

TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

UV-C ROBOTI MEHAANIKA OSA ARENDUS

THE MECHANICAL DEVELOPMENT FOR A UV-C ROBOT

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Taavi Korjus

Üliõpilaskood 183690MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, teadur

Tallinn 2021

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“23” mai 2021

Autor: Taavi Korjus

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”.....20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Taavi Korjus (sünnikuupäev: 18.06.1984)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose UV-C roboti mehaanika osa arendus,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa,

(juhendaja nimi)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ *(allkiri)*

23.05.2021 *(kuupäev)*

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Taavi Korjus, 183690MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika, 1 - tootearendus

Juhendaja(d): Teadur, Toivo Tähemaa, +372 509 1918

Konsultant:(nimi, amet)

..... (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) UV-C ROBOTI MEHAANIKA OSA ARENDUS

(inglise keeles) THE MECHANICAL DEVELOPMENT FOR A UV-C ROBOT

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Sarnaste seadmete ning olemasolevate lahenduste analüüs
2. Nõuete loetelu ja nendele vastava põhimõttelise süsteemi valik
3. Seadme detailne projekteerimine
4. Analüüs

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus	28.09.2020
2.	Tööpõhimõtte valik ja kooskõlastamine	13.10.2020
3.	Töö ülesande lõplik projekteerimine	09.05.2021
4.	Lõputöö vormistamine ja esitamine	25.05.2021
5.	Lõputöö kaitsmine	06.2021

Töö keel: eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "26" mai 2021a

Üliõpilane: Taavi Korjus "23" mai 2021a
/allkiri/

Juhendaja: ".....".....20.....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: ".....".....20.....a
/allkiri/

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA.....	7
Lühendite ja tähiste loetelu	8
1 SISSEJUHATUS	9
2 OLEMASOLEVAD LAHENDUSED.....	10
2.1 VanaBot Violet MK1	10
2.2 Teised arendused	11
2.2.1 XENEX.....	11
2.2.2 UVD Robots.....	12
2.2.3 Autotec	12
2.2.4 Robotlab.....	13
2.2.5 Dimer / Honeywell	14
2.3 Olemasolevate UVC robotite võrdlus.....	15
3 TEHNILISED NÕUDED	16
4 ÜLDISE LAHENDUSE PROJEKTEERIMINE	20
4.1 Vedava platvormi valik	20
4.2 UVC lampide valik.....	21
4.3 Raami projekteerimine.....	24
4.3.1 Raami alumine osa	27
4.3.2 Raami ülemine osa	28
4.3.3 Lampide paneel, tiib.....	29
4.4 Tiibade liigutamismehhanismide valik	31
4.5 Lahendusvariandid liikumismehhanismile	32
4.5.1 Otseühendus völliit.....	33
4.5.2 Hammasülekanne mootorilt völlile.....	34
4.5.3 Tiguülekanne mootorilt völlile	35
4.5.4 Plokkülekanne mootorilt völlile	36
4.5.5 Rihmülekanne mootorilt völlile ja vahevölliile.....	37
4.5.6 Lineaarajam raami ka tiiva vahel	38

4.6	Mehhanismi variantide hindamine.....	39
4.7	Mehhanismi valik.....	39
5	LÕPPTOOTE PROJEKTEERIMINE.....	40
5.1	Lampide paneeli kinnitus raamile	41
5.2	Rihmülekanne tiivale.....	42
5.3	Mootorite kinnitus raamile.....	43
6	ARVUTUSED	44
6.1	Vajalik jõumoment ühe paneeli liigutamiseks	44
6.2	Rihmülekannde arvutus	44
6.3	Tugevustingimused võllile	45
6.3.1	Tugevustingimus võlli paindele.....	45
6.3.2	Tugevustingimus võlli väändeale	47
6.3.3	Võlli jäikusnõue.....	48
7	PARANDUSTE SISSEVIIMINE	50
8	ELEKTRIOSA SELGITUS.....	58
9	HINNA ANALÜÜS	61
	KOKKUVÕTE.....	63
	SUMMARY.....	64
	KASUTATUD KIRJANDUS	65
	LISAD.....	67
	Lisa 1. UV-C lambi tooteinfo.....	68
	Lisa 2. Pukklaagri tooteinfo	69
	Lisa 3. Servomootori tooteandmed	71
	Lisa 4. Servomootori nõuete arvutus.....	72
	Lisa 5. Rihmülekannde arvutused.....	75
	Lisa 6. Philips UV-C lampide kiirgustase.....	77
	GRAAFILINE OSA	78

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teema algataja on ettevõtte Vanabot Violet Ltd, kes pöördus Tallinna Tehnikaülikooli poole palvega arendada välja täpsem lahendus nende esialgsele ideele robotsõidukist, mis suudab autonoomselt kontorites ja tööruumides liikudes pinnad UVC kiirguse abil desinfitseerida.

Töö on koostatud Tallinna Tehnikaülikooli teaduri Toivo Tähemaa juhendamisel, kes abistas ka andmete kogumisega teistest Tallinna Tehnikaülikooli uurimistöödest. Töö tellija esindajana osales konsultandi rollis hr Alexander Ang, kes samuti esitas lisaks ülesande nõuetele ka palju lisaandmeid enda varasematest uurimistöödest.

Töö autor soovib mõlemaid isikuid tänada positiivse suhtumise, hea koostöö ja võimaluse eest huvitavas projektis osaleda.

Märksõnad: AGV, UVC, robot, desinfitseerimine, magistritöö.

Lühendite ja tähiste loetelu

UVC / UV-C – ultraviolett kiirguse C spektriosa

AGV – automaatjuhtimisega sõiduk (ingl. k. Automated Guided Vehicle)

AGC – automaatjuhtimisega käru (ingl. k. Automated Guided Cart)

AMR – autonoomne mobiilne robot (ingl. K. Autonomous Mobile Robot)

PTFE – Polütetrafluoroetüleen

DFA – koostamiskeskne projekteerimine (ingl. k. Design for Assembly)

1 SISSEJUHATUS

Lõputöö teemaks olev arendus on seotud 2020. aastast väga päevakajalise valdkonnaga – koroonaviirusest tulevate väljakutsete lahendamisega. Takistamaks viiruse levikut, on jõudsalt ja laialdaselt rakendatud suuremaid puhtusenõudeid avalikus ruumis. Neist tuntuim ja märgatavam on käte desinfitseerimise nõue avalikes asutustes, töökohtades, ühistranspordis jne. Teiseks oluliseks meetodiks viiruse leviku tõkestamisel on nende samade ruumide perioodiline desinfitseerimine. Toitlustuses ja meditsiinis on sellised nõuded juba varasemalt üldreeglik. Nüüd on aga tegevusvaldkond oluliselt laienenud nii erinevate ruumitüüpide kui ka puhastust vajavate ruutmeetrite arvu võrra. Tavapärased töömeetodid on muutunud ebapiisavateks ja mitte alati rakendatavateks. See ongi saanud väljakutseks tootearenduse kõige erinevamate suundades. Üheks võtmesõnaks millegi tõhusamaks muutmisel on robotiseerimine, nii vaadatakse ka tööruumise desinfitseerimisel selles suunas. Teiseks uurimissuunaks on keemiliste vahendite asemel ultraviolettkiirguse kasutamine pindade ja ruumiõhu steriliseerimiseks. Viiruseid ja baktereid hävitav UVC kiirgus on ohtlik ka inimestele ja seetõttu tuleb UV lampidega töötamisel kasutada ohutusabinõusid. Näiteks muuta töö inimese otsest kohalolu mitte vajavaks. Siit kujunebki välja idee liita omavahel autonoomne robotsõiduk ja UVC lambid üheks tooteks. Selliste robotite arendus on maailmas alles algusjärgus ja esimesed testimised käivad.

Lõputöös võetakse ette internetis leiduv info UVC robotitest, analüüsitakse sarnasusi, erisusi, häid ja halbu külgi. Loetletakse tellija poolt seatud nõuded ja saadaolevast tehnoloogiast tingitud piirangud. Seejärel pakutakse välja mitu lahendusvarianti ja tehakse valik ühe kasuks. Lõputöö eesmärgiks on esitada tellijale disain prototüübina toodetavast masinast. Töö keskendub toote mehhaanikaosale. Elektri, elektroonika ja tarkvara lahenduse eest vastutab tellija. Lõputöös on vajalik arvestada nõutud andurite, ühenduspesade jms mahutamise masina sisse.

2 OLEMASOLEVAD LAHENDUSED

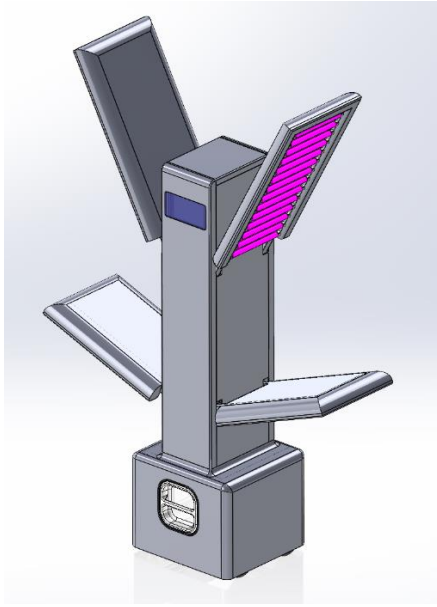
Seeriatootmisse on siiani jõudnud vähesed UVC robotid, kuid idee ja prototüübi tasemel tooteid leidub mitmeid. Järgnevalt on välja toodud turu ülevaade konkureerivatest masinatest. Lisaks on olemas ka terve valdkond UVC steriliseerimis tooteid statsionaarsete lampidena või muudesse toodetesse (näiteks ventilatsiooniseadmetesse) sisse ehitatuna. Neid praeguses töös ei analüüsita.

2.1 VanaBot Violet MK1

Töös olevale projektile on eelnevalt tehtud animatsioon põhimõttelisest ideest ilma detailsemate tehniliste lahendusteta ja tehnilist teostatavust uurimata. Kuna kasutatakse suundvalgusteid, mitte ühtlaselt igas suunas kiirgavat lahendust, on võimalik UVC kiirgust tõhusamalt ära kasutada, sama efekti suurendab veelgi võimalus paneele pööranda ja tööpindade peale suunata. See tagab kindlama steriliseerituse seal, kus see vajalikum on. Samuti lühendab aega, mille jooksul kiirgus mikroobid pinnalt hävitab ja hoiab kokku energiat selle arvelt, kus steriliseerimine nii kriitiline ei ole. Näiteks kiirguse hajumine ruumi kaugematesse osadesse.



Joonis 2.1. Vanabot Violet mk1 koos AGCga.



Joonis 2.2. Vanabot Violet mk1 lihtsustatult ja näidatud Gogoro aku ning ülemiste andurite alaga.

2.2 Teised arendused

2.2.1 XENEX

Seade, mis kiirgab UVC valgust ühtlaselt ümber oma telje. Kasutab pulseerivat tüüpi kiirgust. Ei ole autonoomselt liikuv, vaid töötab ühe koha peal. Sisaldab liikumisandureid väljalülitamiseks, kui keegi alasse siseneb. [1]



Joonis 2.3. Xenex

2.2.2 UVD Robots

Eemalt arvuti abil juhitud, navigeerimiseks kasutatakse kaameraid ja laserandureid, mis peavad takistama inimesel masinat kogemata mõne takistuse vastu juhtimast. Samuti on andurid tuvastamiseks inimeste tööalasse sisenemise ja valgusti ja roboti väljalülitamiseks. Seade on akutoitega, on võimeline iseseisvalt laadimispesasse liikuma. Valgusti ehitus on sarnaselt eelmisele ühtlaselt igas suunas kiirgav. Üks UVD Model B on kasutusel ka Lääne-Tallinna Keskaiglas [2]



Joonis 2.4. UVD Robots Model C.

2.2.3 Autotec

Sarnaselt eelmiste seadmetega on ka siin kasutusel vertikaalse asetusega pikad lambid, kuid see kiirgab ainult 270 kraadi ulatuses, jättes roboti taha inimestele turvalise ala. Liigub autonoomselt andurite abil eelnevalt koostatud programmi järgi. Samuti infrapuna andurid turvalisuse eesmärgil, tuvastamaks inimesi töötsoonis. [3]



Joonis 2.5. Autotec robot FL-UV ROB 1100.

2.2.4 Robotlab

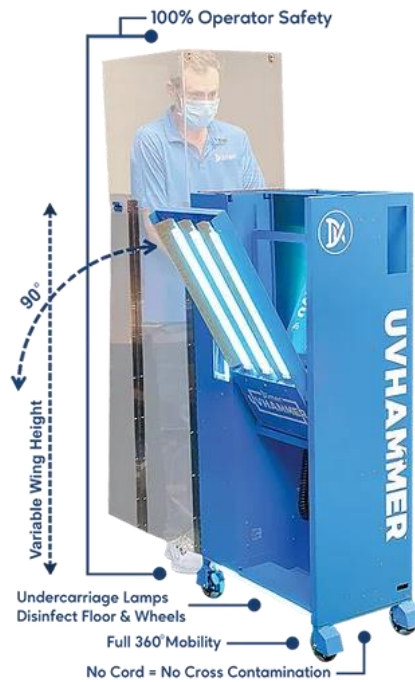
Ei ole nii võimsate lampidega, kui eelmised, kuid lisaks pritsib õhku desinfitseerimisvahendit. Täisautomaatne navigeerimine (SLAM). [4] [5]



Joonis 2.6. RobotLab Connor UVC Robot.

2.2.5 Dimer / Honeywell

Käsitsi lükatavad seadmed, mis on projekteeritud reisilennukite salongide steriliseerimiseks. Kaks erinevat mudelit, mõlemal on sarnased horisontaalselt liigutatavad tiivad. Erinevalt teistest toodetest, on siin suurim sarnasus Vanabot äriideega, kuid puudub igasugune mehhaniseeritud liikumine ruumis. [5]



Joonis 2.7. Dimer UV Hammer.



Joonis 2.8. Dimer Germ Falcon.

2.3 Olemasolevate UVC robotite võrdlus

Eelnevate näidete peamised erinevused tabeli kuju.

Tabel 2.1. Sarnaste toodete võrdlustabel.

Tootja	Navigeerimine	Andurid	Toide	Lambid
Vanabot	programmeeritult	otsustamata	vahetatav aku+akuga AGV/AGC robot	Luminofoorlambid. Kuni 180° ulatuses, suunatavad
Xenex	Käsitsi lükatav	liikumisandur	võrgust	Pulseeriv kiirgus 360° ulatuses
UVD Robots	Distsantsilt juhtimine	laser andurid, 3D kaamerad,	sisseehitatud Li-MNC aku	Luminofoorlambid, 360° ulatuses
Autotec	programmeeritult	laser radar, ultraheli radar,	aku	Luminofoorlambid, 270° ulatuses
Robotlab	autonoomselt	kaamera, IR, puutetundlikkus, ultraheliandur, Lidar, kokkupõrkeandur	aku	Luminofoorlambid, suunatud kiirgus u 2 x 90°
Dimer	Käsitsi lükatav	käepidemetes operatori kohalolu kontrolliks	aku	Luminofoorlambid, suunatud kiirgus peamiselt ülevalt allasuunas

Nagu ülevaatest näha, siis päris samasugust toodet veel olemas ei ole ja UV-lampide osa on enamuses lahendatud väga lihtsalt ja ühesuguselt.

3 TEHNILISED NÕUDED

Tellija poolt on seadmele ette antud mõningad kindlad ja mõningad põhimõttelised nõuded.

Esiteks peab tegu olema seeriatootmises olemas olevale AGC tüüpi robotile (Amazon Robotics/Kiva Systemsi soodsam analoogtoode) kinnitatava või asetatava seadmega. See vähendab oluliselt tootearenduse kulusid, mis isesõitvate masinate valdkonna praeguses arenguetapis ei pruugiks enam mõistlik olla. Sellistele autonoomsetele sõidukitele on tekkinud juba piisavalt tootjaid, kes Aasia riikides suurte seeriatena suudavad toota mõistliku hinnaga ja arendusetapist välja jõudnud roboteid.

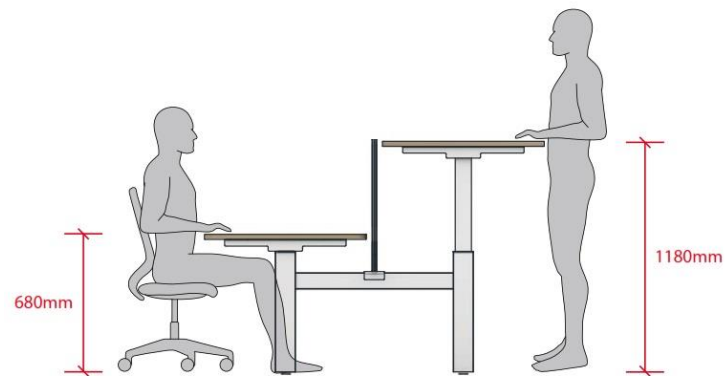
Samuti peab seade olema ka täiesti eraldi ilma sõidukita kasutatav. See tähendab, et UVC lampide ja nende liigutamise toide ja juhtimine, samuti ohutusseadmed on eraldatud alus sõidukist.

UVC roboti toiteks on juba välja valitud Taivani ettevõtte Gogoro akud. Projekteerimisel tuleb arvestada sellest tulenevate nõuetega mõõtmetele, ligipääsetavusele ja ühenduspistikutele. Praeguses etapis ei ole ette nähtud arendada täielikult autonoomset seadet, mis tühjenevate akudega liiguks tagasi oma laadimispesa juurde. Seda eelkõige ennustatavalt suure energiatarbimise tõttu, mis muudab vajalikuks töö käigus akude vahetamise. Gogoro akusüsteemi kasutades on see kiire ja mugav, samas siiski jääb vajadus inimtööjõu järele.

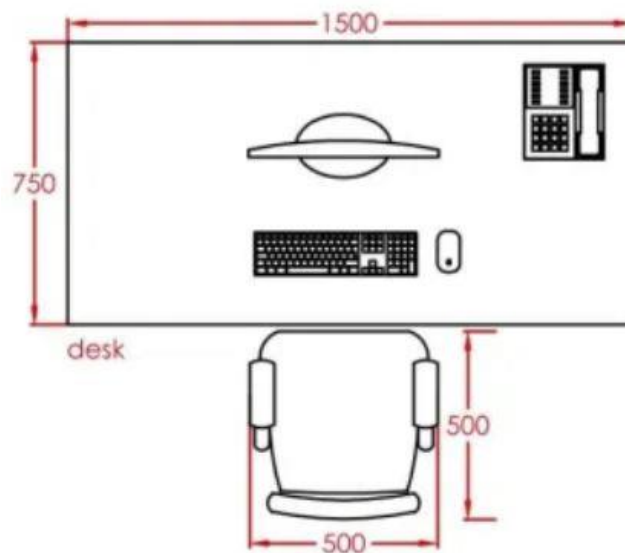
Vanabot Violet peab olema konkurentidest eristuv eelkõige oma tiibadega lahenduse poolest. Praeguse, teise järgu arenduse juures on antud ette nõue säilitada vähemalt kaks liikuvat tiiba, kui ei ole võimalik teha nelja tiivaga mudelit.

Mõõtmete projekteerimisel on vaja aluseks võtta seadme mahtuvus peamistes kasutuskohtades – kontorites ja muudes sarnastes ühiskondlikes ja tööruumides. Eelkõige toolide ja laudade mõõtmed. Samuti on potentsiaalne kasutusvaldkond reisirongides reisijate vagunite steriliseerimisel. Siin saab nõuetes kasutada vahekaikude laiuse, istmete kõrguse ja istmete vaheliste mõõtmetega.

Järgmistel joonistel on esitatud mõõtmeid, millega roboti gabariitide projekteerimisel arvestada.

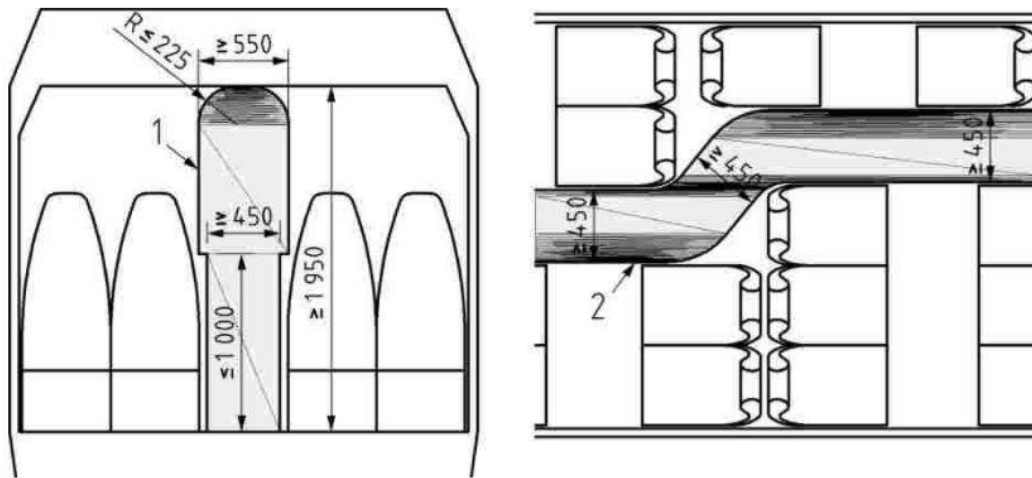


Joonis 3.1. Tüüpiline laua kõrgus kontoris.

