



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOO
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

ROBOTISEERIMISE SOBILIKKUSE ANALÜÜS ETTEVÕTTELE STONERIDGE ELECTRONICS AS

ROBOTIZATION SUITABILITY ANALYSIS FOR THE STONERIDGE ELECTRONICS AS

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Martin Mägi

Üliõpilaskood 183745MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, Tallinna tehnikaülikooli
mehaanika ja tööstustehnika instituudi
vanemteadur

Tallinn 2021

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.

"04" jaanuar 2021

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"04" Jaanuar 2021

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

".....".....201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Martin Mägi (*autori nimi*) (sünnikuupäev:03.05.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Robotiseerimise sobilikkuse analüüs ettevõttele Stoneridge Electronics AS,

mille juhendaja on Martinš Sarkans,

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*)

_____ (*kuupäev*)

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Martin Mägi, 183745MATM
Õppekava, peeriala: MATM02/18 Tootearendus ja Tootmistehnika
Juhendaja(d): Mehaanika ja tööstustehnika instituudi vanemteadur,
Martinš Sarkans, 6203267

Lõputöö teema:

Robotiseerimise sobilikkuse analüüs ettevõttele Stoneridge Electronics AS

Robotization suitability analysis for the Stoneridge Electronics AS

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Protsesside, tegevuste, töökoha kirjeldus
2. Nõuete ja kriteeriumite valik
3. Robotiseerimise tehnoloogiline lahendus
4. Riskianalüüs
5. Kasumlikkuse arvutamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olemasolevate protsesside, tegevuste, töökoha kirjeldus. Nõuete ja kriteeriumite valik, analüüs.	06.03.2020
2.	Tehnoloogiliste lahenduste leidmine	27.12.2020
3.	Riskianalüüs	03.01.2021
4.	Kasumlikkuse arvutamine	04.01.2021
5.	Töö lõplik vormistamine esitamine	04.01.2021

Töö keel: Eesti Keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "04" jaanuar 2021 a

Üliõpilane: Martin Mägi "04" jaanuar 2021.a
/allkiri/

Juhendaja: Martinš Sarkans "04" jaanuar 2021.a
/allkiri/

Programmijuht: "04" jaanuar 2021.a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
SISSEJUHATUS	8
1 Tootmisliinide analüüs	9
1.1 Videolülilti	9
1.1.1 Töökoha kirjeldus	9
1.1.2 Protsessi kirjeldus	10
1.2 Telemaatika üksus	13
1.2.1 Töökoha kirjeldus	13
1.2.2 Protsessi kirjeldus	13
1.3 Uksemoodul	15
1.3.1 Töökoha kirjeldus	15
1.3.2 Protsessi kirjeldus	16
1.4 Šassiimoodul	17
1.4.1 Töökoha kirjeldus	17
1.4.2 Protsessi kirjeldus	18
1.5 Tahmaandur	19
1.5.1 Töökoha kirjeldus	19
1.5.2 Protsessi kirjeldus	20
1.6 Analüüsi kokkuvõte	21
2 Koostööroboti valik	23
2.1 Roboti valikukriteeriumid	23
2.2 Roboti valik	24
2.2.1 ABB IRB 14000 YuMi	24
2.2.2 Rethinkrobotics Sawyer	25
2.2.3 Robotite võrdlus ja kokkuvõte	26
3 Tehniline lahendus koos konstruktsiooni, 3D mudeli ja simulatsiooniga	27
3.1 Koostöörobotite asetusplaan	27
3.2 Koostedetailide liikumine töökohtade vahel	30
3.2.1 Töökohtade vahelise konstruktsioon tugevusanalüüs	31
3.3 Koostedetailide sorteerimine	33
3.4 Töökohtadel koostedetailide käsitlemine	34
3.5 Suhtlus koostamisfikstuuride ja koostöörobotite vahel	35
4 Lõpplahenduse tulemused	37
4.1 Simulatsioon	37
4.2 Programm	38
4.3 Simulatsiooni tulemused	47

5 Riskianalüüs	48
6 Majanduslike aspektide ülevaade	50
6.1 Videolüliti robotiseermise tasuvusaja arvutamine	50
6.2 Robotiseeritud lahenduse tasuvusaja arvutamine täielikult utiliseeritud kasutusmeetodil.....	50
6.2.1 Uksemooduli aastase koguse täitmine robotiseeritud lahendusega	51
6.2.2 Šassiimooduli aastase koguse täitmine robotiseeritud lahendusega	52
6.2.3 Tasuvusaja arvutamine, kui jagada roboteid Videolüliti, Uksemooduli ning Šassiimooduli koostamisliinide vahel	53
6.3 Tahmaanduri töökoha robotiseerimise tasuvusaja arvutamine	54
KOKKUVÕTE.....	55
SUMMARY	57
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	59
LISAD	60
Lisa 1 Robot 1 vasaku käe main programm ja Path_10 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	60
Lisa 2 Robot 1 parema käe main programm ning Path_20 ja Path_30 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	62
Lisa 3 Robot 2 vasaku käe main programm ning Path_10 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	65
Lisa 4 Robot 2 parema käe main programm ning Path_20 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	69
Lisa 5 Robot 3 vasaku käe main programm ning Path_10 ja Path_11 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	73
Lisa 6 Robot 3 parema käe main programm ning Path_20 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	77
Lisa 6 Robot 4 vasaku käe main programm ning Path_10 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega.....	85

EESSÕNA

Käesolev magistritöö sai alguse ettevõttes Stoneridge Electronics AS. Autor töötab antud ettevõttes. Lõputöö teema kujunes välja tootmise pidevast parendamisest ja optimeerimisest.

Magistritöö teemaks sai Robotiseerimise sobilikkuse analüüs ettevõttele Stoneridge Electronics AS. Ettevõttes tootmismahud on kasvutrendis, kui koos mahtude kasvuga kasvab ja tööjõupuudus ning tööjõukulud. Lõputöös kaardistati tootmises olevad koostamisprotsessid, et hinnata nende robotiseerimist. Seejärel loodi ühele tootmisliinile detailne tehnoloogiline lahendus, mis põhineb koostöörobotitel. Lahenduse väljatöötamisel konsulteeriti ABB ja Rethink Robotics spetsialistidega. Viidi läbi uue lahenduse riskianalüüs. Seejärel leiti lahenduse tasuvusaeg ning arvatati teoreetiline tasuvusaeg ka ülejäänud koostamisliinide robotiseerimise lahendustele.

Magistritöö on kirjutatud Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja tööstustehnika instituudi vanemteaduri Martinš Sarkans juhendamisel.

SISSEJUHATUS

Käesoleva magistritöö ülesandeks on uurida autoelektronikat arendava ja tootva ettevõtte, Stoneridge Electronics AS, Tallinna tehases robotiseerimise võimalikkust ja kasumlikkust. Stoneridge Electronics AS on 1998.a. asutatud autotööstusele elektronikaseadmeid tootev ettevõtte, kelle klientideks on maailma suurimad autotootjad, sealhulgas Volvo, Scania, MAN, Ford ja teised.

Kuna tööjõukulud ja tööjõupuudus lihtsatel ja monotoonsetel töökohtadel on Eestis kasvavas trendis. Seda kinnitab ka töötukassa, mille andmete põhjal on Harjumaal Elektri- ja elektronikaseadmete koostajate tööjõu puudujääk [1]. Samuti on kõrgenenud toodetele määratud kvaliteedinõuded ja tootmismahud. Seetõttu tuleks mõelda tootmisvõimalustele, mis suudaks toota ööpäeva ringselt, väsimatult ning hooletusvigu tegemata.

Üks lahendustest oleks kasutada koostööroboteid. Koostöörobotite kasutamise suur eelis on nende paindlikus. Koostöörobotid suudavad töötada juba olemasolevatel töökohtadel ilma tootmisliinide suurema ümberehitusega ja on taaskasutatavad ka järgmistel töökohtadel. Samuti tohivad koostöörobotid tööd teha inimesega samal alal ilma kaitsepiirete ja suletud tööaalata ning suudavad tagada töötajate ohutuse, kes liiguvad või töötavad robotite vahetus läheduses. Need võimalused vähendavad investeeringute suurust ja tasuvuse aega.

Konkreetse töö raames valitakse tootmisest 5 töökohta, kus tootmismahud on kõrged ja operaatori töö üksluine või ebamugav. Töö käigus kaardistatakse ära töökohtade esialgsed parameetrid ja protseduurid. Pärast seda luuakse ühest töökohast 3D mudel. Seejärel püstitatakse otsustuskriteeriumid tehnoloogilise lahenduse valikuks. Põhinedes eelnevale leitakse töökohale sobiv tehnoloogiline lahendus. Pärast sobiva lahenduse leidmist luuakse simulatsioon töökohale. Detailse lahenduse põhjal leitakse teoreetilised lahendused ka teistele töökohtadele. Lõpuks viiakse läbi arvutused majanduslikust aspektist, et leida tehnoloogilise lahenduse tasuvusaeg ja konkreetne otsus, kas oleks kasulik antud tehnoloogiline lahendus läbi viia või mitte.

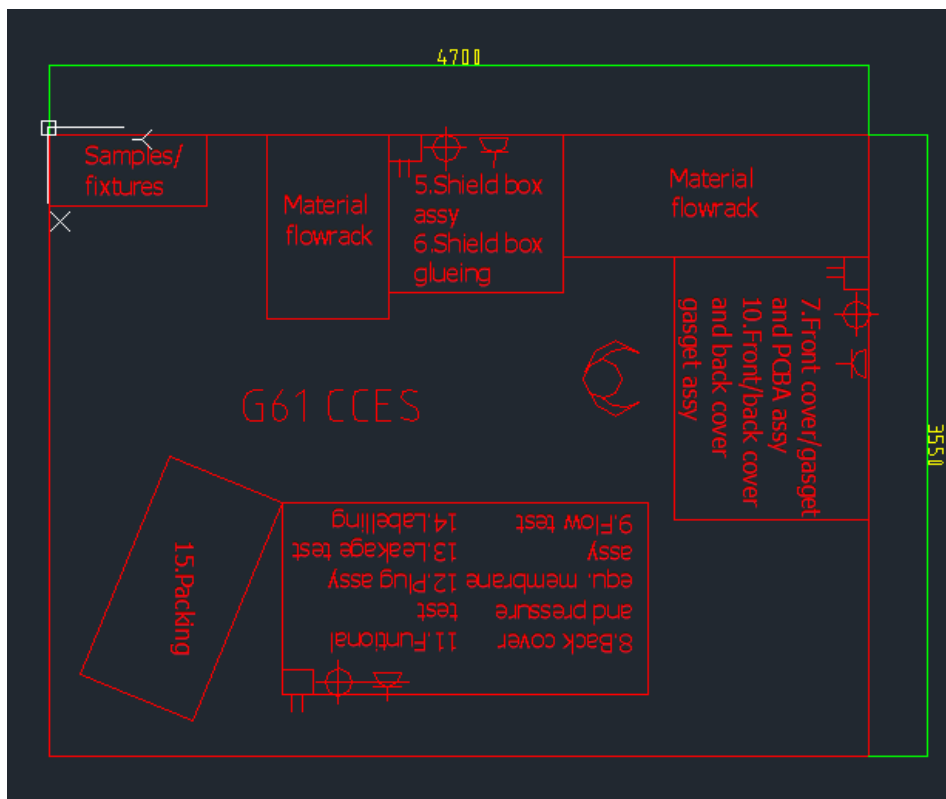
1 Tootmisliinide analüüs

1.1 Videolülilti

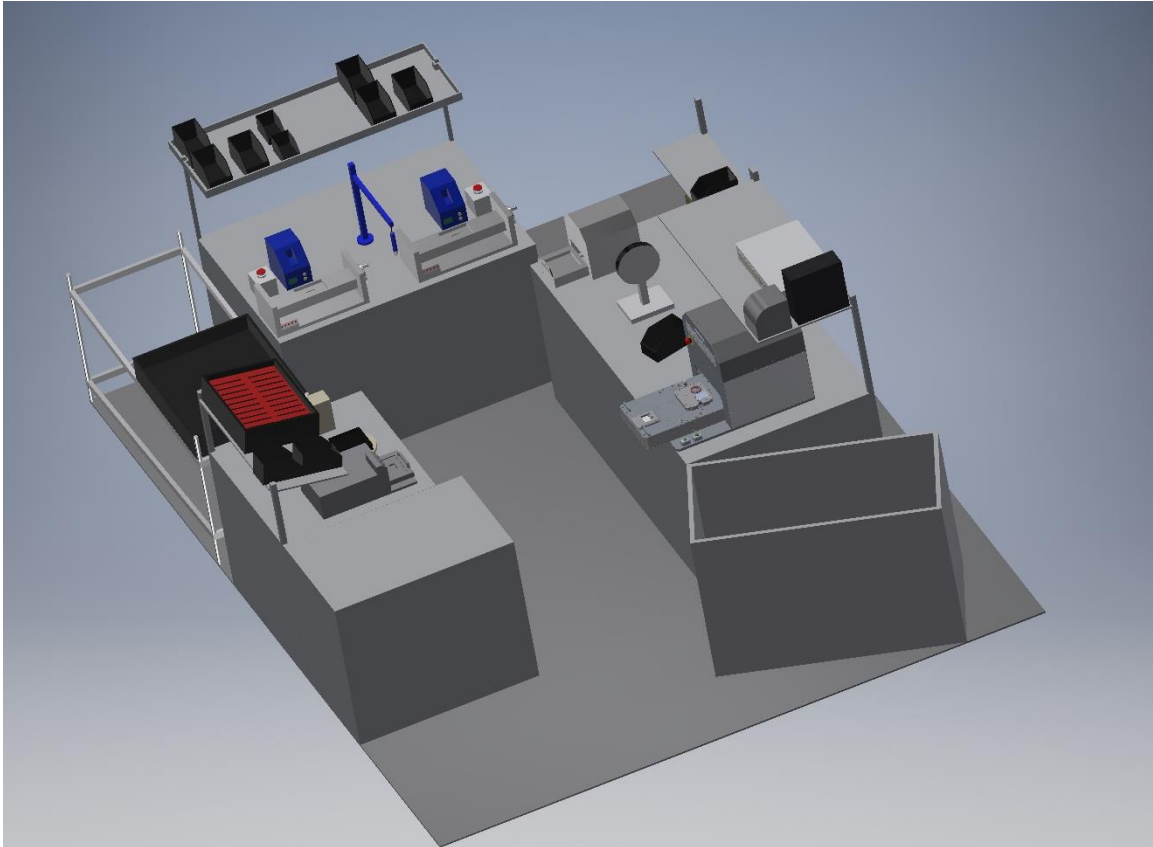
Esimesele väljavalitud töökohal koostatakse videolülilit. Koostu maksimaalne kaal on 1 kg. Töökohal toodetakse 15000 toodet aastas. Tootmismahu täitmiseks töötab hetkel töökohal üks inimene, kahes vahetuses. Töökohal on aga oodata tootmismahu tõusu. Hooldustööd on töökohal minimaalsed, peamiselt tööpindade puhastamine ja koristamine, mille viib läbi töökohal töötav operaator oma tööpäeva lõpus.

