feszültségátalakítót használunk, amik stabilan előállítják ezeket a feszültségértékeket.

Az 5V-os tápellátás működteti a motorvezérlő panelt, a biztonsági panelt, ami az összes periféria tápellátását kapcsolja és hiba esetén leállítja azokat. A bluetooth modult, az antennát, a ledet és a time of flight szenzorokat. Ezek a szenzorok a kibocsájtott lézersugarak visszaverődésének idejéből képesek számolni a robot körüli fizikai távolságokat és észlelik esetleges akadályokat.

A 12V-os konverter az ipari számítógép tápját biztosítja. Ez a teljes elektronika központja. Minden parancsot és érzékelőtől kapott adatot ez a központi számítógép dolgoz fel és ad utasítást a többi egységnek.

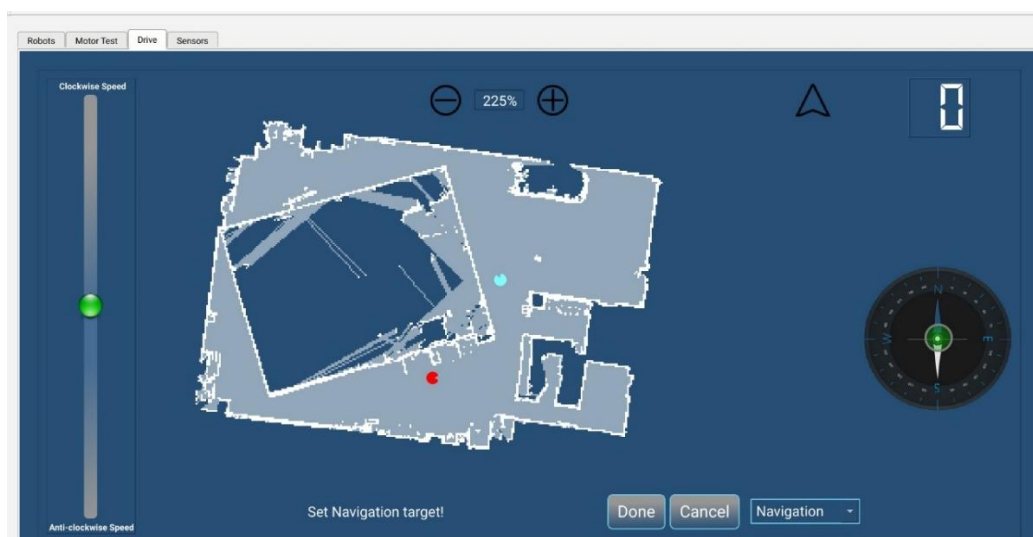
Végül pedig a 24V-os konverterek, amik a két biztonsági lézerszkenner működéséhez szükséges feszültséget állítják elő. Ez a két nanoScan végzi a tájékozódást és a feltérképezést a robot környezetében. Átlósan a váz elején és hátulján helyezkednek el, ezzel 360°-ban lefedik a robot környezetét és biztosítják az akadályok elkerülését. A használt lézerek egyenként 275°-os szögben képesek az érzékelésre. Így a két lézer használata esetén egy teljes körben térképeznek a robot körül. A burkolat és a váz kialakítása során fontos szempont volt, hogy a lézerek sugarainak útjában nem lehet semmi. Ezért egy úgynevezett körbefutó lézeralagutat kellett kialakítani. A 2.3.1. ábrán látható az általunk használt lézer szkenner.



2.3.1 ábra nanoScan3 safety Laser Scanner Sick [18]

A robot pontos lokalizálása nagyon lényeges. Az ipari környezetben használt robotok egy nagy része erre csak részben képes. Értve ezalatt, hogy számos megoldás létezik, amely segíti a pozíciómeghatározást, de ez sok esetben valamilyen fizikai érzékelőt, mágnesszalagot, kijelölt utak feljelölését jelenti, és az adott robot csak a számára létrehozott környezetben képes tájékozódni.

A munkánk során fejlesztett mobil robotnak nincs szüksége semmi külső fizikai rendszerre. A lézerszkennerek, kamerák és time of flight szenzorok segítségével képes önállóan érzékelni a környezetét, feltérképezni és a kapott adatokat eltárolni.



2.3.2. ábra Üzemcsarnok tesztterképezése 2022.01.10. [15]



### 3.5 Burkolat:

A burkolat tervezése során számos követelménynek kellett megfelelni. Műszaki szempontból egy sor kritériumot kellett megfogalmazni, majd azokra megoldást találni. Az elsődleges szempont a szerelhetőség volt. A robot központi elektronikai egységei a váz belsejében vannak elhelyezve, hogy a legkevésbé legyenek kitéve a sérülésveszélynek. Így minden egyes teszt és karbantartás során a teljes burkolatnak levehetőnek kell lennie. A megfelelő mechanikai ellenállóság is lényeges. Bírni kell a többszöri összeszerelést és az esetleges ütközéseket. Az anyagválasztás a kemény PVC-re (poli vinil-klorid) esett. Ez egy kémiaiilag ellenálló, kemény műanyag, előszeretettel használják a gépiparban.

Egy másik fontos szempont pedig a szükséges eszközök elhelyezkedésének figyelembevétele volt. Beleértve a lézeralagutat, amely lehetővé teszi, hogy a két lézerszkenner teljes 360°-os körben lásson. Valamint a robot sarkain és oldalain elhelyezkedő kameráknak is biztosítani kellett a megfelelő átlátszó takarást és védelmet. Végül pedig a burkolat alján körbefutó time of flight szenzorok takaró üvegeit kellett beleintegrálni a végső konstrukcióba. Ezek mellett pedig marketing szempontból is lényeges a külső megjelenése, így a végső burkolat megalkotása előtt számos teszt és javítandó megoldás született.



2.4.1. ábra Teljes összeszerelt robot UV-C modullal [15]

### 3.6 UV-C modul:

Az UV-C fertőtlenítő volt a fejlesztési munka során az első modul. Alapvetően a Covid-19 vírus hatására fogalmazódott meg a robot ötlete. Egy fertőtlenítő egység létrehozása volt a fő szempont.

A modul 1250 mm magas, egy krómozott központi acélszövből és a körülötte elhelyezkedő 8 UV-C lámpából áll.

Az áramellátását egy 230V-os inverter biztosítja, amely közvetlenül a 12V-os akkumulátorból kapja a tápfeszültséget, majd alakítja át.

A közvetlen sugárzás ártalmas az emberi szervezetre, ezért a munkafolyamatok során nagy hangsúlyt kellett fektetni a biztonságos működésre. Lényeges, hogy a robot biztonsági rendszere le tudja kapcsolni az UV lámpákat.



2.5.1 ábra UV-C lámpa teszt [15]

A modul tervezése során egy plusz kihívást jelentett a megfelelő elektronikai csatlakozás kialakítása. A lámpák áramellátását a robot akkumulátora biztosítja, amely az alapegységen található. Modulcserék esetén ezt a csatlakozást oldhatóvá kellett tenni. Ez a szempont a modulcserélés folyamatánál nagyon lényeges volt.

Végül egy IEC készülékdugót alkalmaztunk. Csavarozható csatlakozótesttel, hogy az alkalmazott kábelezést megfelelően lehessen csatlakoztatni. Jól pozícionálható és könnyen rögzíthető kialakítása miatt ideális volt a tápellátásra.

## 4. Tervezés folyamata

Az alábbi fejezet tartalmazza a saját tervezési munka bemutatását. Az alapvető célkitűzés egy újabb modul tervezése, mely gyógyszer szállításra alkalmas, valamint a már meglévő fertőtlenítő modul és a szállítómodul cseréjének megvalósítása.

### 4.1 Modul tervezés:

Első lépésként az újabb modul tervezési előkészítésével kezdtem meg a munkát. Meg kellett fogalmazni az elvárt követelményeket és tisztázni kellett a felhasználási szempontokat. Egy kifejezetten gyógyszer szállításra alkalmas, két oldalon fiókos modul terve volt a legelső megfogalmazott feladat.

Ennél a tervezésnél lényeges szempontok a következők voltak: méretben és megjelenésben illeszkedjen az alap robotegységhez, kulccsal vagy mágneskártyával zárható kivitelű fiókokkal szereljük, mechanikailag kellő szilárdságú és könnyen összeállítható szerkezet legyen.

A szekrény tetején elhelyeztem egy tálcát, amely különféle eszközök szállítására, tárolására alkalmas, ez a 3.2 ábrán látható.

A számítógépes tervezés során a szerelhetőség volt az egyik legfontosabb követelmény. Minden egyes kötőelem hozzáférhetőségét külön vizsgálni kellett.

Végül az iparban igen elterjedt szabványos alumínium profilok mellett döntöttem. A szekrény teherhordó váza ilyen megoldással lett tervezve. Az ehhez kapcsolódó takaróelemek és sarokelemek pedig kemény PVC-ből. A sarokelemek megfelelő illeszkedése és egyszerű gyártása elsőre egyszerű feladatnak tűnt, de hamar kiderült, hogy nem evidens a kialakításuk. A robot burkolata nem négyszög alakú. Méretei egy minden sarkán 20mm-es letörésű négyzetet alkotnak. Az általam tervezett modulszekrénynek ehhez a befoglaló mérethez kellett pontosan illeszkednie.



3.2 ábra Gyógyszertároló szekrény 1. verzió (saját)

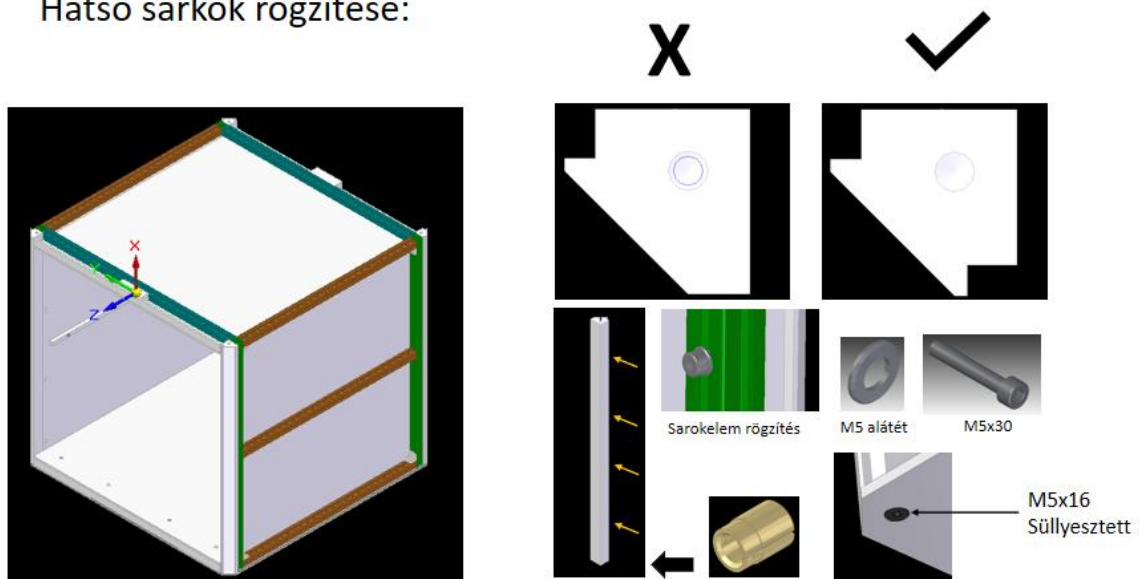
A teljes CAD modell elkészítése után egy következő szállítómodult is terveztem. Egy tesztrobotra kellett egy hasonló, egyszerűsített szekrényt gyártani, ami gyakorlatilag egy polccal ellátott doboz. Alapkonceptióként megtartottam a már kész fiókos szekrény vázszerkezetét.

A követelménylistára felkerült, hogy a külső burkolatokon ne látszódnak a kötőelemek fejei. Ez kissé megnehezítette a burkolati elemek rögzítését, de a sarokelemek áttervezése után ragasztott kötések kialakíthatóvá váltak.