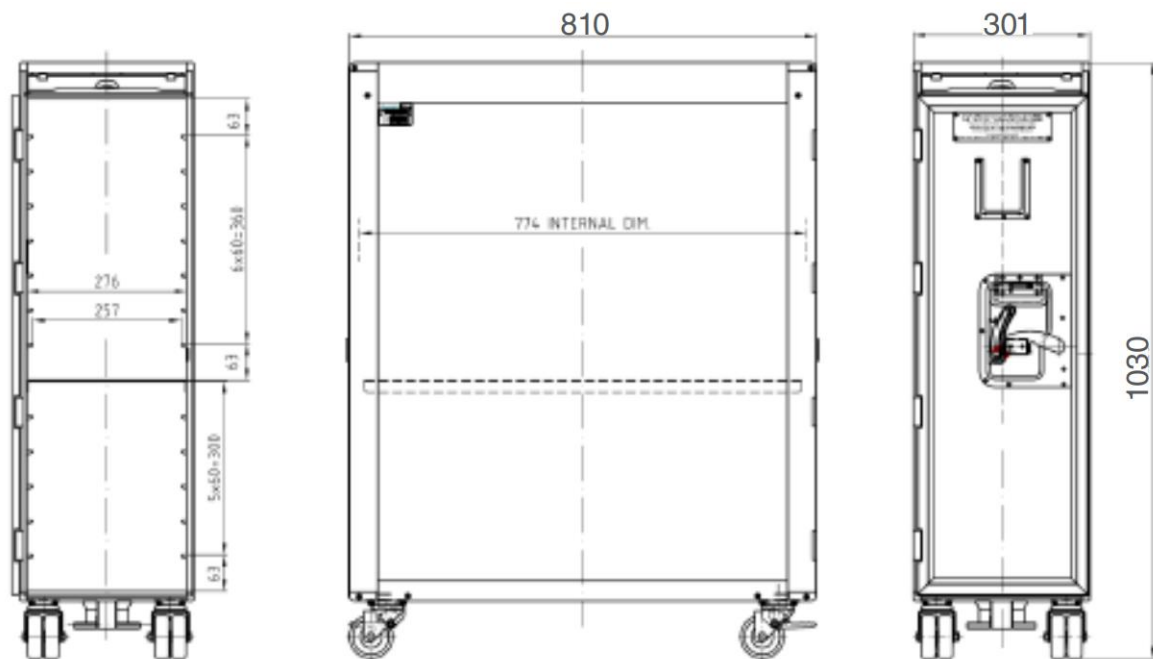


Joonis 3.2. Tüüpiline laua ja tooli laius kontoris.

Takistusteta vahekäigu miinimumlaius põrandapinnast kuni kõrguseni 1 000 mm



Joonis 3.3. Nõuded vahekäigu laiusele Euroopa Liidu rongides.



Joonis 3.4. Lennukite teeninduskäru mõõtmed [6].

Järgnevalt on tabeli kujul välja toodud kõik tellijaga kokku lepitud nõuded ja soovitusel, samuti töö käigus tekkinud vajadused.

Tabel 3.1 Tehniliste nõuete loetelu.

Nõue	Kohustuslik	Soovituslik
1. Gogoro vahetatavad akud	X	
2. Kasutatav ilma sõidukita	X	
3. Vähemalt kaks 90° pööravat tiiba (horisontaal-vertikaal)	X	
4. 4 pööratavat tiiba		X
5. Võimalikult madal raskuskese	X	
6. Kasutatav AGC robotsõidukil (Amazon Robotics Hiina analoog)	X	
7. Tiiva avanemise kiirus 1 sekund 90°	X	
8. Kompaktsus. Gabariitmõõtmed kontoritesse sobivald.	X	
9. Kompaktsus. Gabariitmõõtmed rongi, lennukisse sobivald.		X
10. Kõik tiivad on eraldi liigutatavad	X	
11. Täpne liikumine – jäik disain		X
12. Moodulsüsteem erinevatele robotitele paigaldamiseks		X
13. Liikumisandurid		X

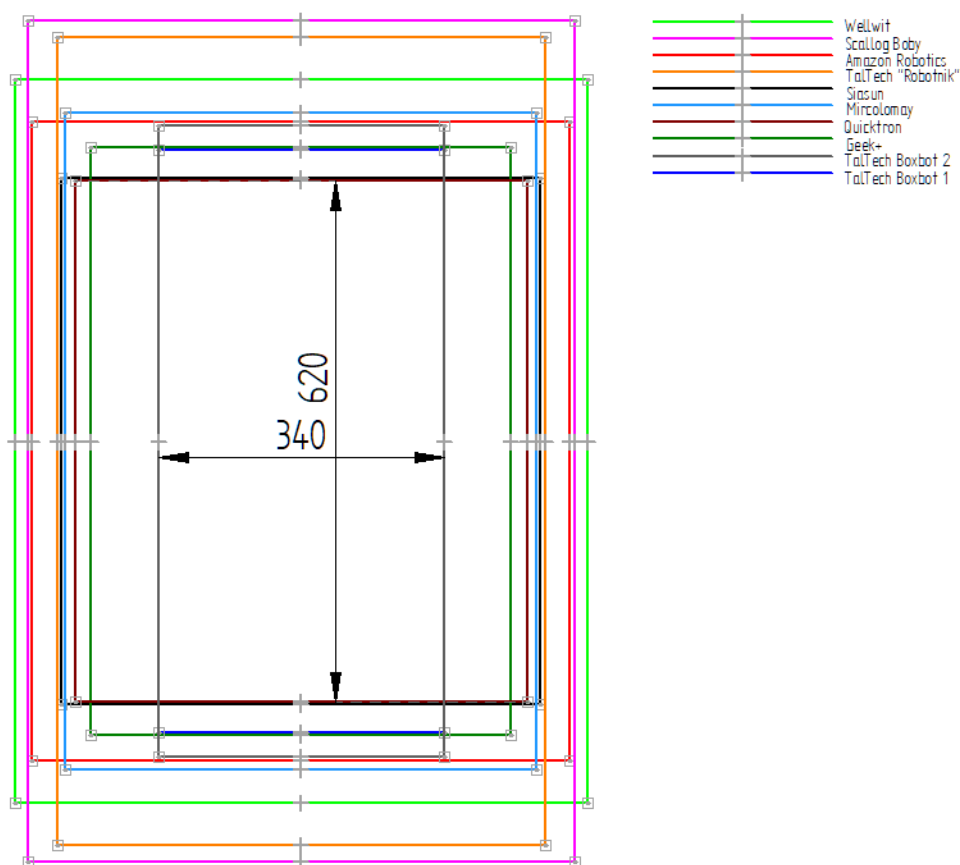
Tabelist on näha, et nõudeid on üsna vähe ja need on pigem üldsõnalised, kuid kindlasti tuleb esmase mudeli projekteerimisel välja mitmeid detailsemaid tehnilisi küsimusi ja valikuvõimalusi, millest arendada uued ülesanded.

4 ÜLDISE LAHENDUSE PROJEKTEERIMINE

Kõigepealt on leitud põhimõttelised lahendused projekteeritava masina alamosadele, seejärel nende omavaheline ühendamine.

4.1 Vedava platvormi valik

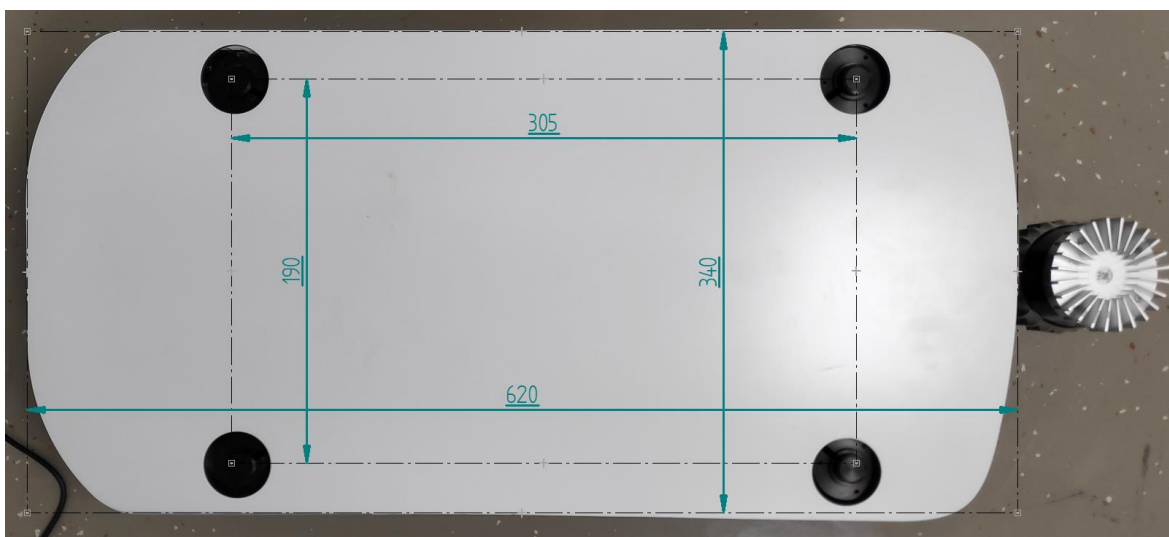
Kuigi ühtegi kindlat tootjat ega toodet ei ole välja valitud, millega koos Vanabot Violet töötama hakkab, on vajalik teha teatud üldised järeldused, millega edasisel projekteerimisel arvestada. Ideaalis jääbki võimalus ühildada erinevaid tooteid näiteks lähtuvalt sihtkohas olemas olevale valikule. Vedav sõiduk tegeleb kogu ruumis navigeerimisega – olenevalt tööala omapärast võib see olla erinevate nõuetega. Näiteks kas masin töötab täielikult sisestatud programmi järgi või kaardistab ruumi ise ja liigub autonoomselt või liigub ta distantsjuhtimisel. Järgnevalt on esitatud skemaatiliselt erinevate AGV-de gabariitmõõtmed pealtvaates. Siit on näha kui erinevate mõõtmetega siiski samasse suurusjärku jäävad masinad on.



Joonis 4.1. Ühendatud vaade eri AGV-de gabariitmõõtmetest (mm). Keskel on märgitud ühine vähim pindala.

Välja toodud valikust on juba näha, et kitsastes oludes – ühistranspordis kasutamiseks on enamus roboteid liiga laiad. Esmase prototüüpsõiduki aluseks valitakse TalTechis olemas olev AGV, see on ka piisavalt väikeste mõõtmetega, et kasutada rohkemates olukordades. Samade mõõtmetega seade jääb küll mõne teise AGV puhul pikkuses üle äärte ulatuma, kuid antud robotid on niigi mõeldud endast suurema pinnaga koormate vedamiseks. Olulisem on projekteerimisel arvestada, et UV-seade ei varjaks AGV pealmisest pinnast madalamale ulatuvate osadega ühtegi andurit.

Edasise projekteerimise juures võetakse arvesse AGV mõõtmetega 620 x 340 x 211 mm



Joonis 4.2. Ülikooli laboris üle mõõdetud AGV.

4.2 UVC lampide valik

UVC desinfitseerimislambid on väliselt sarnased tavaliste luminofoorlampidega. Mõõtmetelt vastavad nad samadele standardsetele klassidele ja on saadaval samade ühenduspistiku, pikkuse ja toru läbimõõdu suurustega. Saadaval on sirgeid ja U-kujulisi, ühest ja kahest otsast ühendatavaid lampe.

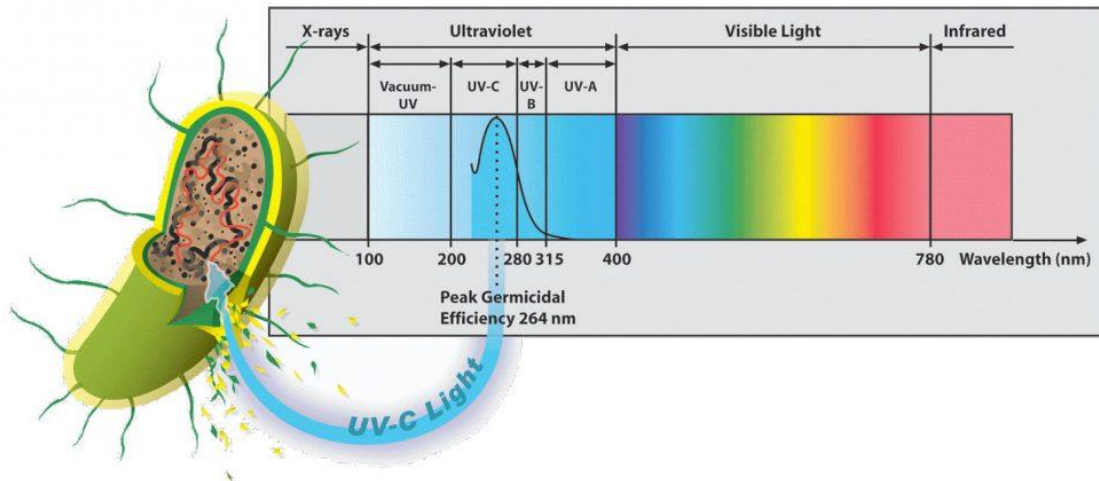


Joonis 4.3. Valik UV lampe.

Liikuvate tiibade puhul ei saa lambid olla nii pikad kui mõningatel teistel tootjatel näiteks UVD Robotics seadmed. Mõõtmete valikul tuleb arvestada lampide paneeli umbkaudse suurusega ning et selle piiratud pindala pealt saada vajalik energiahulk. Lambid peavad olema parema stabiilsuse jaoks mõlemast otsast kinnitatud. Lisavõimalusena pakutakse ka UV lampide katmist polümeerkilega, mis lambi purunemise korral hoiab ära kildude laialipaiskumise. [7]



Joonis 4.4. Purunemiskindel UV lamp.



Joonis 4.5. Ultraviolettkiirgus ja selle efektiivseim lainepikkus mikroobide hävitamisel.

UV kiirgus on elektromagnetiline kiirgus spektrivahemikus 100-400 nm. See omakorda jaotatakse alamklassideks, millest UVC on spektrivahemik 100-280 nm. UVC kiirguse tugevaim mikroobide vastane toime saavutatakse 265 nm juures. Selle järgi on ka desinfitseerimiseks mõeldud lambid projekteeritud. [8]

Vajalik energiahulk koroonaviiruse hävitamiseks on 5 mJ/cm^2 6s perioodi jooksul. Eriti hea tulemus saadi 22 mJ/cm^2 doosiga 25 s jooksul. [9]

Järgnevalt tuleb leida vajalik lampide arv:

Valikusse on võetud Philips TUV TL Mini G5 seeria lambid 16 W 302,5 mm ja 20 W 412,2 mm [10] ja Light Progress 40 W 437 mm [11]

Philips TUV 16 W annab 1 m kauguselt $45 \mu\text{W/cm}^2$ [12]

Teisendades samadele ühikutele: vajalik kiirgusenergia on $5 \text{ mJ/cm}^2 \cdot 6 \text{ s} = 0,833 \text{ mW/cm}^2 = 833 \mu\text{W/cm}^2$. Seega ühes paneelis on vajalik $833 / 45 = 19$ lampi

40W Philips TUV T5 kiirgab UVC kiirgust võimsusega 14 W, siis Philipsi tabeli [12] järgi $136 \mu\text{W/cm}^2$. Sellise võimsusega lampe on vaja $833/136 = 6$ tk ühele paneelile. Sellele teabele saab põhinema esialgne projekteerimine.

Arvestatakse, et Light Progress 40 W lambi UVC kiirgustase on sama.

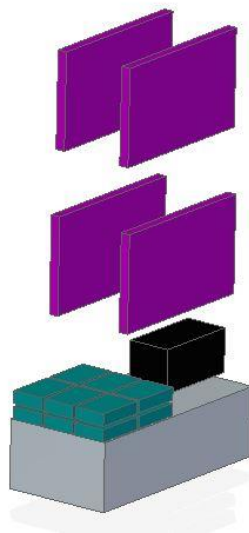
Lampidel on vajalikud ka elektroonilised ballastid. Ruumi kokkuhoiuks on leitud kahele lambile ühendatavad seadmed 2x40 W [13]

Kuna käesolev töö elektriosa ei täpsusta, siis võivad lampide toiteahela seadmed ka muutuda, kuid peab arvestama nende mahutamisega seadmesse.

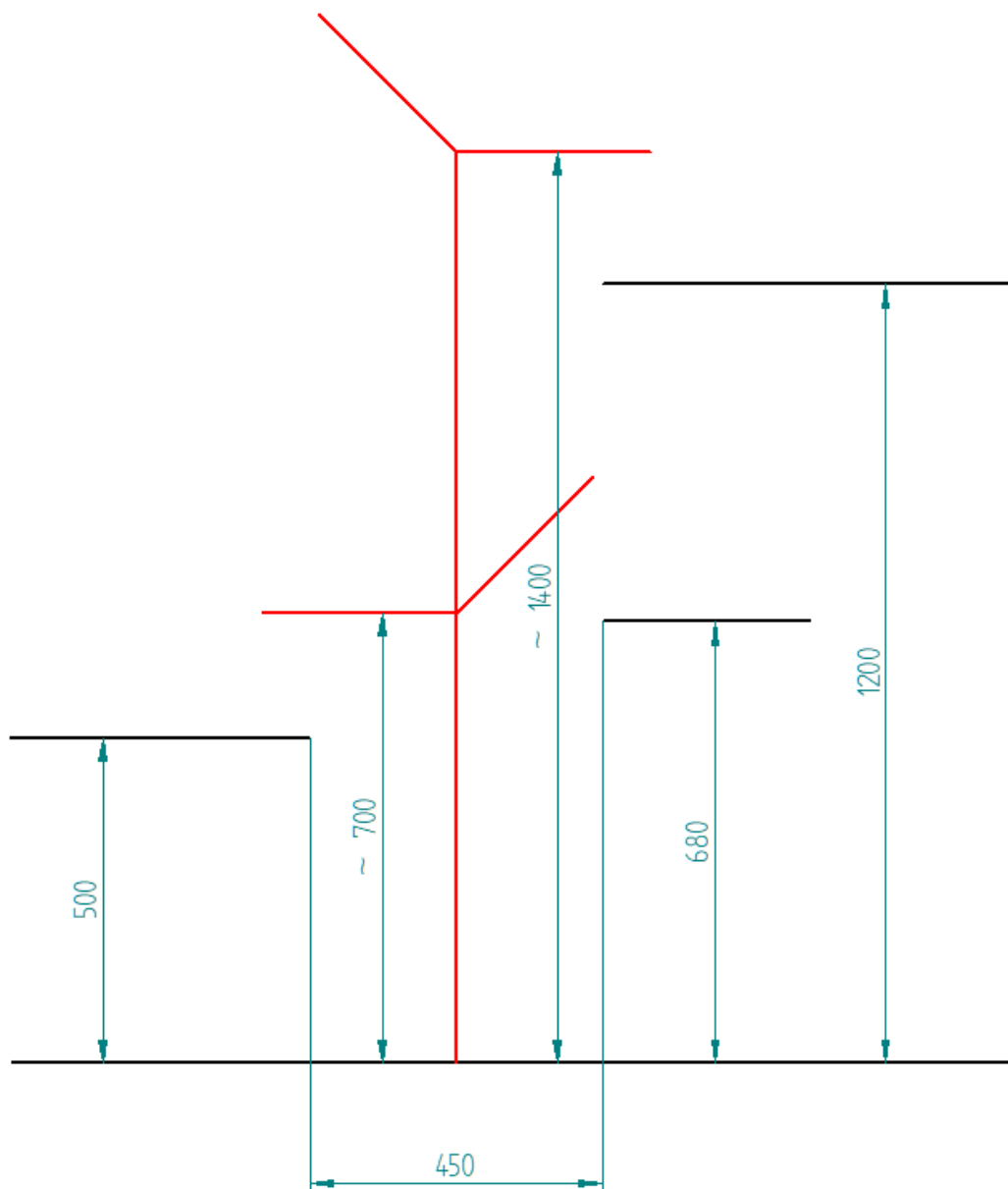
Light Progress CHS-40WH tehniline info on toodud töö lisas.

4.3 Raami projekteerimine

Raami mõõtmete projekteerimisel võetakse aluseks eespool välja toodud kontorimööbli ja rongi vahekäikude mõõtmed ja TalTech AGV mõõtmed.

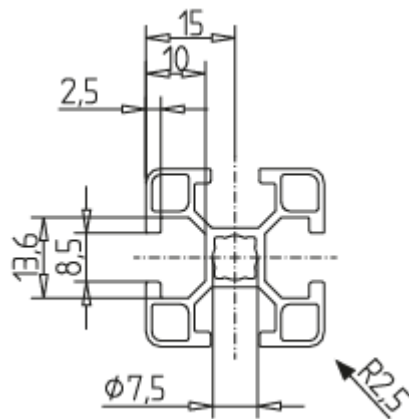


Joonis 4.6. Esialgne skeem lampide paigutusest ja ballastide ja aku ruumist AGV peal.