1.1.1 Töökoha kirjeldus

Videolüliti töökoht koosneb kolmest riulitega lauast, kahest materjali lauast ning pakkimise alusest. Töökoha juures on fikstuuride ja näidete kapp. Töökohale on määratud 16,7 m² suurune ala tootmispinnal. Töökoha plaan on näidatud Joonis 1. Samuti loodi sellele töökohale 3D mudel, et näha parema detailsusega roboti liigutusi ja asetust töökohal, mis on näidatud Joonis 2.



Joonis 1 Videolüliti koostamise töökoha plaan



Joonis 2 Videolüliti koostamise töökoha 3D mudel

1.1.2 Protsessi kirjeldus

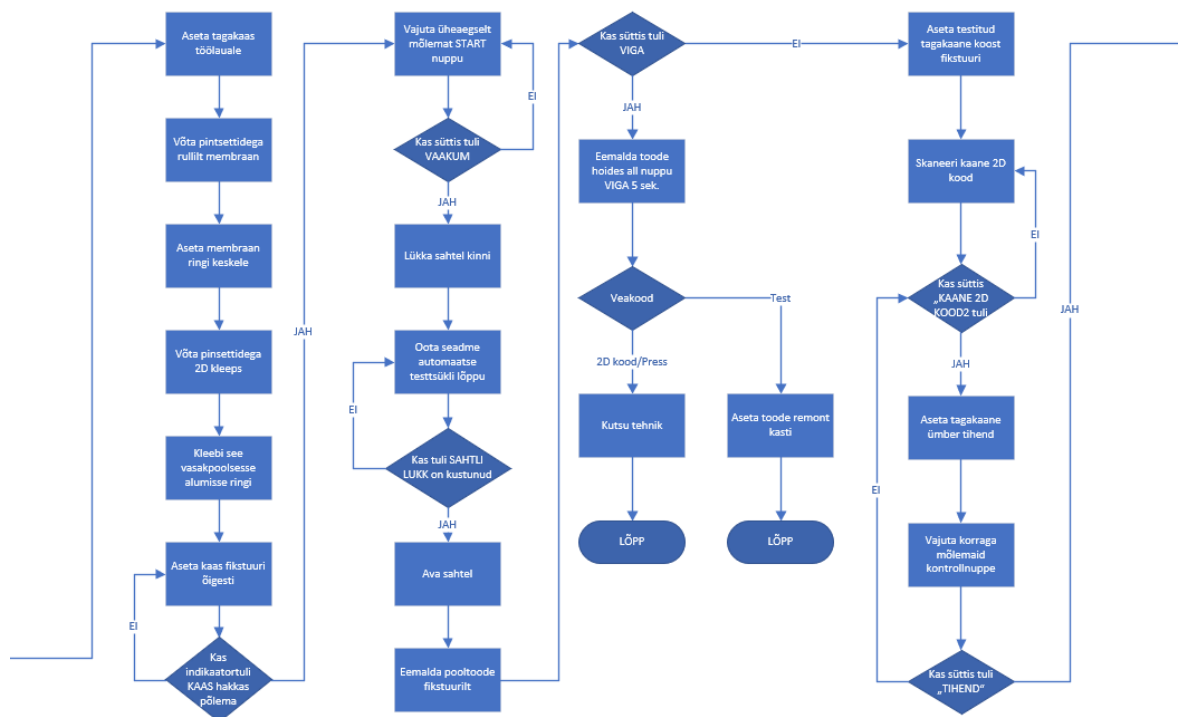
Videolüliti töökohal käib töö 16 tundi päevas, 5 päeva nädalas. Kuna töökohal töötavad inimesed, siis tuleb kuueteistkümnest tunnist maha arvestada puhkepauside ja lõunate ajad ning kokku töötatakse 14 tundi päevas.

Videolüliti koostamine koosneb kuuest suurest protsessist: EMC kilbi paigaldamine, PCBA ja korpuse koostamine, tagakaane koostamine, korpuse ja tagakaane kokkupanek, lõppmontaaž ja pakkimine.

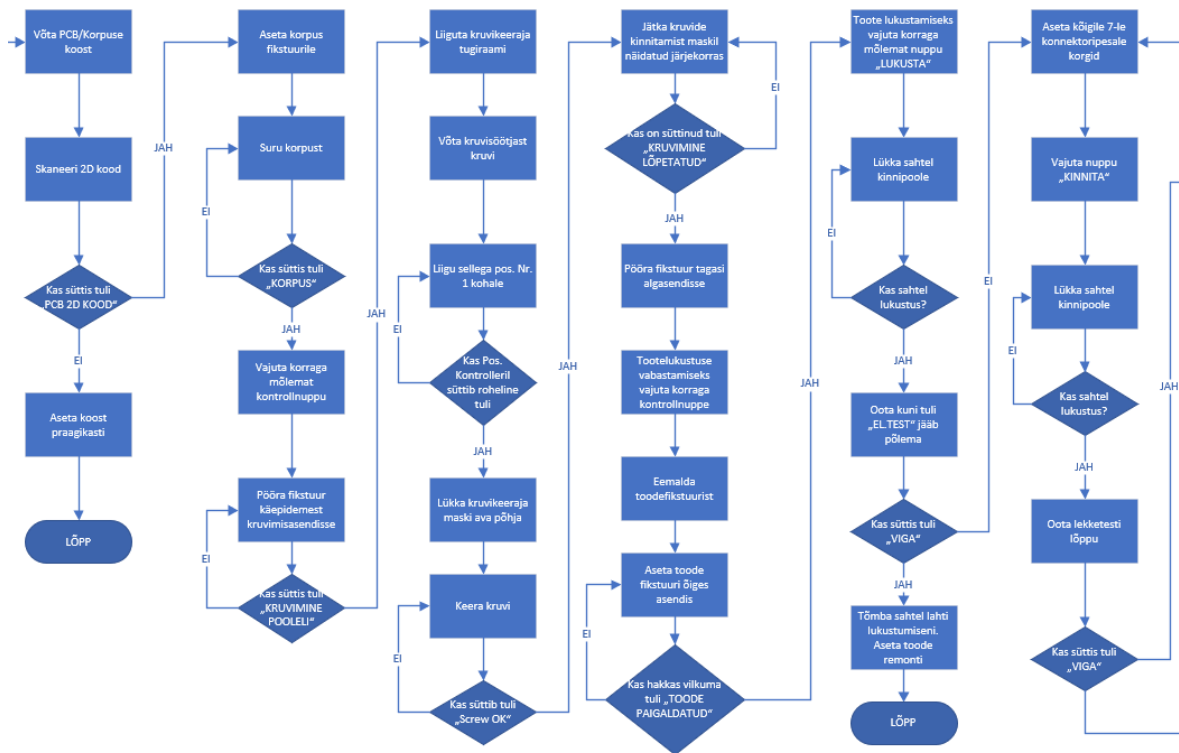
Töökohal töötab korraga 1 inimene. Tema tegevused on toodud vooskeemina Joonis 3, Joonis 4, Joonis 5 ja Joonis 6. Töökoha kohta loodi üldine protsesside plaan, et saada paremat ülevaadet ning oleks võimalik liigitada toote koostamisel tehtavaid toiminguid. Keskmiselt kulub ühe toote tootmiseks 491,1 sekundit, millest 380,7 sekundit on manuaalne töö ning ülejäänud testide ja masinate töö järel ootamine [9].



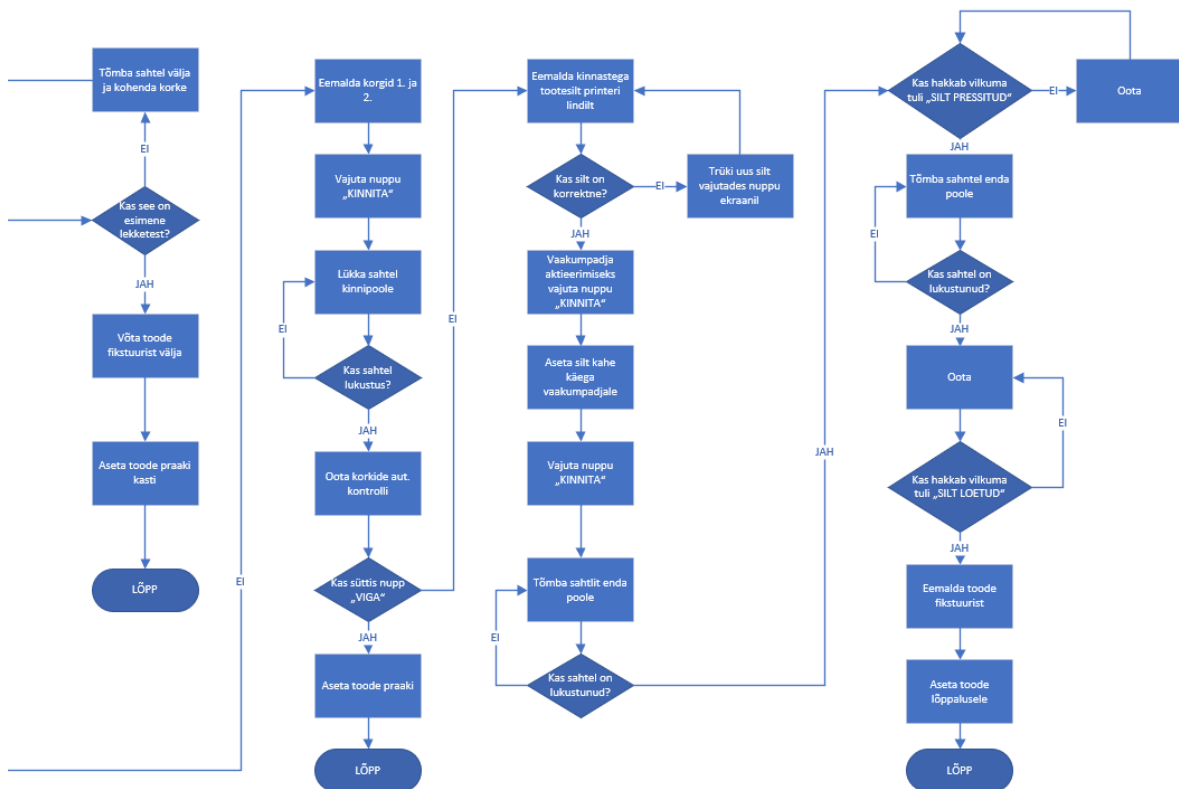
Joonis 3 Videolüliti koostamisprotsessi vooskeem osa 1



Joonis 4 Videolüliti koostamisprotsessi vooskeem osa 2



Joonis 5 Videolüliti koostamisprotsessi vooskeem osa 3



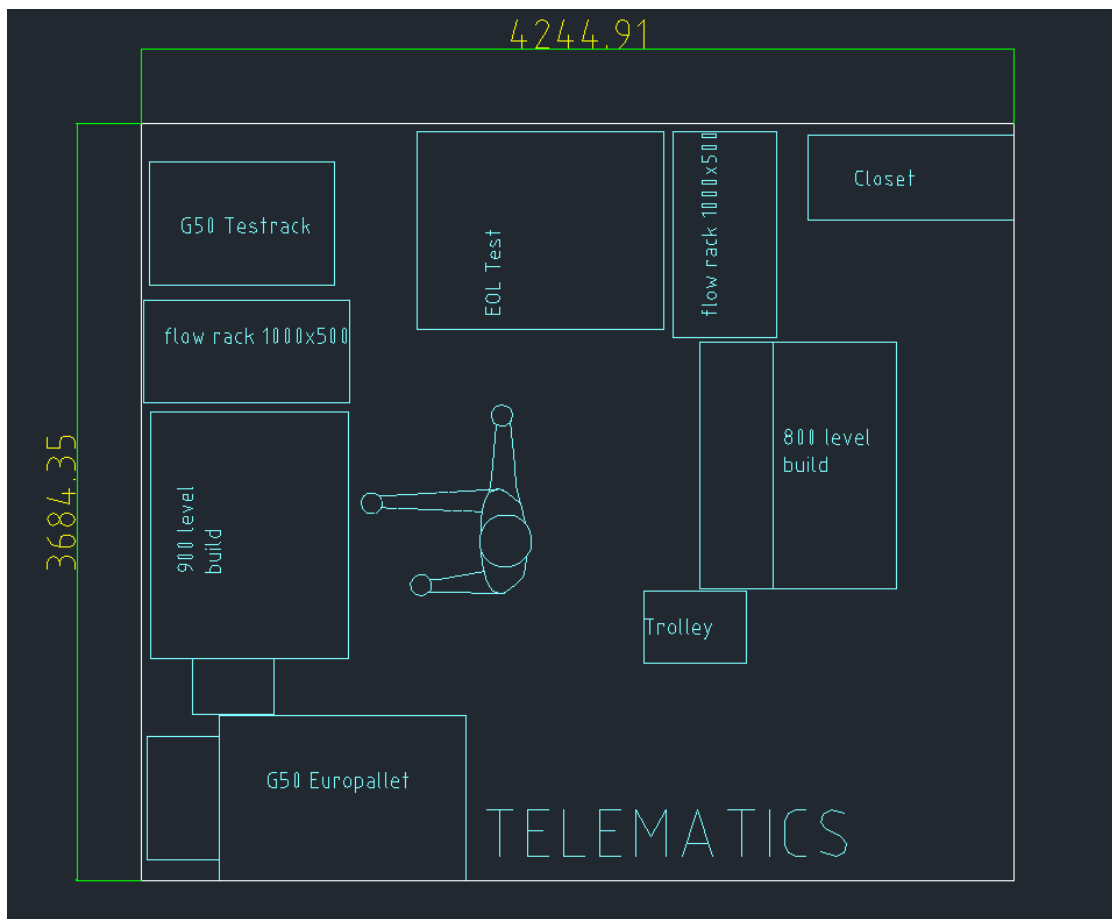
Joonis 6 Videolüliti koostamisprotsessi vooskeem osa 4

1.2 Telemaatika üksus

Teisel väljavalitud töökohal koostatakse telemaatika üksust. Koostu maksimaalne kaal on 0,9 kg. Töökohal toodetakse 65713 toodet aastas. Tootmismahu täitmiseks töötab hetkel töökohal üks inimene, kahes vahetuses. Hooldustööd on töökohal minimaalsed, peamiselt tööpindade puhastamine ja koristamine, mille viib läbi töökohal töötav operaator oma tööpäeva lõpus.

1.2.1 Töökoha kirjeldus

Telemaatika üksuse töökoht koosneb kolmest riiulitega lauast, kahest materjali riiulist, katsemasinast ning pakkimise alusest. Töökohale on määratud 15,2 m² suurune ala tootmispinnal. Töökoha plaan on näidatud Joonis 7.