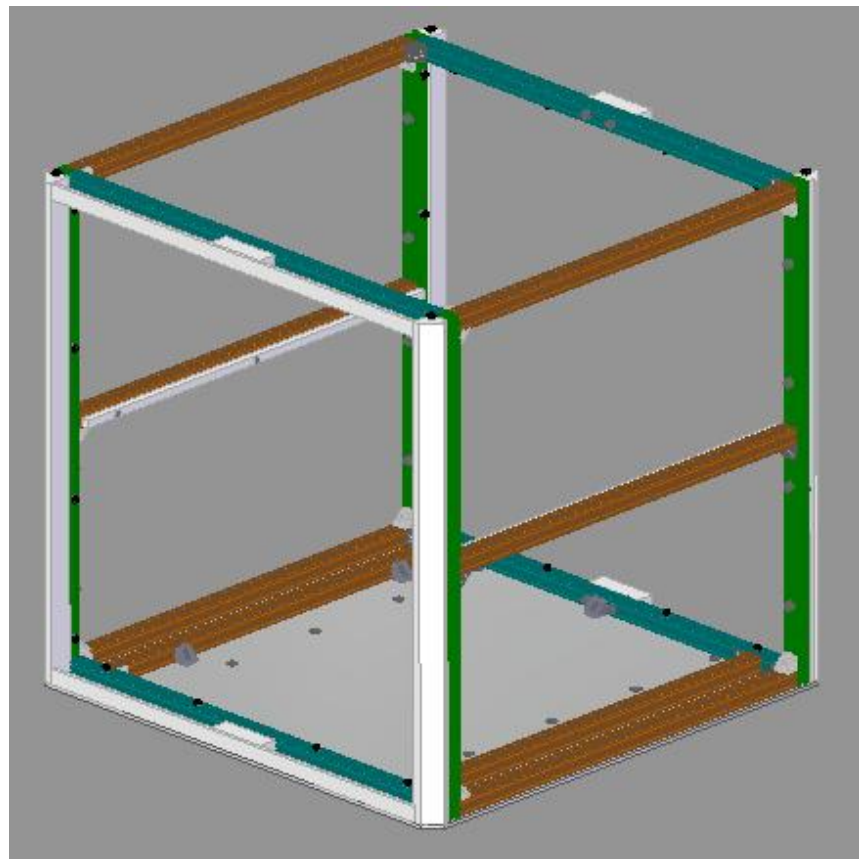
A CAD modell megalkotása után, készítettem egy teljes szerelési dokumentációt, melyből egy részlet látható a 3.1. ábrán. Ez részben segítségként szolgált a későbbi összeszerelésben, másrészt pedig lehetőséget biztosított a szerelési lépések alapos átgondolására, a sorrendiség leellenőrzésére.

A sorrendtervezés nagyon fontos volt, hiszen egy teljesen körbeburkolt vázszerkezetről van szó, amely hozzáférhetősége ellehetetlenült volna, ha valamelyik lépést felcseréljük vagy kihagyjuk.

Hátsó sarkok rögzítése:



3.1 ábra Szerelési útmutató részlet (saját)



3.2 ábra Szállítómodul vázszerkezete (saját)



A végleges CAD modell jóváhagyása után elkezdtem dolgozni a gyártási dokumentáción.

A PVC takaróelemek 5mm-es lapokból lettek méretre vágva. Ezek terítéktervét és részletes furattáblázatát kellett megcsinálni. A négy sarokelem és a további rögzítőtömbök marással készültek. Az ezekben lévő furatokba PVC-hez kifejlesztett M5 méretű menetbetét került. Így biztosítva a többszöri szét-és összeszerelést. A teherhordó alumínium váz és a belső takaróelemek csavarkötésekkel kapcsolódnak egymáshoz. A három külső takarólemez pedig PVC ragasztóval van hozzáerősítve a sarokelemekhez. Az egész modul egy 5 mm vastagságú 6061 alumínium lemezre van felépítve.

Az alkatrészek legyártása és beérkezése után az alumínium profilok méretre vágása megtörtént. Az előre elkészített szerelési dokumentáció alapján összeszerelésre került a modul. Az alapos tervezésnek köszönhetően minden legyártott alkatrész és rögzítőelem megfelelt.

Összeszerelés után az illesztési hézagokat kitöltöttem fehér színű szilikonnal. Így egy megfelelően előkészített, festésre alkalmas külső felületet kaptam. A modult összeszerelt állapotban festették.

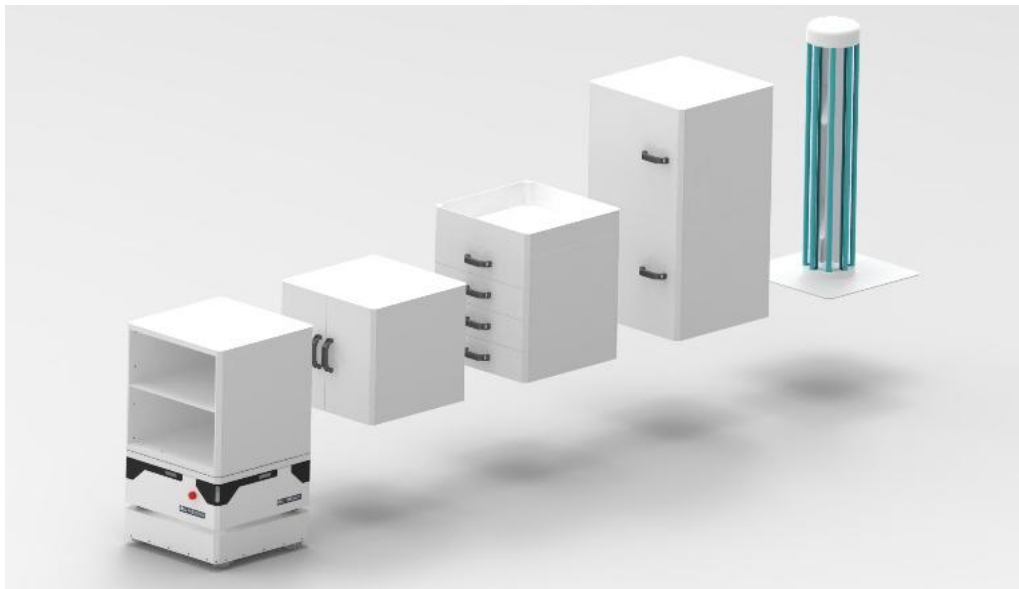


3.3 ábra A kész, összeszerelt szállítómodul [15]

#### 4.2 További modulok tervezése:

A hosszútávú fejlesztési cél egy sokoldalúan felhasználható, variálható modulflotta. Az alap fertőtlenítőmodulon túl számos, egyéb felhasználási lehetőséget biztosít a meglévő robot.

A modulok méreteinek összehangolásával lehetőség nyílik különböző egységek összekapcsolására. A 3.5. ábrán látható egységesített méretekkel rendelkező szállítóegységek számítógépes tervezése megtörtént. Ezek gyártása és fizikai megvalósítása a jövőbeli tervek között szerepel, így a tervezési folyamat bemutatása nem kerül részletezésre.



3.5 ábra különböző modulok CAD modellje (saját)

#### 4.3 Modulflotta kezelése:

Az előbb megismert modulok variálhatóságát és tárolását egy moduldokkoló egység valósítja meg. Egy többtárolós állvány kialakításával, egyedi címkéssel és automatikus modulcserével egy multifunkcionális robotot biztosíthatunk a kért felhasználási területre specializálódva.

A prototípus két különböző modullal készült. A korábban részletezett UV-C és szállítómodul tervezése és megvalósítása megtörtént. Ezen egységek tárolása és cseréje jelen helyzetben még emberi beavatkozást igényel.

Egy megfelelő magasságban kialakított dokkoló állvány tervezése után, a modulok mozgásának, cseréjének és rögzítésének problémáját kellett megoldani.



3.6 ábra Modulcsere CAD modellje (saját)



3.7. Moduldokkoló állvány [15]

#### 4.4 Modulcsere tervezése:

A már meglévő UV-C és szállítómodul cseréjének kezdeti tervezési fázisában a támasztott követelményeket kellett megfogalmazni. Legelső lépésként az alap követelményeket és a már meglévő, kész szerkezeteket kellett alapul vennem.

Ez a két szempontrendszer kéz a kézben járt, sok szempontot a robot kialakítása miatt kellett figyelembe venni. Az egyik legfontosabb, szinte nulladik lépés a fizikai korlátok behatárolása volt. A robot felső lemezének méretei nagyban meghatározták a felhasználható és tervezhető lehetőségeket. A tervezés legelején egy alaplemezt terveztem a robot felső fogadólemezére. Ez a lemez biztosítja a megfelelő szerkezeti merevséget és ez a kiindulópontja a további modulok fogadására alkalmas cserélőegységnek. Valamint így felülről is megfelelően burkolhattuk a robot belső részeit, ahol a meghajtási és elektronikai egységek helyezkednek el. Ezt 4mm-es 6061-es alumíniumból gyártattam le. A lemez alsó felén, a teljes terület mentén végigfut egy 3mm mély és 5mm széles marás, amelybe az oldalsó burkolati elemek beleilleszkednek. A lemez méretei megegyeznek a robot külső burkolatának méreteivel, egy 655mm-es négyzet, sarkain 20mm-es letörésekkel.

Az alaplemez kialakítása és a robotvázhoz való csatlakoztatása után a következő tervezési lépés a modulcsere megvalósítása volt. Ez egy fontos és nagyon alapos feladatpontot jelentett. Hosszútávú célkitűzéseink között a modulok teljesen automatikus cseréje szerepelt, amely semmilyen emberi beavatkozást nem igényel. Korábban csak ötletszinten felmerült egy kúpos megfogó rendszer gondolata.

##### 4.4.1 Kúpos csere verzió:

Nagy előnyük, főleg egy automata illesztés esetén, hogy a kúp geometriai alakjából adódóan nagymértékben képesek megvezetni és központosítani magukat. Egy központi kúp kialakítása volt az első ötlet, melynek középpontja egybeesik a robot függőleges középvonalával. Ez megfelelő megvezetést biztosított volna a modulok pozíciójának. Kúprögzítés esetén két féle lehetőséget kellett megvizsgálni, az ún. enyhe kúpos és a meredek kúpos megoldásokat.

Enyhe kúpos rögzítések nagy előnye, hogy az ilyen kialakítások önzáróak, ezt a kis nyílásszögnek köszönhetően érik el. Elterjedt kúposági arány 1:20, ilyenkor kellőképpen nagy, tengelyre merőleges erőkomponensek lépnek fel, minek eredményeképpen megnövekszik a súrlódásierő a csap és az agy között. Így tehát képes lesz egy teljesen kötött megfogást biztosítani. Az enyhe kúpok alkalmazásának nagy hátránya, hogy a megfelelő kúposági arány alkalmazása nagyon elnyújtott kúpokat eredményez. Esetünkben a robot és a modulok kialakítása miatt, erre nincsen elegendő hely. Egy jóval nagyobb nyílásszögű kúpot kellett volna alkalmazni. Ezek az úgynevezett meredek kúpok, amiket főként pozicionálásra szoktak alkalmazni. Ilyenkor az agy és csap között fellépő erő kisebb, mint enyhe kúp esetén. Ennél az opciónál a szét-és összeszerelés jóval egyszerűbb, nem kell külön az oldalról gondoskodni. Azonban így csak a pozicionálás és (függőleges kúp esetében) az oldalirányú elmozdulás biztosított. Egy ilyen megoldás esetén a modul még leemelhető maradna a robotról. Ezt a problémát első körben elektromágnesek használatával akartam megoldani. Ez egy viszonylag új terület volt számomra. Adatokat kellett gyűjteni ezeknek az eszközöknek a működéséről és alkalmazhatóságukról. [19]

A tartómágneseket egy számunkra fontos szempont szerint lehet csoportosítani. Az egyik csoport, amely elektromos áram hatására rögzíti az adott ferromágneses tárgyat, a másik pedig a rákapcsolt feszültség esetén elengedi azt. Mivel a robot működése közben a modulokat folyamatosan rögzített pozícióban kell tartani, így az utóbbi alkalmazása tűnt célravezetőbbnek. Ezt követően a tápellátásnak, méreteknek és főként a kifejtett tartóerőnek kellett utánanézni.