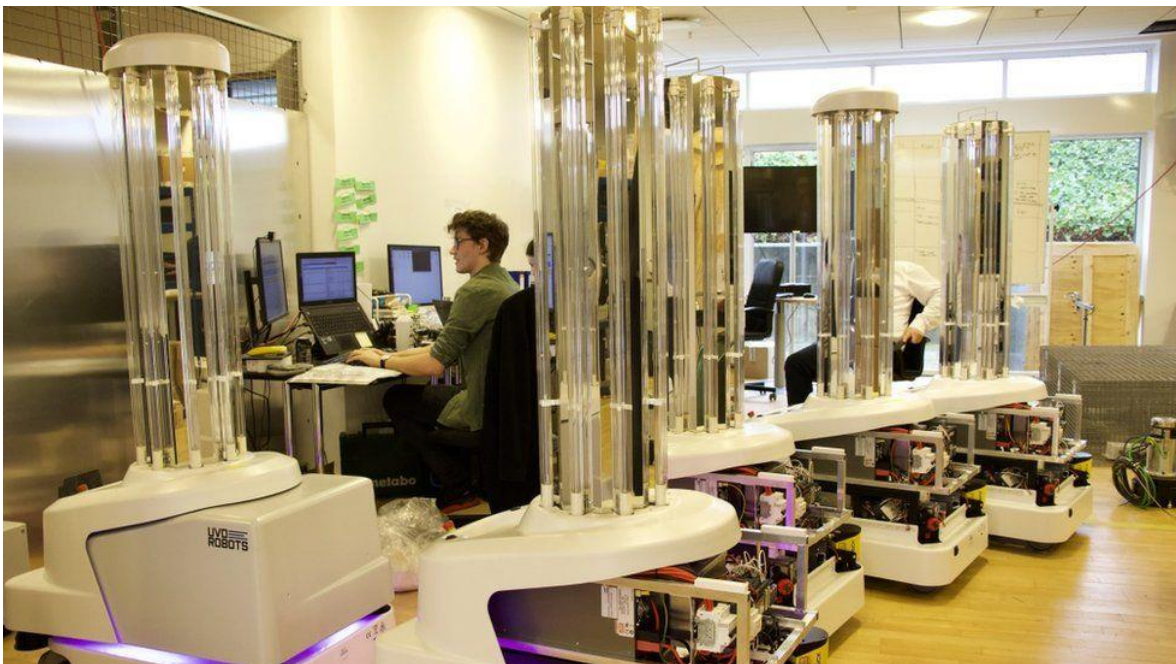
Joonis 4.7. Peamised projekteerimise mõõtmed.

Prototüübi raami projekteerimiseks on valitud standardsed alumiiniumprofiilid, mis on selliste üksikute masinate või väikeseeriade tootmises tavaliseks praktikaks. Kui koostamise käigus ilmneb, et mingeid mõõtmeid on vaja muuta, siis saab detaile soone suunas nihutada või vajaduse korral üksikuid profiili osasid pikemata või lühemate vastu ümber vahetada tekitamata suuri probleeme näiteks kinnitusavade muutumisega. Seeriatootmiseks on võimalik lihtsalt profiilid samaväärsete alumiiniumist nelikanttorude vastu vahetada ja poltühenduste asemel koostada keevitatud raam.



Joonis 4.8. Minitec 30 seeria neljast küljest avatud profiil. Sobivad ka teiste tootjate profiilid.

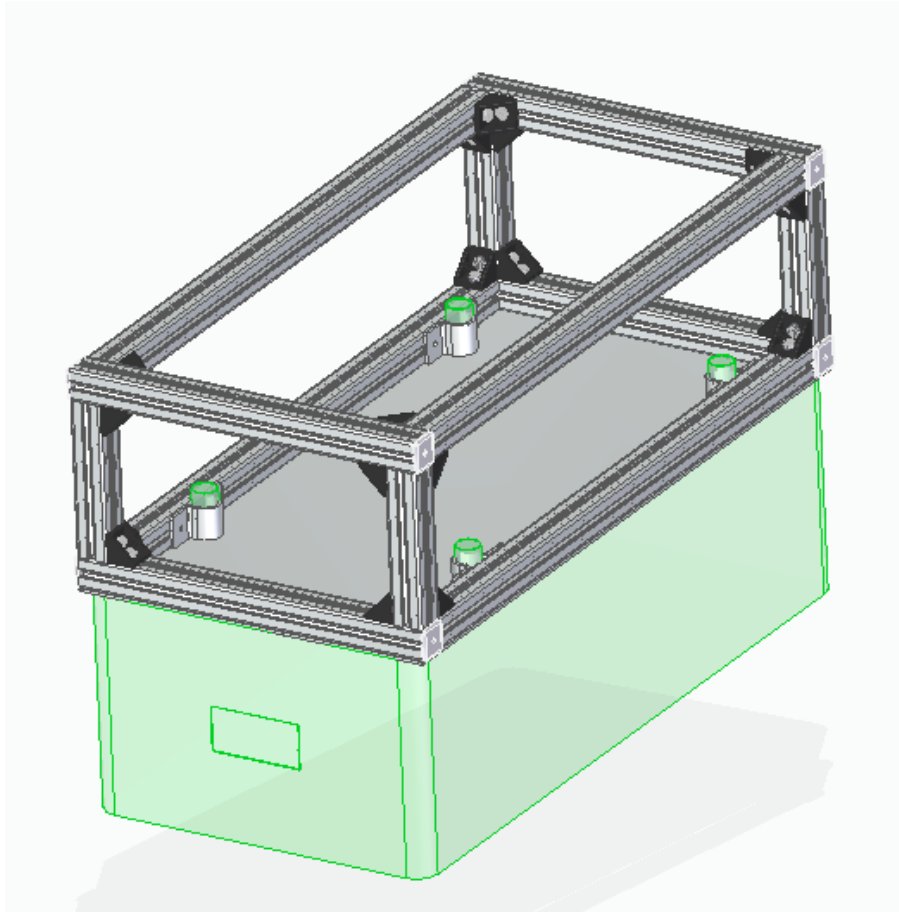
30x30 mm profiil on võrreldes 45x45 mm profiiliga sobiv kergemate konstruktsioonide ehitamiseks. Kuna käesolev projekt on väiksemale masinale, valime ruumi kokkuhoiu eesmärgil väiksema profiili.



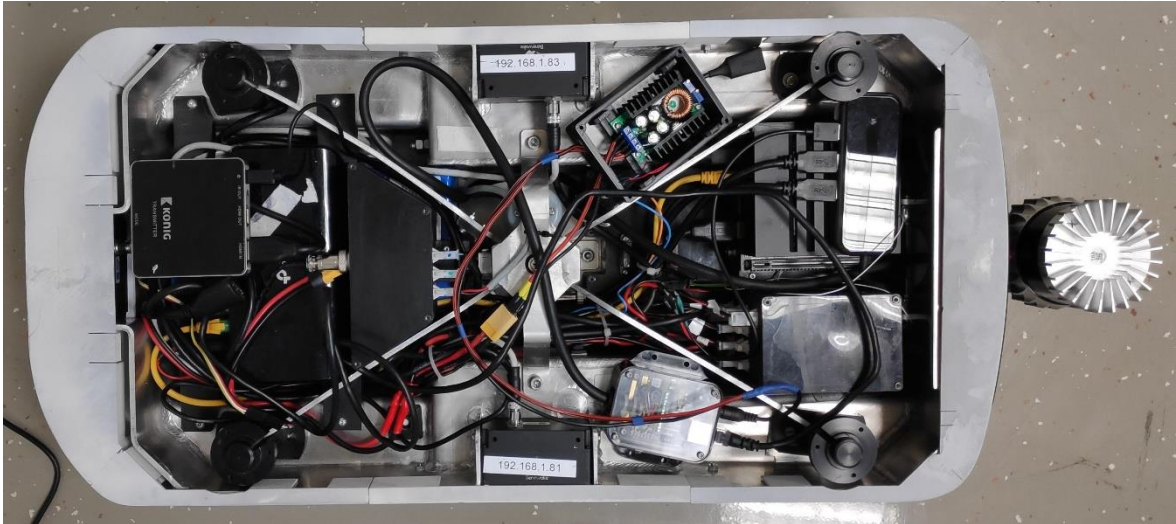
Joonis 4.9. UVD Robotics toodang paljastatud tagaosaga. Nähtaval on alumiiniumtorudest raam. [14]

4.3.1 Raami alumine osa

Liikudes alt poolt üles, projekteeritakse esimesena seadme põhi. See saab toetuma vedava roboti peale, on selle külge kinnitatud ja kannab omakorda ülejäänud seadme raskust. Arvestatud on, et raam toetub otse AVG kere, mitte tõstemehhanismide peale. Ja tõstemehhanismide kaudu toimub seadme kinnitamine.



Joonis 4.10. Raam, alusplaat ja kinnitusaasad.



Joonis 4.11. TalTech mobiilne robot ilma katteta. Nähtaval on metallist raam. Autori foto.

4.3.2 Raami ülemine osa

Edasine osa raamist on mõõtmestatud vastavalt arvesse võetud kõrgustele, kus lambid peavad töötama. Samuti on säilitatud iseloomulik sale välisilme. Tiibade pöördteljed on lisadetailidega kere osast välja poole toodud.

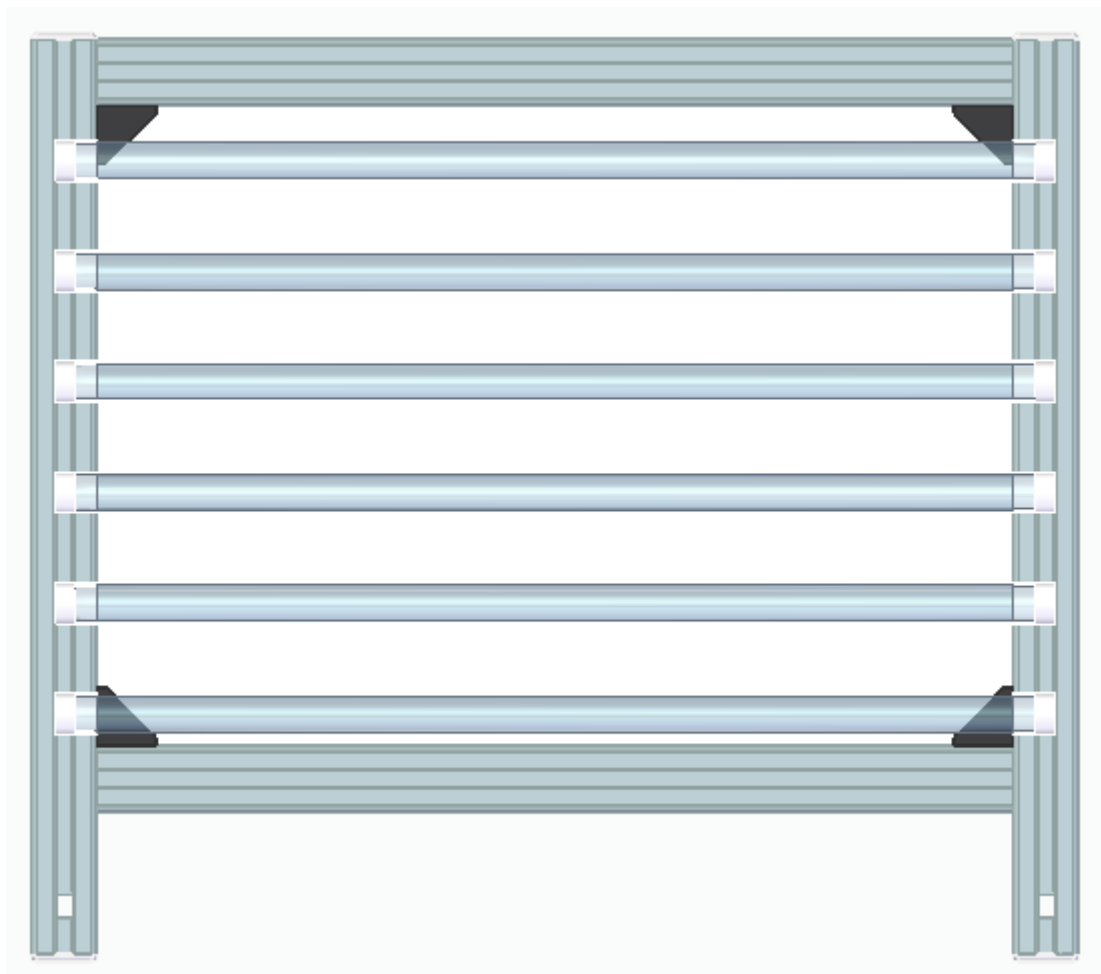


Joonis 4.12. Kande raam

4.3.3 Lampide paneel, tiib

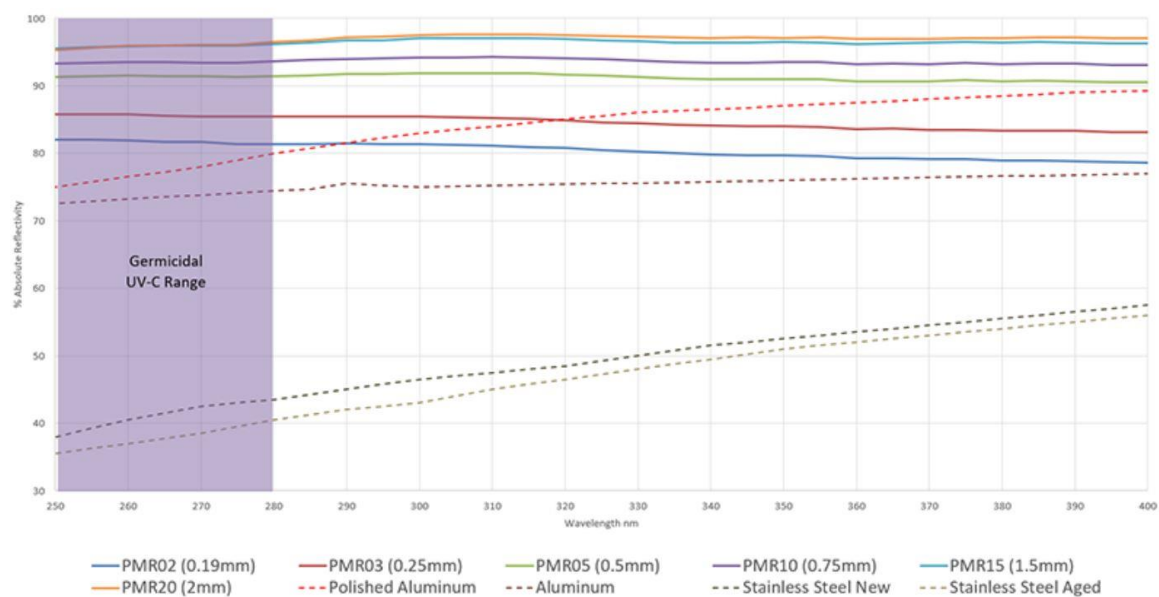
Juhtivateks mõõtmeteks siin on valitud lampide mõõtmed ja nende kogus. Ühes suunas määrab mõõdud lambi pikkus koos pistikute ja alumiiniumprofiilidega, teises suunas on võimalik mõõtmeid muuta. Valitud on lahendus, kus lambid on paigutatud horisontaalselt.

Lambid kinnitatakse raamile kruvidega paigaldatavatesse G5 tüüpi pesadesse [13]



Joonis 4.13. Lampide raam.

Peegeldava pinnana on prototübile arvestatud lihtsustatud lahendusena paneeli tagaküljele kinnitatud sile poleeritud alumiiniumleht. Alumiinium materjalina sobib võrreldes poleeritud roostevaba terasega paremini, kuna see peegeldab UV spektris tunduvalt paremini. Joonisel 3.13 on näidatud USA ettevõtte Porex kodulehel välja toodud Virtek® paagutatud PTFE katete peegeldusvõime võrreldes alumiiniumpeegli ja roostevaba terasega. Joonisel toodud andmete järgi peegeldab alumiinium 75% ja roostevaba teras 40% UV-C valgusest. [15]

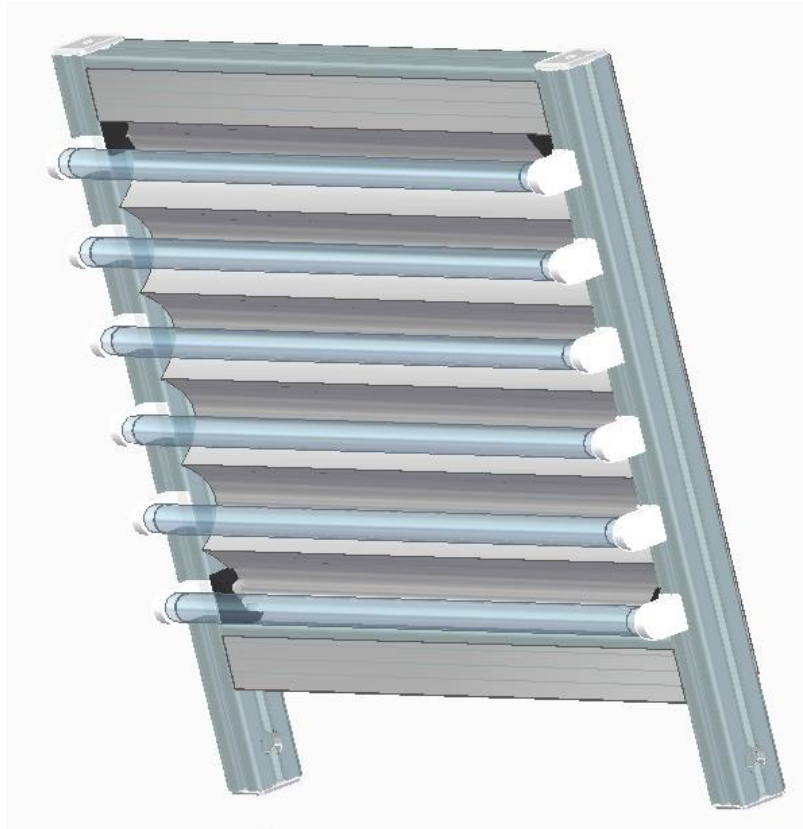


Joonis 4.14. Materjalide UVC spektri peegeldusvõime. Vertikaalteljel on peegelduse %, horisontaalteljel lainepikkus (nm). Desinfitseerimislampide lainepikkus jääb hallilt märgitud ala keskele. Ülevalt alla on toodud paagutatud PTFE kattekihtide PMR02-PMR20 peegeldusvõime pidevjoontega. Järgnevad poleeritud alumiinium, tavakvaliteediga alumiinium ning kõige all uus roostevaba teras ja vananenud roostevaba teras. [15]

Seeriatootetele on soovitatav parema peegelduse saavutamiseks lisada parabool reflektorid, kuna õigete reflektoritega on kuni 70% pinnale jõudvast kiirgusest peegeldatud. [16]

Materjalide peegeldusvõime ja kiirguse neeldumine sõltuvad lisaks pinnasiledusele ka peegeldava materjali poorsusest ja kihi paksusest. Suurema poorsusega materjal is neeldub rohkem kiirgust. Seetõttu on ka mikroporne paagutatud PTFE kiht väga kõrge peegeldusvõimega. [17]

Samal põhimõttel on välja töötatud ka tehnoloogiaid, et toota madalama poorsusega alumiiniumlehte. [18]



Joonis 4.15. Näide parabool reflektoriga paneelist.

4.4 Tiibade liigutamismehhanismide valik

Tegemist on iseliikuva robotiga, millel on ka programmeeritav valgustite kasutamine, seega on vajalik iga paneeli eraldi autonoomne või distantsilt juhtimine ja seda mitmesse erineva nurga all olevasse asendisse.

Tuleb leida selleks sobivaim ajam. Kuna toiteallikaks on aku, siis ei ole mõtet hüdraulika, pneumaatika jms. sobivusi hinnata ja jääda kohe elektrimootorite juurde. Sellisel juhul ei ole vaja raami mahutada lisaseadmeid.

Üheks oluliseks nõudeks on positsioneerimistäpsus – süsteem peab olema tagasisidestatud, et igal hetkel oleks tuvastatav, mis asendis masina tiib on. Selliseks ülesandeks on sobivaimad servomootorid ja samm-mootorid. Mõlemaid on saadaval mitmetes erinevates suurustes ja võimsustes.

Elektriliste ajamid võib liikumise järgi jaotada lineaarseteks ja pöörlevateks

Ülekande tüübi järgi jaotuvad – lineaarsed krüvimeetodil liikuva, rihmajamiga, hammaslatti ajamiga, pöörlevad hammasratas ülekanne, kettülekanne, tiguülekanne.