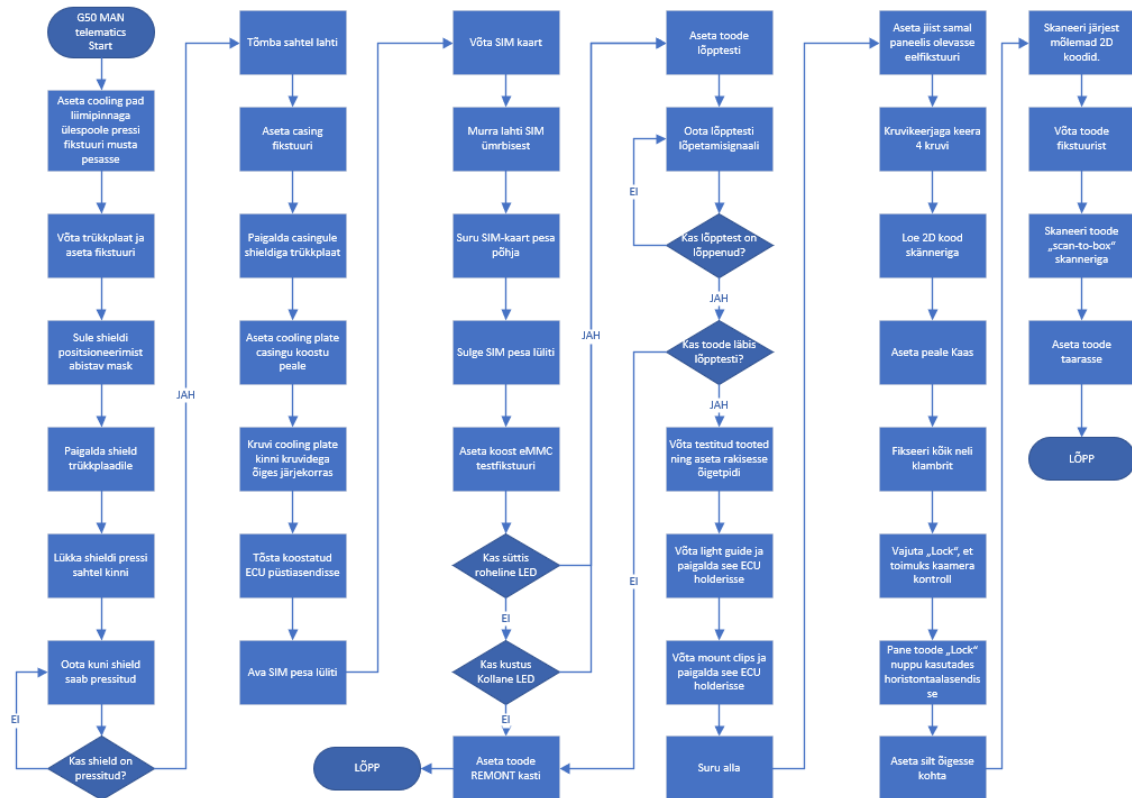
Joonis 7 Telemaatikaüksuse koostamise töökoha plaan

1.2.2 Protsessi kirjeldus

Töökohal käib töö 16 tundi päevas, 5 päeva nädalas. Kuna töökohal töötavad inimesed, siis tuleb kuue teistkümnest tunnist maha arvestada pauside ja lõunate ajad ning kokku töötatakse 14 tundi päevas.

Telemaatika üksuse koostamine koosneb üheksast protsessist: ECU koostamine, ECU testimine, lõppmontaaž, teise poole koostamine, tarkvara laadimine, tarkvara testimine, poolte kokkupanek, liini lõpptest, pakkimine.

Töökohal töötab korraga 1 inimene. Operaatori tegevused on toodud vooskeemina Joonis 8. Ühe toote kokkupanekuks kulub 500 sekundit, millest 256 sekundit on manuaalne töö ning ülejäänud testide ja masinate töö [10].



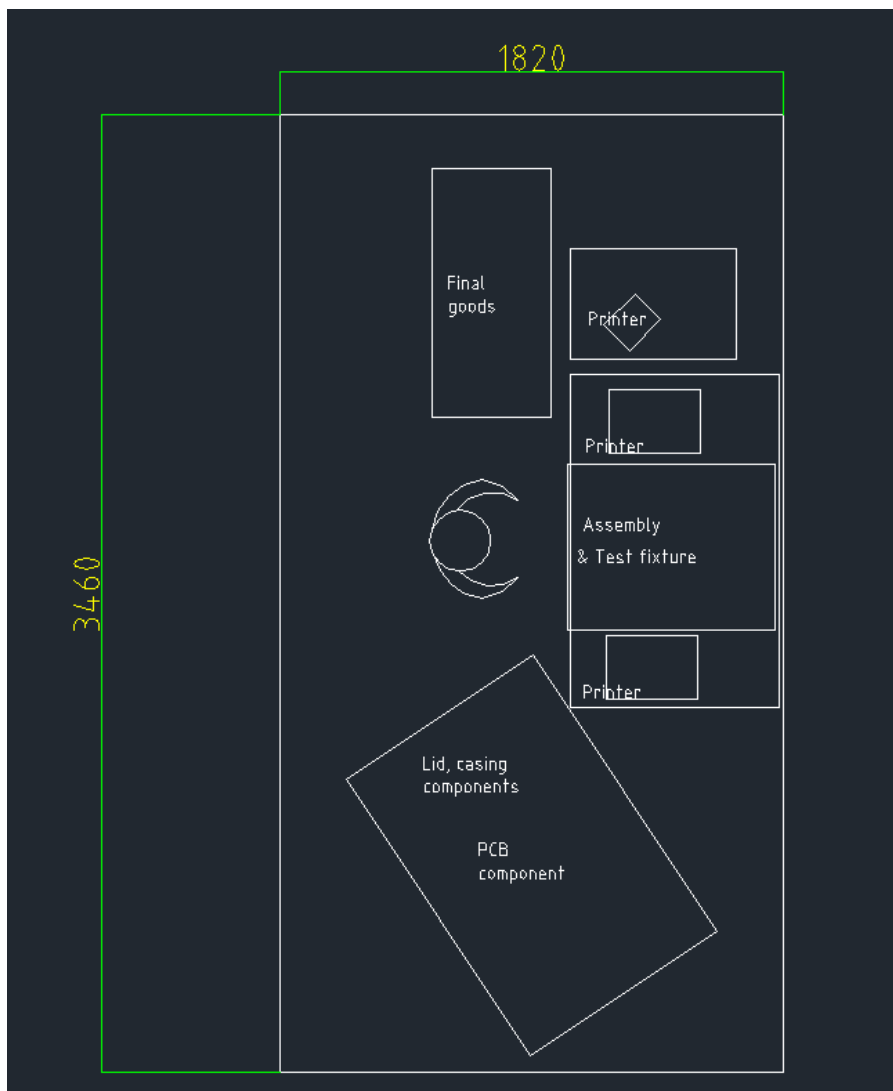
Joonis 8 Telemaatikaüksuse koostamisprotsessi vooskeem

1.3 Uksemoodul

Kolmandal väljavalitud töökohal koostatakse uksemoodulit. Koostu maksimaalne kaal on 0,3 kg. Töökohal toodetakse 180000 toodet aastas. Mahu täitmiseks töötab hetkel töökohal üks inimene, kahes vahetuses. Hooldustööd on töökohal minimaalsed, peamiselt tööpindade puhastamine ja koristamine, mille viib läbi töökohal töötav operaator oma tööpäeva lõpus.

1.3.1 Töökoha kirjeldus

Telemaatika üksuse töökoht koosneb ühest lauast mille peal on etiketiprinter, kooste- ja testfikstuur ning ühest komponentide riulist. Töökohale on määratud 6,3 m² suurune ala tootmispinnal. Töökoha plaan on näidatud Joonis 9.



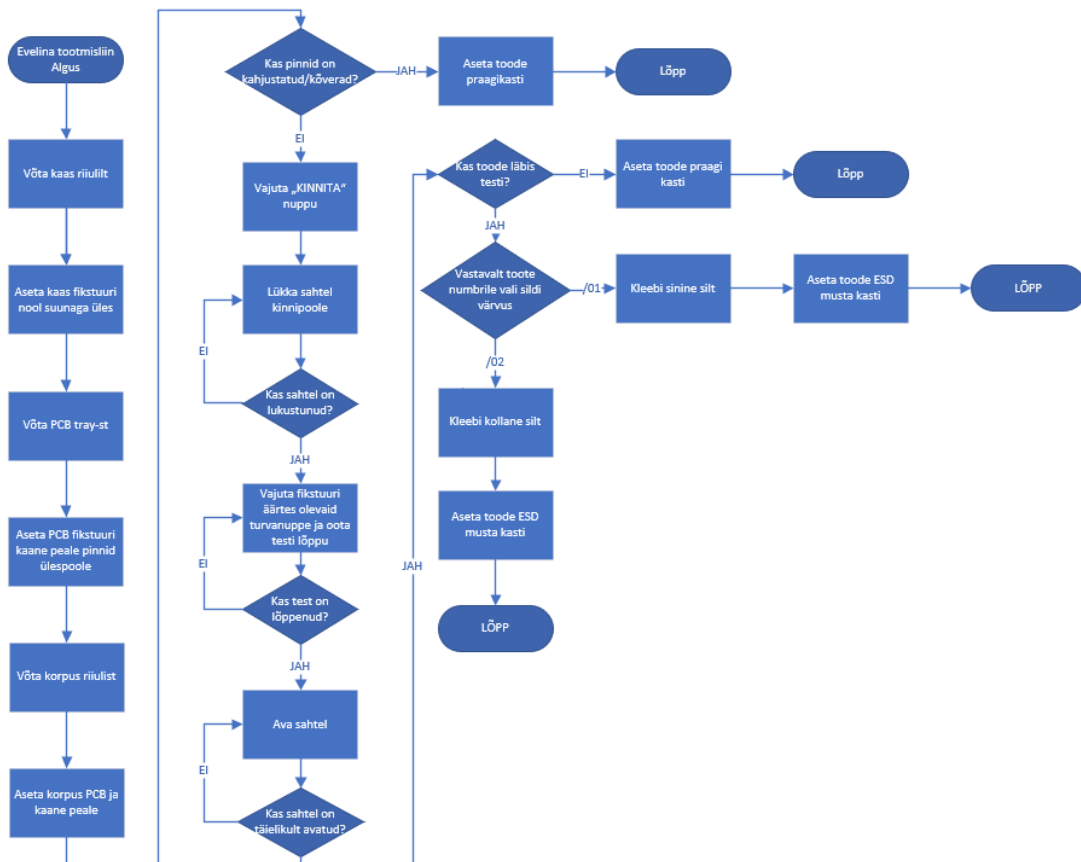
Joonis 9 Uksemooduli koostamise töökoha plaan

1.3.2 Protsessi kirjeldus

Töökohal käib töö 16 tundi päevas, 5 päeva nädalas. Kuna töökohal töötavad inimesed, siis tuleb kuueteistkümnest tunnist maha arvestada pauside ja lõunate ajad ning kokku töötatakse 14 tundi päevas.

Uksemooduli koostamine koosneb kolmest protsessist: komponentide fikstuuri asetamine, liini lõpptest ja pakkimine.

Töökohal töötab korraga 1 inimene. Tema tegevused on toodud vooskeemina Joonis 10. Keskmiselt kulub ühe toote koostamiseks 64,5 sekundit, millest 30 sekundit on manuaalne töö ning ülejäänud testide ja masinate töö [11].



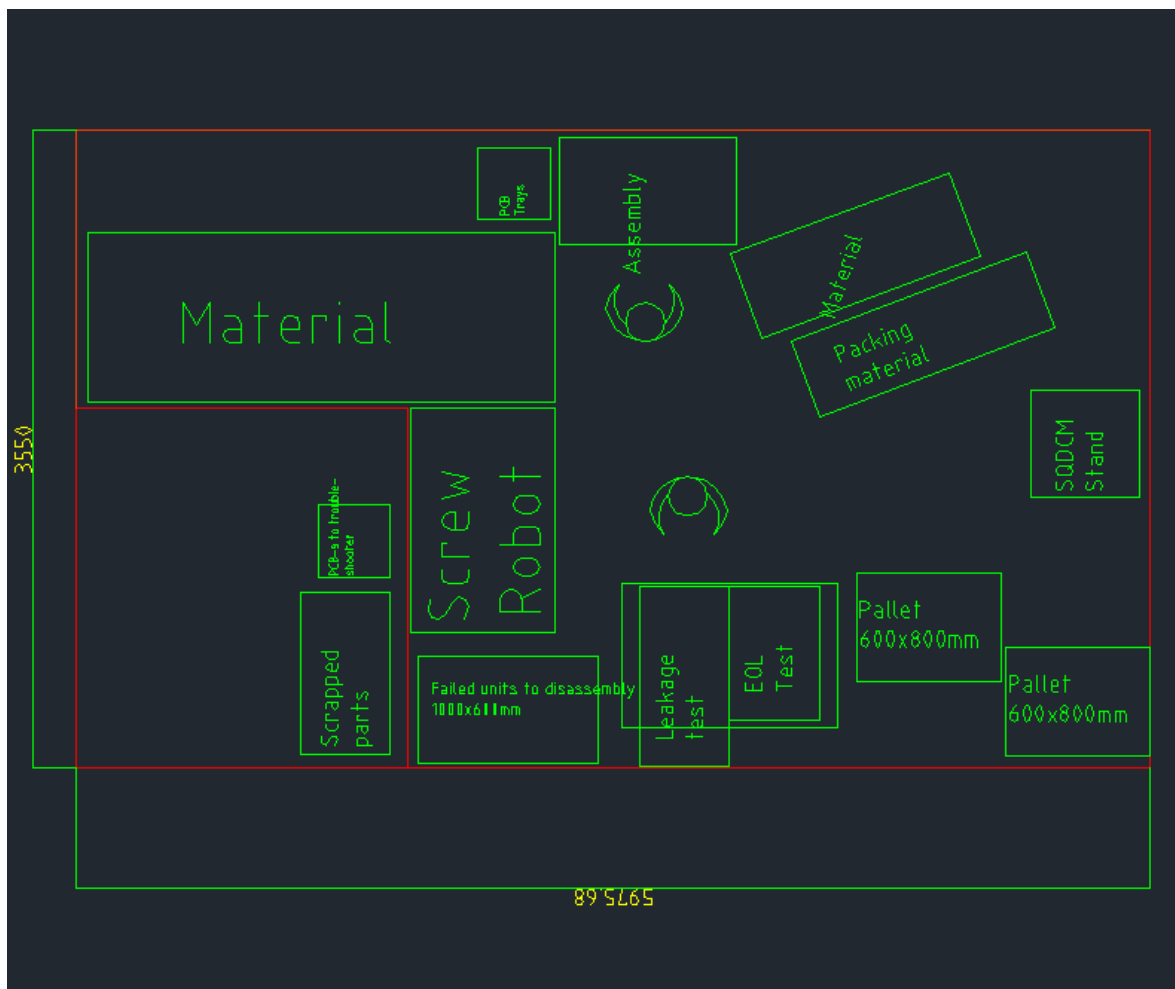
Joonis 10 Uksemooduli koostamisprotsessi vooskeem

1.4 Šassiimoodul

Neljandal väljavalitud töökohal koostatakse šassiimooduli üksust. Koostu maksimaalne kaal on 0,95 kg. Töökohal toodetakse 93600 toodet aastas. Tootmismahu täitmiseks töötab hetkel töökohal üks inimene, kolmes vahetuses. Hooldustööd töökohal võtavad aega umbes 16 tundi aastas, sellele lisaks toimub tööpindade puhastamine ja koristamine, mille viib läbi töökohal töötav operaator oma tööpäeva lõpus.