Az iparban fellelhető mágnesek közül számos, paramétereit tekintve megfelelő változatot találtam. A komolyabb tervezési szakaszba azonban ez a fejlesztési irány nem jutott el. A fő akadályt a modulok automatikus cseréje okozta. A kúpos pozicionálás mágneses rögzítéssel kombinálva meghatározza a modulok cserélésének lehetséges irányait. Ebben az esetben mindenképpen függőleges irányban lehetséges csak a csere. Ez pedig azt jelentené, hogy valamilyen módon meg kellene oldani a modulok robotra való ráemelését. Így jelentősen összetettebb mozgásokat kellett volna automatizálni.

A további tervezési lépések folyamán ez a szempont hangsúlyosabbá vált. Végül a robot mozgását vettem alapul. A meglévő alapegység egy 2 dimenziós koordinátarendszerben tud mozogni. A fogadó alaplemez mindig azonos magasságban marad. Ebből következett, hogy a modulcserének ebben a magasságban kell történnie, függőleges pozícióváltás nélkül. Így ez a mozgáviszony vált a leginkább megvalósíthatóvá.

Egy lineáris mozgást végző verzió esetén az előbb említett mozgás megvalósítása volt az elsődleges szempont. Mindenképpen valamilyen sínrendszer alkalmazása tűnt a legjobb megoldásnak, ezért munkám során az iparban megtalálható lineáris mozgást létrehozó rendszereknek néztem utána.

A modulok tömegéből adódó terhelés nagysága és iránya fontos szempont volt a megfelelő rendszer kiválasztásakor. A szállítómodul össztömegét 150 kg-ban maximalizáltam. Olyan komplett rendszert akartam alkalmazni, amely magában foglalja a lineáris vezetőt és a rajta mozgó kocsit vagy szánt.

#### **4.4.2 Gördülő vezeték:**

CAD-CAM szakirányos hallgatóként a gépiparban használatos gördülővezetékek ötlete merült fel elsőként. Nagyszilárdságú, merev, jól terhelhető, kis gördülési ellenállással rendelkező komplett rendszerekről van szó.

Golyós és görgős kivitelben egyaránt készülhetnek. A leggyakoribb elrendezésük mikor a mozgatni kívánt egység négy sarkára egy-egy gördülőelem kerül, melyet két egymással párhuzamos, nagy pontosságú lineáris sín vezet meg. Ez az elrendezés adta az ötletet a robot moduljainak mozgatásához. A mechanikai modell szinte kész volt. Két párhuzamos vezetősín, amik képesek a robot tetején lévő modul mozgását biztosítani és egy dokkolóasztal, ami képes fogadni azt.

Azonban a korábban felállított követelményrendszerek közül volt pár, aminek a gépgyártásban, főleg a CNC gépek esetében, használatos lineáris vezetékrendszerek nem feleltek meg. Az egyik nagy tényező, amely ellenük szólt az árak voltak. A nagy pontosságnak ebben a szakmában ára van. A vezeték és a hozzájuk tartozó kocsi



pontossági osztálya és ezzel együtt az áruk is dimenziókkal magasabb osztályba sorolható, mint a számomra szükséges alkatrészeké.

A tervezési munkám ezen pontján határozott elképzelésem volt a végleges sínrendszer főbb mechanika vázlatát illetően. Következő lépésként ehhez a meglévő ötlethez próbáltam a legmegfelelőbb kereskedelembe elérhető rendszert megtalálni. A feltételrendszerben a pontossági követelményeket és az árkalkulációt kellett újra tervezni.

Ezek alapján 7 különböző rendszert vettem bele a részletesebb elemzésembe. A modulok rögzítése ekkor még nem kapott szerepet a kiválasztásban, csupán a mozgításuk megvalósítására koncentráltam.

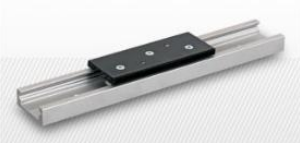
A kereskedelembe kapható lineáris rendszerek két nagyobb tételből tevődnek össze. Az első eleme a vezetérendszer, ezeket méterre számítva adják meg. A tervezési folyamat elején kiszámítottam a szükséges vezetékhosszt. A robot alaplemezőnek méretei 655x655 mm, ennek ismeretében egy 620 mm-es sínpart terveztem a fogadólemezre. Két modullal számolva a fogadóasztalra további két 620mm-es sínpart kellett tervezni. Ez összesen 6 db 620mm-es vezetékot jelentett, ami 3720 mm-re adódik teljes, szükséges hosszra számolva. Itt figyelembe kell venni, hogy a gyártók által megadott árak az esetek nagy többségében csak egész vagy fél méterre kerekítve elérhetők.

A másik pedig a gördülőelemek vagy szánok, ezeket általában darabra vagy párra vetítve adják meg. Mindkét modul aljára 4 db mozgóelem szükséges, ez összesen 8 db kocsit vagy szánt jelent. A költség számításához tehát összesen 4 méter vezetékot és 8 db gördülőelemet vettem figyelembe.

Két gyártó termékeit választottam ki, amik eltérő mechanikai megoldással valósítják meg a lineáris megvezetést. Az első gyártó termékei gördülőcsapágyakkal vannak ellátva és egy húzott alumínium sínbe munkált acéltengelyen gördülnek nagy pontossággal. Ebből 4 változatot emeltem ki.

(Feltüntetett árak: 2022.09.22. árfolyamon számítva)

1. táblázat: első gyártó termékeinek összehasonlítása (saját) képek: [20]

| Kép                                                                                 | Típus          | Ár                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | CI típus       | Vezeték: CI65 96.567 Ft/m szükséges 4 m<br>Kocsi: MI65 114.912 Ft/db szükséges 8db<br>Összesen: 1 305 564 Ft |
|    | AV és AD típus | Vezeték: V6 57.903 Ft/m szükséges 4 m<br>Kocsi: M608 69.831 Ft/db szükséges 8 db<br>Összesen: 790 260 Ft     |
|   | LGA típus      | Vezeték: LGA30 43.989 Ft/m szükséges 4m<br>Kocsi: LGA30 33.231 Ft/db szükséges 8 db<br>Összesen: 441 804 Ft  |
|  | Radia típus    | Vezeték: R80 54.911 Ft/m szükséges 4 m<br>Kocsi: R80B 121.702 Ft/db szükséges 8 db<br>Összesen: 1 193 260 Ft |

A költségek kalkulációjából jól látható, hogy az első gyártó négy rendszere közül az LGA típus ára a legkedvezőbb. Az LGA30-as gyártmány kocsinkénti teherbírása 1200N, a műszaki adatlapja alapján. Ebből négyet felhasználva megfelelő a teherbírása a modulok mozgatásához. A könnyű szerelhetőség is nagy előnyt jelentet ennél a típusnál. A kocsik fogadófelülete nagy, egyszerű rögzíteni a modulok tartólemezein. Ezek alapján választottam az LGA30 típust.

A másik gyártótól további három típust hasonlítottam össze.

(Feltüntetett árak: 2022.09.22. árfolyamon számítva)

2. táblázat: második gyártó termékeinek összehasonlítása (saját) képek: [21]

| Kép                                                                                | Típus                  | Ár                                                                                                     |                 |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
|   | drylin<br>W<br>sorozat | Vezeték: WS-10-30 36,32 Eur/m<br>Szán: WW-10-30 31,27 Eur/db<br>Összesen: 395,44Eur (160 ezer Ft)      | 4 méter<br>8 db |
|   | drylin<br>N<br>sorozat | Vezeték: NS-01-40 26,09 Eur/m<br>Szán: NW-01-40 5,98 Eur/db<br>Összesen: 152,2 Eur (61 500 Ft)         | 4 méter<br>8db  |
|  | drylin<br>T<br>sorozat | Vezeték: TS-01-15 30,93 Eur/m<br>Szán: TW-01-15 LLZ 33,69 Eur/db<br>Összesen: 393,24 Eur (159 ezer Ft) | 4 méter<br>8 db |

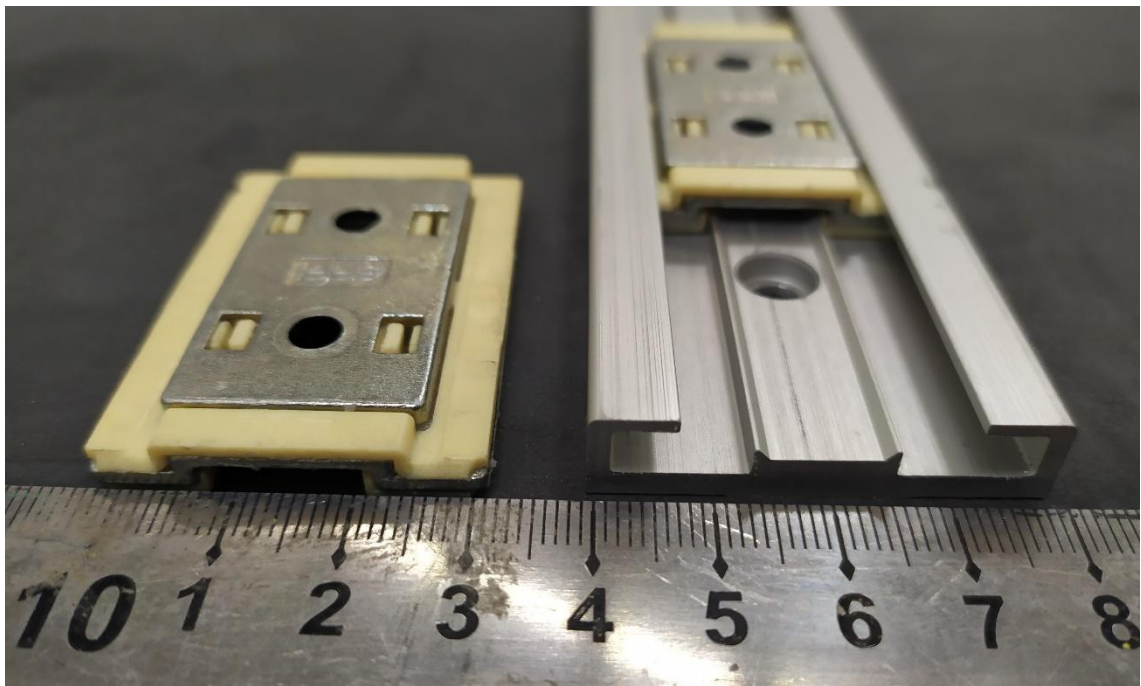
A második gyártó 3 terméke közül a drylin N sorozat árkalkulációja lett a legalacsonyabb. Ennek a sínrendszernek még nagy előnye, hogy a teljes beépítési magassága mindössze 9,5 mm. Ez a robot megjelenése szempontjából vált egy lényeges szemponttá. A lehető legtöbb mechanikai elem eltakarása ugyanis a követelménylista részét képezi.

A sínrendszer kiválasztása után azonban egy nagy akadályhoz érkezett a tervezési szakasz. A feladatom végső célja egy teljesen, emberi beavatkozás nélküli, automatikus modulcsere megvalósítása. A vizsgált lineáris technikák tökéletes megoldást jelentenének, ha a sínrendszer egy folytonos szakaszból tevődne össze, viszont a robot és a moduldokkoló asztal között a fizikai kapcsolat hiánya miatt ezt lehetetlen lenne kivitelezni. Így mikor a roboton lévő modul átkerül a tárolórekeszébe, törvényszerűen egy megszakított vezetéken kell áthaladnia. A precíz csúszó vagy görgős vezetékeket nem arra tervezték, hogy megszakításos módon a mozgóelemek elhagyják a vezetékeket majd visszapozícionálják magukat rá. Tervezési munkám során azonban ez egy nagyon lényeges szempont, ugyanis a robot, a benne található szenzorok és érzékelők miatt, csak néhány milliméter pontosságú pozícióra képes.

A munkafolyamat ezen szakaszán a tervezési folyamatokat ketté kellett bontanom. Ugyanis a már meglévő modulok és a robot iránt nőtt az érdeklődés. Így az az elhatározás született, hogy az első ún. 0. verzióban a modulcserek emberi beavatkozással történjenek. Ezek után az előbb kifejtett sínrendszerek teljesen megfeleltek ennek az új követelménylistának. Közben pedig párhuzamosan folyt a fejlesztési munka a végső, automatikus modulcserélő rendszer tervezéséről.