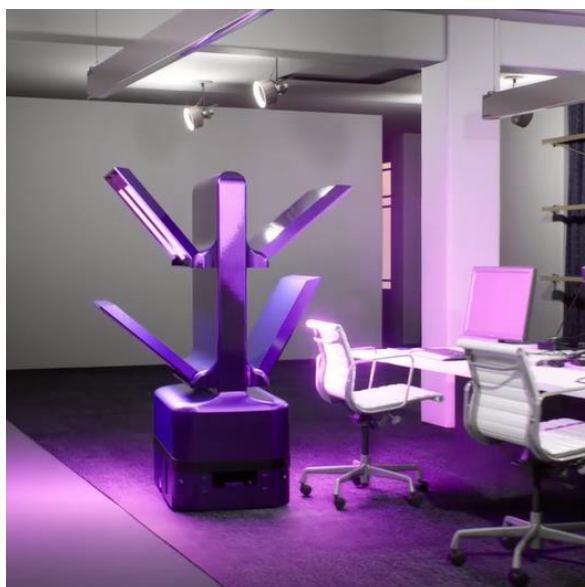
Enamuse tööajast on tiivad ühes asendis paigal ka muudavad asendit ainult uuele tööalale jõudes vastavalt sisestatud programmile. Tagatud peab olema, et tiivad oleks tööasendisse piisava jõuga fikseeritud. Oluline on hoidmisjõu säilitamine kui elektriühendus katkeb, et paneelid ei saaks alla kukkuda. Servo- ja samm-mootoritel on sellisteks kasutusvaldkondadeks saadaval sisse ehitatud elektromagnetilise piduriga mudelid.

Lisaks sisse ehitatud juhtelektroonikale ja pidurile, on võimalik ka ehitada süsteem, kus asendi andur asub näiteks väljund teljel. Või lihtsama süsteemi puhul kasutada samm-mootorit ja piirasendi lüliteid. Samuti on võimalik elektromagnetiline pidur paigaldada raami ja pöördtelje vahele.

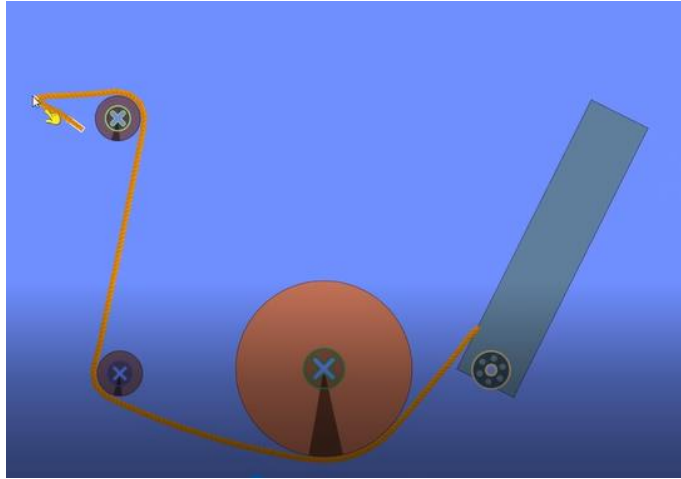
Kuna käesolev töö elektri ja elektroonika juhtimise osale ei pühendu, on siin lihtsustamiseks arvestatud servosüsteemi kasutamist koos sisse ehitatud piduri ja asendianduriga.

4.5 Lahendusvariandid liikumismehhanismile

Järgnevalt kaalutakse erinevaid võimalusi jõuülekandeks mootori võllilt lampide paneeli pööramisele. Tellija enda esialgne idee sisaldab küll animatsiooni töötavast robotist, kuid täpsemat tehnilist lahendust veel ei ole. On ühe lahendusvariandiga uuritud trossiga liigutamist ja sellest ka lihtne animatsioon edastatud.



Joonis 4.16. Kuvatõmmis videost. Vanabot Violet kontorit puhastamas.

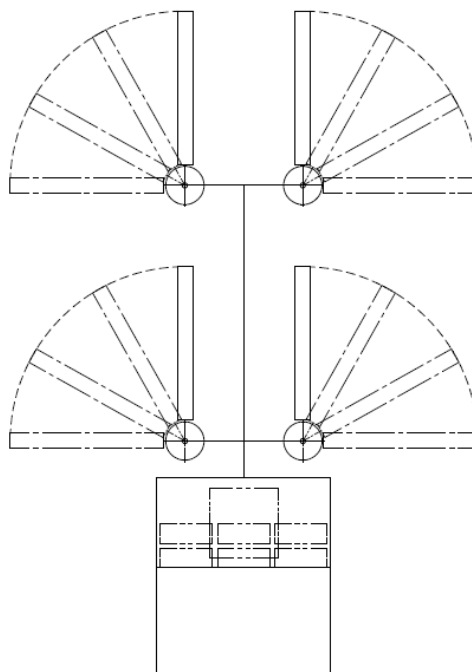


Joonis 4.17. Kuvatõmmis videost. Idee kinemaatikast.

Esimesel jätkukoosolekul sai lisaks trossülekandele pakutud välja ka erinevaid teisi lahendusi ja nende tugevusi ja arendamist vajavaid külgi arutatud.

4.5.1 Otseühendus võllilt

Mootorite võll on samal teljel paneeli pöördeteljega. Võimalus on näiteks kasutada läbiva võlliga elektrimootorit, mille saab ühendada kahest otsast. Või kasutada otsemootoreid võllile kinnitatuna.



Joonis 4.18. Mootorid otseühenduses.



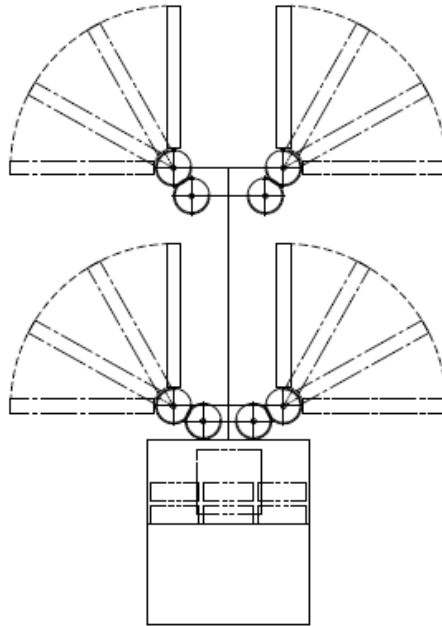
Joonis 4.19. Genesis Robotics Live Drive mootorid.



Joonis 4.20. Kahepoolse võlliga samm mootor Hiinast.

4.5.2 Hammasülekanne mootorilt võllile

Võimaldab mootorid mingil määral teljest madalamale ja rohkem korpuse sisse viia.
Võimaldab ülekandearvuga mootori jõudlust tõsta.



Joonis 4.21. Ülekanne hammasratastega.

4.5.3 Tiguülekanne mootorilt völliile

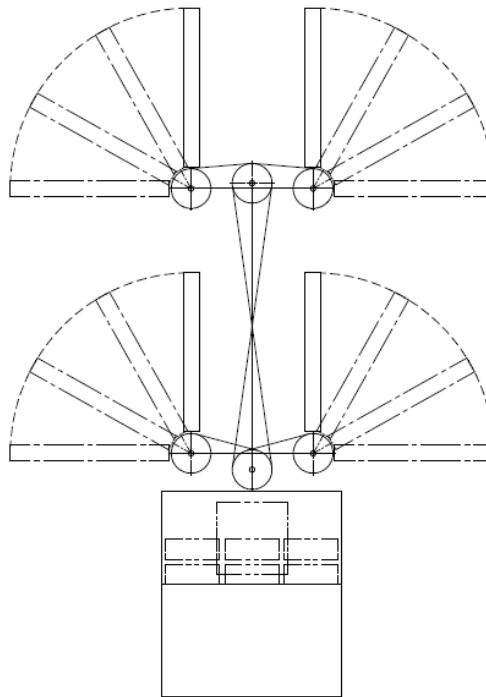
Völliile kinnitatavad spetsiaalsed servomootoritele mõeldud ülekanded. Saab samuti mootorid veidi madalamale ja keskele viia.



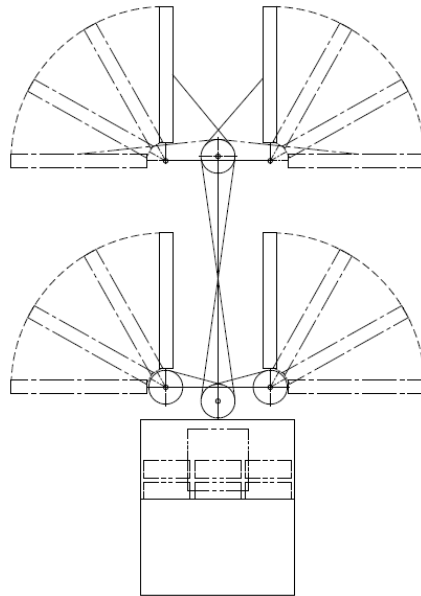
Joonis 4.22. Mootorid ja ülekanded Igus tootevalikust

4.5.4 Plokkülekanne mootorilt võllile

Edasiarendus tellija pakutud ideest. Võimaldab viia mootorid keskteljele ja võimalikult madalale. Saab kasutada lühemat ülekannet paneelide lähedalt, jättes mootorid eri kõrgustele või viia ka kõik mootorid samale kõrgusele. Ühe võimalusena on kasutatud telje peal ratast, millel tross liigub, teise võimalusena on tross kinnitatud otse paneelile. Kuna ploki järgi andmise puhul ei oleks paneeli enda raskusjõust tulenev moment piisav, vajab see lahendus lisasüsteemi, et trossi pinget all hoida.



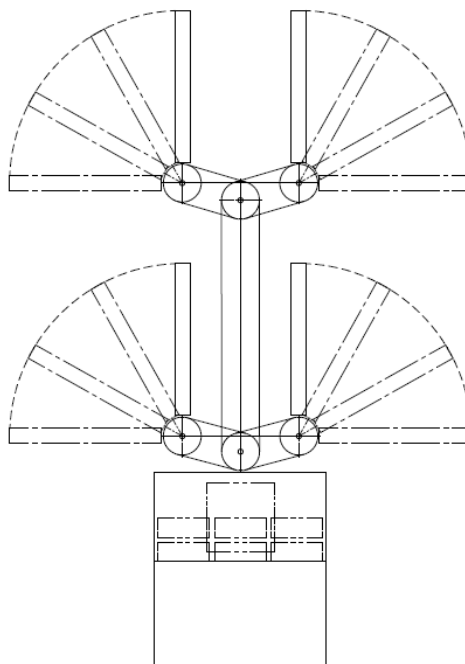
Joonis 4.23. Trossülekanne ratastega paneelide telgedel. Võimalik ka jätta keskelt ülekanne ära ja ülemised mootorid kõrgemale.



Joonis 4.24. Ülemised trossid on kinnitatud paneelide keskele.

4.5.5 Rihmülekanne mootorilt võllile ja vahevõllile

Sarnaselt trossülekandega saab viia mootoreid erinevatele kõrgustele. Ei vaja lisasüsteemi trosside pingul hoidmiseks. Lisab jäikust ja mõlema suunalist kontrollitud kiirusega liikumist.



Joonis 4.25. Rihmülekanne. Lihtsustamiseks saab jätta kaks mootorit kõrgemale ja kasutada ainult ühte mõõtu ülekannet.

4.5.6 Lineaarajam raami ka tiiva vahel

Kuna tiibade liikumisulatus on ülevalt vertikaalasendist alla horisontaali, saab lineaarajami paigutada ainult pöörlemisteljest kõrgemale (sarnaselt joonisel 3.23 näidatule). See ei ole praeguseid nõudeid arvestades mõistlik paigutus.



Joonis 4.26. Lineaarajam rihmülekandega.



Joonis 4.27. Lineaarajam kruviülekandega

4.6 Mehhanismi variantide hindamine

Tabel 4.1 Tehniliste nõuete loetelu.

Lahendus/Nõue	Pidur	Raskuskese	Kiirus	Hind	Positsioneerimine	Kokku
Otseühendus	-	-	+	0	+	0
Hammasülekanne	+	-	+	+	+	3
Tiguülekanne	+	-	+	-	+	1
Plokkülekanne	-	+	-	0	0	-1
Rihmülekanne	+	+	+	0	+	4
Lineaarajam	0	-	+	-	0	-1

4.7 Mehhanismi valik

Hindamises osutus valituks rihmülekanne. See lahendus võimaldab hoida ülekandemehhanismi kompaktselt masina raami sees ja jätab võimaluse erinevate mootorivariantide vahel valida. Lõplik vastus valiku õigsuses selgub edasise projekteerimise käigus, kui mõõdud saavad täpsemini paika ja vajalikud parameetrid välja arvutatud.

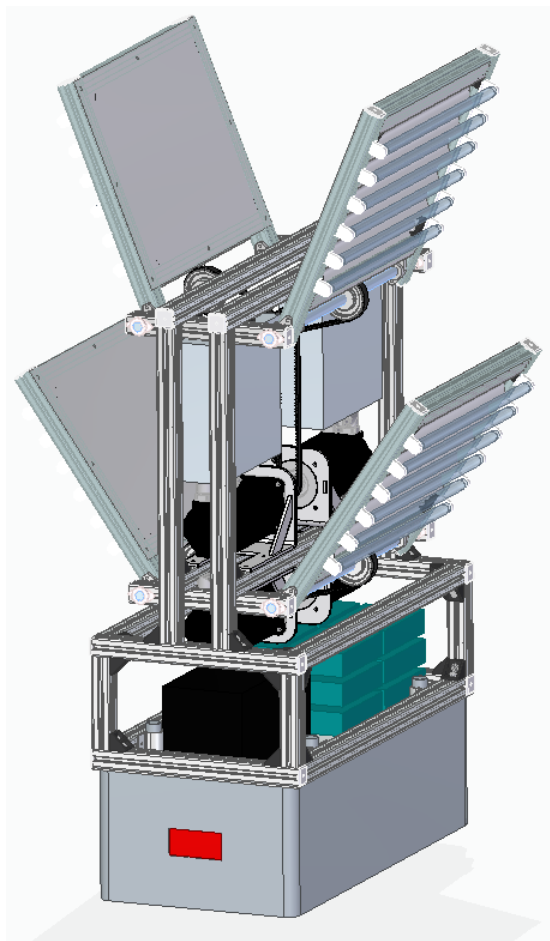
5 LÕPPTOOTE PROJEKTEERIMINE

Kogu süsteemi projekteerimisel lähtutakse DFA / DFP (design for prototyping) printsiibist. Esimeses etapis ehitatakse valmis prototüüp ja seejärel mitu prototüüpi. Projekteerimisel peab ette nägema, et masin oleks ka selles väikeses koguses toodetav.

Edaspidi näeb ärimudel ette ligikaudu 100 toote suurusi tootmispartiidid ka tõenäoliselt tootmist Aasias. Selles etapis on ka masina muud osad projekteeritud ja juhtimissüsteemid otsustatud. Kuna muutujaid ja vajalikke otsuseid on palju, siis palju seeriatootete üle viidavaid lahendusi ei ole veel vajalik välja pakkuda.

Lisaks peavad projekteerimisel olema tingimusteks töökindlus, energiatõhusus ja madal raskuskese, ehk kindlus ümberkukkumise eest.

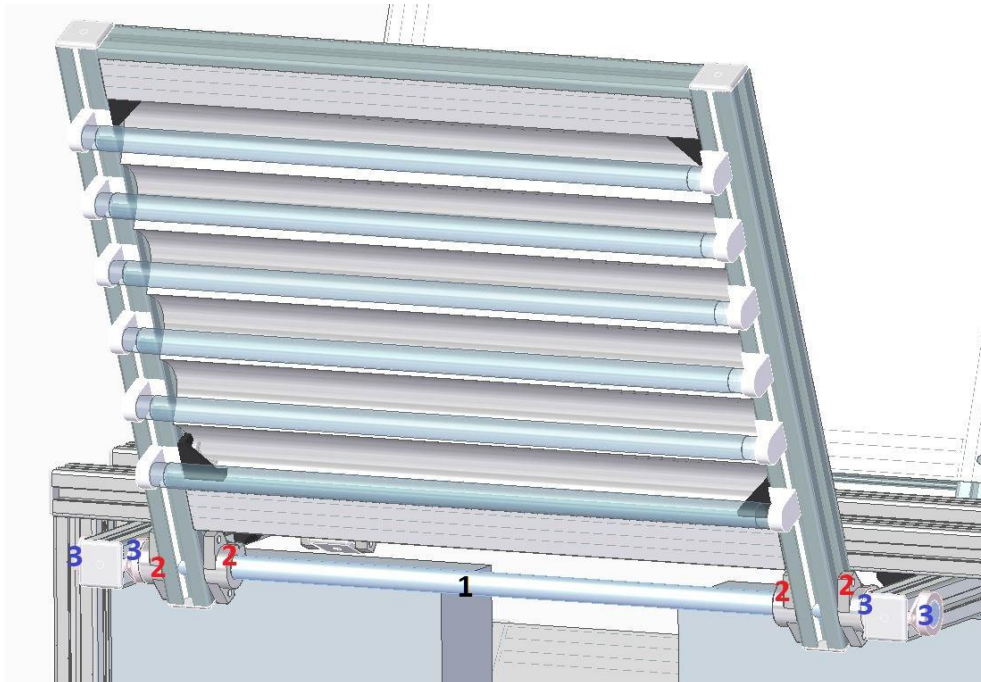
Prototüübi projekteerimisel kasutatakse lihtsustatud lahendusi, et oleks võimalik koostada võimalikult vähese masintöötlemisega ja standardsetest komponentidest.



Joonis 5.1. Vanabot Violet prototüübi esialgne magistritöö lahendus.

5.1 Lampide paneeli kinnitus raamile

Valitud disain näeb ette tiiva pööramist ümber raamile kinnitatud telje. Selleks on võimalik valida standardsete võllide hulgast sobiv läbimõõt. Arvestatud on roostevabast terastest AISI420/DIN1.4034 võllidega, kuna samast materjalist täppistolerantsidega ümarprofiili on ka laiemalt saadaval. Võimaliku liikumise saab jaotada kaheks – kas tiib on fikseeritud jäigalt võllile ja võll on laagerdatud raamiga. Või on võll jäigalt raami küljes ja tiib pöörleb võllil. Esimesel juhul on võimalik veomehhanism kinnitada nii, et jõud kantakse tiivale üle ühtlasemalt mõlemast kinnituskohast korraga. Samuti on lihtne rihmaratta asendit võllil korrigeerida. Teisel lahenduse korral on vaja rihmülekanne kinnitada otse tiivale. Samas on võimalus võll teha mitmest osast ja keskmine osa ära jätta, mis omakorda võib tekitada raskusi samatelgsuse tagamisel. Lihtsuse huvides on prototüübile valitud esimene lahendus.



Joonis 5.2. Paneeli kinemaatika. 1- telg; 2- kinnitusklambrid; 3-laagrid.

Kinnitamiseks on valitud äärikuga kinnitusklambrid, mille saab ühendada poltliitega alumiiniumprofiili soonde ja kruvidega võlli ümber pingutada.



Joonis 5.3. SHF tüüpi kinnitusklamber.

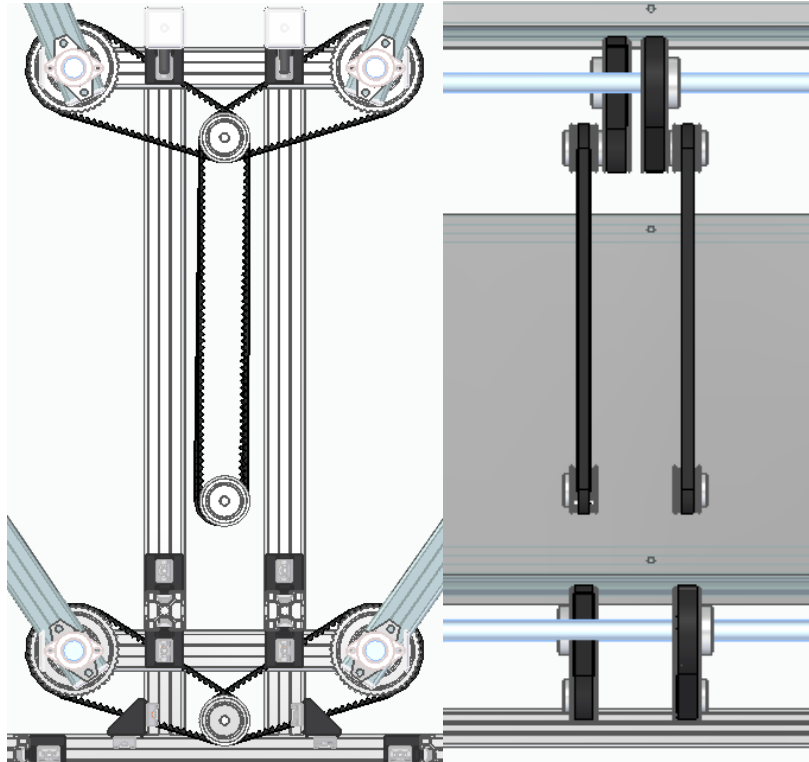
Laagriteks on valitud sarnase põhimõttega äärikuga kahe poldiavaga kuullaagrid.



Joonis 5.4. Iigus Xiros plastikust äärikuga laager.