1.4.1 Töökoha kirjeldus

Šassiimooduli üksuse töökoht koosneb kahest lauast mille peal etiketiprinter, kooste- ja testfikstuur, kahest komponentide riulist, kruvimisroboti töökohast ning pakkimisalusest. Töökohale on pühendatud 21,3 m² suurune ala tootmispinnal. Töökoha plaan on näidatud Joonis 11.



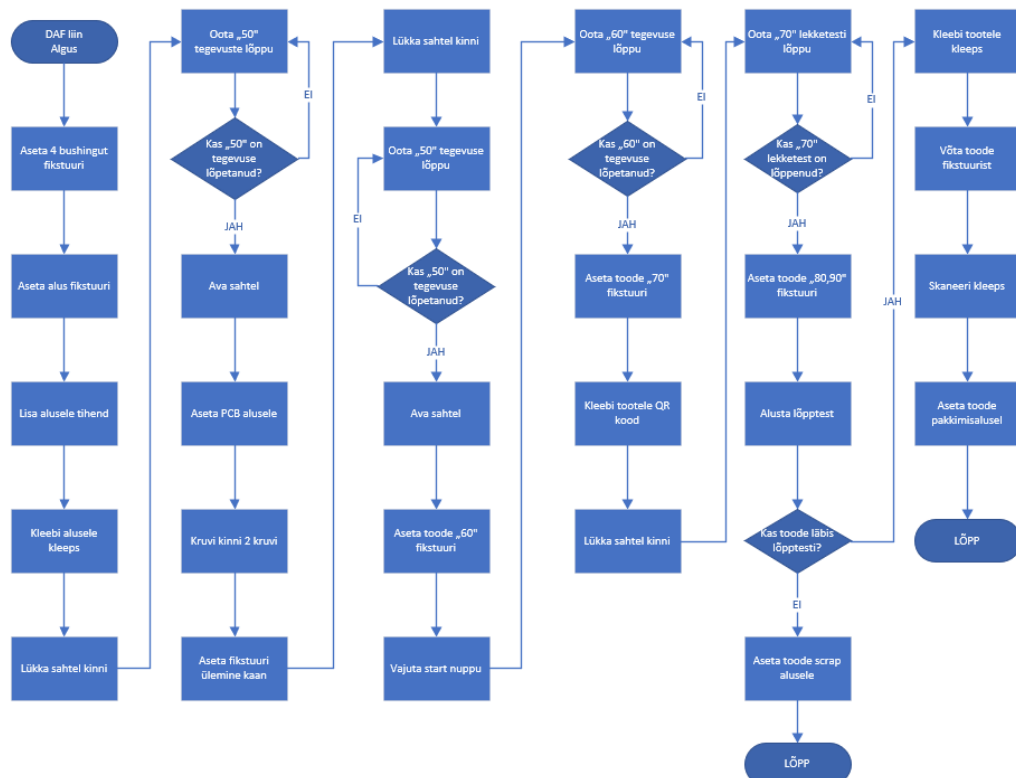
Joonis 11 Šassiimooduli koostamise töökoha plaan

1.4.2 Protsessi kirjeldus

Töökohal käib töö 24 tundi päevas, 5 päeva nädalas. Kuna töökohal töötavad inimesed, siis tuleb kuueteistkümnest tunnist maha arvestada pauside ja lõunate ajad ning kokku töötatakse 21 tundi päevas.

Šassiimooduli koostamine koosneb viiest protsessist: alkoostamine, kruvimine, lekkestest, liini lõpptest ja pakkimine.

Töökohal töötab korraga 1 inimene. Tema tegevused on toodud vooskeemina Joonis 12. Keskmiselt kulub ühe toote koostamiseks 138 sekundit, millest 98 sekundit on manuaalne töö ning ülejäänud testide ja masinate töö [12].



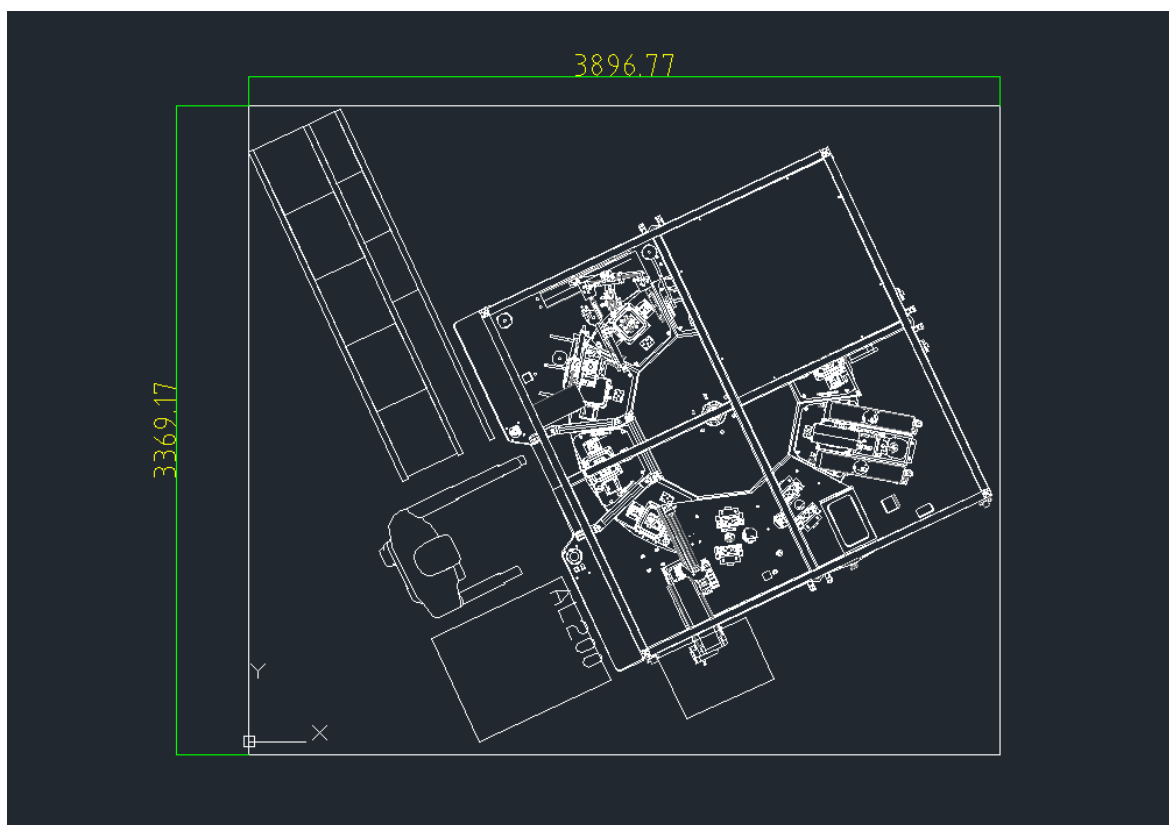
Joonis 12 Šassiimooduli koostamisprotsessi vooskeem

1.5 Tahmaandur

Viiendal väljavalitud töökohal koostatakse tahmaanduri PCB-d ja korpust. Koostu maksimaalne kaal on 0,35 kg. Töökohal toodetakse 641217 toodet aastas. Mahu täitmiseks töötab hetkel töökohal üks inimene, kolmes vahetuses. Lisaks käib koostamine ka nädalavahetusel ühel päeval kahes vahetuses. Hooldustööd on töökohal minimaalsed, peamiselt toimub tööpindade puhastamine ja koristamine, mille viib läbi töökohal töötav operaator oma tööpäeva lõpus.

1.5.1 Töökoha kirjeldus

Tahmaanduri üksuse töökoht koosneb ühest koostamistöökohast ja kahest komponendi riulist. Töökohale on määratud 13,3 m² suurune ala tootmispinnal. Töökoha plaan on näidatud Joonis 13.



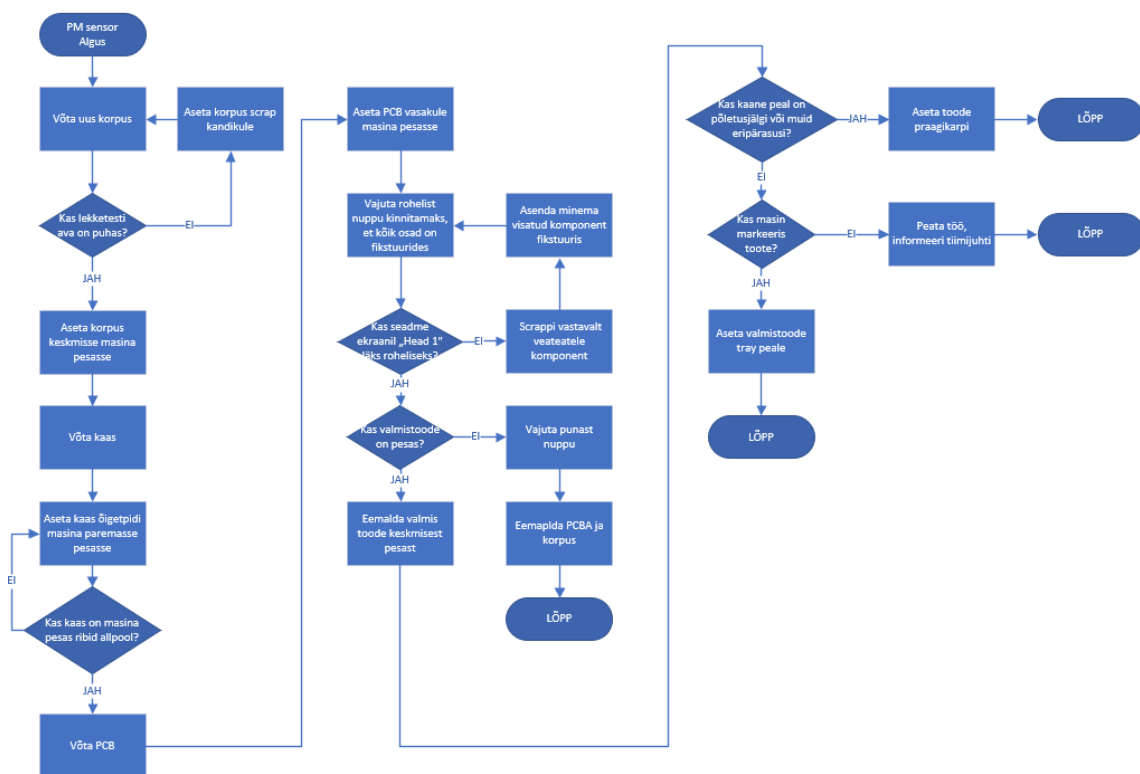
Joonis 13 Tahmaanduri koostamise töökoha plaan

1.5.2 Protsessi kirjeldus

Töökohal käib töö 24 tundi päevas, 5 päeva nädalas. Kuna töökohal töötavad inimesed, siis tuleb kuueteistkümnest tunnist maha arvestada pauside ja lõunate ajad ning kokku töötatakse 22 tundi päevas. Lisaks sellele tehakse tööd laupäeval kahes vahetuses 16 tundi päevas, millest pausid maha arvestada tuleb kokku 14,6 tundi.

Tahmaanduri koostamine koosneb kahest protsessist: komponentide fikstuuri panek ja koostu fikstuurist välja võtmine.

Töökohal töötab korraga 1 inimene. Tema tegevused on toodud vooskeemina Joonis 14. Keskmiselt kulub ühe toote koostamiseks 22 sekundit, millest 9 sekundit on manuaalne töö ning ülejäänud testide ja masinate töö järel ootamine [13].



Joonis 14 Tahmaanduri koostamisprotsessi vooskeem

1.6 Analüüsi kokkuvõte

Kõige suurema inimtööjõu mahuga töökoht on tahmaanduri töökoht, kus töö käib nädala sees kolmes vahetuses ning nädalavahetusel ühel päeval kahes vahetuses. Sellele järgneb šassimooduli töökoht, kus käib töö nädala sees kolmes vahetuses. Ülejäänud töökohtadel töötatakse tööpäevadel kahes vahetuses.

Tabel 1 - Töökohtade parameetrid

	Ukse- moodul	Šassi- moodul	Tahma- andur	Telemaati- ka üksus	Video- lülit
Tootmiskaht aastas (tk)	180000	93600	641217	65713	15000
Tsükliäeg (s)	64,5	138	22	500	491,1
Manuaalsele tööle kuluv aeg igas tsüklis (s)	30	98	9	256	380,7
Masina tööle kuluv aeg igas tsüklis (s)	58	138	22	244	491,1
Maksimaalne tsükliäeg 1 vahetus/2 vahetust/3 vahetust	30/55/83	57/106/160	8/16/23	98,2/196,3/294,5	445/830/1245
Inimveast tekitud praagi protsent	0	0,01	0,02	0	0
Vajalike operaatorite arv	1	1	1	1	1
Operaatori tööaeg päevas/vahetuses (minutes)	1290/510/480	1290/510/480	1314/438	1290/510/480	1290/510/480
Masina kasutuse aeg töönädalal/nädalavahetusel	16h 5P	24h 5P	24h 5P/16h 1P	16h 5P	16h 5P
Vahetuste arv päevas töönädalal	2	3	3	2	2
Vahetuste arv päevas nädalavahetusel	0	0	2	0	0

Töökohtadel tehtavatest operatsioonidest on kõige enim levinud „võta ja aseta“. Kõikidel töökohtadel peale Šassiimooduli on vaja ka vajutada nuppu. Sahtlite tõmbamine ja lükkamine, siltide kleepimine ja skaneerimine on samuti levinud operatsioonid kõikidel töökohtadel peale Tahmaanduri. Šassiimooduli, videolüliti ja telemaatikaüksuse koostamise töökohtadel on veel lisaks kruvimisoperatsioonid. Telemaatika üksusel on ainukesena tootmises operatsioon, kus tuleb sisestada SIM kaart ja hiljem eemaldada. Arutades seda operatsiooni koostöörobotite pakkujatega leiti, et kõige parem viis see operatsioon lahendada oleks töökoht täielikult automatiseerida.

Tabel 2 - Töökohtadel esinevad operatsioonid ja nende sagedus

	Ukse- moodul	Šassi- moodul	Tahma- andur	Telemaatika üksus	Video- lülit
Võta ja aseta	4	11	4	16	21
Vajuta nuppu	2	0	1	5	9
Lükka/tõmba sahtel	2	2	0	2	10
Kleebi silt	1	2	0	1	2
Skaneeri silt	0	1	0	4	2
Kruvimis- operatsioonid	0	3	0	6	8
SIM kaardi sisestamine	0	0	0	1	0

Operatsioonide keerukuse ja arvu järgi on kõige keerulisem koostamisprotsess Videolüliti tööliinil. Lisaks keerukusele on tööliinil ka väga suur osa tööst manuaalne ning sellepärast oleks koostööroboti kasutamine Videolüliti koostamisel kõige suurema kasuteguriga.