#### 4.5 Kézi modulcsere tervezése:

A kézi modulcsere tervezésekor, a vizsgált sínrendszerek közül választottam ki a Drylin N sorozatot. Az alacsony beépítési magasság és a kedvező ár miatt döntöttem a típus mellett. Húzott alumínium profil sínek és a hozzájuk tartozó csúszópapucsok, melyek alacsony súrlódású műanyag bevonattal vannak ellátva, alkotják a rendszert.



3.8. ábra Drylin N sínrendszer (saját)

Végül 4 méter sínt és 10 db csúszópapucsot rendeltünk tesztelésre. Az első teszt alkalmával bebizonyosodott, hogy a szánok tökéletesen mozognak a vezetékekben és teljesen elfogadható oldalirányú játékuk van. Ezután a súrlódást kezdtük el tesztelni. Építettünk egy aluprofil vázat, amelyre felerősítettük a síneket, majd egy falap aljára

erősítettünk 4 db csúszóbetétet. A teszt fő célja az volt, hogy megállapítsuk a maximális terhelhetőséget. Az első teszt során a robot akkumulátorait használtuk súlynak. A kettő együtt kicsivel több mint 30 kg. Az így elvégzett próba alapján kiderült, hogy egy ember könnyedén el tudja mozgatni a falapot. A következő teszt során 85 kg terheléssel is megvizsgáltuk. Ebben az esetben már jóval nagyobb erőre volt szükség az elmozdításhoz, de még ez is bőven emberi erővel kivitelezhető volt. A modulok súlya 50 kg alatt van, így ez a megoldás teljesen megfelelt. Az eredetileg tervezett összsúlyt egy kicsit módosítani kellett, azonban ezt a megoldást csak a bemutató egységben alkalmaztuk, ezért nem jelentett gondot. Az elvégzett tesztek alapján a kiválasztott alkatrészek megfelelően működtek. A tervezési munka tehát ennek a konkrét sínrendszernek a felhasználásával folytatódott. Első körben a robot alaplemezére fókuszáltam. Itt négy fontos szempont volt:

- pontos pozíció, hogy a modulok geometriája fusson a robot burkolatával;
- megfelelő rögzítés, menet közben sem mozoghatnak a modulok;
- könnyen hozzáférhető és egyszerű legyen a rögzítés oldása;
- külön burkolatok nélkül is igényes megjelenés.

Az első feltételpont megvalósításához mindenképpen valamilyen állítható ütközőt akartam alkalmazni. A sínek pontos pozíciója biztosítja a megfelelő oldalirányú pozíciót, azonban a hosszirányú pontossághoz a tervezendő rögzítőmechanizmus miatt mindenképpen állítható kivitelre volt szükség. Végül egy ütközőtömböt raktam a sín végére. Ebben két csavar be-és kitekerése biztosítja a változtatható ütközési pontot.

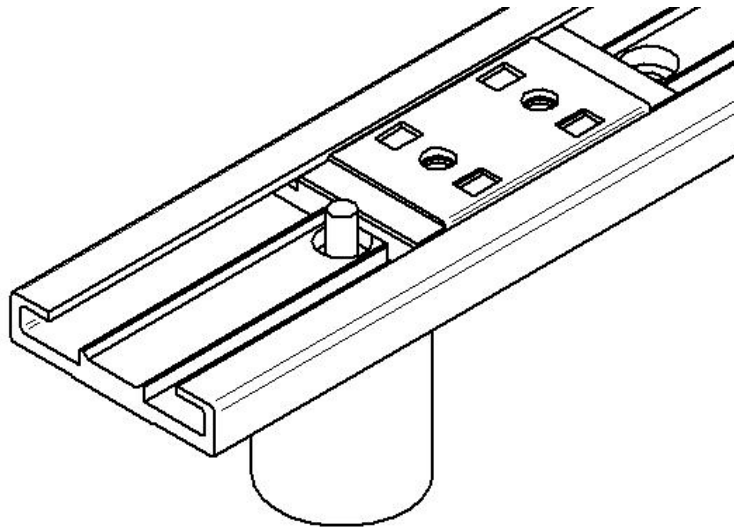


3.9.ábra Sínrendszer állítható ütközője (saját)

Az ütközőtömb megtervezése után, a sínre koncentráltam. A könnyű modulcsere érdekében a robot alaplemezőnek és a fogadóasztal lemezőnek is pontosan a széléhez kellett a síneket pozícionálni. Erre azért volt szükség, hogy mikor a robot cserepozícióba ér és megközelíti a dokkolóasztalt, a két sín minél kisebb hézaggal kerüljön fedésbe, ezáltal az általuk alkotott vezetőpályán könnyebb legyen a modulok egyenletes mozgatása.

Ennek a feltételnek az ismeretében kezdtem megtervezni a rögzítési mechanizmust. Ennél a lépésnél az volt a legnehezebb feladat, hogy a robot felső lemeze és a modul alsó lemeze között mindössze 9,3 mm távolság van. Ez azt jelenti, hogy egy ilyen magasságú résben kellett a rögzítést megvalósítani úgy, hogy az kézzel kényelmesen oldható legyen. Saját mérések alapján megállapítottuk, hogy ez túl kevés. A tesztek során kiderült, hogy egy 10mm-es emelőtömb már kellő távolságot biztosít, ezért 4 db 10 mm magas alumínium hasábbal megmagasítottam az eredeti tervekben szereplő modellt. Ezzel a megoldással már közel 20 mm-es hézagba kellett elkezdni tervezni a rögzítést.

Az első tervek között egy biztosító csap alkalmazása tűnt a legjobb megoldásnak. Függőleges irányban, a sín középvonalában elhelyezve, megfelelően lezárta volna a csúszóbetétek útját, ezzel rögzítve a modulokat.



3.10. ábra Rögzítőcsap tervezett elhelyezése CAD modell (saját)

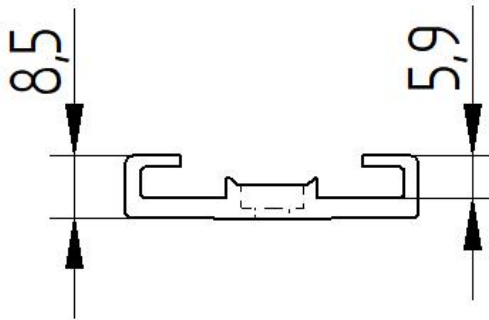
Végül két ok miatt vettem el ezt a megoldást. Az egyik, hogy így egyetlen rögzítőcsap tartotta volna a teljes modult gyorsuláskor és lassuláskor, ráadásul nyíró és hajlító igénybevételnek egyaránt ki lett volna téve. A másik, döntő ok pedig a hozzáférhetőségi probléma volt. A robot teljesen körbe van burkolva, ezért egy függőleges irányban elhelyezett rögzítőrendszer teljesen hozzáférhetetlen lett volna egy emberi kéz számára. Ez már önmagában is kizárta ennek a módszernek az alkalmazhatóságát. Ekkor még felmerült egy elektromosan működtethető automatikus változat beszerelése, ami a hozzáférhetőségi problémát igen, de a mechanikai terhelésből adódót nem oldotta volna meg.

Ezután olyan megoldást kezdtem el keresni, ami ennek a két feltételnek is megfelel. Tehát, hogy legyen oldalirányból is könnyen hozzáférhető és mechanikailag is megfelelő merevséget biztosítson. Ebből következett valamilyen retesz gondolata. Oldalról akartam lezárni a csúszópapucsok útját. Ez megfelelő hozzáférést biztosított volna és két ponton meg lehetett volna támasztani, ezzel növelve a mechanikai terhelhetőségét.

Ekkor azonban újabb két nehézségbe ütköztem. A már említett kis távolság problémája ebben az esetben igen zavaróvá vált. Összesen 19mm hely állt rendelkezésemre, hogy egy könnyen oldható és hozzáférhető reteszt tervezzek a robot alaplemezére. Ami még ennél is kisebb mozgásteret engedett, az a vezetősín oldalmagassága. Ugyanis ennek a



fajta profilnak a magassága 8,5 mm, amelybe, ha nem számítom bele az alsó anyagvastagságot, akkor mindössze 5,9 mm oldalmagasság maradt volna egy retesz megvezetéséhez.

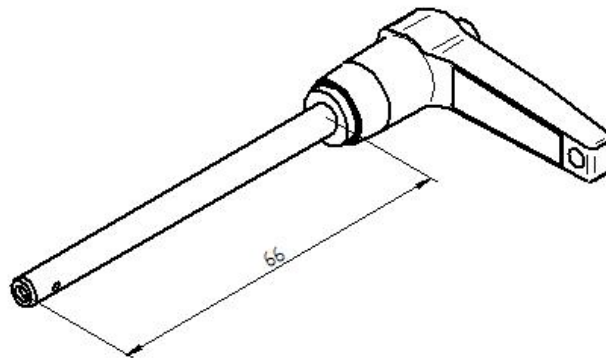


3.11. ábra Drylin N sín (saját)

Ekkor döntöttem úgy, hogy megszakítom a sít, és a két darab közti hézagot használom ki a csúszóbetétek lezárására. Így lehetőségem lett a reteszt a robot alaplemezen megvezetni és egészen a modul alsó lemezéig felérhetett. Ezzel máris ki tudtam használni a közel 20mm helyet.

A tervezési fázis során következő pontja a megfelelő retesz megtalálása volt. A leghatékonyabb szűrési feltételnek a magassági korlát bizonyult. A választott sín szélessége 40 mm, emellett két darab egyenként 12 mm széles rögzítőtömböt terveztem, közvetlenül a sín mellé, amelyek megtámasztják a reteszt. Így a keresési feltételek ezzel a kritériummal is bővültek. A rögzítőtömbök egyszerűbb gyártása miatt körkeresztmetszetű reteszt szerettem volna választani. Ebben az esetben ugyanis elég csak egy-egy pontos furat a hasábokra, amelyek megfelelően megvezetik azt.

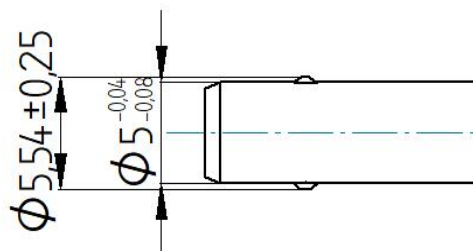
Ezekkel a feltételekkel állt össze a mechanikai modellem. Végül egy L alakú fogantyúval ellátott golyósreteszt választottam.



3.12.ábra Választott golyós retesz (saját)

Ez egy nagy szilárdságú, edzett nemesacél kivitel, ennek köszönhetően kimagaslóan jók a kopási tulajdonságai és a mechanikai terhelhetősége. A fogantyú részénél van egy nyomógomb, mely a rögzítőcsap végén található két golyót kireteszeli, ezzel biztosítva a retesz mozgását az adott munkadarab furatában. A nyomógomb elengedése után a golyók újból reteszelt állapotba kerülnek és oldhatatlan kapcsolatot hoznak létre.

A retesz csapjának névleges mérete  $\varnothing 5$  mm, a két rögzítő golyó végpontjának távolsága pedig 5,54 mm. Az ehhez tartozó, katalógusban szereplő javasolt fogadófurat átmérője  $\varnothing 5H11$ .