5.2 Rihmülekanne tiivale

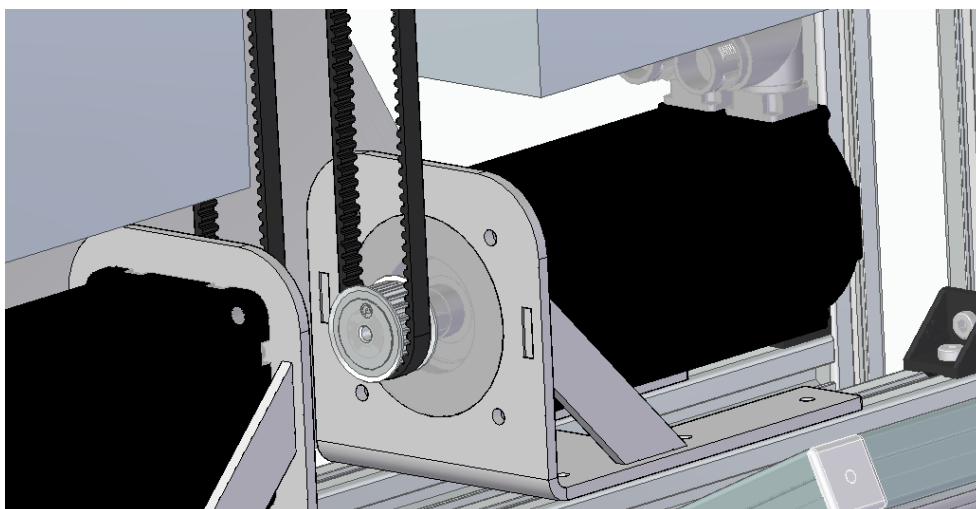
Jõuülekandeks kasutatakse hammasrihma ja rihmarattaid. Määravateks mõõtmeteks on telje kaugus raami tsentrist ja valitavate mootorite võlli kõrgus kinnituskohast. Samuti hammasrihma mahutamine raami profiilide vahele. Täpsed mõõtmed selguvad kõigi komponentide lõplikus valikus. Rihma laius ja rihmarattad määrab tarkvara.



Joonis 5.5. Rihmülekanded. 4 ühesugust ülekannt ja 2 lisaülekannt ülemistelt telgedelt.

5.3 Mootorite kinnitus raamile

Valitud servo või samm-mootorid kinnituvad raamile standardset tüüpi kinnitusplaatidega, mis valmistatakse lehtmetailist keeviskonstruktsioonidena vastavalt raami profiilide vahelisele mõõdule ja mootori kinnitusavade suurusjärgule – poltide vahelisele diameetrile.



Joonis 5.6. Servomootorid kinnitusplaatidega. Puudu on poltliited.

6 ARVUTUSED

Järgnevas peatükis on täpsustatud mõned parameetrid eelnevalt valitud lahenduste edasiseks valimiseks.

6.1 Vajalik jõumoment ühe paneeli liigutamiseks

Pärast lampide paneeli peamiste mõõtmete projekteerimist on võimalik saada teada selle mass ja arvutada paneeli liigutamiseks vajalik jõud. Täpsemalt jõumoment arvutatuna paneeli massikeskmest, kuna paneel liigub ümber telje kiirusega 15 p/min (90° sekundis, ehk 1 pööre 4 sekundiga = 15 p/min).

Vajalik jõud sõltub pööratava tiiva massist ja jõuõlast, täpsemini raskuskeskme kaugusest pöörderaadiusest. Samuti kiirendusest.

Võtmaks arvesse servomootorite puhul kasutatavaid varutegureid ja kõiki vajalikke komponentide inertse ja kasutegureid, on mootori vajalik väändemoment leitud firma Oriental Motor pakutava kalkulaatori abi. [19]

Saadud vajalik suurim jõumoment on 6,559 Nm servoajami ajutisel ülekoormamisel, servomootori nimimoment 4,919 Nm ja vajalik pöörete arv 40 p/min.

Täispikkuses raport on toodud töö lisas.

6.2 Rihmülekande arvutus

Mootori valikul on juba arvesse võetud ka mootori ja koormuse vaheline hammasrihm ülekanne ülekandearvuga 1:2. Kuna vajalik kiirus on servomootorite keskmistest kiirustest tublisti väiksem, on mõistlik kiiruse arvelt võita jõus ja kasutada väiksemaid mootoreid. Ülekandearv on valitud optimaalse suurusega rihmarataste järgi, mis raami vahele ja mootori võllile mahuksid.

Rihmülekande mõõtmestamiseks on kasutatud tootja Gates pakutavat tarkvara Design Flex Pro. Väljavõte on toodud töö lisas.

Tarkvara pakutud komplektide hulgast on valitud ülekanne, mis tekitab rihma pingega võllile koormuse 483 N

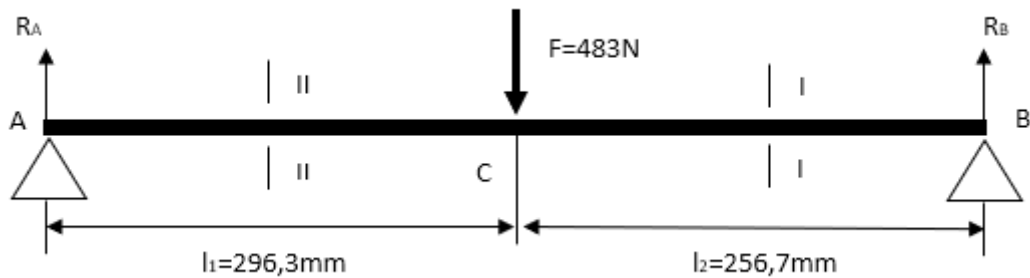
Lisaks 1:1 ülekanne ülemiste mootorite alla toomiseks, mis on pingutatud jõuga 485 N

Antud näitajad on vajalikud kontrollimaks ajami võllide sobivust.

6.3 Tugevustingimused võllile

Võlli materjaliks on valitud roostevaba teras margiga DIN 17440 1.4034. Materjali voolavuspiir $R_{p0,2} = 245$ MPa ja elastsusmoodul 215 Gpa. Praeguses faasis on võllile antud mõõtmed - pikkus 600mm ja lampide raami ja rihmaratta vahelised mõõdud.

6.3.1 Tugevustingimus võlli paindele



Joonis 6.1. Võlli paine.

Toereaktsioonide leidmine:

$$\sum M_A = 0; R_B \cdot (l_1 + l_2) - F \cdot l_1 = 0 \quad (6.1)$$

$$\sum M_B = 0; -R_A \cdot (l_1 + l_2) - F \cdot l_2 = 0 \quad (6.2)$$

Kontrollvõrrand:

$$\sum F_y = 0; R_A - F + R_B = 0 \quad (6.3)$$

Võrrandist 1 saame:

$$R_B = \frac{F \times l_1}{l_1 + l_2} = \frac{483 \times 0,2963}{0,2963 + 0,2567} = 258,79 \text{ N} \quad (6.4)$$

Võrrandist 2 saame:

$$R_A = \frac{F \times l_2}{l_1 + l_2} = \frac{483 \times 0,2567}{0,2963 + 0,2567} = 224,21 \text{ N} \quad (6.5)$$

Kontrollvõrrand:

$$224,21 - 483 + 258,79 = 0 \quad (6.6)$$

Põikjõud:

$$\text{Lõige I-I} \quad Q_1 = -R_B = -258,79 \text{ N} \quad (6.7)$$

$$\text{Lõige II-II} \quad Q_2 = -R_B + F = -258,79 + 483 \text{ N} = 224,21 \text{ N} \quad (6.8)$$

Paindemomendid:

$$\text{Punkt B} \quad M_B = R_B \cdot 0 = 0 \quad (6.9)$$

$$\text{Punkt C} \quad M_C = R_B \cdot l_2 = 258,79 \cdot 0,2567 = 66,43 \text{ Nm} \quad (6.10)$$

$$\text{Punkt A} \quad M_A = R_B \cdot (l_2 + l_1) - F \cdot l_1 = 0 \text{ või } M_A = R_A \cdot 0 = 0 \quad (6.11)$$

$$\text{Tugevustingimus paindel } \sigma = \frac{M}{W_x} \leq [\sigma] \quad (6.12)$$

$$\text{Lubatud normaalpinge } [\sigma] = \frac{R_{p0,2}}{1,5} \quad (6.13)$$

Võlli materjaliks on valitud 1.4034

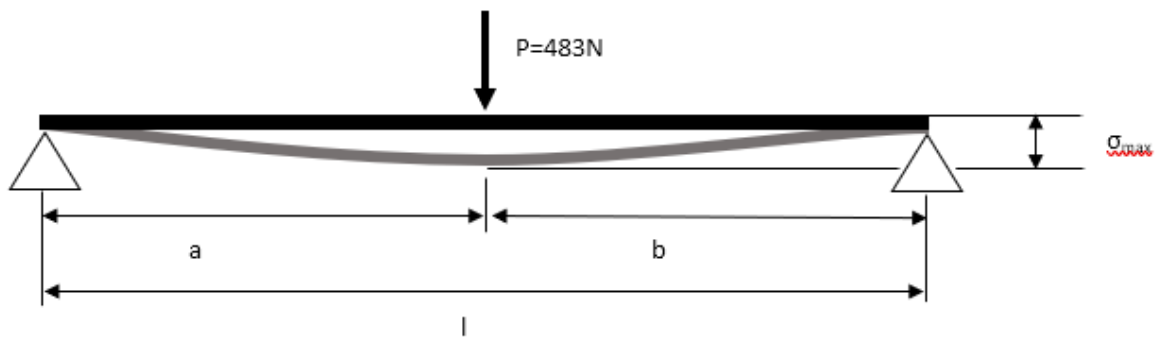
Materjali voolavuspiir $R_{p0,2} = 245 \text{ MPa}$, sellest avaldub $[\sigma] = \frac{245}{1,5} = 163 \text{ MPa}$

$$\text{Ringi telgvastupanumoment } W_x = \frac{\pi \times d^3}{32} \quad (6.14)$$

Eelnevatest valemitest saab tuletada ristlõike minimaalse läbimõõdu

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \times M}{\pi \times [\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 66,43}{3,14 \times 163 \times 10^6}} = 0,0161 \text{ m} = 16 \text{ mm} \quad (6.15)$$

6.3.1.1 Võlli suurima läbipainde arvutamine



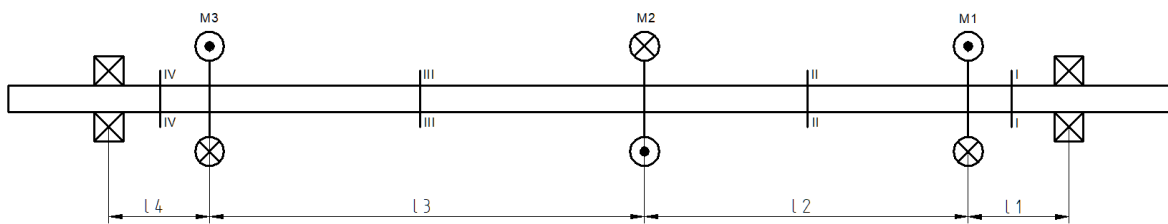
Joonis 6.2. Võlli paine.

$$\sigma_{\max} = \frac{P \times b(3L^2 - 4b^2)}{48E \times I} \quad [20] \quad (6.16)$$

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} = \frac{3,14 \times 16^4}{64} = 3215,36 \text{ mm}^4 \quad [21, \text{ p. 49}] \quad (6.17)$$

$$\sigma_{\max} = \frac{483 \times 256,7(3 \times 553^2 - 4 \times 256,7^2)}{48 \times 215000 \times 3215,36} = 2,44 \text{ mm}$$

6.3.2 Tugevustingimus võlli väände



Joonis 6.3. Võlli vääne.

Võll on koormatud jõumomendiga 6,6 Nm ja kahelt poolt jäigalt kinnitatud.

Väändemomendid lõikudes:

Lõige I-I: $T_1 = 0$

Lõige II-II: $T_2 = M_1 = 3,3 \text{ Nm}$

Lõige III-III: $T_3 = M_1 - M_2 = 3,3 - 6,6 = -3,3 \text{ Nm}$

Lõige IV-IV: $T_4 = 0$

$$\text{Tugevustingimus: } \tau = \frac{T}{W_0} \leq [\tau], \quad (6.18)$$

Kus lubatud väändepinge $[\tau] \approx (0,5 \dots 0,6) [\sigma]$

$$\text{Lubatud tõmbepinge } [\sigma] = \frac{R_{p0,2}}{[S]} = \frac{190}{1,5} = 127 \text{ MPa} \quad (6.19)$$

$$\text{Seega } [\tau] = (0,5 \dots 0,6) \cdot 127 = 70 \text{ MPa}$$

$$\text{Polaarvastupanumoment } W_0 = \frac{\pi \times d^3}{16} \quad (6.20)$$

$$\text{Siis sellest võlli vähim läbimõõt } d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \times 3,3}{3,14 \times 70 \times 10^6}} = 6,2 \text{ mm}$$

Kuna paindel on vajalik suurem läbimõõt, siis kehtib 16mm

6.3.3 Võlli jäikusnõue

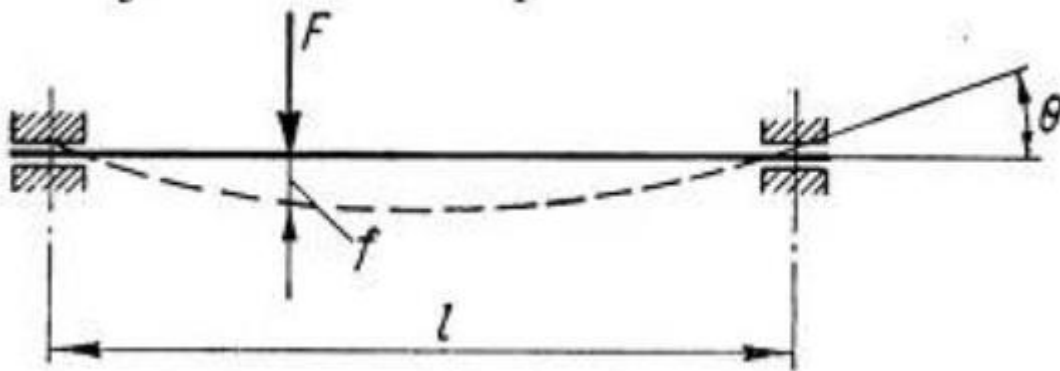
Võlli läbipainet tuleb kontrollida, et oleks tagatud võlliga ühendatud detailide tõrgeteta töö, nt. laagrites. Lubatav võlli läbipaine üldmasinaehituses $[f] = (0,00002 \dots 0,00003) \times l$ [22]

l - võlli pikkus laagrite vahel.

$$l = 553 \text{ mm}$$

$$[f] = (0,00002 \dots 0,00003) \cdot 553 = 0,1106 \dots 0,1659 \approx 0,14 \text{ mm} \quad (6.21)$$

Eelnevast arvutusest on saadud võlli läbipaindeks 2,44mm, seega on vaja tingimusi muuta.



Joonis 6.4. Võlli paindedeformatsioon.

1. Lühendada õlga – kasvab väändepinge
2. Suurendada võlli läbimõõtu – suurendades läbimõõtu 2 korda 28mm peale.
Saadakse läbipaindeks:

$$\text{Inertsmoment } I = \frac{3,14 \times 28^4}{64} = 30156,56 \text{ mm}^4$$

$$\text{Läbipaine } \sigma_{\max} = \frac{329 \times 256,7(3 \times 553^2 - 4 \times 256,7^2)}{48 \times 215000 \times 30156,56} = 0,17 \text{ mm}$$

Saadud tulemuse võib lugeda sobivaks, kuid võlli läbimõõt muutub väga suureks.

3. Lühendada jõuõlga lisatoe või muu konstruktsioonilise muudatusega nii, et vastaspoole jõu õlg ei suureneks. Vähendades laagrite vahelist kaugust, ilmes, et laagreid kandvad profiilid võtavad raami keskelt liiga palju ruumi ja mootorid ei mahu raami sisse ära.

Lihtsam lahendus seega on lisada lampide paneelile kolmas tugi keskele.

7 PARANDUSTE SISSEVIIMINE

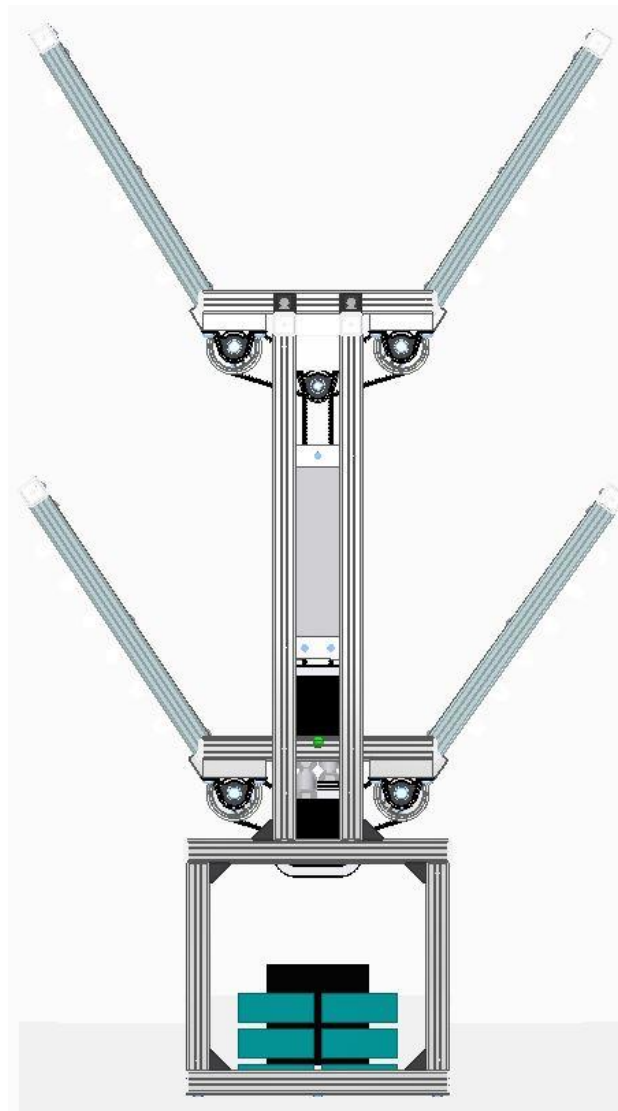
Lahendus telje painde osas. Lahendamaks pöördtelje liigset läbipainet on tiiva kinnitus teostatud kolmest punktist. Sobiva valmistoote puudumise tõttu on kinnitused ise projekteeritud. Kinnitusklamber fikseeritakse profiili soonde poltliitega kasutades spetsiaalseid mutreid. Telg kinnitatakse klambri ühte poolde töödeldud keerme ja poldi abil. Robot vajab ka lahendust tiibade käsitsi liigutamiseks seiskunud mootorite korral, selleks sobib kõige paremini tiiba vabastamine teljelt pingutuspoltidega ja uues asendis poldid uuesti pingutades.



Joonis 7.1. Lampide paneeli viimane lahendus. Äärmised klambrid on keskele nihutatud, et tekitada ruumi lampide juhtmete vedamiseks mööda profiili soont.