2 Koostööroboti valik

2.1 Roboti valikukriteeriumid

Roboti valikukriteeriumite püstitamisel lähtutakse töökoha omapärast ja koostamisprotsessil tulevatest nõuetest. Samuti võetakse arvesse üldisi ettevõtte investeeringu tingimusi. Eelnevale põhinedes peab lahendus vastama järgmistele tingimustele:

1. Roboti haardeulatus vähemalt 1 m.
2. Roboti tõstevõime vähemalt 1 kg.
3. Roboti täpsus vähemalt 0,1 mm.

Uue tehnoloogilise lahenduse tasuvusaeg peaks jääma alla 1,5 aasta.

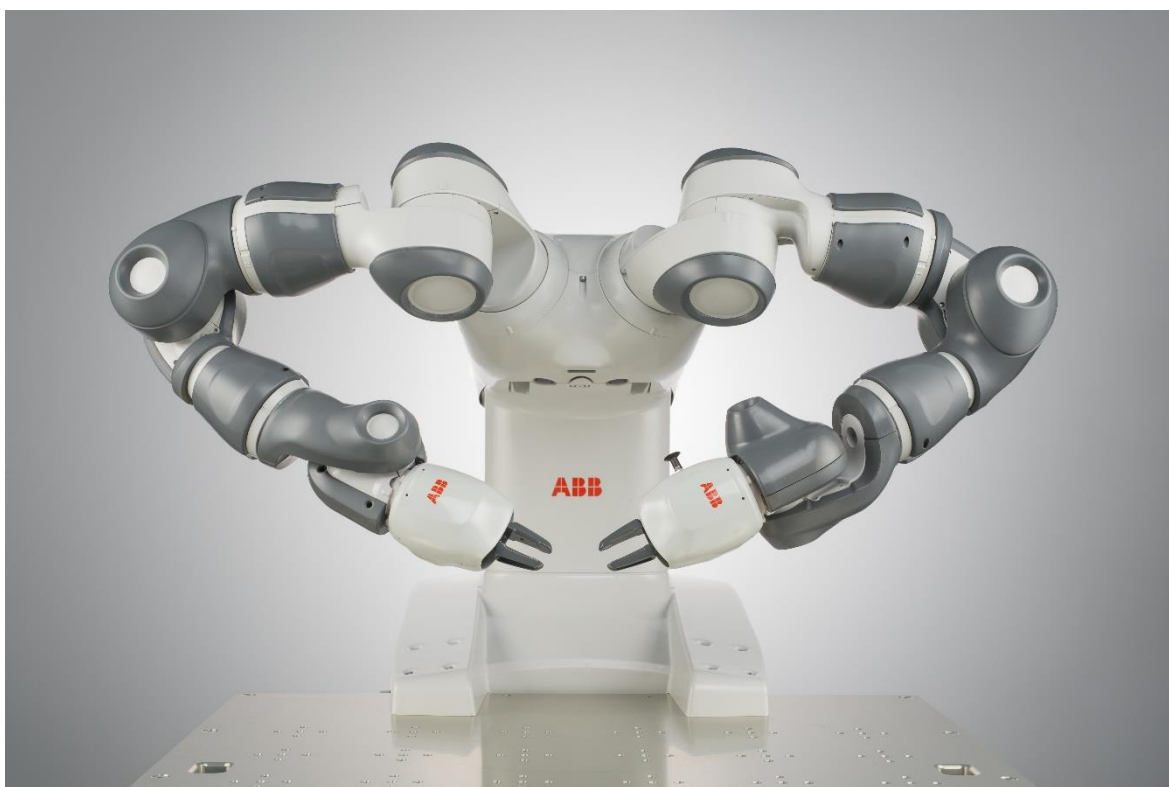
2.2 Roboti valik

2.2.1 ABB IRB 14000 YuMi

ABB IRB 14000 YuMi on koostöörobot, mis on välja töötatud väikeste detailide monteerimiseks vajalike paindlike ja kiirete tootmisoperatsioonide tegemiseks elektroonikatööstuses. Kõike seda suudab YuMi teha tänu kahele painduvale käele, kaamerapõhisele detailide leidmisele ja tipptasemel liikumise täpsusele ning kontrollile [2].

Ohutuse tagamiseks on YuMil ümber kerge, kuid jäik magneesium skelett, mis on kaetud ujuva plastikust ümbrisega, mis omakorda on mähitud pehmesse polsterdusse. Seetõttu neelab YuMi konstruktsioon igasuguse ootamatu jõu ning peatub millisekundite jooksul vigastusi vältides. Liikumise saab kiiresti ja vaevata uuesti alustada vajutades kaugjuhtimispuldil olevat „Play“ nuppu [2].

Yumi on väga täpne ja kiire. Maksimaalne liikumiskiirus on 1500 mm/s, et tagada inimkaaslaste turvalisus. Positsioneerimistäpsus on tal 0,02 mm. Mõlema käe haardeulatus kokku on ~ 1,1 m. Lisaks I/O liidesele, on YuMil veel Ethernet IP, Profibus ning USB pordid. YuMi ühe käe kandevõime on 0,5 kg. Roboti elueaks on määratud 10 aastat, kui see töötab 24/7 [2].



Joonis 15 - IRB 14000 YuMi

2.2.2 Rethink robotics Sawyer

Rethink robotics koostöörobot Sawyer on hõlpsasti kasutatav, paindlik ja kõrgelt tunnustatud. Sawyeriga saab automatiseerida täpsust nõudvaid operatsioone kergesti, tänu sisseehitatud kaameratele. Roboti kätt juhtides, õpetatakse seda tegema keerulisi ülesandeid mõne minutiga ning seejärel jätkab robot juba ise [3].

Sawyerit eristab teistest koostöörobotitest tema paindlikus. Tänu sisseehitatud kaameratele on võimalik Sawyerit liigutada mitme erineva töökoha vahel väga väikese vaevaga. Töökohal tuvastab Sawyer 2D koodi järgi, mis töökohaga on tegemist, seejärel oma positsiooni ning tööobjektid ja asub tööle [3].

Koostöörobot Sawyer vastab standardile ISO 10218-1:2011, mis defineerib nõuded ja juhised tööstusroboti loomupärasele ohutule disainile, kaitsemeetmetele ja informatsioonile [5]. Lisaks sellele, teeb Sawyeri tootmisse integreerimise lihtsaks tema omapärane ekraan, mis tööd tehes kuvab kas vajalikku informatsiooni või sõbralikku silmapaari. Neist viimane on aidanud tootmistöötajatel robotiga paremini harjuda ning vastu võtta teda oma meeskonda[3].

Sawyeri maksimaalne liikumiskiirus on 1500 mm/s. Haardeulatus on Sawyeril 1,26 m. Positsioneerimistäpsus on tal 0,1 mm. Lisaks kontrolleri ja käe peal olevatele I/O liidestele on Sawyeril veel Modbus, TCP ja TCP/IP. Sawyeri kandevõime on 4 kg. Roboti elueaks on määratud 10 aastat, kui see töötab 24/7 [4].



Joonis 16 - Rethink robotics Sawyer koostöörobot

2.2.3 Robotite võrdlus ja kokkuvõte

Tabel 3 Robotite hinnangumatriks

	Kande- koormus	Haarde- ulatus	Liikumis- kiirus	Eluiga	Ümber- seadmise hõlpsus	Maksu- mus	Kokku
Kaal	4	3	5	5	3	5	
ABB IRB 14000 YuMi	2	5	5	5	1	3	91
Rethink robotics Sawyer	4	5	5	5	5	5	121

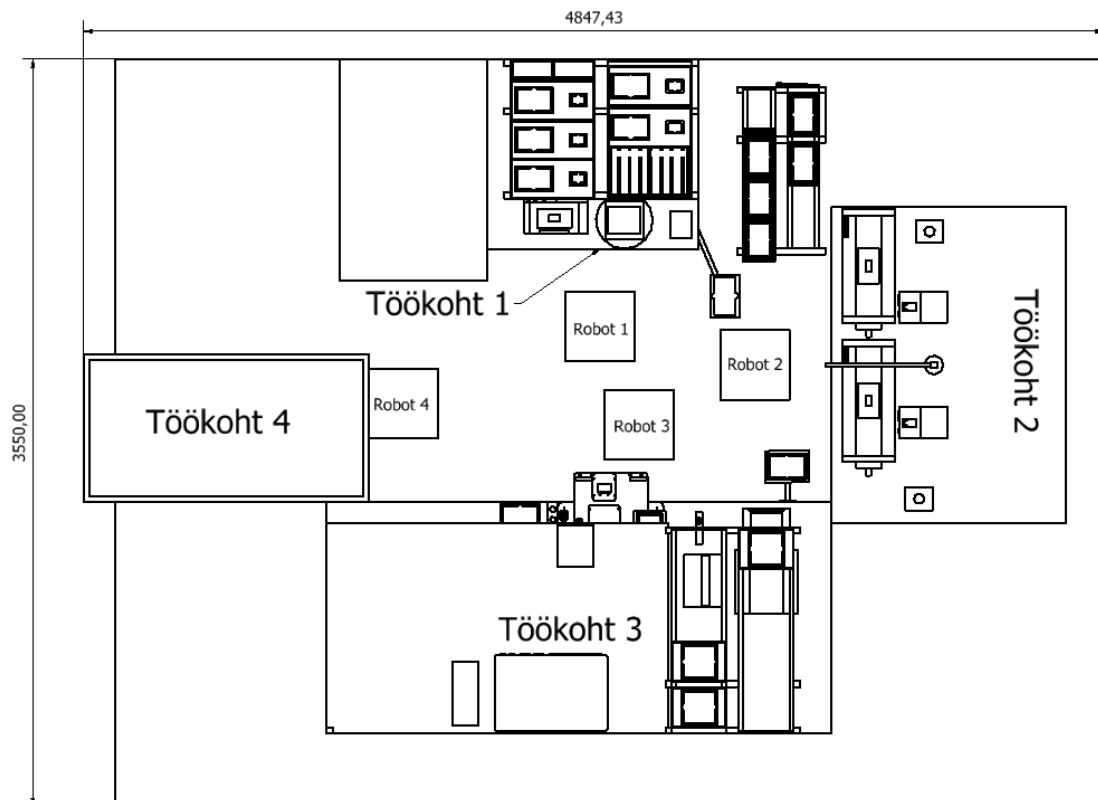
Hinnangumatriksi ja valikukriteeriumite põhjal on parimaks koostöörobotiks Sawyer. Tema suurimaks eeliseks YuMi ees on ümberseadistamise hõlpsus. Tootmises on väikese tootmishulgaga tooted, siis tuleb kasuks kui robotit saab liigutada erinevate töökohtade vahel ning hoida teda töös nii palju kui võimalik. Sawyer on ka odavam YuMist. Sawyer vastab ka kõigile peatükis 2.1 etteseadud roboti valikukriteeriumitele.

3 Tehniline lahendus koos konstruktsiooni, 3D mudeli ja simulatsiooniga

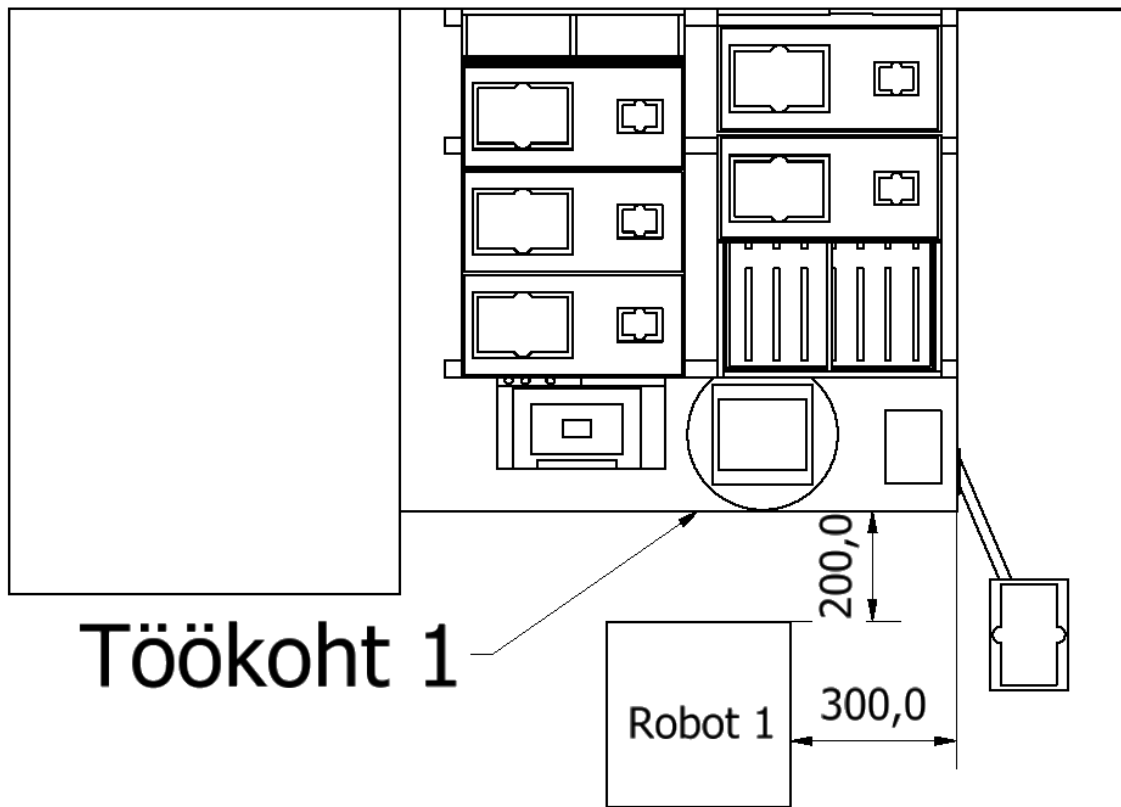
Tehnilise lahenduse väljatöötamise käigus konsulteeriti koostöroboti tootjate ABB ja Rethink Robotics, et olla kindlad lahenduse võimalikkusest. Lisaks sellele tehti ka lõplikule lahendusele hinnapakkumised.