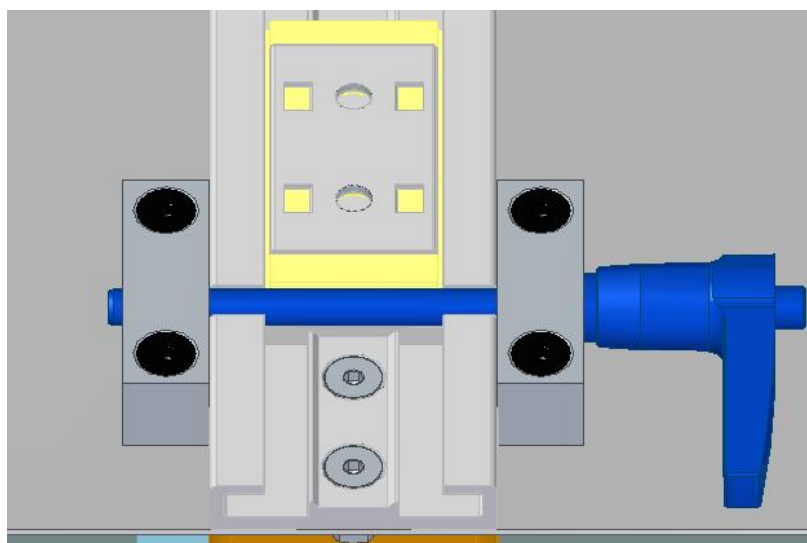


3.13.ábra Retesz tűrt méretei (saját)

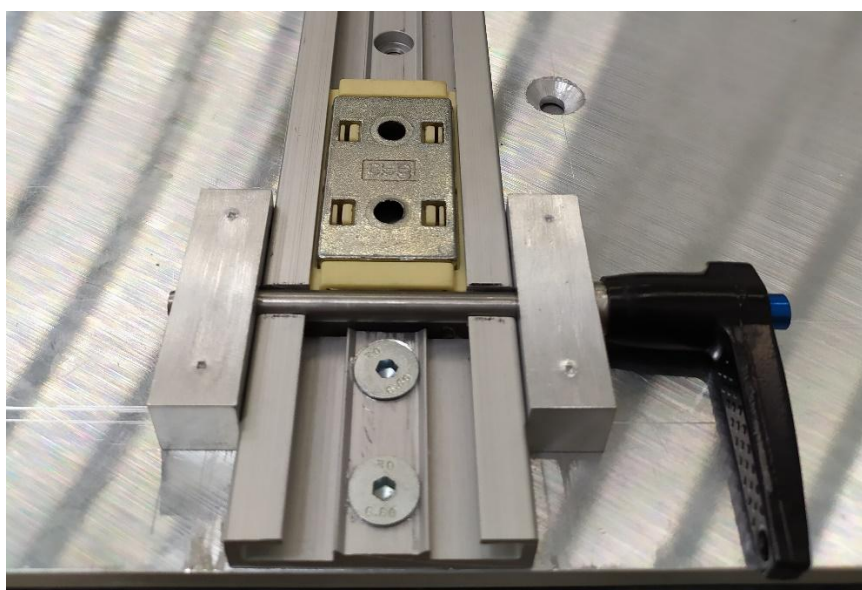
A modulzáró mechanizmus utolsó elemei a rögzítőtömbök voltak. Egy 12x12 mm-es 6061 alumínium rúdból lettek legyártva. Két darab süllyesztett fejű csavarral kapcsolódnak a robot alaplemezéhez, amiket a gyártás után az üzemben fűrtam ki. Ezekre merőlegesen, vízszintes tájolással helyezkedik el az  $\varnothing 5H11$ -es furat, ami megvezeti a retesz palástfelületét. Egy  $\varnothing 6$  mm-es süllyesztést is terveztem a furat egyik

oldalába, hogy a retesz rögzítő golyói megfelelően tudjanak funkcionálni. A furat bevezetőoldalán egy 0,5 mm-es letörés van, a retesz könnyebb pozicionálása érdekében.

Az alkatrészek megérkezése után, elkészítettem a rögzítésre szánt csavarok furatait. Méretre vágtam a síneket és felszereltem a robot alaplemezére. Ezek után a tartótömbök kerültek a helyükre, majd végül a záróretesz. Összeszerelés után az első valós teszt során kiderült a szerkezet működőképessége.



3.14.ábra Tervezett zárómechanizmus CAD modellje (saját)



3.14.ábra Tervezett zárómechanizmus kész kivitele (saját)

#### 4.6 Automata modulcsere tervezése:

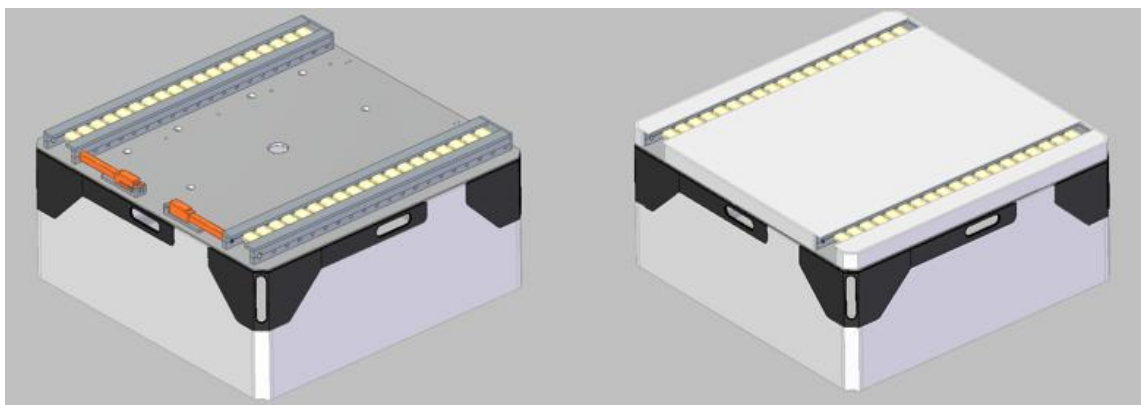
A kézi modulcsere tervezése közben rengeteg tapasztalatot sikerült szerezni egy automatizált modulcsere megtervezéséhez. Az UV-C modul, a szállítómodul és a tervezett sínrendszer fizikai megvalósítása rengeteg nehézségre és kritikus pontra hívta fel a figyelmet. Ezeket mind megpróbáltam összegezni a végső feladatom tervezése előtt.

Az egyik legfontosabb követelmény a könnyű mozgathatóság lett. A kipróbált csúszó betétes sínrendszer kézi mozgatásra alkalmazható, azonban a modulok súlya miatt az automatizáláshoz igen nagy erőkre lenne szükség. Ezt figyelembe véve mindenképpen egy görgős megoldásban kezdtem gondolkodni. Mivel a kézi változat tervezésekor az iparban alkalmazott és forgalmazott lineáris, görgős rendszereket már számításba vettem és elvettem, így egy saját, egyedi tervezésű sínrendszer megtervezésén kezdetem el dolgozni.

Egy másik lényeges követelmény a pozícionálhatóság. A tervezett rendszernek mindenképpen ki kell küszöbölnie a robot mozgásából adódó pontatlanságokat. A már meglévő, letesztelt szerkezet esetén megfigyeltem, hogy a műanyag csúszóbetétek sínbehelyezése nagyon körülményes. Ezért a tervezendő végleges szánokat, amelyek a görgőpályán futnak, ennek tudatában kezdtem átgondolni. A pontos pozíciót azonban fontos tartani, az elektromos csatlakozók miatt, a robot külső burkolatával való geometria átfedés miatt és persze a kialakítandó lezáró reteszek illeszkedése miatt is. Ez azt jelenti, hogy egy olyan szánt kell kialakítani, amely a kezdeti, sínrel való csatlakozási pontban, könnyen pozícionál, azonban a hosszirányú mozgás során eléri a kívánt pontosságú helyzetét.

A következő megfogalmazott követelmény a lezáróegységre vonatkozik. A teljes automatizálás kialakításához szükséges egy robot központi számítógépe által vezérelhető záróegységet kialakítani. Kis energiafogyasztás mellett legyen képes biztonságos, mechanikai zárást biztosítani. A korábban alkalmazott retesz tökéletesen megfelelt ennek a célnak, ezért ennek a mechanikai modellje lett az alapvető iránymutatás.

A robot egységes és professzionális megjelenése is fontos szempont. Ez a munkám során azt jelenti, hogy a teljes folyamatban résztvevő működtető egységeket a lehető legnagyobb mértékben burkoljam el. Ez a robot fogadólemeze és az arra tervezett görgős sínrendszerre, valamint a fogadó asztalra és a modulokra is igaz. Ehhez egy teherszállító repülőgép rakterében látott megoldást vettem alapul. Az ott alkalmazott sínrendszernek csak a görgő elemei látszódtak ki a járófelületből, a többi rész mind a burkolat alatt maradt.



3.15.ábra Tervezett görgősor elburkolása CAD modell (saját)

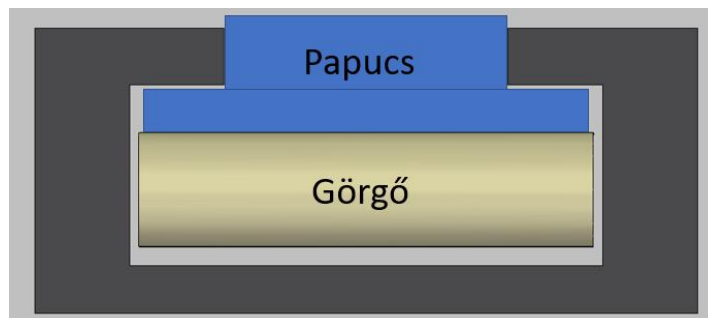
A gyárthatósági szempontokat is nagymértékben figyelembe kell venni. Természetesen az erre vonatkozó legfontosabb kritérium maga a gyárthatóság, hogy a tervezett rendszer elemi gyárthatók legyenek. A különböző verziók kialakítása közben ez volt az egyik leginkább alkalmazott szempont rendszerem. A megtervezett alkatrészek gyártásának egyszerűsítése nagymértékben csökkenti a megmunkálás összetettségét, ezáltal jelentős költségcsökkentést elérve.

Ezek a szempontok adták meg a munkám során a fő irányelveket. Így alakult ki az alap mechanikai modell, mely két görgősorból és a rajtuk meghatározott pontossággal mozogni képes papucs párból állt.

A görgősorok méreteit leginkább az alkalmazott görgők határozzák meg. A sínrendszer magassági méreteit a lehető legalacsonyabban kellett tartani. Ez a későbbiekben megkönnyíti az igényes burkolatok kivitelezését és az egyébként is magas UV-C modul nem kerül még magasabbra. Így a görgők átmérőjének és szélességének méreteit tekintettem kiinduló pontnak. A görgő megfelelő átmérőjét 18-24 mm közé

választottam, a szélességét pedig 70 mm-ben maximalizáltam. Ekkor egy megfelelően széles, de alacsony görgőrendszert tudnak alkotni. A másik fontos szempont a terhelés. A modulok összsúlyát 100 kg-ban határoztam meg. Ami kb. 1000 N terhelésnek felel meg. Két görgősört alkalmazva a modulok aljára felszerelt papucsokra így 500N terhelés adódik.

Fontos követelmény a pozicionálás is. Egy görgősor esetén gondoskodni kell a megfelelő oldalirányú megvezetésről, mely lehetővé teszi a kezdeti pozicionálást, majd a végső meghatározott pontosságú helyzetben tartást. A függőleges irányú erőhatásokra is gondolni kell. Egy nagyobb fékezés vagy gyorsítás esetén a modul le akar billeni a robot fogadólemezeről, ezért valamilyen módon az ilyen irányú erők hatását is semlegesíteni kell. A kézi modulcserénél alkalmazott csúszó betétes sínrendszer geometriai kialakítása megfelelő módon biztosított minden irányban, ezért egy ehhez hasonló megoldást terveztem a saját görgősor esetén is.



3.16.Ábra görgősor elvi vázlata CAD modell (saját)

Az elvi vázlat megalkotása után a gyárthatósági szempontokat figyelembevéve alkotóelemeire bontottam a modellt:

- görgő;
- görgő tengely;
- papucs,
- váz.