Koost on liiga raske. Peab kasutama teist vedavat platvormi. Esialgseks alusplatvormiks valitud mobiilne robot on kandevõimega 25 kg, projekteerimise käigus saadi kogu toote kaaluks 80 kg. Sinna sisse on arvestatud 4 servomootorit, 2 servovõimendit, aku ja lampide elektroonilised ballastid. Lõplik toote kaal suureneb veelgi elektrijuhtmete, juhtimiselektronika, andurite ja voolumuundurite võrra. Hinnanguliselt võib selleks arvestada +10% lisa. Seega on valmis toode massiga 88+ kg

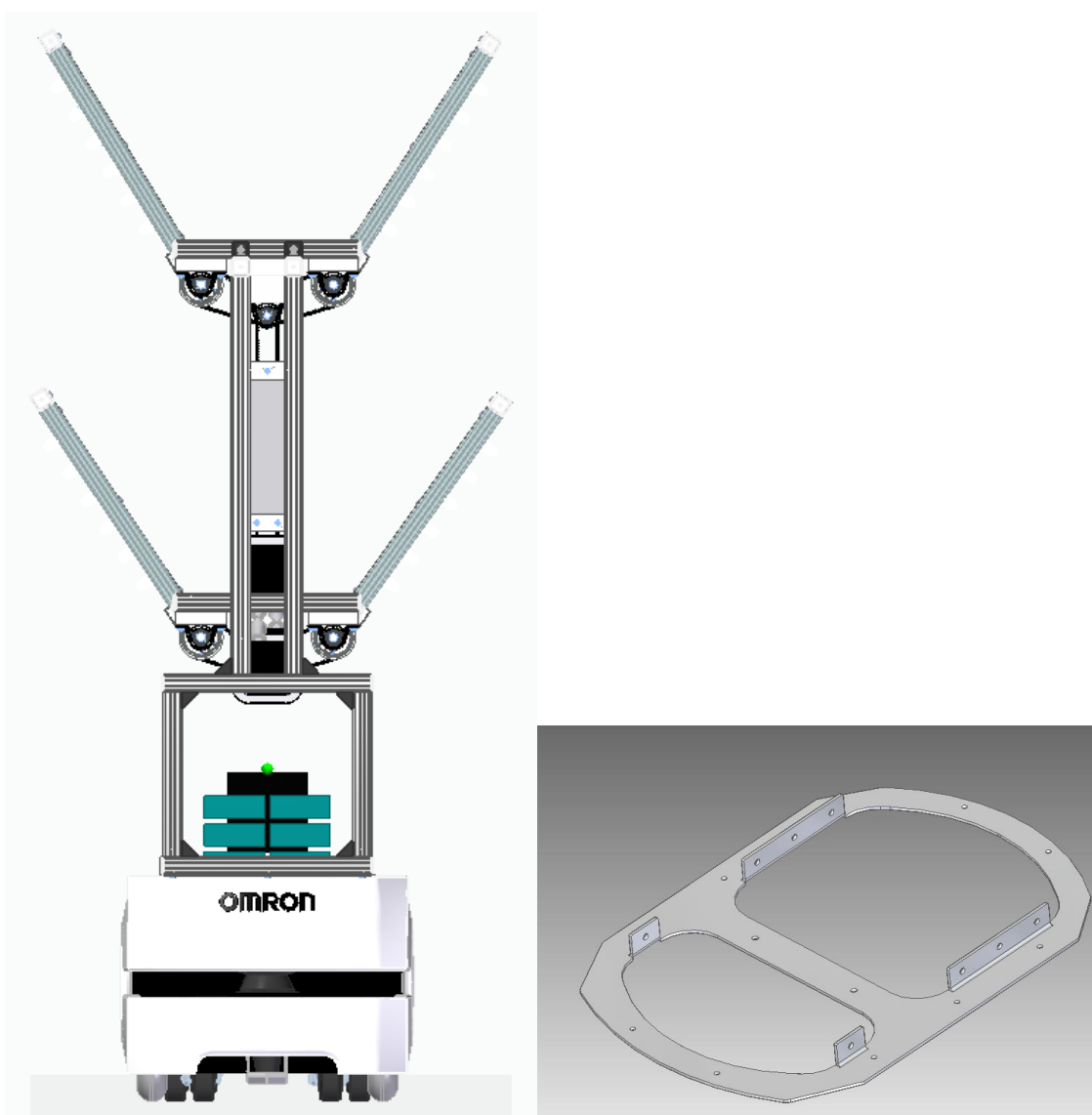
Tallinna Tehnikaülikoolis on õnneks samal ajal valmis saanud mobiilse roboti BoxBot uus mudel kandevõimega 100kg ja gabariitmõõtudega: pikkus 750 mm, laius 340 mm, kõrgus 230 mm. [23]



Joonis 7.2. UV-C robot BoxBot peal. Roheline punkt näitab massikeset.

Kuna uue roboti mõõtmed on endiselt sobivad, saab arvestada, et ülesanne jätkub valitud suunas.

Lisavõimalusena on näidatud süsteem Omron LD90 platvormil. LD90 AMR on välja töötatud just sarnaste projektide jaoks, kus soovitakse luua erilahendust mobiilse roboti peale. Eemaldatava paneeli all on kinnitused lisaseadmele, samuti ühendused andmesidele. UVC roboti kinnitamiseks LD 90 peale on loodud lihtne vaheplaat. Kui ülikooli arendatav AGV on sarnaselt paljudele analoogsetele robotsõidukitele mõeldud kauba laialiveoks, siis Omron LD platvorm on veel vähelevinud, kuid potentsiaalselt väga mitmekülgse kasutusvaldkonnaga.



Joonis 7.3. UV-C robot Omron LD 90 peal. Roheline punkt näitab massikeset. Lisaks näidisenä lihtne adapter kahe roboti ühendamiseks.

Valitud mootor ja selle mõõtmed kinnitusele. Servosüsteem on valitud Kollmorgen AKM2G alalisvoolu servode tootevalikust, mis on sobilikud akutoitel töötavatele mobiilsetele robotitele. [24]

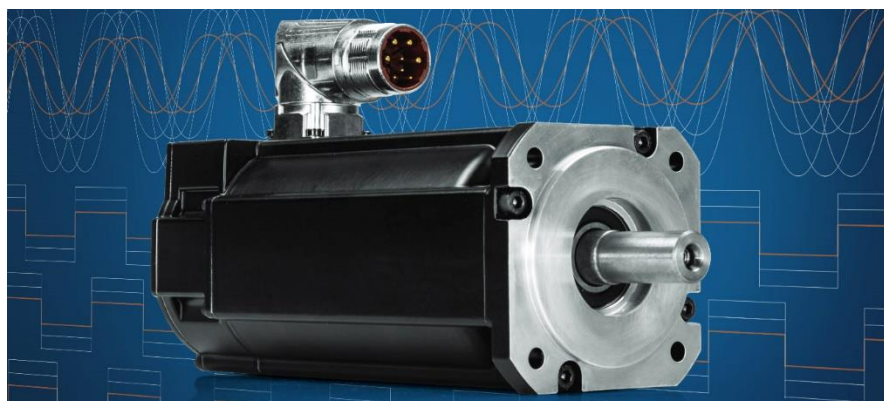
Parameter	Sym	Unit	AKM2G-2x				AKM2G-3x			AKM2G-4x			
			1	2	3	4	1	2	3	1	2	3	4
Continuous Torque at Stall	T_c	Nm	0.65	1.12	1.51	1.85	1.70	2.90	3.86	2.87	5.12	6.98	8.51
Rated Speed	N_{rd}	rpm	8000	8000	8000	8000	8000	7600	8000	6000	6000	6000	5400
Rotor Inertia	J_n	kg-cm ²	0.0930	0.1549	0.2169	0.2789	0.4264	0.8130	1.200	0.774	1.36	1.95	2.53

Parameter	Sym	Unit	AKM2G-5x				AKM2G-6x				AKM2G-7x			
			1	2	3	4	2	3	4	5	1	2	3	4
Continuous Torque at Stall	T_c	Nm	6.83	12.0	16.2	20.1	15.3	21.5	27.0	32.7	23.0	41.1	57.8	72.1
Rated Speed	N_{rd}	rpm	6000	5600	5100	4800	5000	4500	4200	3800	4900	3400	3200	3000
Rotor Inertia	J_n	kg-cm ²	2.52	4.58	6.64	8.70	9.10	13.0	16.9	20.8	25.9	46.8	67.7	88.6

Joonis 7.4. Kollmorgen AKM2G seeria servomootorite andmed.

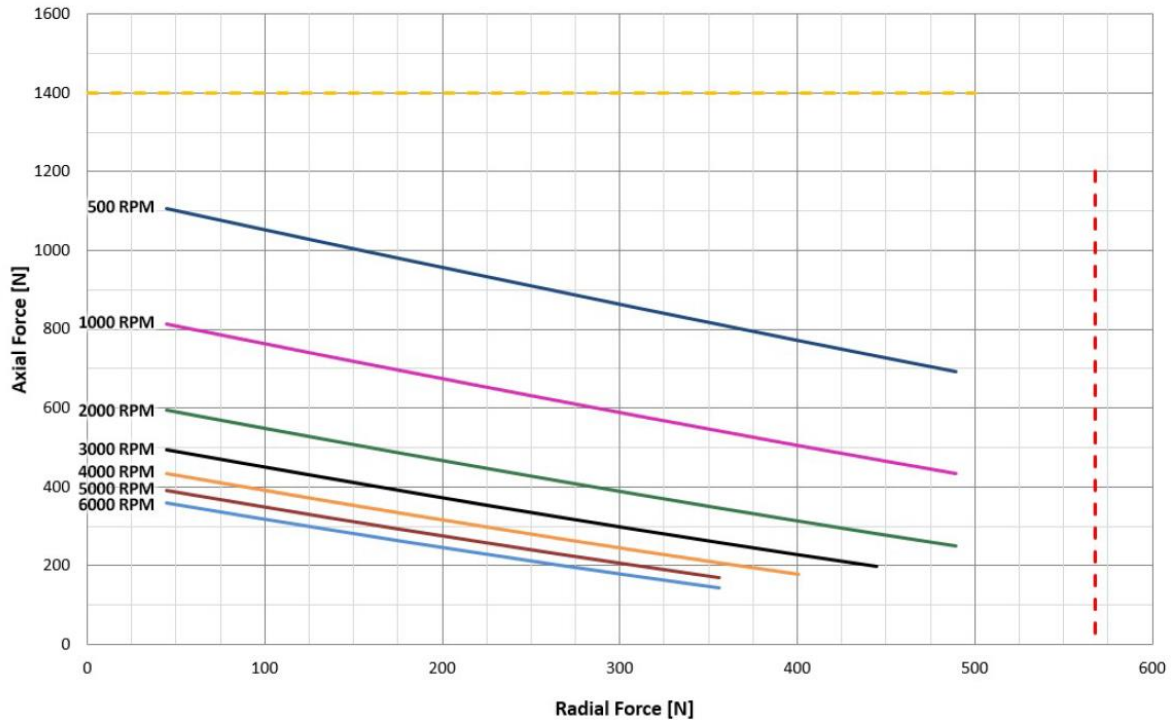
Vastavalt lisas 4 toodud arvutusele on servomootori nõutav väändemoment 6,559 Nm

Antud tabelist on valitud mootoriks AKM2G42 koos elektromagnetilise piduriga ja ühepoolse ühenduspistikuga, et ülemine ja alumine mootor paremini kokku mahutada.



Joonis 7.5. Kollmorgen AKM2G seeria servomootor.

Vajaliku jõumomendi järgi sobib ka mudel AKM2G33, kuna servomootorid kannatavad ajutist suuremat koormamist ja käesolevas projektis töötavad mootorid ainult lühikeste tsüklitena. 33 suuruses mootoritega on võimalik roboti kogumassis kokku hoida 2kg, samas on need pikemad ja raskemini raami mahutatavad. Peamine ülesanne on esialgu leida suurusjärgud, kuhu servomootorid jäävad ja seda arvestada kogu süsteemi projekteerimisel.



Joonis 7.6. Kollmorgen AKM2G4 lubatud pinged võlli otsas. [25] Radiaalne jõud 483 N (hammasrihma pingutusest) mahub napilt piiridesse.

Mootori võllile koostataval hammasrihma rattal on ette nähtud vähim lubatud läbimõõt, mis leitakse valemi abil [25]

$$d_{min} \geq (M_0 \div Fr) \times 2 \quad (7.1)$$

Kus väändemoment $M_0 = 6,6 \text{ Nm}$ ja radiaalne jõud $Fr = 483 \text{ N}$

$$d_{min} \geq (6,6 \div 483) \times 2 = 0,027m = 27 \text{ mm}$$

Valitud rihmaratta läbimõõt 35 mm vastab nõuetele.

AKM2G Motor Brake Specifications

Motor Family	Minimum Static Torque @120°C		Weight Adder		Power Consumption Nominal	Current' @24 V, 20°C	Inertia Adder		Closing Time (engage)	Opening Time (release)	Backlash ²	
	Nm	lb-in	Kg	lb			Watts ±7%	ADC			kg-cm ²	lb-in-sec ²
AKM2G-2	2	17.7	0.45	1.0	11.4	0.47	0.04	3.5E-05	10	40	1	0.32
AKM2G-3	3.3	29.205	0.72	1.6	12.6	0.53	0.12	1.1E-04	17	55	1	0.6
AKM2G-4	7	62.0	1.36	3.0	14.7	0.61	0.36	3.2E-04	20	85	1	0.55
AKM2G-5	16	141.6	2.6	5.7	20.8	0.87	1.2	1.1E-03	50	110	1	0.6
AKM2G-6	32	283.2	4.5	10.0	29.5	1.23	3.6	3.2E-03	70	150	1	0.25
AKM2G-7	80	708	9.1	20.1	37.6	1.57	12.3	1.1E-02	65	300	1	0.2

Contamination of the motor internal compartment by oil or other foreign materials will result in failure of the brake. Check the suitability of motor sealing for the working environment.

Note 1: Operating Voltage: 24 Vdc ± 10%.

Note 2: Maximum backlash is calculated using worst-case tolerancing, and typical backlash is calculated using statistical tolerancing.

Joonis 7.7. Mootori piduri andmed. [26]

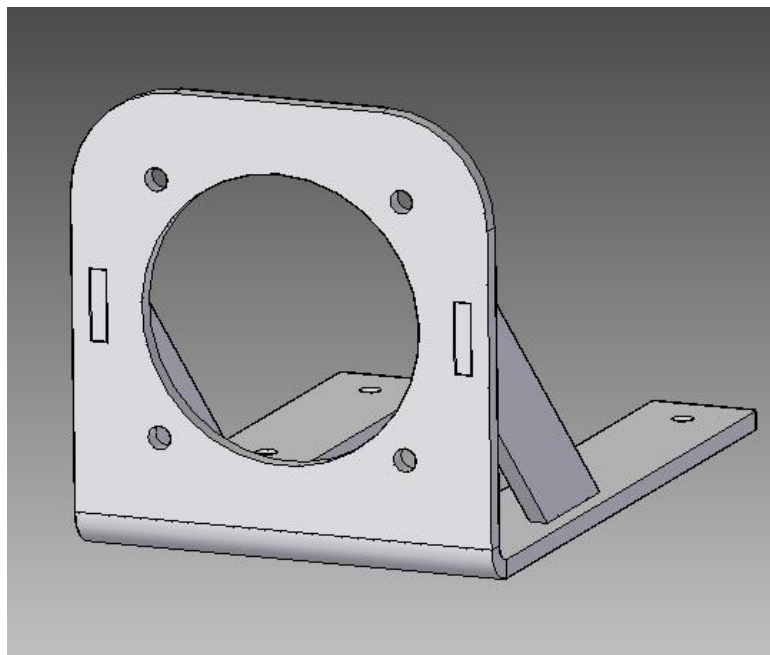
AKM2G-4 mootorid on varustatud piduriga, mis suudab paigal hoida 7 Nm koormust. Tootja poolne nõue on, et piduri jõumoment oleks 50% üle hoitava koormuse. [26] Magistritöö lisas 4 toodud arvutuse järgi on vajalik hoidmisjõud $T_L = 3,166 \text{ Nm}$

$3,166 \times 150\% = 4,749 \text{ Nm}$. Seega täidab nõude koos varuteguriga.

Servovõimendi on arvestatud kahe telje juhtimisega Kollmorgen AKD2G seeriast. [27]

Valitud mootor on standardse kinnitusflantsiga - avade ring 100 mm ja keskava 80 mm

Sellele vastavalt ja valitud rihmülekannete asukohtade põhjal on kujundatud mootori ja raami vaheline kinnitus - 4mm 355MCD terasest tugevdusribidega keeviskoost.

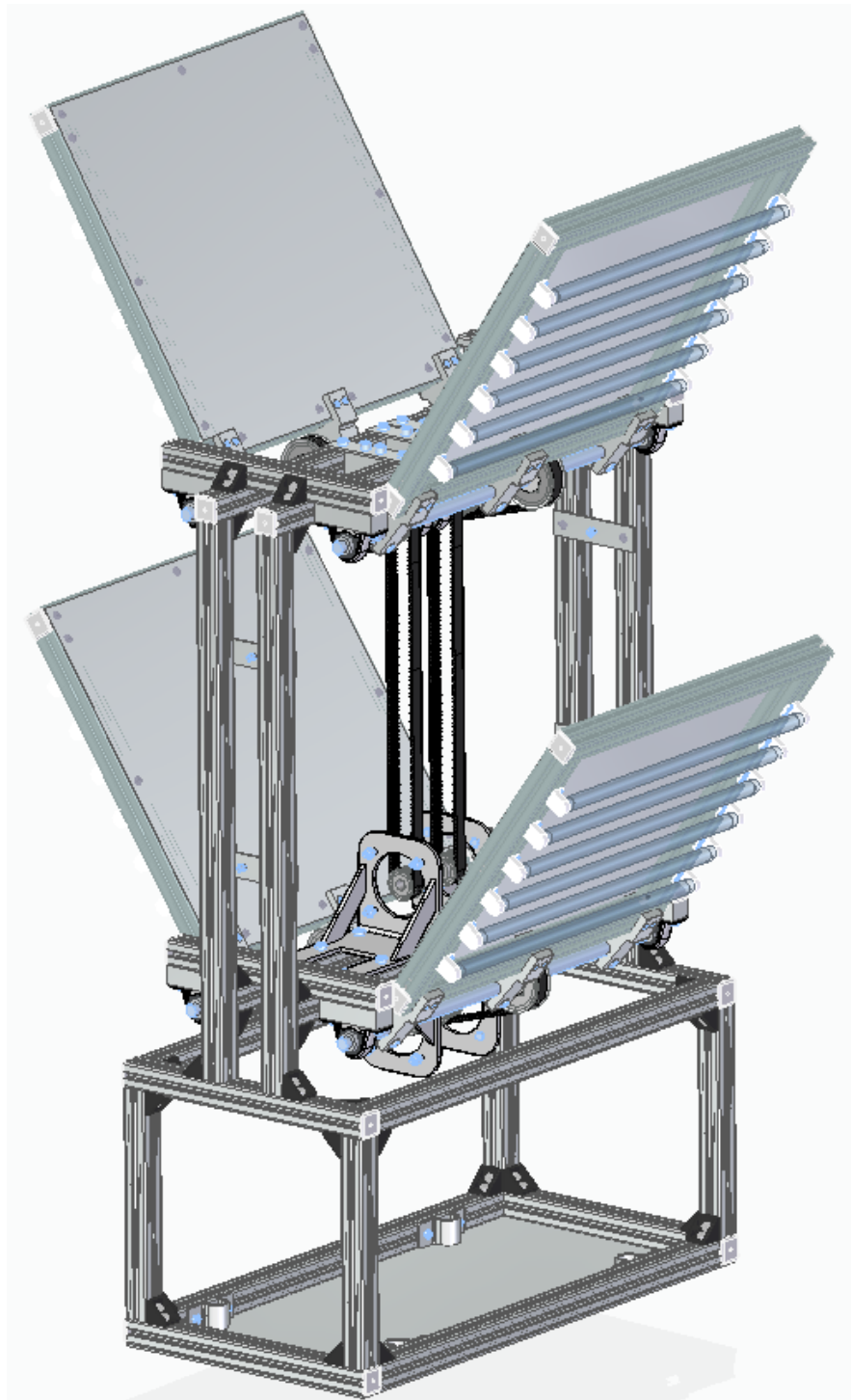


Joonis 7.8. Mootori kinnitusplaat.

Raami edasiarendatud lahendus. Raami juures on loobutud avade töötlemisest läbi profiilide ja võetud kasutusele pukklaagrid koos vaheklotsidega, et saada völlide ja raami vahelised mõõtmed sobivaks ja rihmülekanded mahuks raami vahele. Völlide läbimõõt on vähendatud 16 mm pealt 15 mm peale, et sobituda laagrite standardsete mõõtudega.



Joonis 7.9. UV-C roboti raam koos laagrite ja völlidega.



Joonis 7.10. UV-C roboti mehaanika osa ilma ajamite ja elektri osata.

Joonisel 7.10 on näha lõputöös projekteeritud toode koostatud kujul. Mudelist on ära peidetud servoajamid ja keresse mahutatav toite ja juhtimissüsteem.

8 ELEKTRIOSA SELGITUS

Roboti juhtimis- ja toitesüsteemide projekteerimine toimub projekti järgmises osas, mida praegune töö ei hõlma. Siiski on raami projekteerimisel vajalik elektri ja elektroonika paigutusega arvestada.

Lampide toide – valgustid vajavad töötamiseks kõrgsagedusvoolu, milleks on need vaja ühendada elektroonilise ballastiga, mis omakorda töötab vahelduvvoolul. Raami mahutamisel on arvestatud, et ühte ballastseadmesse saab ühendada 2 lampi ja nende vahele peab jääma ruumi õhu liikumiseks. Lampide toitejuhtmed ühendatakse profiilile kruvitud lambipesadesse ja viiakse mööda profiili tiivalt kere raamile. Pöörderaadiuse juures on oluline lahendada juhtmete vaba liikumine koos tiiva pööramisega, et juhtmed ei tõmbuks pingule ega keerduks kuskile vahele. Paenderaadius peab olema sujuv, et juhtmeid neid murdes mitte kahjustada. Samuti peab materjalide ja paigutuse valikul arvestama lampidest tuleva tugeva kiirgusega, mis eelkõige plastikmaterjale kahjustab.

Mootorid – välja pakutud lahenduses on kasutatud alalisvoolu servomootoreid, mida saab ühendada otse akutoitelt. Kuid kuna lambid vajavad vahelduvvoolu, on seadmesse igal juhul vaja ühendada ka muundur vahelduvvoolu tootmiseks. Kas otstarbekam on võtta toide mõlemale läbi muunduri või eraldi elektriallikast, on projekti järgmise etapi üks otsustuskohtadest. Servomootorid vajavad töötamiseks veel lisaks servovõimendeid. Praeguse arvestuse juures, kasutades valitud mootoreid, mahuvad mootorite kohale raami sisse kaks võimendid, millesse on kumbagi võimalik ühendada kaks mootorit. Ühenduskaablite kinnitamise ja kaablite pöörderaadiuste mahutamine raami sisse on vaja katsetada prototüübi ehitamise käigus.