3.1 Koostöörobotite asetusplaan

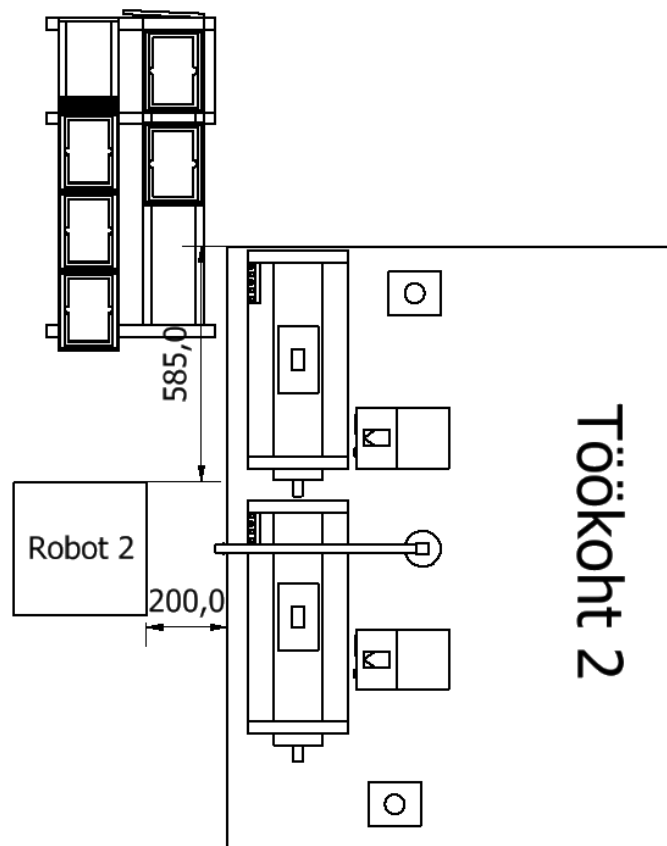
Iga töökoha kõrval asetsevale alusele paigaldatakse Sawyer koostöörobot (Joonis 17 - Joonis 21). Kui koostöörobotid on ühel tootmisliinil päevase koguse täitnud, saab neid liigutada järgmisele töökohale, kus jätkub järgmise toote tootmine. Tsükliajad on madalad kuna mitu koostamisoperatsiooni tehakse korraga ning lahenduse tasuvusaeg on lühem kuna koostöörobotid on alati kasutuses. Lahenduse puuduseks on inimressursi vajamine koostöörobotite liigutamisel töökohtade vahel. Lisaks võib roboteid liigutav inimene teha ka vea ning selle tulemusel kahjustada robotit või töökohal asetsevaid masinaid ja tooteid.



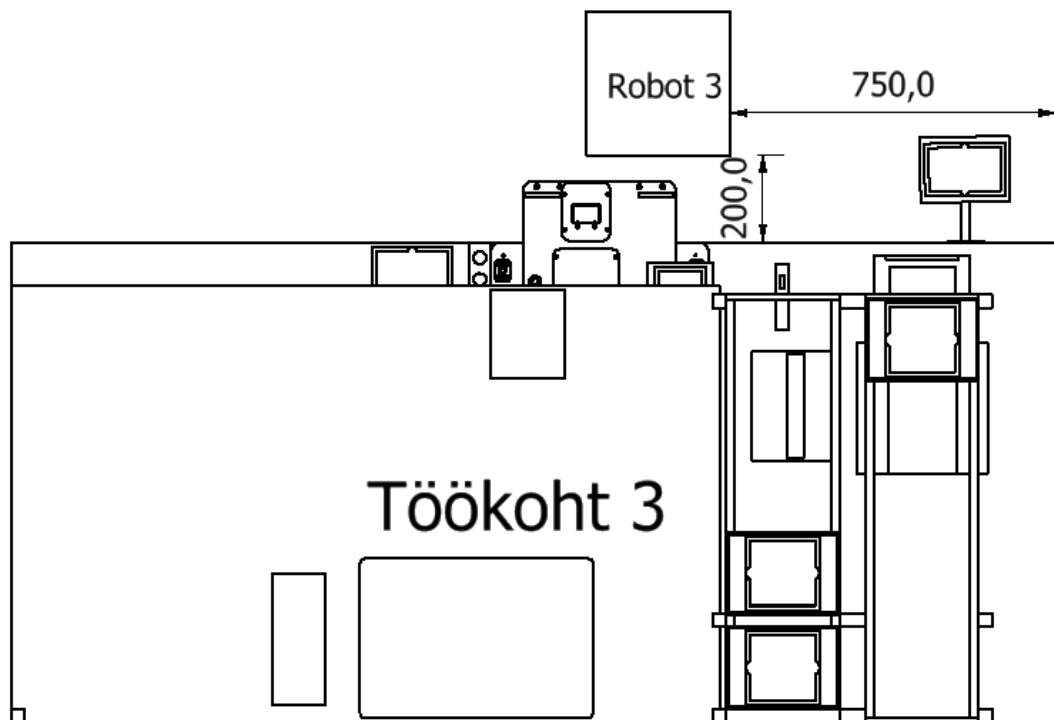
Joonis 17 - Koostöörobotite asetsusalused töökohtadel



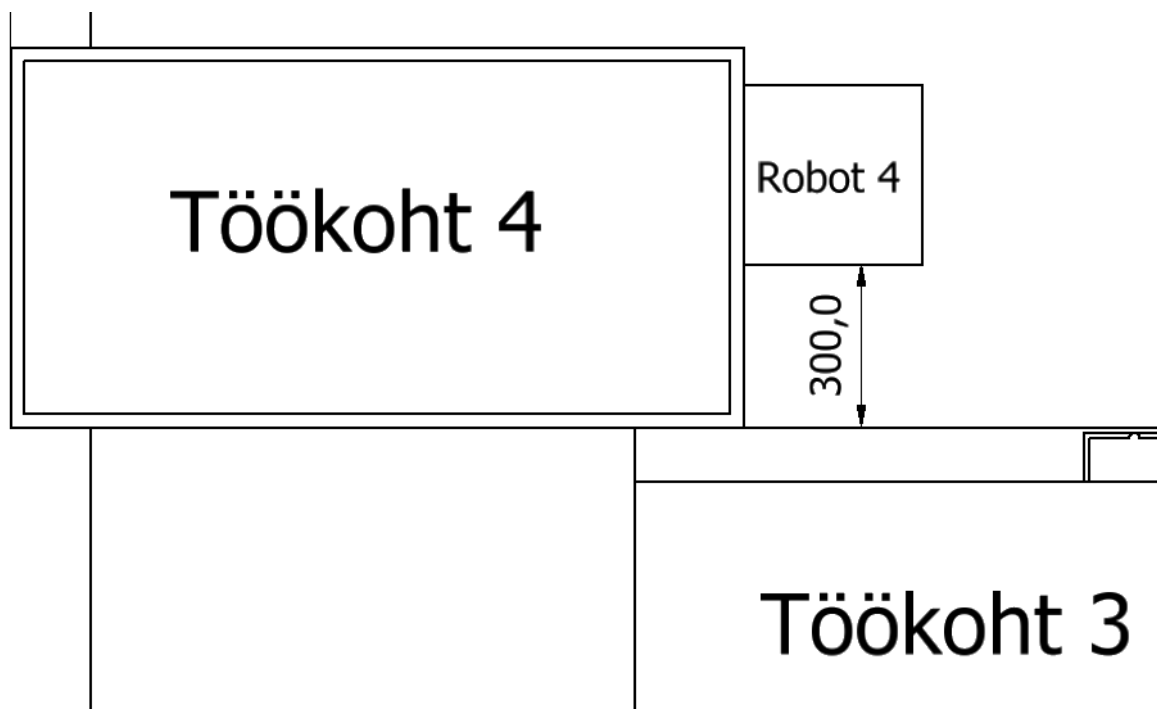
Joonis 18 Töokoht 1 Robot 1 asetusplaan



Joonis 19 Töokoht 2 Robot 2 asetusplaan



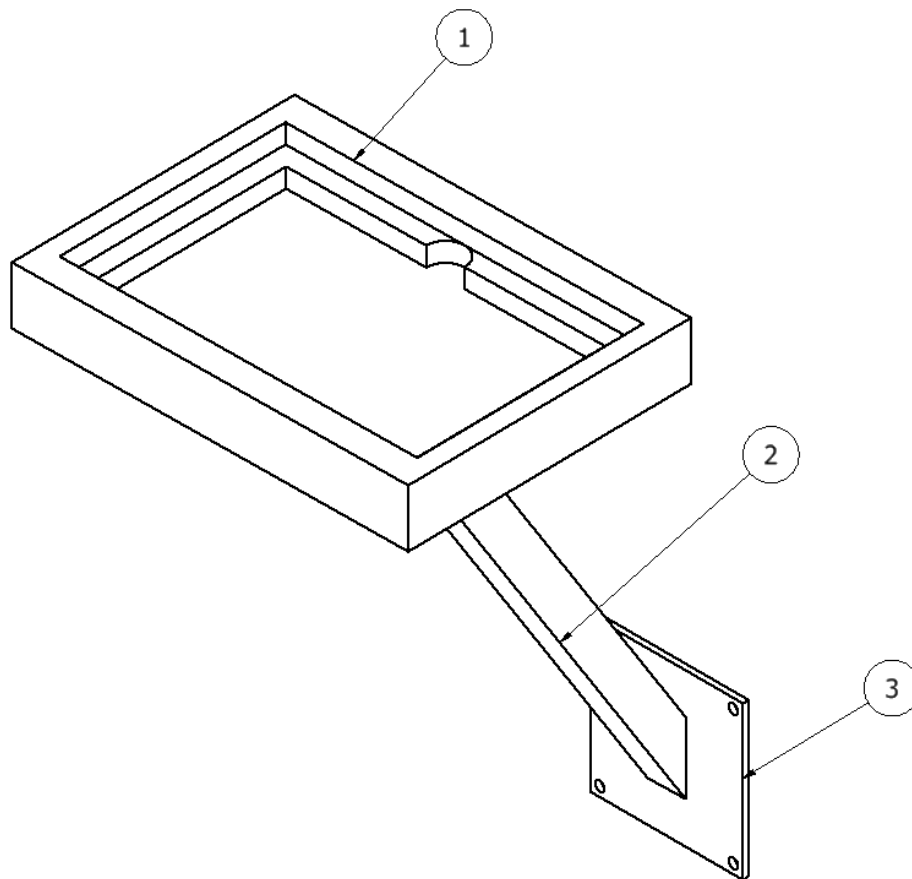
Joonis 20 Töokoht 3 Robot 3 asetusplaan



Joonis 21 Töokoht 4 Robot 4 asetusplaan

3.2 Koostedetailide liikumine töökohtade vahel

Koostedetailid ja poolkoostud asetatakse töökohtade vahel asuvatele konstruktsioonidele. Konstruktsiooni materjali valiku puhul tuli arvestada töötingimusi, milleks on siseruumides kontrollitud kliima. Lisaks tuli arvesse võtta materjalide kättesaadavust ning materjali töödeldavust. Konstruktsiooni erinevad detailid keevitatakse omavahel kokku ning kinnitatakse töölaua külge poltide ja mutrite abil. Arvestades eespoololevaid tingimusi sobib töökohtade vaheliste fikstuuride konstruktsioonimaterjaliks S235.



Joonis 22 Töökohtade vaheline konstruktsioon koostedetailide asetamiseks. 1 – Fikstuur. 2 – 30x30x3 nelikanttoru. 3 – kinnitusplaat.

3.2.1 Töökohtade vahelise konstruktsioon tugevusanalüüs

Töökohtade vaheline konstruktsioon koosneb ühest kinnitusplaadist paksusega 3 mm, ühest 30x30x3 nelikanttorust ning fikstuurist kuhu sisse asetada koostedetail või pooltoode. Fikstuur on keevitatud nelikanttoru külge, mis on omakorda keevitatud kinnitusplaadi külge. Kinnitusplaat on kinnitatud töökohta külge poltide ja mutritega.

Leian konstruktsioonile mõjuvad maksimaalsed jõud. Esimene jõud, mis mõjub konstruktsioonile on omaraskus. Konstruktsiooni hinnanguline ruumala on 0,000605 m³ ning S235 tihedus on ligikaudu 7850 kg/m³. Kasutades valemit (1) leiame konstruktsiooni omaraskuse, milleks on ligikaudu 4,8 kg [8].

$$m = \rho * V = 0,000605 * 7850 = 4,749 \approx 4,8 \text{ kg} \quad (1)$$

, kus

m – mass, kg

ρ – tihedus, kg/m³

V – ruumala, m³

Lisaks omaraskusele tuleb konstruktsioonil vastu pidada ka koostedetaili või poolkoostu raskusele ning võimalikule jõule, mida robot võib detaili fikstuuuri peale asetades tekitada. Maksimaalne poolkoostu raskus on lõppkoostu raskus, milleks on 1 kg. Roboti maksimaalne kandevõime on 4 kg, mis tähendab, et tema jõud, millega ta võib fikstuuuri suruda on samuti 4 kg.

Liites kokku kõik võimalikud konstruktsioonile mõjuvad raskused saame, et konstruktsioon peaks vastu pidama vähemalt 10 kg raskusele. Joonis 23 demonstreerib tarkvaraga Autodesk Inventor Professional 2019 tehtud tugevusanalüüsi [6]. Tugevusanalüüsist on näha, et suurim tekkiv pinge on ligikaudu 11,2 Mpa. S235 voolepiir on ligikaudu 235 MPa. Saadud tulemustest lähtuvalt on arvatud varutegur valemiga (2).

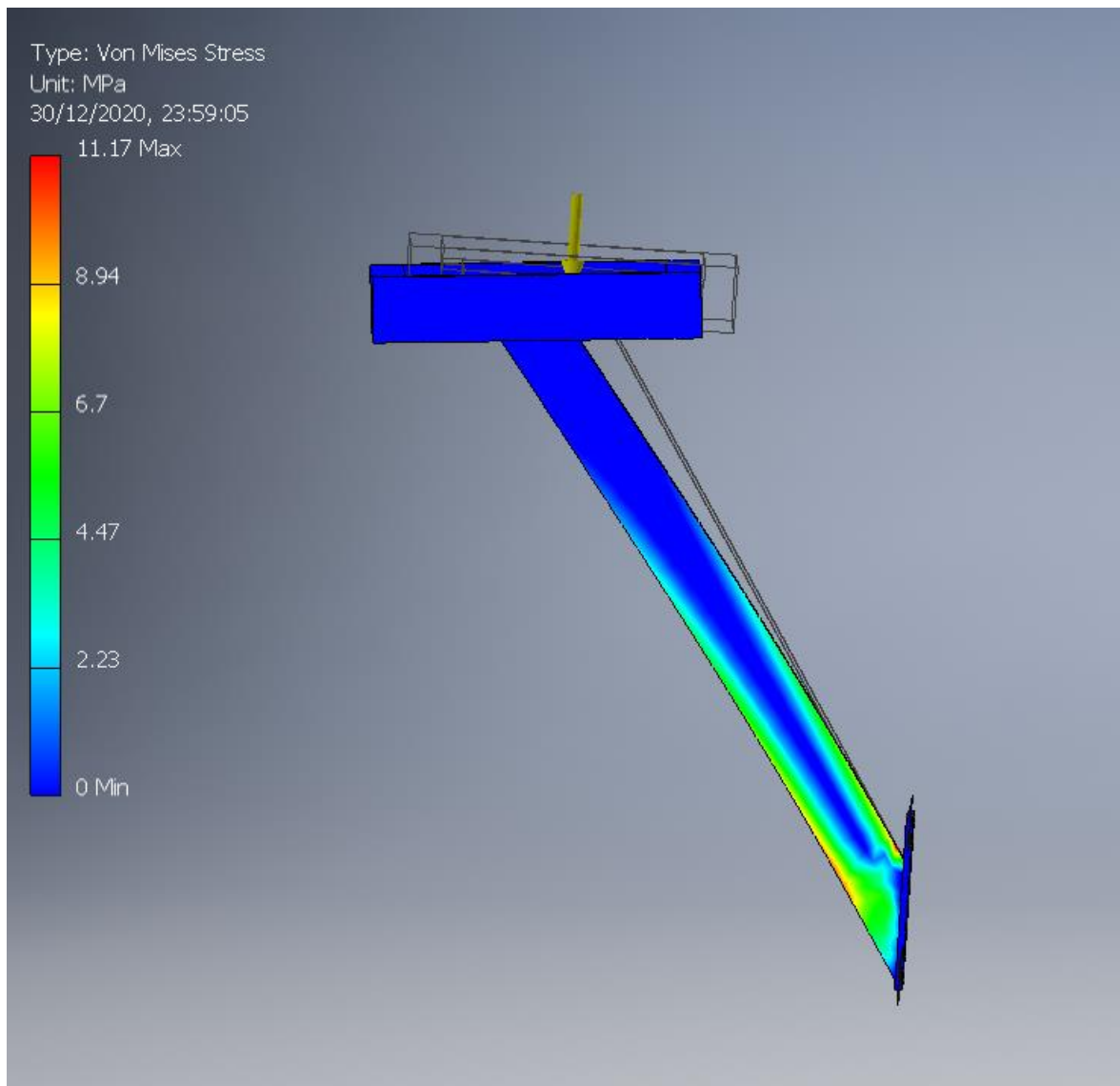
$$[S] = \frac{\sigma_y}{\sigma} = \frac{235}{11,2} = 20,982 \approx 20 \quad (2)$$