Egy másik, a cég által tervezett munka során használtunk már poliamid görgőket, amik átmérője 18mm. Így kiindulásként felhasználtam őket a tervezés folyamatában. Azonban ezek a görgők gyakorlatilag csak méretre esztergált műanyag csövek, nagy

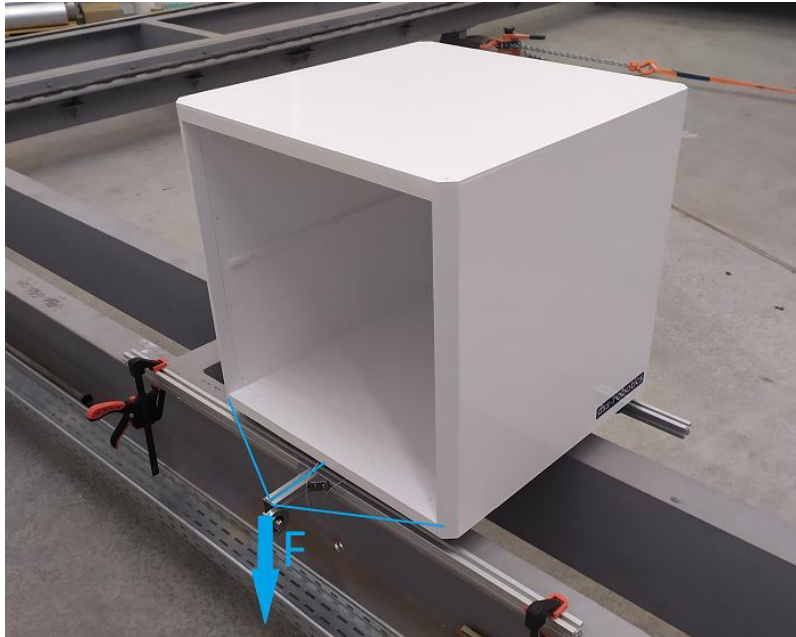
teherbírással, így nagy kérdés volt, hogy egy görgősorra fűzve őket milyen gördülési tulajdonságokkal rendelkeznek és mekkora átmérőjű tengelyeken működnek megfelelően. Ezért a már meglévő görgőket felhasználva építettem egy teszt görgősort.



3.17.ábra Teszt görgősor (saját)

Összesen 12db görgőt használtam fel, oldalanként 6 db-ot. Tengelyként méretre vágott M8-as menetesszárok szolgáltak egy rögtönzött alumínium vázra erősítve. A keret elejére egy csapágyazott csigát helyeztem. A modul aljára két alumínium papucsot szereltem. Így alakult ki a teljes szerkezet.





3.18.ábra Teszt görgősor modullal (saját)

A 3.18-as ábrán látható módon egy acél sodronyt átvezettem a csigán, majd különböző súlyokkal megterheltem. A teszt során megállapítottam, hogy 4,5 kg súly esetén mozdult meg a modul. Ez egy rendkívül hasznos teszt volt, amely során fontos adatokat sikerült gyűjteni. Az elsődleges cél a modul megmozdításához szükséges erő megállapítása volt, azonban a gördülési viszonyok elemzése is információval szolgált. Ugyanis a görgők eredeti tengelyei sima, köszörült tengelyek voltak, viszont a teszt során menetesszárazakat használtam. A kézi összehasonlítás során érezhetően könnyebben fordultak el a köszörült tengelyeken, ezért a végső szerkezetben szabványos tengelycsavarok alkalmazása mellett döntöttem. Az ISO 7379 sorozat M6-os menettel ellátott illesztőcsavarok szárátmérője 8mm, mely tökéletesen megfelelt a görgők tengelyének. A tervezés ezen fázisában a pontos hosszméreteket még nem tudtam. A teljes görgősor vázát ezek után kezdtem megtervezni.

Kézenfekvő megoldásnak tűnt, hogy egy tömbből készüljön a szükséges profil. A görgők mérete alapján egy 90 mm széles és 32 mm magas tömör rúdanyagból kellett volna kimunkálni a szükséges geometriát. A robot hosszmérete 655 mm, a modulok lezárására és pontos ütköztetésére hagytam helyet, így adódott 630 mm-re a sínrendszer hosszmérete. Ezek alapján egy igen költséges megmunkálási művelet adódott a kívánt végeredmény elérése érdekében. A másik ellenérv pedig az utólagos állítási lehetőségek

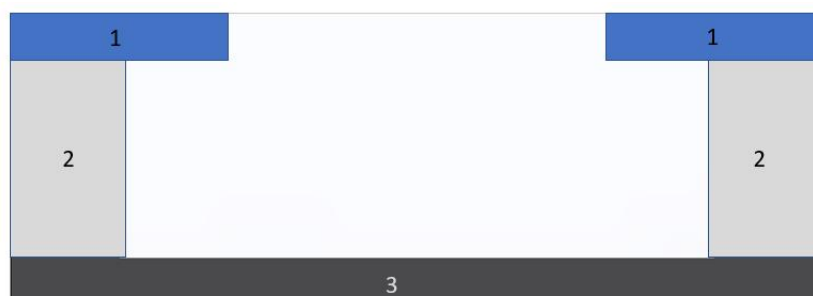
teljes hiánya volt. Értve ezalatt, hogy a sínrendszerbe tervezett papucsot két oldalfelület mentén kívántam megvezetni, azonban fontos követelményként szerepelt, hogy a modulok a végső rögzítése után ne mozogjanak. Ehhez mindenképpen szükség volt legalább az egyik megvezetett felület állítási lehetőségére hiszen, ha szoros tűréssel látom el az oldalméreteket félő, hogy nem lesz képes az automata rendszer megfelelően működni vagy a meghajtás a modulokat a végső pozíciójukig elmozdítani. Viszont túl nagy a tűrésmező esetén menet közben mozogni fognak a modulok a roboton. Így végül az egy tömbből való kimunkálás megoldási tervét elvetettem.



3.19. ábra Tervezett sínrendszer 1. verziója (saját)

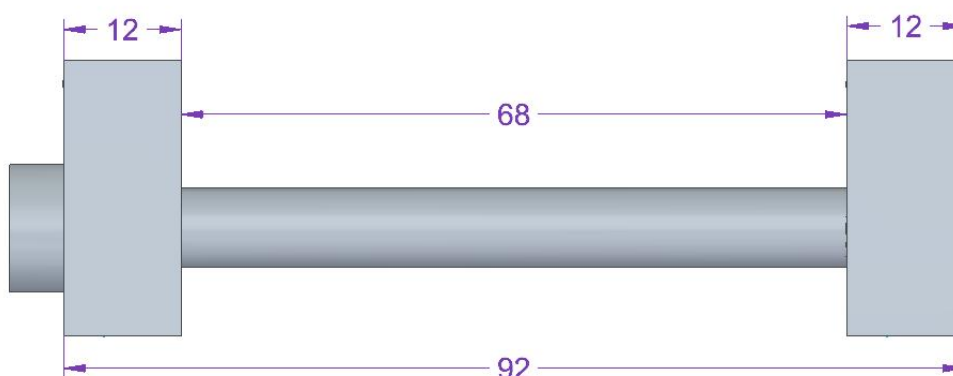
A sínrendszer vázát ezek után több, egyszerű geometriájú tömbalkatrészre bontottam. Így lényegesen egyszerűsödött az egyes alkatrészek gyártási technológiája. Az alábbi módon bontottam elemeire:

1. Felső megvezető tömb
2. Oldalsó Megvezető tömb
3. Alaptömb



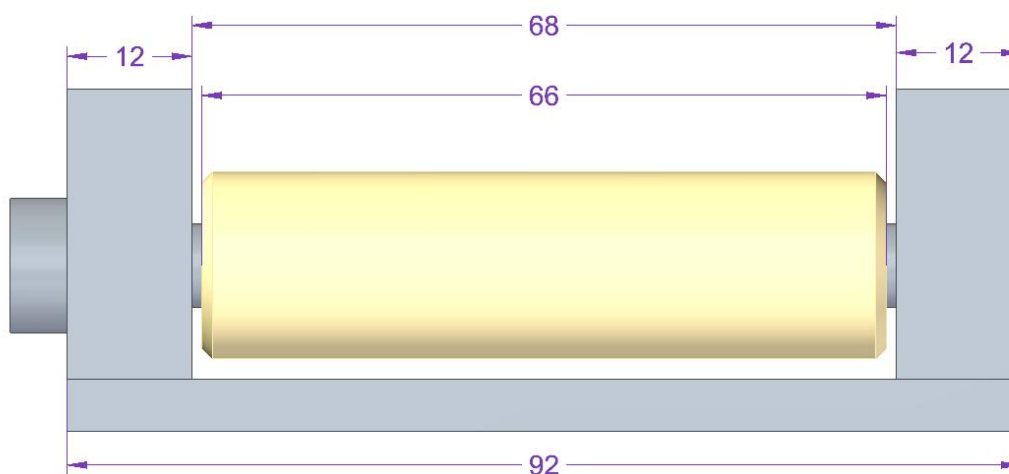
3.20. ábra Sínrendszer vázának tervezett elemeire bontása (saját)

Az elemekre bontás után a ISO 7379 sorozatból kiválasztottam a 80 mm hosszú szárhosszal rendelkező illesztőcsavart. Ez meghatározta a két oldaltömb közötti távolságot. Az M6-os méretet 11mm-es menethosszal látták el, így ez a tömbök szélességi méreteit is nagyban befolyásolta. Ezek alapján az oldalelemek szélességét 12 mm-re választottam.



3.21.ábra Oldalelemek ISO 7379 illesztőcsavarral (saját)

Következő lépésként a görgőket illesztettem bele az összeállításba. A két oldaltömb közötti távolság 68 mm-re adódik, 1 mm hézagot terveztem a görgők és a tömbök között mind két oldalon, így 66 mm hosszúságú görgőkre volt szükségem. Az alaplemez végül egy 5 mm vastag és 92 mm széles lemez lett az előre meghatározott 630 mm hosszúságban.



3.22.ábra Beillesztett görgő és alaplemez (saját)

A tervezés következő lépéseként az oldaltömbök magasságát határoztam meg. Ehhez előbb a sínrendszerbe becsúsztható papucsok méreteit kellett megválasztani. Ezek anyaga ugyanaz a műszaki polimer, mint a görgők anyaga. A poliamid rendkívül jó súrlódási tulajdonságokkal bír, ez pedig egy fontos tényező a megvezetést figyelembe véve. A bevezetés megkönnyítése érdekében egy lekerekített tömböt képzeltem el a papucsoknak. Az első tervek között 4 különálló papucs szerepelt, azonban a megvezetés pontossága és a terhelés jobb eloszlása miatt végül két hosszú, a modulok alján végig futó papucs mellett döntöttem. A négy különálló tömbnek viszont meg van az az előnye, hogy az oldalfelületeken kisebb részen érintkeznek a megvezetéssel, így kevésbé fékezve a modulok mozgatását. A két ötlet előnyeit összegezve jutottam el a végleges alapformához, amely leginkább egy babapiskótára emlékeztet.



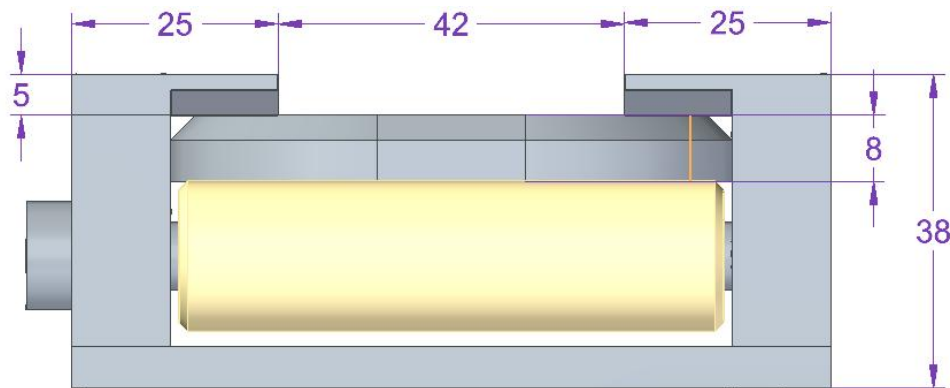
3.23.ábra Tervezett papucs CAD modellje (saját)

Az első és hátsó megvezető részen letöréseket alkalmaztam. A megfelelő anyagvastagság megtartásához 8 mm vastag poliamid lemezre volt szükség a megfelelő letörések kialakításához. Így a további magassági méretek meghatározásához már rendelkezésemre állt az egyik legfontosabb adat.