Aku – kuigi kliendi poolt on seatud tingimuseks kindla tootja aku kasutamine, ei ole praeguses etapis aku ühenduse kohta palju teada. Arvestada tuleb hetkel mudelisse projekteeritud aku mõõtmetele lisaks selle ümber käiv korpus ja taha ühenduspesad ja ruumi juhtmetele.

Jahutus – kuna esimese prototüübi puhul ei ole mõttekas raami korpusega kinni katta, siis elektroonika jahutusega tõenäoliselt probleeme ei teki. Küll aga võib olla vajalik seeriatootete puhul arvestada jahutusventilaatori paigaldusega. Mootorid töötavad väga madalal intensiivsusel, kuid igas elektriseadmes on energiakaod soojusesse.

Muud seadmed – kuigi manööverdamine on alusplatvormi – valitud AGV/AMR ülesandeks, on vajalik teatud andurite ja lülitite viimine UVC roboti külge. Lisaks peab UVC robotil olema sõltumatu ohutussüsteem „punase nupu“ kujul, samuti eraldi andurid märkamaks töötsooni sattunud inimest. Inimese tööalas tuvastamisel on vajalik kohene

lampide väljalülitamine. Lisaks võib anda ka käskluse tiivad kokku pakkida või jääda samasse asendisse ootele. Järgnevalt on võimalik valida mitmete lahendusvariantide vahel, mis olenevad AGV ja roboti juhtsüsteemide võimalustest. Näiteks kas ka AGV saab samas käskluse peatuda või naasta oma paiknemisalasse või sõidab ta määratud trajektoori mööda edasi kui just omakorda enda anduritega teel takistust ei tuvasta.

Lisaks võimalikule andmeside ühendusele kahe roboti vahel võib olla ka vajalik kogu süsteemi suurte mõõtmete tõttu lisa andurite viimine UVC roboti peale, mis ühendatakse AGV süsteemi ja annavad lisainfot navigeerimisel. Kõigi andurite paigutamiseks on ette nähtud roboti raami pealmine osa, mis jääb kokku klapitud ülemiste tiibade vahele.

Kuna ühe funktsioonina peaks robotil olema ka võimalik seiskunud masina tiibasid kokku klappida, peab lisama andurid tiibade piirasendite kalibreerimiseks.

Näidisenä välja toodud Omron AMR on eemaldatava pealmise plaadi külge ühendatud juhtpaneeli ja antennidega. See sisaldab ka ohutuslülitit. Need on vaja plaadi eemaldamise korral eraldi kinnitada pealisehtise külge ja läbi selle ühendada AMR süsteemi.



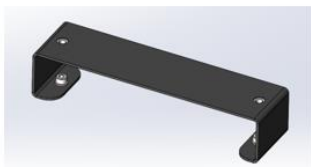
LD Platform



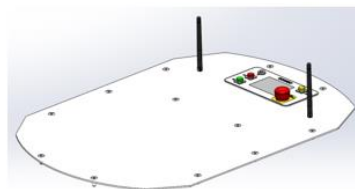
LD Platform With Top Plate



Operator Panel



LD Platform Deck Brace



LD Platform Top Plate

Joonis 8.1. Omron LD platvormi osad [28]



Joonis 8.2. konkureeriv toode LD platvormil. Küljel on näha ümber tõstetud juhtpaneel ja antennid korpuse peal. [29]

TalTech-i BoxBot ja enamus teisi koorma tõstmiseks ette nähtud AGVsid mingeid peale käivaid seadmeid ei oma, kuid andmeside ühenduvus saab olema üheks oluliseks faktoriks tarkvaralise ja elektroonika juhtimise projekteerimisel.



Joonis 8.3. Kuvatõmmis videost. Esiküljel on näha BoxBot punane lüliti [23]

Pärast kõigi elektri ja elektroonika komponentide valikut on tõenäoliselt vajalik ka teha mõningaid muudatusi mehaanika osas, et kõik detailid masinasse õigesse asendisse kinnitada. Võimaluse korral tuleks ka siin prototüübi faasis kasutada standardseid komponente.

9 HINNA ANALÜÜS

Järgnevalt on välja toodud ligikaudsed hinnad kasutatud detailidele. Tabel toob hästi esile detailid, mis hinda rohkem või vähem mõjutavad.

Tabel 9.1 Komponentide hinnad.

Kirjeldus	ühik	kogus	hind	summa
30 seeria profiil	m	17	20	340
Nurgakinnitused	tk	48	5	240
Otsakorgid	tk	20	1	20
Lambipesad	tk	48	0,1	4,8
Lambid	tk	24	76,8	1843,2
Põhjalaat	tk	1	12	12
Laagrid	tk	12	21,3	255,6
Lühem rihm	tk	4	12	48
Pikem rihm	tk	2	25	50
Väike rihmaratas 15 mm	tk	8	5,1	40,8
Suur rihmaratas+koonuspuks	tk	4	21,4	85,6
Ballastid	tk	12	30	360
Mootorikinnitus	tk	4	6	24
Klambrid võllil	tk	12	15	180
15mm latt	m	2,7	20	54
Klots võllilaagrile	tk	8	2	16
Alumine klots vahevõlli laagrile	tk	4	5	20
Keskmine klots vahevõlli laagrile	tk	4	2	8
Pealne plaat vahevõlli laagrile	tk	4	1	4
Profiili mutrid	tk	134	0,75	100,5
Servomootorid	tk	4	850	3400
Servovõimendid	tk	2	2000	4000
U-klambrid	tk	4	2	8
Poldid mootoritele	tk	16	0,5	8
Poldid klambritele	tk	12	0,5	6
Poldid laagritele võllil	tk	16	0,5	8
Poldid laagritele keskel	tk	8	0,5	4
Poldid suurele rihmaratta kinnitusele	tk	12	0,5	6
Poldid põhjale	tk	20	0,5	10
Poldid klambrite raamile	tk	48	0,5	24
Poldid mootorikinnitustele	tk	24	0,5	12
Poldid võimudele	tk	4	0,5	2
Poldid keskele plaatidele	tk	8	0,5	4
Mutrid mootoritele	tk	8	0,5	4
Poldid u-klambritele	tk	8	0,5	4
			kokku	11206,5

Tabel annab vihje nii prototüübi kui seeriatootete hinnaklassile, kuna enamus detaile on ostutooted ja joonise järgi valmistatavad osad jäävad väikeseeria mahtudesse ega oma ka ühe roboti hinnas suurt osakaalu.

Summale lisanduvad elektroonika ja elektri osa komponendid, hinnanguliselt 30% lisana. Aku ja AGV peab prototüübi puhul arvestama olemasolevate võimalustega. Võimalusel ka servoajamite puhul, samuti on prototüüpimisel võimalus kasutada järelturu kaupa. Gogoro aku kasutamiseks on kliendil endal vaja kokkulepped saavutada. Mõlemal juhul on võimaluseks nii rentimine kui välja ostmine. Ühildamine Vanabot roboti ja Gogoro aku vahel nõuab ka ettevõtete ühist uut teostusprojekti ega sünni lihtsalt riulikauba ostmisena.

Seeriatootete juures kasutatava AGV hinnaklassina on klient arvestanud 2000-3000 €/tk, samas võivad suurema funktsionaalsusega AMR tüüpi sõidukid maksta ka üle 10 000 €/tk.

Alumiiniumprofiilidest raam koos kõigi kinnitusvahenditega maksab umbes 725 €. Prototüübi ehitamisel saab võimaluse korral arvestada olemas olevate komponentidega teistest projektidest. Seeriatootete puhul, minnes üle näiteks nelikant torudest keevitatud raamile, on tõenäoline hinnavõit 50%.

KOKKUVÕTE

Lõputöö projekti eesmärgiks oli uurida planeeritava roboti liikumismehhanismi lahendust. Kliendi poolt oli ette antud roboti üldine tööpõhimõte. Lõputöö käigus tuli leida täpsem mehhanism, mis on suuteline ette antud nõuete järgi töötama. Lisaks liikumismehhanismile oli vajalik projekteerida ka roboti ülejäänud kere osa, et määrata mõõtmed ja mass, mida valitud täiturid peavad suutma nõutud piirides liigutada. Samuti oli kliendi poolt antud nõuded, millest roboti kere projekteerimisel kinni pidada. Lõputöö esimeses osas toodi välja ülevaade valdkonna olulisusest ja olemasolevatest lahendustest. Seda eelkõige UV desinfitseerimise, mitte autonoomsete sõidukite vaatenurgast. Teises osas toodi välja kliendi poolt antud nõuded roboti projekteerimisel, kokku lepitud töö ulatus, mis osa projekteerimist lõputöö sisaldab ja mis osa jääb projekti järgmistesse etappidesse. Järgmistes peatükkides leiti lahendused roboti erinevate osade projekteerimiseks, tehti arvutused vajalike jõumomentide leidmiseks ja jõuülekanne konstrueerimiseks alates völliist rihmülekanzeni ja edasi servomootori vajaliku suurusjärgu määramiseks. Roboti tiibade mõõtmete leidmiseks uuriti ka ülevaatlikult vajalikkust valgustusvõimsust, leiti UV-C lampide arv ja kasutatavad materjalid. Kandevkonstruktsiooni projekteerimisel lähtuti vajadusest paigutada roboti kere sisse kõik ette nähtud ja võimalikud komponendid, hoides samas ühe põhieesmärgina roboti raskuskese võimalikult madalal. Lisaks püüti lõputöös säilitada kliendi poolt juba visualiseeritud roboti iseloomulikku välimust ja jälgida nõuetes määratud gabariitmõõtmetest kinni pidamist, et lambid saaksid olema töö keskkonnast sõltuvalt õigel kõrgusel ja kogu roboti laius lubaks liikuda kohtades, mida klient on oma potentsiaalse sihtturuna ette näinud. Lõputöö tulemuseks on kontseptsioon UV-C desinfitseerimisrobotist, mis töötab nelja servomootoriga, millest igaüks on suutelised arendama jõumomenti 4,5 Nm. Robot vajab alusplatvormiks AGV-d kandevõimega üle 80 kg ja laiusel vähem kui 450 mm. Lisaks on lõputöös välja toodud võimalikud probleemsed kohad projekti edasistes etappides ja mõned võimalikud lahendused seeriatootete projekteerimisel. Ühe näitena võib vajalik olla raami projekteerimise juurde tagasi pöörduda, kui elektritoite ja juhtimis süsteemid raami sisse ära ei mahu. Selleks on soovituslik muuta raami alumise kasti kõrgust. Seeriatootete projekteerimisel on soovituslik prototüübi raami asemel teha raam nelikant alumiiniumtorudest keeviskonstruktsioonina. Lampide taguse peeglina on soovituslik kasutada paraboolpeegleid, võimalusel UV-C spektrile sobivaimatest madalama poorsusega materjalidest, nagu alumiinium või PTFE.

SUMMARY

The project's task in this master's thesis was to study the movement solution of a planned robot. The customer has made a general working principle of the robot and in the thesis a more detailed mechanism had to be presented, which fulfils all listed demands. In addition to the moving mechanism, the rest of the frame and structure of the robot needed to be designed and to determine the mass and dimensions of the robot and select the actuators, that can work within the set demands. The customer of this project also has presented the demands for designing the body of the robot. The first part of the thesis consists of an overview of the importance of the field of activity and the current developments on the market. Primarily with focus on the UV-C sterilization and less on the AGV solutions. In the second part of the thesis the demands and responsibilities were brought out which the project is going to cover, and which will be left out of the current thesis. In the next chapters of the thesis different parts of the robot were designed and calculations were done to find the necessary torque of the servo motors and dimension the power transmission between the actuator and the load. During the dimensioning of the robot's wings the necessary power of the UV lamps was calculated and an overview of the suitable materials was given. Designing the robot's structure was done bearing in mind the need to fit all necessary and possibly necessary parts of the robot inside the frame and at the same time keep the centre of gravity low as one of the key requirements. Also, the aim was to keep the visual thin look of the already presented concept of the robot and holding on to the demands for the overall dimensions to allow the robots lamps work within the surroundings of the target areas. The result of this thesis is a concept design of a UV-C sterilizing robot, that works on 4 servomotors, each generating 4,5 Nm of torque. The robot needs a carriage AGV with over 80kg load capacity and with a width of under 450mm. Additionally, a list of possible problem areas and some proposed solutions for the next steps of the project are presented. For example, it may be necessary to change the dimensions of the frame in a care when the equipment does not fit inside the robot. For this the easiest way is to increase the height of the lower part of the frame. It is recommended to use a welded frame structure for serial production of the robot, made of rectangular aluminium tubes. The reflector behind the lamps should be redesigned to a parabolic reflector using materials more suitable for UV spectrum, for example low porosity aluminium or sintered PTFE.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] Xenex Disinfection Services Inc., „Xenex,“ Xenex Disinfection Services Inc., 25 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://xenex.com/light-strike/>. [Kasutatud 25 10 2020].
- [2] Blue Ocean Robotics, „UVD Robots,“ Blue Ocean Robotics, 25 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.uvd-robots.com/robots>. [Kasutatud 25 10 2020].
- [3] Shanghai Autotec International Corp., „Autotec,“ Shanghai Autotec International Corp., 25 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: http://medical.autotec.com.cn/uv-disinfection-robot-15990498628793707.html?gclid=CjwKCAjwkoz7BRBPEiwAeKw3qzb9JIygjOfIx BfrqGD2NcSlumuwrNLGz-ChgF3TwBWKVXAvTyaLVRoCiY8QAvD_BwE. [Kasutatud 25 10 2020].
- [4] RobotLAB Inc, „Robotlab Connor,“ RobotLAB Inc, 27 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.robotlab.com/store/connor-uvc-disinfection-robot>. [Kasutatud 27 10 2020].
- [5] Dimer, „DimerUV,“ Dimer, 27 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.dimeruv.com/germfalcon>. [Kasutatud 27 10 2020].
- [6] G. Varma, „dsource.in,“ 28 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.dsource.in/oursource/sites/default/files/In-Flight-Catering-Delight.pdf>. [Kasutatud 28 10 2020].
- [7] Airmed SIA, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kvarcalampas.lv/en/products/uv-lamps-with-protective-coating.html>. [Kasutatud 22 05 2021].
- [8] Light Progress, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lightprogress.it/en/risorse/>. [Kasutatud 01 05 2021].
- [9] M. Halper, „ledsmagazine.com,“ 16 06 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ledsmagazine.com/lighting-health-wellbeing/article/14177977/boston-university-validates-signify-uvc-for-coronavirus-deactivation>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [10] Philips, „Philips UV-C lampide brožüür,“ 06 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/philips-lighting/global/20201012-philips-uvc-lamps-brochure.pdf>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [11] „uvlamp.ee,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://uvlamp.ee/et/chs-40wh-lamp-uv-c.html>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [12] „Philips tehniline info,“ Philips, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.assets.signify.com/is/content/PhilipsLighting/Assets/philips-lighting/global/20200504-philips-uv-purification-application-information.pdf>. [Kasutatud 17 10 2020].
- [13] Vossloh Schwabe, „Vossloh Schwabe,“ 29 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.vossloh-schwabe.com/fileadmin/user_upload/Kataloge/VS-Main-Cat_Standard-2017_EN.pdf. [Kasutatud 29 10 2020].
- [14] „bbc.com,“ BBC, 20 03 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.bbc.com/news/business-51914722>. [Kasutatud 13 05 2021].

- [15] „Porex.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.porex.com/markets/reflective-media/?_bt=432498324225&_bk=uv%20reflector&_bm=p&_bn=g&_bg=100157255466&gclid=CjwKCAjwm7mEBhBsEiwA_of-TM4VzTriihWbo0zF06EUBWQc4oNoYG4p_HchYWJXQM8M-kBgAEsGFB0Cf4IQAvD_BwE. [Kasutatud 02 05 2021].
- [16] „Alpha Cure,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.alpha-cure.com/news-article/everything-you-need-to-know-about-uv-system-reflectors>. [Kasutatud 02 05 2021].
- [17] Porex Corporation, „learn.porex.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://learn.porex.com/reflective-media/ultraviolet-reflecta>. [Kasutatud 13 05 2021].
- [18] T. A. K. KAISHA, „ALUMINUM FOIL FOR ULTRAVIOLET LIGHT REFLECTING MATERIALS AND METHOD FOR PRODUCING SAME“. Jaapan Patent WO2017158989A1, 21 09 2017.
- [19] ORIENTAL MOTOR USA CORP., „orientalmotor.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.orientalmotor.com/motor-sizing/door-sizing.html>. [Kasutatud 17 05 2021].
- [20] „Omni Calculator,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.omnicalculator.com/construction/beam-deflection#sample-beam-deflection-calculation>. [Kasutatud 29 04 2021].
- [21] Tallinna Tehnikaülikool, Mehaanikainseneri käsiraamat, TTÜ kirjastus, 2013.
- [22] Pärnumaa Kutsehariduskeskus, „Masinaelemendid ja koostetööd. Õppematerjal,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.hariduskeskus.ee/opiobjektid/masinaelemendid/?KURSUSE_TEEMA_D__P%C3%96%C3%96RLEVAT_LIIKUMIST_TAGAVAD_ELEMENDID__V%C3%B5llide_tugevus%2C_j%C3%A4ikus_ja_vastupidavus_v%C3%A4simusel_e.. [Kasutatud 27 04 2021].
- [23] Tallinna Tehnikaülikool, „taltech.ee,“ 04 05 2021. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.taltech.ee/uudised/video-taltech-i-uuenenud-logistikarobotit-saab-juhtida-digitaalse-kaksikuga>. [Kasutatud 13 05 2021].
- [24] Kollmorgen, „kollmorgen.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kollmorgen.com/en-us/products/motors/servo/akm-series/akm2g/akm2g-servo-motor/>. [Kasutatud 17 05 2021].
- [25] Kollmorgen, „AKM2G Installation Manual,“ 2020.
- [26] Kollmorgen, „AKM2G Servo Motor Selection Guide,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.kollmorgen.com/sites/default/files/AKM2G-KM_SG_000315_RevC_EN-mobile_ed.pdf. [Kasutatud 23 05 2021].
- [27] „kollmorgen.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.kollmorgen.com/en-us/products/drives/servo/akd2g/akd2g-servo-drive/>. [Kasutatud 17 05 2021].
- [28] Omron Corporation, „LD Platform and Cart CAD files,“ 2021.
- [29] Omron Corporation, „industrial.omron.eu,“ 17 06 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://industrial.omron.eu/en/news-events/news/disinfection-solution-with-uv-equipped-mobile-robots>. [Kasutatud 14 05 2021].
- [30] L. S. Sterling, The Art of Agent-Oriented Modeling, London: The MIT Press, 2009.

LISAD

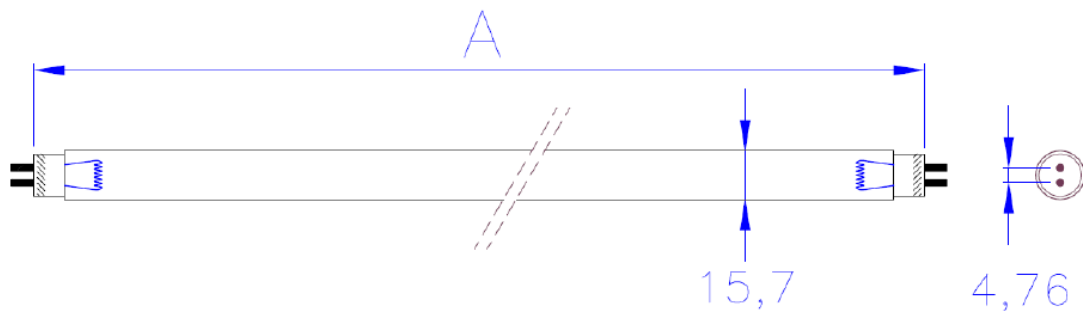
Lisa 1. UV-C lambi tooteinfo



GERMICIDAL LAMPS (UV-C)

DATA SHEET

CHS-40WH



Physical Data

Lamps type	High Output
Dimensions	
Base face to base face length (A)	437 mm
Diameter	15,7 mm (T5)
Base	G5 (mini bipin)
Electrical data	
Lamp Wattage	40 W

Lisa 2. Pukklaagri tooteinfo



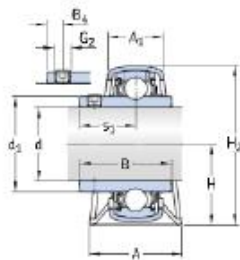
P 15 TF Pillow block ball bearing units

Pillow block ball bearing units

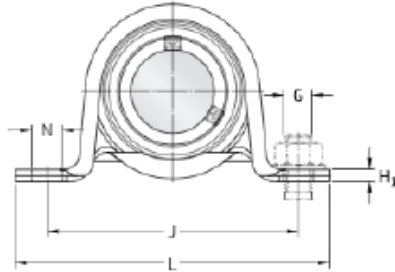
Technical specification

Compliance with standard	ISO*
Purpose specific	For material handling applications
Housing material	Pressed steel
Sealing solution	Standard seals with additional fingers

DIMENSIONS



d	15 mm
d ₁	≈ 24.2 mm
A	26 mm
A ₁	18 mm
B	27.4 mm
B ₄	4 mm
H	22.1 mm
H ₁	3 mm
H ₂	43.5 mm
J	68 mm
L	85.5 mm
N	9.6 mm
s ₁	15.9 mm



CALCULATION DATA

Basic dynamic load rating	C	9.56 kN
Basic static load rating	C ₀	4.75 kN
Fatigue load limit	P _u	0.2 kN
Permissible radial housing load		max. 1.25 kN
Limiting speed		9 500 r/min
with shaft tolerance h6		

MASS

Mass bearing unit		0.17 kg
-------------------	--	---------

MOUNTING INFORMATION

Set screw	G ₂	M6x0.75
Hexagonal key size for set screw		3 mm
Recommended tightening torque for set screw		4 N·m
Recommended diameter for attachment bolts, mm	G	8 mm
Recommended diameter for attachment bolts, inch	G	0.313 in

INCLUDED PRODUCTS

Housing		P 40
---------	--	------

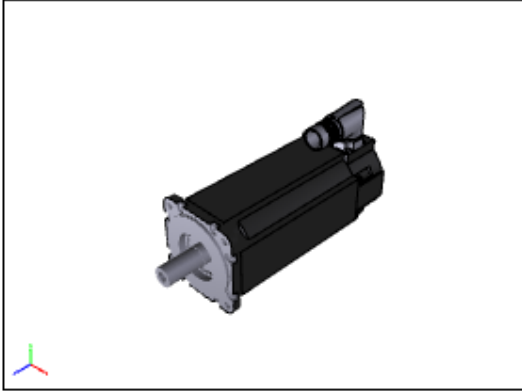
Lisa 3. Servomotori tooteandmed

AKM@2G Servo Motor

KOLLMORGEN

Because Motion Matters™

Product Number:
AKM2G-42XLAND2GU00



Interactive 3D graphic, click to activate and rotate.