,kus

$[S]$ – konstruktsiooni varutegur

σ – tekkinud maksimaalne pinge (MPa)

σ_y – kasutatud materjali voolepiir (MPa)

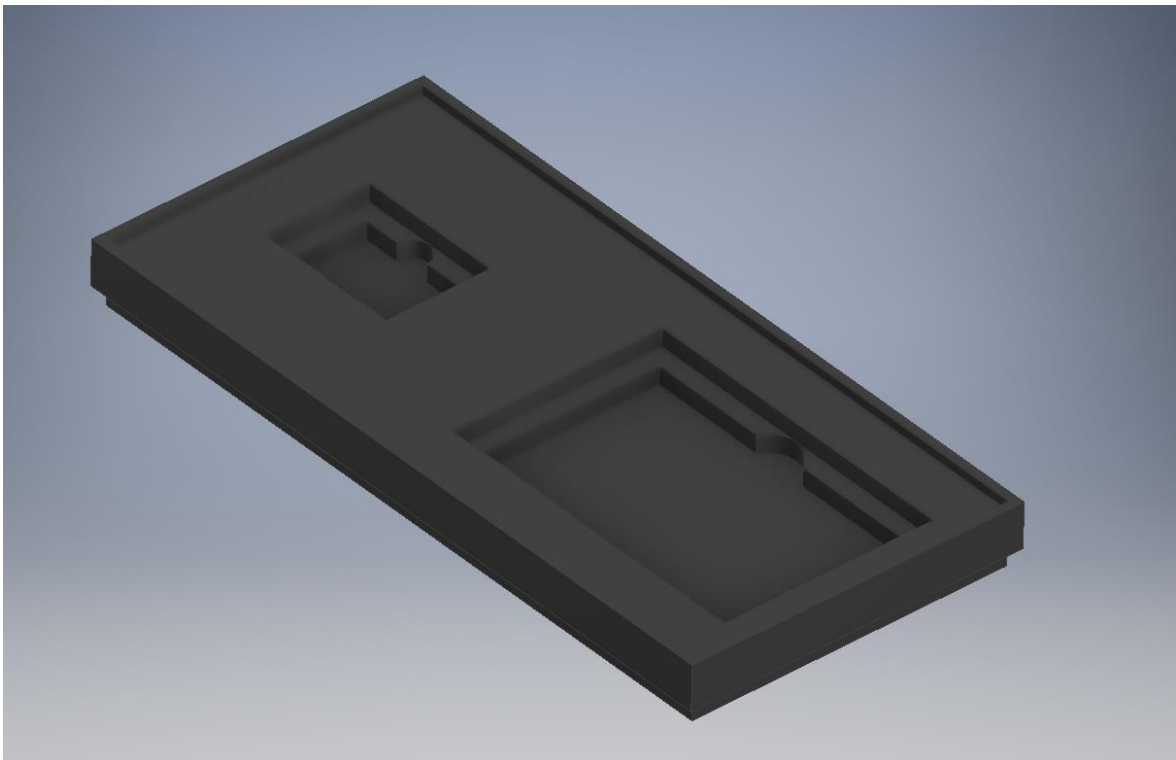


Joonis 23 Konstruktsiooni tugevusanalüüsi simulatsioon

3.3 Koostedetailide sorteerimine

Lisaks liinil asuvatele robotitele tegutseb laos veel üks robot. Selle roboti eesmärgiks on sorteerida ja asetada tarnijatelt saabunud detailid alustele. Robotil on lisandina üks kõrgema defineerimistäpsusega kaamera, millega tuvastatakse ära kuidas detail asetseb ja millise detailiga on tegemist.

Roboti ette lauale kallatakse kastides tarnijatelt saabunud detailid, mida robot hakkab asetama alustele, mis lõpuks viiakse koostamisliinile ja laotakse gravitatsiooniriivile.

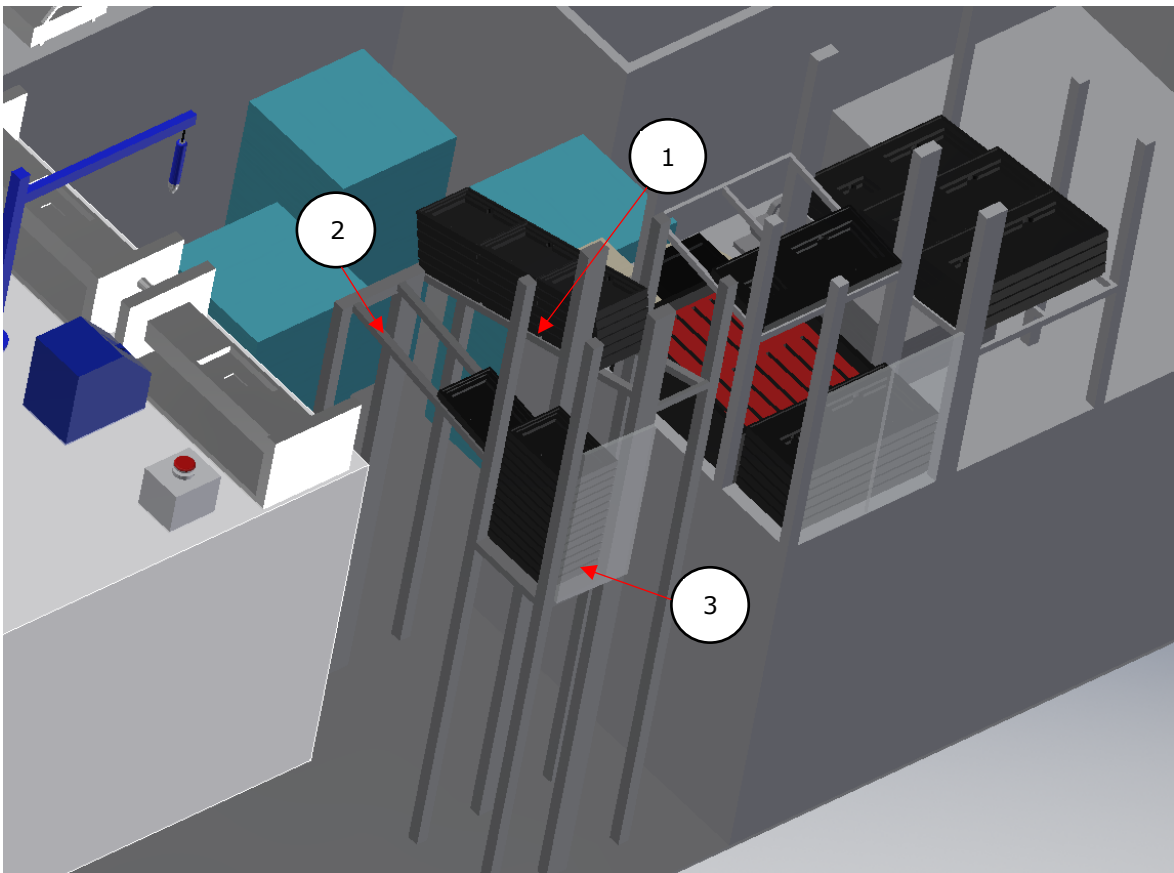


Joonis 24 - Alus komponentide sorteerimiseks

3.4 Töökohtadel koostedetailide käsitlemine

Töökohtadel võtavad koostöörobotid koostedetailid gravitatsiooniriiulitel asetsevatelt alustelt. Lahendus on olnud pikalt kasutuses operaatoritega töö puhul ning vajadusel saab inimene asendada roboti ilma suuremate probleemideta.

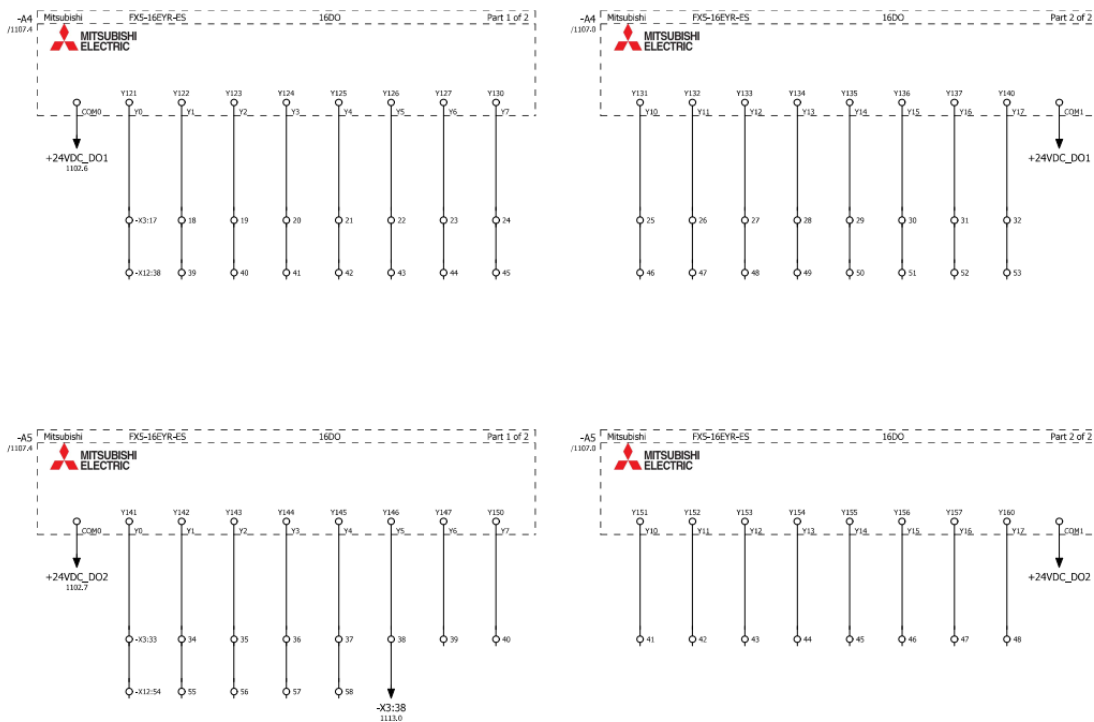
Koostöörobot võtab gravitatsiooniriiulil ette sõitvalt aluselt komponendid ning asetab need tootmisfikstuuridesse. Samal ajal kui tootmisfikstuur teeb tööd asetab robot tühja aluse väljamineva gravitatsiooniriiuli peale, kus alus sõidab tööpingi vastaskülge ja koguneb kuni tuuakse uued alused koos detailidega ning tühjad alused viiakse tagasi lattu.



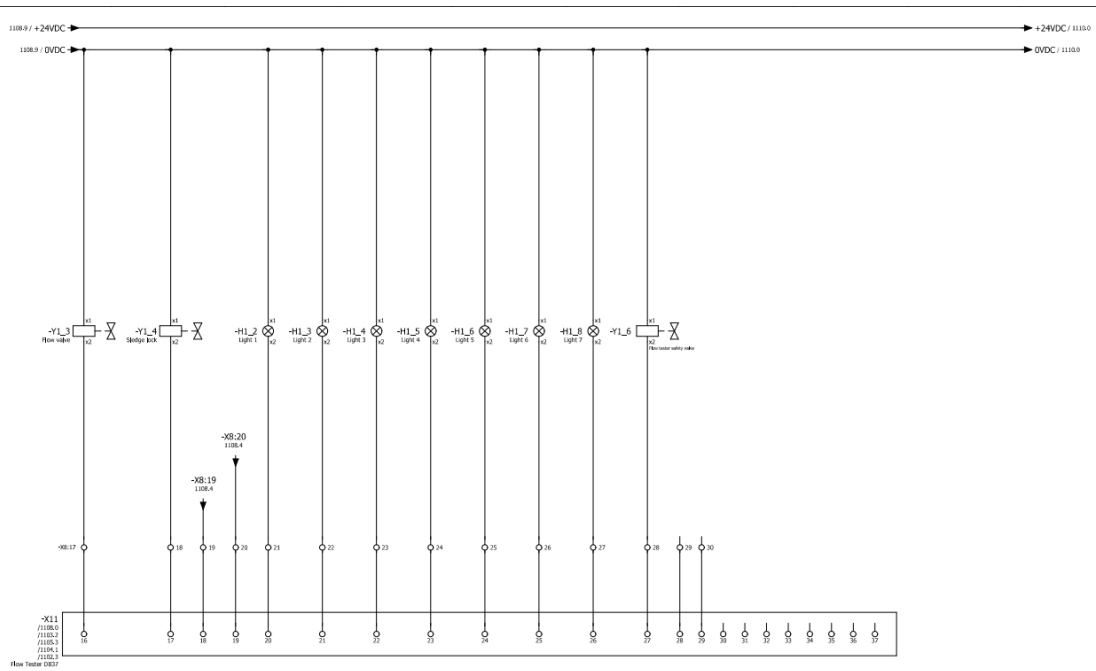
Joonis 25 - Sorteeritud aluste gravitatsiooniriiulid. 1 – sorteeritud komponente sisaldavate aluste riiul. 2 – tühjade aluste väljumisriiul. 3 – tühjade aluste kogunemispunkt.

3.5 Suhtlus koostamisfikstuuride ja koostöörobotite vahel

Iga tööpingi koostamisfikstuuril on sees mikrokontroller. Operaatoriga suhtlemiseks on fikstuuridel mitu nuppu ja LED tuld, mis annavad teavet tööprotsessi kohta. Neid väljundeid mikrokontrolleril saab kasutada ka robotiga suhtlemiseks. Nii on võimalik anda robotile tagasisidet kuna peab sulgema ning avama fikstuari, toote korrektse paigutuse ning komponentide täpse asukoha kontrolli tulemused.