Függőleges irányban nem terveztem pontos megvezetést. Az elsődleges szempont az volt, hogy ne feszüljön be a papucs és felesleges plusz súrlódó felületeket ne alakítsak ki az összeállításban. A görgők belső 8 mm-es furatának ezen elvek alapján adtam -0,2 mm és -0,4 mm tűrést, így biztosítva a minimum 0,1 mm-es játékot az illesztőcsavar és görgő között.

A felső megvezető tömböt az alaplemezhez hasonlóan 5 mm-es lemezből terveztem. A széles benyúlásra nem igazán volt szükség, a lényeg az volt, hogy megakadályozza a papucs függőleges elmozdulását a sínrendszerből. Ezért 25 mm-ben határoztam meg a

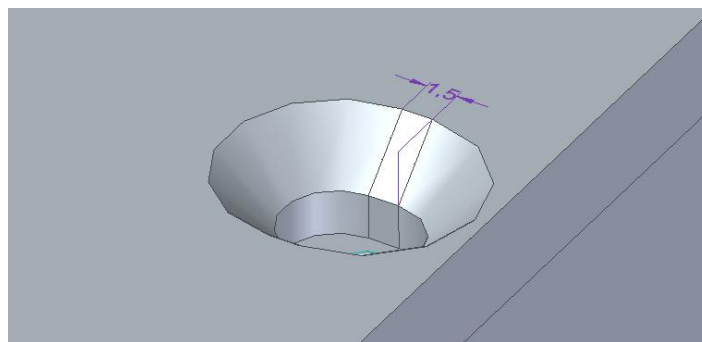
szélességét és egy  $15^\circ$ -os ferde bevezetést alakítottam ki az elején, ezzel segítve a magassági pozícionálást.



3.24.ábra Végző görgősor vázának kialakítása CAD modell (saját)

Oldalanként 10 db görgőt alkalmaztam a 630 mm hosszon, az illesztőcsavarok középvonala között 54 mm távolság lett. A teszt görgősoron 6 görgő alkalmazása megfelelő elosztást biztosított, azonban a kedvezőbb súlyelosztás miatt a gördülőelemek sűrűbb elhelyezése mellett döntöttem, ezért adódott ki 10 db-ra a számuk. A poliamid papucsokra még két emelőtömböt terveztem, hogy a modulokat rá tudjam helyezni.

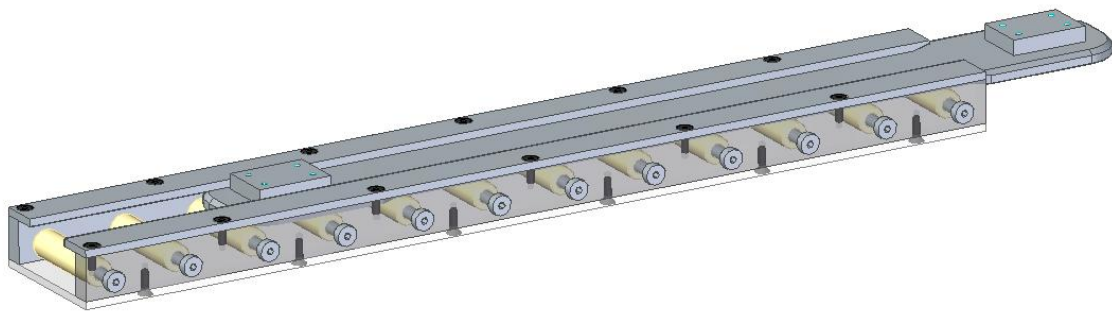
Az alapmodell elkészítése után a tömbök összekapcsolása volt a következő lépés. Csavarkötést alkalmaztam, egyszerű, könnyen elkészíthető és nem igényel összetett megmunkálási folyamatokat. A két oldalsó tömböt süllyesztett fejű csavarokkal rögzítettem az alaplemezhez, míg a felső megvezető tömböt ugyancsak süllyesztett fejű csavarokkal a már készre szerelt oldal tömbökhöz felülről. Azonban figyelni kellett az említett állítási lehetőségekre. Az egyik oldalsó vezetőtömb elmozdulását biztosítani kellett, ezért az alaplemez egyik oldali furatai helyet ovális, süllyesztéseket alkalmaztam.



3.25.ábra Ovális süllyesztés CAD modell (saját)

Ezzel a megoldással 1,5 mm oldalirányú állítási lehetőséget biztosítottam a megvezető oldalak között.

Az egyes elemek összeszereléséhez M5x16-os belsőkulcsnyílású, süllyesztettfejű csavarokat alkalmaztam 3.26-os ábrán látható módon.



3.26.ábra Összeszerelt görgősor, csavarkötéssel CAD modell (saját)

Következő lépésként elkészítettem a görgősor összes alkatrészének műhelyrajzát. Tűrésekkel, anyaggjelöléssel és a gyártásra vonatkozó információkkal láttam el minden rajzot. Az alaplemez, az oldalelemek és a felső megvezető elemek furatait 0,07mm-es pozíciótűréssel láttam el. A csatlakozó felületeken az átlagos felületi érdesség értékeit  $Ra\ 3,2\ \mu m$  írtam elő. A tűrésezetlen méretek az ISO 2768 f (finom) szerint határoztam meg.

A robot teljes fejlesztése során fontos szempont volt a tömeg, ezért a görgősor alkatrészeit is 6061-es alumíniumból terveztem. A menettel ellátott oldalelemeket pedig Al 7075 ötvözetből, ugyanis korábbi tapasztalataim alapján a gyengébb alumínium ötvözetekben kialakított menetek többszöri alkalmazása során gyakran lépett fel menetkárosodás. Az alaplemez, az emelőtömbök és a felső megvezető tömbök kialakításakor maradtam a széles körben alkalmazott Al 6061-es ötvözetnél. A görgők és a papucs anyaga pedig a már említett poliamid (PA6) anyagot kapta. Az illesztőcsavarok anyaga acél és 12.9-es szilárdsági osztályba tartoznak.

A gyártáshoz szükséges adatok meghatározása után küldtem ki árajánlatra a teljes görgősort. Az egyes elemek gyártási számát párra vetítve határoztam meg.

A legkedvezőbb árajánlat az alábbi ábrán látható:

| Poz. | Megnevezés / Rajzsám         | Ár/db<br>[HUF] | Db-<br>szám | Összeg<br>[HUF] | Megjegyzés                                          |
|------|------------------------------|----------------|-------------|-----------------|-----------------------------------------------------|
| 1.   | Görgősor alaplemez           | 14.000         | 2           | 28.000          | Anyagminőség: AlMg3 (vagy ezzel megegyező minőség)  |
| 2.   | Görgősor teteje bal oldal    | 9.000          | 2           | 18.000          | Anyagminőség: AlMg3 (vagy ezzel megegyező minőség)  |
| 3.   | Görgősor teteje jobb oldal   | 9.000          | 2           | 18.000          | Anyagminőség: AlMg3 (vagy ezzel megegyező minőség)  |
| 4.   | Emelőtömb                    | 6.000          | 4           | 24.000          | Anyagminőség: ALU                                   |
| 5.   | Teszt görgősor furatos oldal | 22.500         | 2           | 45.000          | Anyagminőség: Al7075 (vagy ezzel megegyező minőség) |
| 6.   | Teszt görgősor menetes oldal | 22.500         | 2           | 45.000          | Anyagminőség: Al7075 (vagy ezzel megegyező minőség) |
| 7.   | PA6 Csúszó-papucs            | 44.900         | 2           | 89.800          | Anyagminőség: PA6 (vagy ezzel megegyező minőség)    |
| 8.   | PA6 Görgő                    | 1.750          | 24          | 42.000          | Anyagminőség: PA6 (vagy ezzel megegyező minőség)    |

3.27.ábra Görgősor elemeinek árajánlata 2022.10.13.

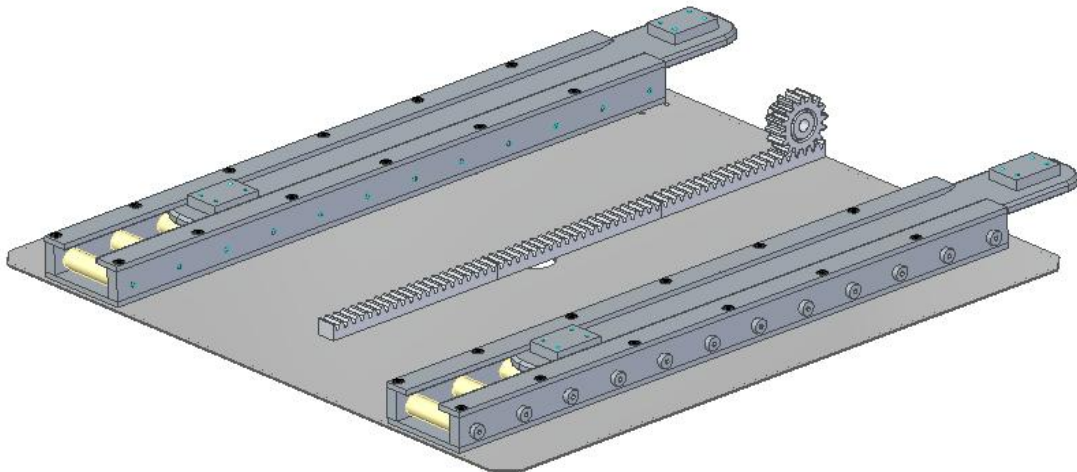
Az egyes alkatrészek gyártási költségét vizsgálva jól látható, hogy a poliamid papucsok elkészítése a legköltségesebb elem. A gyártási összetettség mellett az elérhető alapanyag rendelkezésre állása és gyakorisága is döntő tényező az árkalkuláció esetén. (A teljes görgősor gyártási költsége 309.800 Ft +áfa).

A soron következő lépés a modulok görgősoron való mozgatása. Ennek legfontosabb kiindulópontja a mozgatáshoz szükséges erő meghatározása. A már említett teszt görgősor felhasználásával megállapítottam, hogy 4,5 kg súlyra van szükség a modul megmozdításához. Ezt az értéket egy 2,22-es biztonsági tényezővel felszorozva 10 kg-ban állapítottam meg az erő nagyságát. Így megkaptam, hogy 100 N nagyságú erő elegendő a mozgatáshoz.

Az erő meghatározása után a mozgatás módján kezdtem gondolkodni. Valamilyen gumival bevont görgőt akartam alkalmazni, mint amilyeneket a nyomtatók papírtovábbító görgőin használnak. Azonban ezek használata során fennáll a veszélye, hogy megcsúszás esetén csak egy helyben forognak és nem mozdítják meg a modulokat. Ennek a problémának a kiküszöbölésére jó megoldást jelentene, ha egyszerre több görgő lenne meghajtva, mind a roboton mind a fogadó dokkolóasztalon. Ekkor az egyik görgősor folyamatosan letolhatná, míg a fogadó görgősor pedig úgymond húzhatná a modult. Ám egy ilyen többszörösen hajtott rendszernek a kivitelezése és szinkronizált vezérlése igen összetett és költséges megoldást jelentene.



A megcsúszás problémája miatt kezdtem valamilyen direkt kapcsolatos hajtásban gondolkodni. Számos helyen látható távvezérléssel működtetett kapunyitó mechanika. Ez a megoldás kézenfekvőnek tűnt a saját probléma megoldására. Ezekben a rendszerekben egy fogaskerék, fogasléc kapcsolatot valósítanak meg, ezáltal kiküszöbölve a slip (megcsúszás) problémáját. Ezt a gondolatmenetet folytatva kezdtem bele a rendszer tervezésébe. Elsősorban szükség volt egy fogasléc és fogaskerék kapcsolat méretének ismeretére. Főként a fogaskerék méretei lényegesek, hiszen a már korábban megállapított szükséges erő ismeretében egy alkalmazott forgatónyomaték meghatározásához a fogaskerék kapcsolókör átmérőjének mérete elengedhetetlen.



3.28.ábra Fogaskerék-fogasléc hajtás koncepció terve CAD modell (saját)

A választott fogaskerék fejkörátmérője 54 mm míg osztóköre 48 mm. A maximális megengedett nyomaték 4,29 Nm fogszáma pedig 16.