AKM@2G Series

Part Number	AKM2G-42XLAND2GU00
Frame size	4 = Size 4
Stack Length	2 = 2 Stacks
Winding	XL = Low voltage
Mount	A = Metric IEC
Shaft	N = Smooth Shaft
Connector	D = Single Right Angle M23
Brake	2 = Spring Applied Brake 24 VDC
Feedback	GU = MT Hiperface DSL
Thermal sensor	0 = Standard (pt-1000 + Avalanche ptc in Series)
Shaft seal/customization	0 = No seal
L Dim	208.65 (mm)
X Dim	178.35 (mm)

The new generation of synchronous servo motors will be announced at the end of September 2017 and will initially feature six design sizes with performance levels between 0,3 and 10 kW. The AKM2G servo motors will be available with different feedback system choices, mounting /shaft options, connector designs, thermal sensor selections, shaft seal options, winding selections for different voltage and /or speed requirements and a brake option. Improved energy efficiency as well as room for more performance with the same installed size.

AKM2G Features:

- Greater than 20% average increase in torque density (torque/volume) for highest torque or smallest footprint sizing
- Six design sizes with performance levels between 0.3 and 10 kW; Continuous torques from .0651 Nm to 75.2 Nm
- Frame (mounting flange square) and stack (motor length) combinations with overlapping ratings for optimal motor package sizing
- Standard winding choices for 120VAC to 480 VAC operation with various speed/torque performance curves

AKM2G Options:

- Feedback Options to match application requirements and drive selection, including SFD3, Hiperface DSL, ENDAT 2.2, Resolver, Custom by request
- Connector Options (as appropriate for feedback type and motor size) including Speedtec, ytec
- System Cable Options for use with Kollmorgen AKD, AKD2G Servo Drives, including single and dual cable variants
- Standard IP65 rating; optional ratings available
- International Standard Mount with choice of smooth shaft or closed keyway, custom options available by request
- Mechanical Holding Brake Option
- Thermal Sensor Options for maximum motor protection and servo drive compatibility
- Low Friction Shaft Seal Options for both wet and dry running applications

KOLLMORGEN

203A West Rock Road

Radford, VA 24141 USA

Phone: 1-540-633-3545

Fax: 1-540-639-4162

PDF Datasheet Powered by CADENAS PARTsolutions

Lisa 4. Servomotori nōuete arvutus

Orientalmotor

Call 1-800-GO-VEXTA(408-3982) or 1-847-871-5031

- given information -

Door / Gate Dimension

Length	A	=	<u>503</u>	[mm]
Width	B	=	<u>483</u>	[mm]
Offset length	r	=	<u>205</u>	[mm]
Door mass	m	=	<u>2.9</u>	[kg]
Thickness	C	=	<u> </u>	[mm]
Material <u> </u>	ρ	=	<u> </u>	[kg/m ³]

Mechanism condition

Mechanism Condition	=	<u>VerticalOperation</u>
Counter Balance mass	m_c	= <u> </u> [kg]
Distance from the center of rotation	r_c	= <u> </u> [mm]
System Efficiency	η	= <u>92</u> [%]

Transmission belt and pulleys or gears

	Primary pulley (gear)	Secondary pulley (gear)
pitch circle diameter (PCD)	D_{p1} = <u>34.38</u> [mm]	D_{p2} = <u>68.76</u> [mm]
mass	m_{p1} = <u> </u> [kg]	m_{p2} = <u> </u> [kg]
thickness	L_{p1} = <u>30</u> [mm]	L_{p2} = <u>30</u> [mm]
material	ρ_{p1} = <u>7900</u> [kg/m ³] <u>Steel</u>	ρ_{p2} = <u>7900</u> [kg/m ³] <u>Steel</u>

Other requirement(s)

Is it necessary to hold the load even after the power supply is turned off?	→ <u>YES</u>
Is it necessary to hold the load after the motor is stopped, but not necessary to hold after	→ <u>NO</u>

Positioning operation	Rotor Inertia	$J_O =$ _____ [kg·m ²]
	Gear ratio	$i =$ _____
	Positioning distance	$\theta =$ <u>90</u> [deg]
	Positioning time	$t_0 =$ <u>1</u> [s]
	Stopping time	$t_s =$ <u>0</u> [s]
	Acceleration / deceleration time	$t_1 =$ <u>0.25</u> [s]
	Specified speed	$V =$ _____ r/min

Stopping accuracy

Stopping accuracy	$\Delta\theta =$ <u>1</u> [deg]
	$\Delta l =$ _____ [mm]

Safety factor

Safety factor	S-F = <u>1.5</u>
---------------	------------------

- calculated result -

Load Inertia

$$J_W = (1/12) m \times ((A \times 10^{-3})^2 + (B \times 10^{-3})^2 + 12 \times (r \times 10^{-3})^2)$$

$$= (1/12) \times \underline{2.9} \times ((\underline{503} \times 10^{-3})^2 + (\underline{483} \times 10^{-3})^2 + 12 \times (\underline{205} \times 10^{-3})^2) = \underline{0.2394} \text{ [kg·m}^2\text{]}$$

$$J_c = m_c \times r_c^2$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} \times (\underline{\hspace{2cm}} \times 10^{-3})^2 = \underline{0} \text{ [kg·m}^2\text{]}$$

$$J_{DP1} = (\pi / 32) \rho_{p1} (L_{p1} \times 10^{-3}) (D_{p1} \times 10^{-3})^4$$

$$= (3.14 / 32) \times \underline{7900} \times (\underline{30} \times 10^{-3}) \times (\underline{34.38} \times 10^{-3})^4 = \underline{3.2507e-5} \text{ [kg·m}^2\text{]}$$

$$J_{DP2} = (\pi / 32) \rho_{p2} (L_{p2} \times 10^{-3}) (D_{p2} \times 10^{-3})^4$$

$$= (3.14 / 32) \times \underline{7900} \times (\underline{30} \times 10^{-3}) \times (\underline{68.76} \times 10^{-3})^4 = \underline{5.2011e-4} \text{ [kg·m}^2\text{]}$$

$$J_L = (J_W + J_c + J_{DP2}) (D_{p1} / D_{p2})^2 + J_{DP1}$$

$$= (\frac{0.2394}{360} + \frac{0}{360} + \frac{5.2011e-4}{360}) \times (\frac{34.38}{68.76})^2 + \frac{3.2507e-5}{360} = \underline{6.0011e-2} \text{ [kg-m}^2\text{]}$$

Required Speed

$$V_m = (\theta / 360) (60 / (t_0 - t_1)) (D_{p2} / D_{p1})$$

$$= (\frac{90}{360} / 360) \times (60 / (\frac{1}{90} - \frac{0.25}{90})) \times (\frac{68.76}{34.38}) = \underline{40} \text{ [r/min]}$$

Required Torque

$$T = (T_a + T_L) (\text{Safety Factor})$$

$$= (\frac{1.207}{1.5} + \frac{3.166}{1.5}) \times 1.5 = \underline{6.559} \text{ [N-m]}$$

RMS Torque

$$T_{rms} = \sqrt{ ((T_a + T_L)^2 \times t_1) + (T_L^2 \times (t_0 - 2 \times t_1)) + (T_a - T_L)^2 \times t_1) / (t_0 + t_1) } \times (\text{Safety Factor})$$

$$= \sqrt{ (((\frac{1.207}{1.5} + \frac{3.166}{1.5})^2 \times \frac{0.25}{1.5}) + (\frac{3.166}{1.5})^2 \times (\frac{1}{90} - 2 \times \frac{0.25}{90}) + ((\frac{1.207}{1.5} - \frac{3.166}{1.5})^2 \times \frac{0.25}{1.5})) / (\frac{1}{90} + \frac{0}{90}) } \times 1.5 = \underline{4.919} \text{ [N-m]}$$

Acceleration Torque

$$T_a = (1.2 \times J_L) (V_m / (9.55 \times t_1))$$

$$= (1.2 \times \frac{6.0011e-2}{40}) / (9.55 \times \frac{0.25}{90}) = \underline{1.207} \text{ [N-m]}$$

Load Torque

$$m = m$$

$$= \underline{2.9} = \underline{2.900} \text{ [kg]}$$

$$m_c = m_c$$

$$= \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ [kg]}$$

$$T_L = ((m \times r \times 10^{-3}) - (m_c \times r_c \times 10^{-3})) \times g \times (1 / (\eta \times 0.01)) (D_{p1} / D_{p2})$$

$$= ((\frac{2.900}{34.38} \times \frac{205}{68.76} \times 10^{-3}) - (\underline{\hspace{2cm}} \times \underline{\hspace{2cm}} \times 10^{-3})) \times 9.8 \times (1 / (\frac{92}{100})) \times \frac{34.38}{68.76} = \underline{3.166} \text{ [N-m]}$$

Required Stopping Accuracy

$$\Delta\theta = \Delta\theta (D_{p2} / D_{p1})$$

$$= \underline{1} \times (\frac{68.76}{34.38}) = \underline{2} \text{ [deg]}$$

Lisa 5. Rihmülekande arvutused



Industrial Belt Design - Drive Detail Report

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

Designed For:		Provided By: Taavi Korjus TalTech taavikorjus@gmail.com 37253473640 Phone	
Application: Design #1			
INPUT	Drive Information	DriveR	DriveN
Speed Ratio:	2,00 Down	RPM:	30,00
Input Load:	6,6 N-m, Efficiency: 92,00%	Maximum Rim Speed:	33 m/s
Service Factor:	1,6		15,00 +4%/-4%
Design Power:	10,56 N-m		33 m/s
Center Distance:	112,1 to 137,0 mm	Bushings Checked:	TL, MPB
Motor Standards:	Electric Motor	Belts Checked:	PowerGrip GT4, PowerGrip GT3, PowerGrip GTX, PowerGrip HTD
SELECTED DRIVE	Belt Type: PowerGrip GT3 - 5MGT	Belt	DriveR
		415-5MGT3-15	22-5MR-15
Speed Ratio:	2,00 Down	Product No:	44-5MR-15
dN RPM:	15,00	Pitch Diameter:	35,01 mm
Rated Load:	12,08 N-m	RPM:	30,00
Belt Pull:	483 N	Rim/Belt Speed:	0,1 m/s
Center Distance:	123,8 mm	Top Width:	30,00 mm
Install/Take-Up Range:	103,7 mm to 124,5 mm	Bushing Part No:	MPB
		Bore:	9 mm - 28,6 mm
		Bolt Torque:	6,2 N-m
		Weight:	26 g
TENSION	New Belt	Used Belt	When planning to re-install used belts, measure and record the tension before removing and re-install at the recorded tension.
Static Tension (per rib/strand):	229 to 252 N	160 to 183 N	
Static Belt Pull (total pull):	453 to 498 N	317 to 362 N	
Rib/Strand Deflection Distance:	2,00 mm	2,00 mm	
Rib/Strand Deflection Force:	2,3 to 2,5 kgf	1,7 to 1,9 kgf	
Sonic Tension Meter:	229 to 252 N	160 to 183 N	
Belt Frequency:	248 to 260 Hz	207 to 222 Hz	507C/508C Model STM Settings: Mass: 4,1g/m, Width: 15 mm, #R: , Span: 123 mm
NOTES			
<ul style="list-style-type: none"> - Installation allowance falls out of the specified centre distance range. - The DriveR pulley must be bored to the required size. Allow proper lead times. - The DriveR bore & shaft should meet a H8 clearance fit. The shaft must penetrate 100%. 			
<p>This report: (1) only applies to Gates' products; (2) contains confidential information; (3) may only be disclosed to support the sale or maintenance of our products; and (4) is not a guarantee of performance.</p> <p>Gates products are not designed, manufactured, or tested for use on aircraft applications, including aircraft propeller or rotor drive systems, and all manned or unmanned airborne applications of any type. Lift and Braking systems have special considerations. Buyer has sole responsibility for the selection and testing of products for any intended use. This Report and any product referred to in this Report are subject to Gates Standard Terms and Conditions of Sale, including all disclaimers, exclusions and limitations of warranties, express and implied. These Terms may be found at ww2.gates.com/termsofsale.</p>			



Industrial Belt Design - Drive Detail Report

Design Flex® Pro by the Gates Corporation

Designed For:		Provided By: Taavi Korjus TalTech taavikorjus@gmail.com 37253473640 Phone	
Application: Design #1			
INPUT	Drive Information	DriveR	DriveN
Speed Ratio: 1,00	RPM: 15,00	15,00	15,00 +/-4%
Input Load: 6,6 N-m, Efficiency: 92,00%	Maximum Rim Speed: 33 m/s	33 m/s	33 m/s
Service Factor: 1,6	Bushings Checked: TL, MPB		
Design Power: 10,56 N-m	Belts Checked: PowerGrip GT4, PowerGrip GT3,		
Center Distance: 392,8 to 480,0 mm	PowerGrip GTX, PowerGrip HTD		
Motor Standards: Electric Motor			
SELECTED DRIVE			
Belt Type: PowerGrip GT3 - 5MGT	Belt	DriveR	DriveN
Speed Ratio: 1,0	Part No: 980-5MGT3-15	22-5MR-15	22-5MR-15
dN RPM: 15,00	Product No: 9400-45263	35,01 mm	35,01 mm
Rated Load: 16,60 N-m	Pitch Diameter: --	15,00	15,00
Belt Pull: 485 N	RPM: 1,684	0,0 m/s	0,0 m/s
Center Distance: 435,0 mm	Rim/Belt Speed: 0,0 m/s	30,00 mm	30,00 mm
Install/Take-Up Range: 414,2 mm to 435,8 mm	Top Width: --	MPB	MPB
Bushing Part No: --	Bore: --	--	--
	Weight: 60 g	--	--
TENSION			
Static Tension (per rib/strand):	New Belt	Used Belt	When planning to re-install used belts, measure and record the tension before removing and re-install at the recorded tension.
Static Belt Pull (total pull):	229 to 252 N	160 to 183 N	
Rib/Strand Deflection Distance:	457 to 503 N	320 to 366 N	
Rib/Strand Deflection Force:	9,00 mm	9,00 mm	
Sonic Tension Meter:	2,5 to 2,7 kgf	2,0 to 2,1 kgf	
Belt Frequency:	229 to 252 N	160 to 183 N	
	70 to 74 Hz	59 to 63 Hz	507C/508C Model STM Settings: Mass 4,1g/m, Width: 15 mm/#R, Span: 435 mm
NOTES			
<ul style="list-style-type: none"> - Flanging both pulleys may be necessary for proper belt tracking. - Alignment is critical for long Center Distances. - The DriveR pulley must be bored to the required size. Allow proper lead times. - The DriveR bore & shaft should meet a H8 clearance fit. The shaft must penetrate 100%. - The DriveN pulley must be bored to the required size. Allow proper lead times. - The DriveN bore & shaft should meet a H8 clearance fit. The shaft must penetrate 100%. 			
<p>This report: (1) only applies to Gates' products; (2) contains confidential information; (3) may only be disclosed to support the sale or maintenance of our products; and (4) is not a guarantee of performance.</p> <p>Gates products are not designed, manufactured, or tested for use on aircraft applications, including aircraft propeller or rotor drive systems, and all manned or unmanned airborne applications of any type. Lift and Braking systems have special considerations. Buyer has sole responsibility for the selection and testing of products for any intended use.</p> <p>This Report and any product referred to in this Report are subject to Gates Standard Terms and Conditions of Sale, including all disclaimers, exclusions and limitations of warranties, express and implied. These Terms may be found at ww2.gates.com/termsofsale.</p>			

Lisa 6. Philips UV-C lampide kiirgustase

5. Lamp data

General

For a complete survey, see separate product data brochures.

For a large distance to the lamp we get:

$$E = \frac{\varphi}{\pi^2 \cdot a^2} \dots\dots\dots (a \gg l) \dots\dots\dots (2)$$

At shorter distances the irradiance is proportional to

$$E = \frac{\varphi}{2 \pi \cdot a \cdot l} \dots\dots\dots (a < 0.5 l) \dots\dots\dots (3)$$

For a variety of low pressure mercury TUV lamps, the irradiance values at 1 meter distance are expressed below.

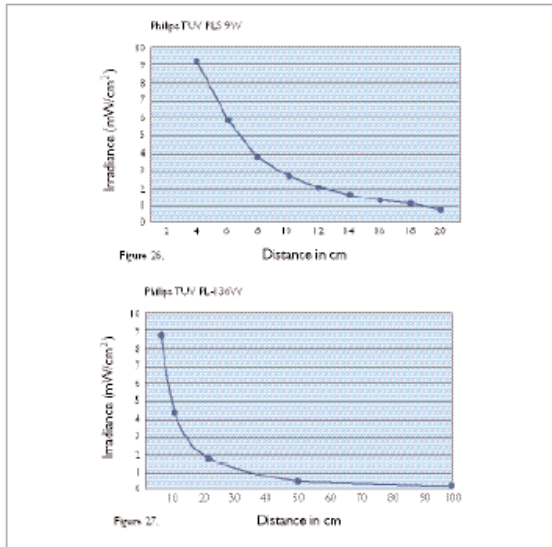


Figure 26 and 27. Demonstrate the variation of UV irradiance with the distance to the lamps.

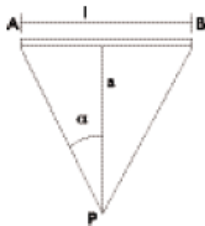
Irradiance values		$\mu\text{W}/\text{cm}^2$
Philips TUV 4W	T5	9
Philips TUV 6W	T5	15
Philips TUV 8W	T5	21
Philips TUV 10W	T8	23
Philips TUV 11W	T5	26
Philips TUV 15W	T8	48
Philips TUV 16W	T5	45
Philips TUV F17T8	T8	88
Philips TUV 25W	T5	69
Philips TUV 25W	T8	
Philips TUV 30W	T8	100
Philips TUV 36W	T8	145
Philips TUV 55W HO	T8	150
Philips TUV 75W HO	T8	220
Philips TUV 115W-RVHO	T12	610
Philips TUV 115W VHO	T12	360
Philips TUV 240W XPT	T6	800
Philips TUV 270W XPT	T10	920
Philips TUV PL-S 5W/2P		9
Philips TUV PL-S 7W/2P		15
Philips TUV PL-S 9W/2P		22
Philips TUV PL-S 11W/2P		33
Philips TUV PL-S 13W/2P		31
Philips TUV PL-L 18W/4P		51
Philips TUV PL-L 24W/4P		65
Philips TUV PL-L 35W/4P HO		105
Philips TUV PL-L 36W/4P		110
Philips TUV PL-L 55W/4P HF		156
Philips TUV PL-L 60W/4P		166
Philips TUV PL-L 95W/4P HO		250
Philips TUV 36T5		144
Philips TUV 64T5		280
Philips TUV 36T5 HO		230
Philips TUV 64T5 HO		442

Table 6. Irradiance values of Philips TUV lamps at a distance of 1.00 meters.

5.1 UV irradiance values

The irradiance E on a small surface in point P on a distance a from an ideal linear radiation source AB of length l amounts to:

$$E = \frac{\varphi}{2 \cdot \pi^2 \cdot l \cdot a} (2\alpha + \sin 2\alpha)$$



φ is the total radiation flux (in W). This formula is taken from: H. Keitz, Light calculations and measurements, Philips Technical Library, MacMillan and Co Ltd, 1971.

GRAAFILINE OSA