A szükséges erő 100 N, a fogaskerék osztóköre 48mm, így a nyomatékigény:

$$M = F \cdot k = 100 \text{ N} \cdot 0,024 \text{ m} = 2,4 \text{ Nm} \quad (3.1)$$

ahol: M: nyomatékigény

F: szükséges erő

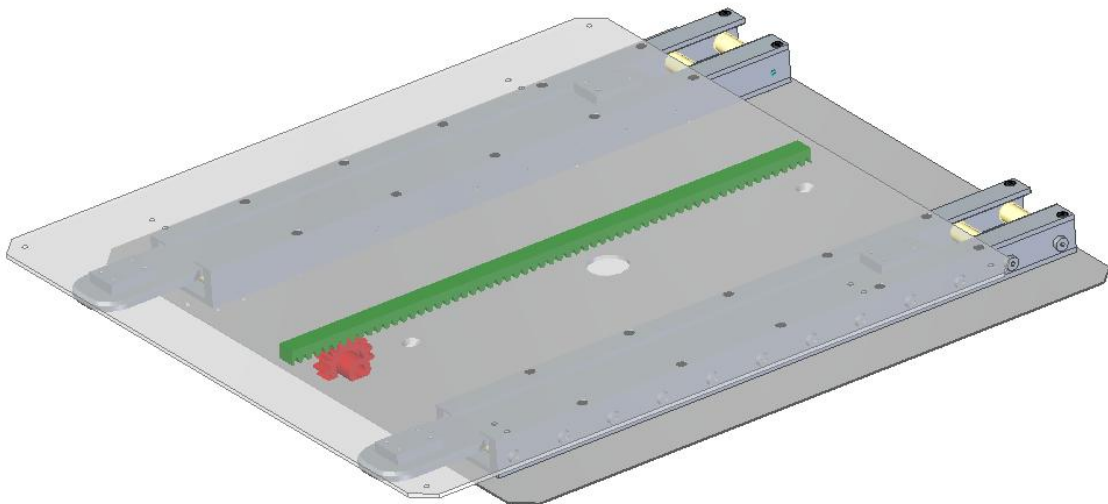
k: erőkar, (fogaskerék osztókörének fele)

A kapott eredmény alapján a választott fogaskerék megfelelő, kibírja a terhelést.

A fogaskerék-fogasléc kapcsolat lehetővé teszi, hogy reteszek nélkül oldjam meg a modulok rögzítését. Egy fékkel ellátott motor vagy egy önzáró csigahajtómű a végső pozicionálás követően megakadályozná a fogaskerék elfordulását, ezzel rögzítve a modult.

A fogaskerék és fogasléc elhelyezése két féle képen oldható meg. Az egyik megoldás, mikor a robot fogadólemeze és a moduldokkolóra szereljük a fogasléceket és a modulokon kapnak helyet a meghajtott fogaskerekek. A másik lehetséges elrendezés ennek fordítottja, a modulok aljára a fogaslécek kerülnek, míg a robotra és a dokkolóra a fogaskerekek.

Az első verziónak két jelentős hátránya is van, egyrészt a meghajtást a modulokra kellene tervezni, ezzel pedig a meghajtómotorok tápellátása problémássá válna. Másrészt pedig a cserepozíció elérésekor olyan közel kellene lenni a dokkolónak és a robotnak, hogy a fogaslécek közötti hézagot a fogaskerék át tudja hidalni. Ez a két ok elegendő ahhoz, hogy elvessem ezt a megoldást. Így a másik verzió tervei alapján folytatódott a munka.



3.29.ábra Fogaskerék-fogasléc koncepció terve alaplемеzzel CAD modell (saját)

Ebben az esetben a meghajtóegység a roboton és a moduldokkolón lenne, így a tápellátás megoldása is egyszerűbb. A fogaslécek a modulok alaplемеzéire kerülnek.

Ezzel a megoldással az átvezetés problémamentes. A két különálló egységen azonos átmérőjű és fogszámú fogaskerekek meghajtása, lehetővé teszi, hogy a modulok mozgása végig folyamatos és egyenletes legyen. A csere első fázisában, mikor a robotról elindul a modul az asztal felé, csak a roboton lévő fogaskerék gondoskodik a mozgatásról, azonban a dokkolón lévő meghajtás hamar bekapcsolódik a folyamatba, majd végül egymaga be is fejezi azt. A görgősor végén elhelyezett végálláskapcsolók a kívánt pozíció elérése után azonnal leállítják a fogaskerekek meghajtását.

## 5. Összefoglalás

A fejlesztési munka jelenlegi szakaszában a görgősor tervezése elkészült. Elemeinek gyártása és összeszerelése azonban még nem történt meg. A szakdolgozatban bemutatott UV-C modul és szállítómodul tervezése és gyártása lezárult, ezek fizikailag megvalósult, működő egységek, a dokkolásukra szolgáló asztal szintén kész állapotú. A részletezett kézi működtetésű modulcsere rendszer és a roboton lévő sínek és lezárómechanizmus is elkészült.

Jelenlegi helyzetben az első robotegység a két említett modullal, dokkolóasztallal és kézi működtetésű cseremechanizmussal teszt fázisban van, működik. A hardveres fejlesztési munka első része lezárult.

A távlati tervek között szerepel a szakdolgozatban bemutatott görgőrendszer teljes automatizálásának pontos, részletes tervezése, gyártás-és költségoptimalizálása, valamint további modulok tervezése és kivitelezése. A jelenlegi dokkolóasztal két modul fogadására képes, azonban rendszerek további fejlesztésével egész robotflotta és modulrendszer üzemelésére nyílnak lehetőségek, igazodva az egyre széleskörűbb igényekhez.

Szakdolgozatom előzetesen megfogalmazott céljai az alapegységre szerelhető különböző modulok feladatainak megfogalmazása, megtervezése, gyártásuk optimalizálása, a modulok cseréjének kialakítása és megvalósítása. A szállítómodul megtervezése, szerelési dokumentációjának elkészítése és az alkatrészek gyártástervezése elérte a kitűzött célokat. A kézi modulcsere mechanizmusa is megfelelően alkalmazható, jó alapot szolgáltatva a hosszútávú, automatikus modulcsere rendszer megtervezéséhez. A munkafolyamat alatt számos hasznos ismeretet szereztem az iparban használt gépészeti rendszerekről. A komplex folyamatelemzések, ütemtervek és a feladatok részletes felosztása, részekre bontása sok új képességgel gazdagított.

Úgy gondolom, hogy a mai felgyorsult és rendkívül tervezhető világunkban a hasonló mobilegységek egyre nagyobb térhódításra számíthatnak. A dolgozatban részletezésre került robot és a hozzátartozó egységek fejlesztése és tervezése során szerzett tapasztalat és tudás biztos alapot biztosít a későbbi munkáim során.

Dolgozatom célját és az előzetesen megfogalmazott eredményeket elérte. A számos követelmény dinamikus változása ellenére kész terveket és megvalósult eredményeket tudok felmutatni az időszak végére.

## 6. Summary

My thesis is about the design of a mobile robot module exchange system. In the first part of my thesis, a comprehensive literature survey was carried out, from the emergence of robots to the industrial robots that are widely used today. In the grouping I put a strong emphasis on mobile robots and their localization capabilities. I presented the different technical systems that allow mobile robots to move and orient themselves autonomously.

In the second part, I turned to the unfolding of my own work, the main characteristics of the robot unit developed by DSS Technologies Ltd. and an overview of the current state of the project.

This was followed by an unfolding of my own work. In the first step, the design steps of a transport module and the requirements formulated were described. I discussed the problems and difficulties encountered during the design, the optimisation of the production of the necessary components and the assembly documentation prepared to facilitate assembly. The functions and computer models of the additional modules, which are still at the design stage, and their fleet management were then presented.

After the modules, the main topic of the thesis was the module replacement process. After the formulation of the objectives and the requirements for the replacement, the different ideas are detailed and presented. The advantages and disadvantages of these methods are examined and the conclusion of each proposed solution is drawn. Justification and more detailed description of the final roller-row method. The steps in the design of a manually operated module exchange and the summary and evaluation of the experience gained from this work, which provided a useful starting point for the design of the final, fully automatic system.

In the last major section, the design of the roller train used in the automatic exchange mechanism was presented. The optimisation of the production of the different

components and thus the reduction of costs. The evaluation of the quotations received and the current status of the project.

My thesis has achieved its objective, the manually operated module changer and conveyor module has progressed from the design phase to the implementation.



## 7. Irodalomjegyzék

- [1] *digitalhungary*. [Online] 2022. 06. 14. <https://www.digitalhungary.hu/e-volution/A-robotika-rovid-tortenete/16523/>. megtekintés: 2022.09.10.
- [2] kuka. [Online] KUKA. <https://www.kuka.com/hu-hu/v%C3%A1llalat/a-kuka-r%C3%B3t%C3%B3rt%C3%A9nelem>. megtekintés: 2022.09.11.
- [3] Dr. Szabó, Zsolt, és mtsai. *Robotmecanizmusok*. Budapest : BME MOGI, 2014. ISBN 978-963-313-170-1. megtekintés: 2022.09.11.
- [4] Stankóczi, Zoltán. *Párhuzamos kinetikájú szerszámgépek*. 1999.
- [5] directindustry. [Online] <https://www.directindustry.com/prod/symetrie/product-193603-1927445.html>. megtekintés: 2022.09.14.
- [6] igus. [Online] <https://www.igus.hu/info/robotics-delta-robot>. megtekintés: 2022.09.14.
- [7] Kömlődi , Ferenc. docplayer. [Online] 2007. 01. <https://docplayer.hu/3516331-Autonom-mobil-robotok.html>. megtekintés: 2022.10.03.
- [8] dron.hrp.hu. [Online] <https://dron.hrp.hu/dronok-a-mezogazdasagban/>. megtekintés: 2022.10.04.
- [9] Palotai , Nándor. raketa.hu. [Online] 2022. 06 08. <https://raketa.hu/egyedul-szelte-at-az-atlanti-oceant-az-ibm-autonom-robothajaja>. megtekintés: 2022.10.04.
- [10] Raghib , Raza. fleetmon.com. [Online] 2022. 05 17. <https://www.fleetmon.com/maritime-news/2022/38269/autonomous-vessel-mayflower-overcomes-setback-and-/>. megtekintés: 2022.10.04.
- [11] Calvin , Hennick. bostondynamics.com. [Online] 2021. 08 17. <https://www.bostondynamics.com/resources/blog/leaps-bounds-and-backflips>. megtekintés: 2022.10.06.
- [12] Hegyi, Heni. newtechnology.hu. [Online] megtekintés: 2020. 10 27. <https://newtechnology.hu/tegyuk-helyre-az-agv-k-mukodeset/>.
- [13] etisoft.hu. [Online] 2021. 03 21. <https://etisoft.hu/etiside/automated-guided-vehicles-agv-organisation-of-transport-in-modern-production-plants/>. megtekintés:2022.10.29.
- [14] okosipar.hu. [Online] 2020. 06 21. <https://www.okosipar.hu/mi-a-kulonbseg-amr-es-agv-kozt/>. megtekintés: 2022.11.08.
- [15] Cég belső dokumentumaiból.

- [16] Kálmán, Viktor. Omnidirekcionális kerekek modellezési és irányítási kérdése. *adoc.pub*. [Online] 2013. <https://adoc.pub/omnidirekcionalis-kerekek-modellezesi-es-iranyitasi-kerdesei.html>. megtekintés: 2022.11.10.
- [17] jellyfishbbhs.com. [Online] 2018. 11 30. megtekintés: 2022.11.11.
- [18] neffpower.com. [Online] <https://www.neffpower.com/catsearch/10576/nanoscan3-series>. megtekintés: 2022.11.12.
- [19] tudasbazis.sulinet.hu. [Online] <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/gepeszet/gepeszeti-szakismeretek-1/kupos-es-szoritokotesek/a-kupos-kotes>. megtekintés: 2022.11.12.
- [20] powerbelt.hu [Online] <https://www.powerbelt.hu/kortengelyes-megvezetesbr-gorgos-kivitel-c543> megtekintés: 2022.11.16.
- [21] igus.hu [Online] <https://www.igus.hu/drylin/linear-guide> megtekintés: 2022.11.16.