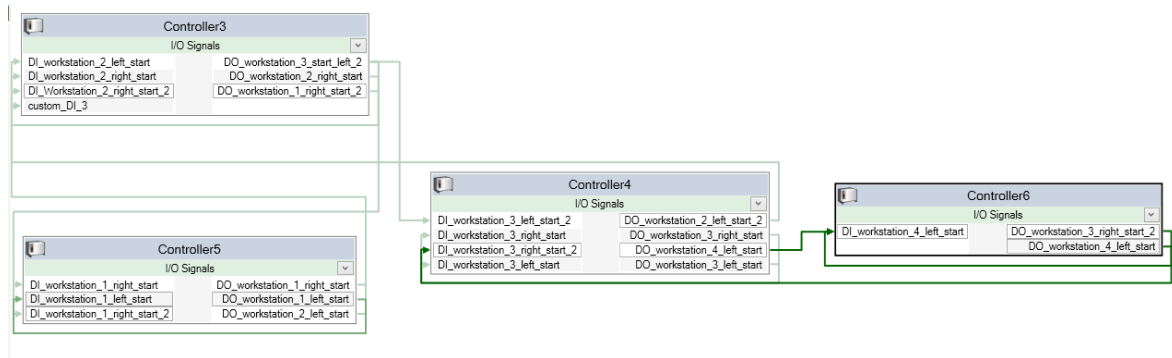
Joonis 26 - Tootmisfikstuari sees oleva mikrokontrolleri sisendid/väljundid



Joonis 27 - Tootmisfikstuuri sees oleva mikrokontrolleri väljundite ühendused LEDide ja nuppudega

Lisaks suhtlemisele tootmisfikstuuridega, suhtlevad igal töökohal asetsevad koostöörobotid ka omavahel, et teavitada teist koostöörobotit detaili olemasolust ja anda luba järgmist koostamisoperatsiooni alustada.

Selleks on igal robotil oma kontrolleri, mille sisendid ja väljundid on ühendatud teiste robotite kontrolleritega nagu on näidatud Joonis 28.



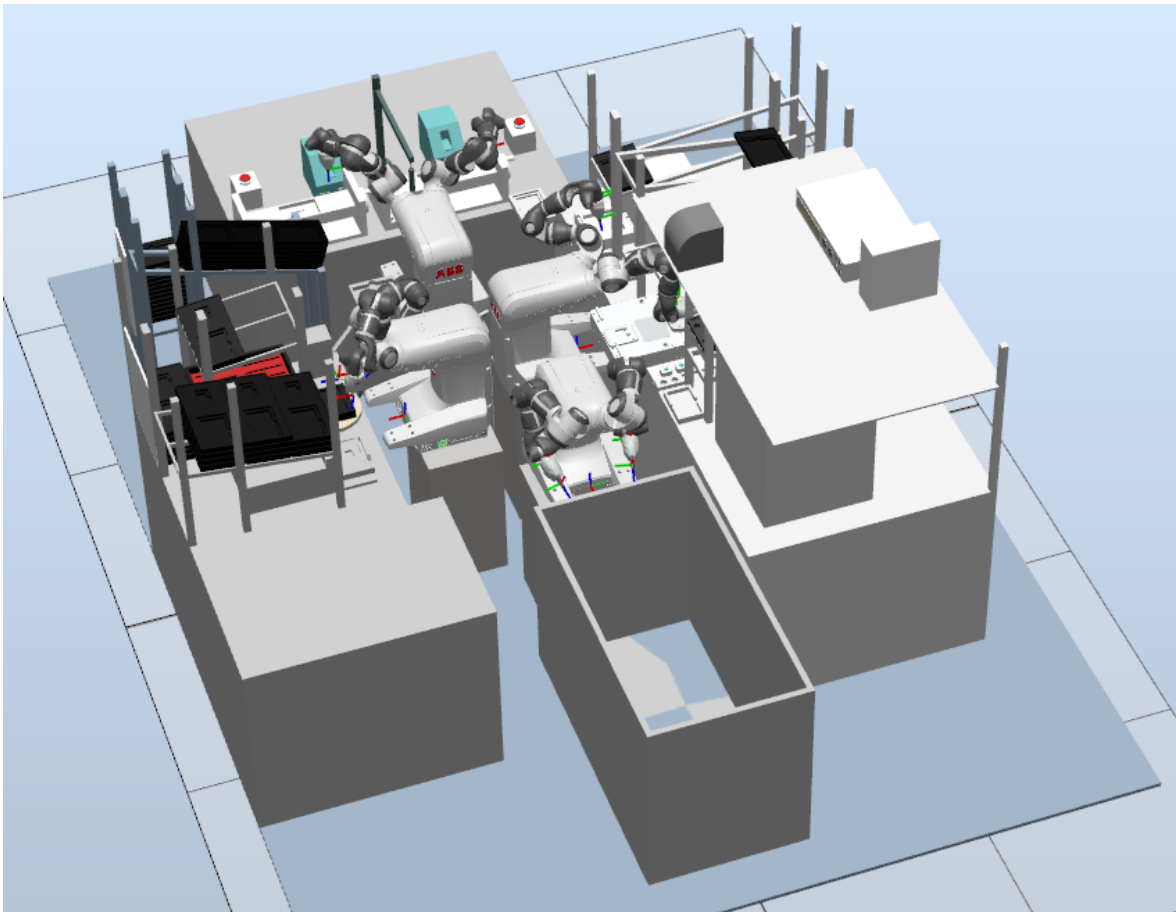
Joonis 28 - Koostöörobotite omavahelised sisendid/väljundid

4 Lõpplahenduse tulemused

4.1 Simulatsioon

Lõpplahenduse simuleerimiseks kasutati tarkvara Robotstudio 2020 [7] ning koostöörobotit YuMi 14000. Simulatsiooni eesmärgiks oli kontrollida kõikide fikstuuride ja detailide kättesaadavust ning roboti haardeulatust. Lisaks sellele kasutati simulatsiooni uue lahenduse tsükliaja leidmiseks.

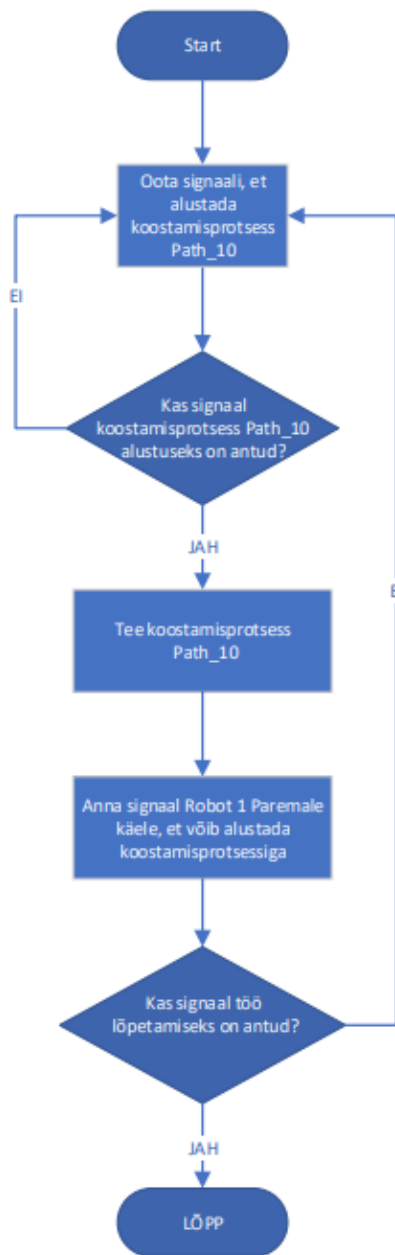
Igal robotil on eraldiseisev kontrolleri ja igal roboti käel oma programm. Robotid on ka omavahel ühenduses digitaalsete sisendite ja väljundite kaudu (Joonis 28). Robotite liikumiskiirused olenevad tehtava operatsiooni täpsuse nõudest, ning varieeruvad 200 – 1500 mm/s vahel.



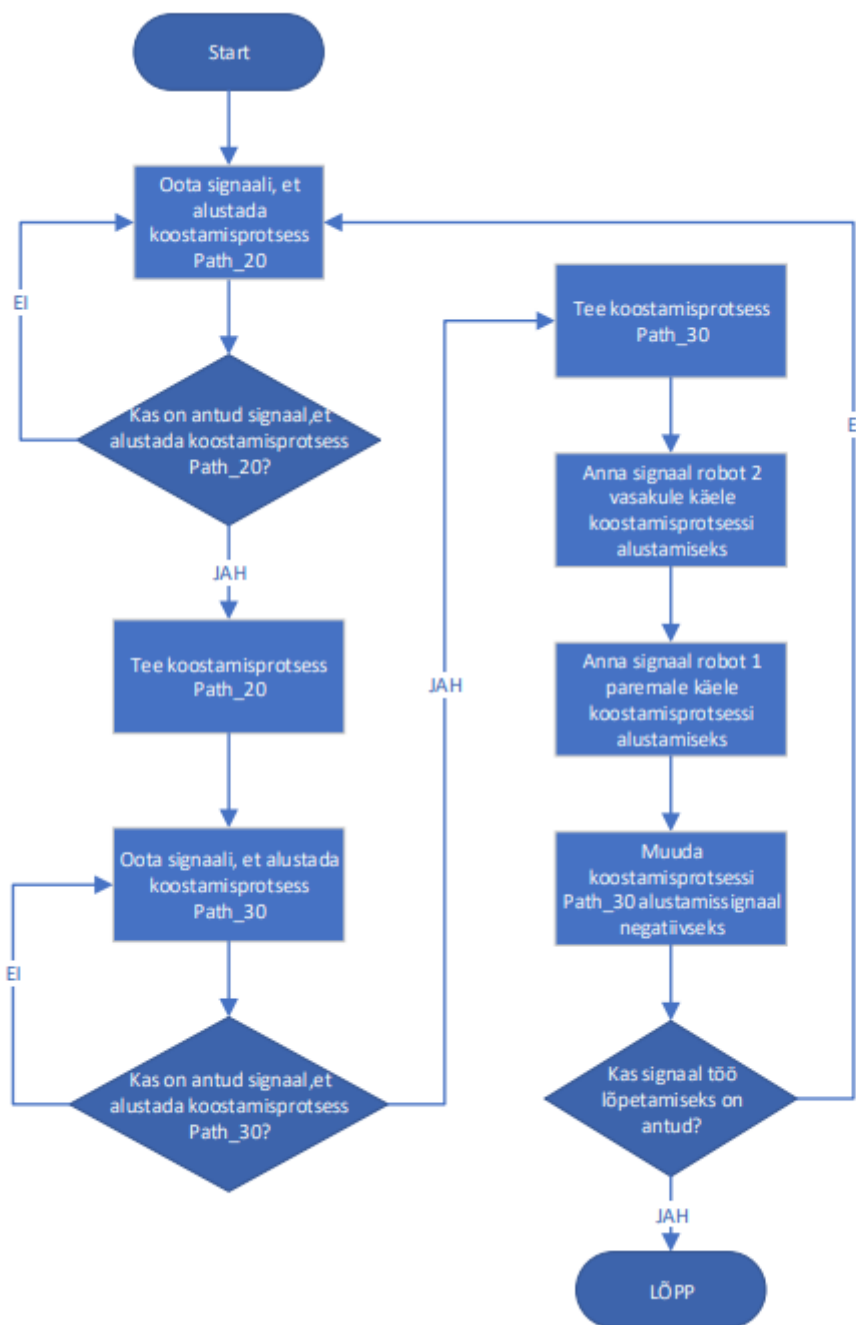
Joonis 29 Simulatsioon tarkvaras Robotstudio 2020

4.2 Programm

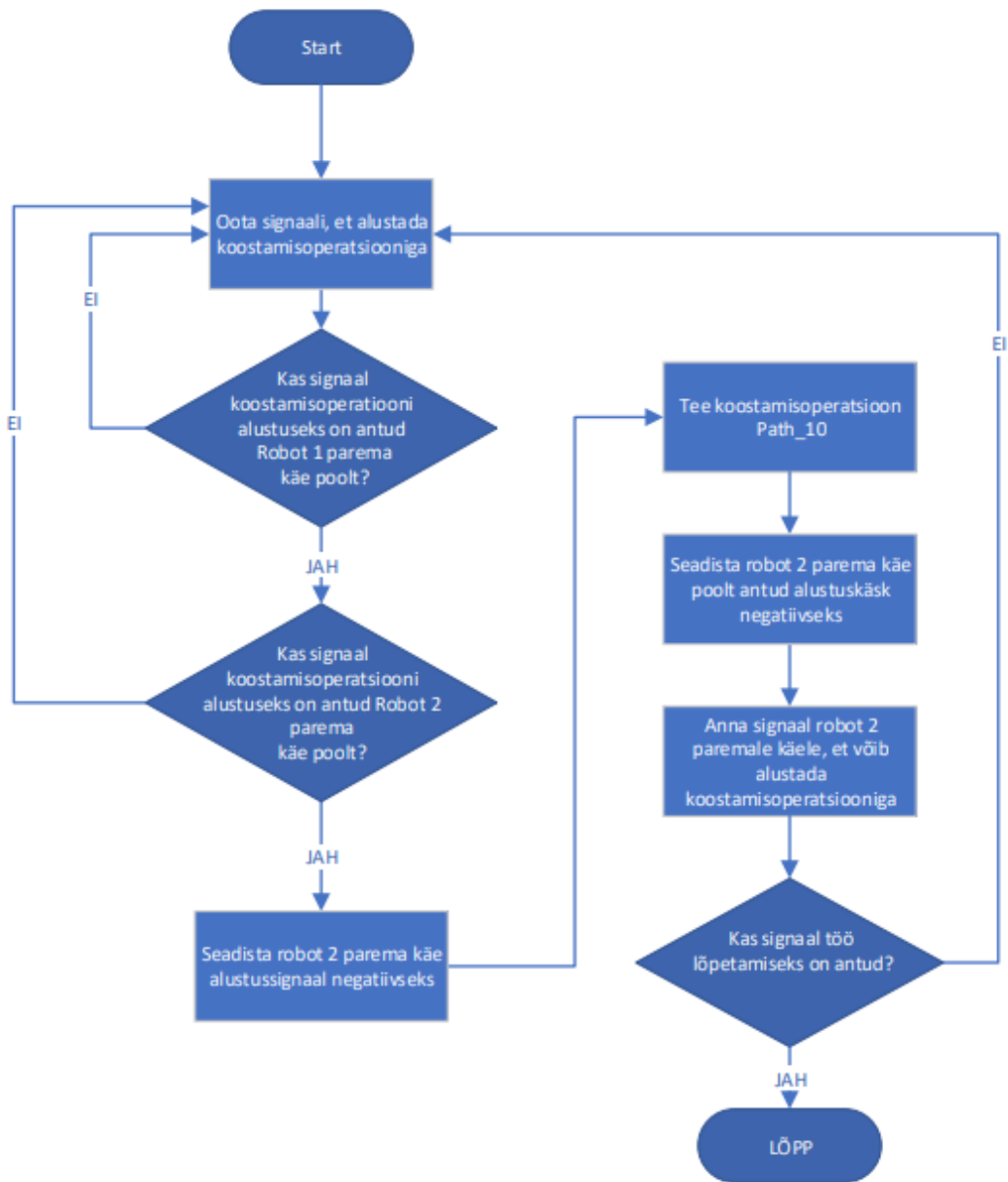
Simulatsioon algab esimese töökoha vasaku käe ning kolmanda töökoha vasaku käe samaaegse tegutsemisega. Seejärel vastavalt signaalidele jätkavad teised robotite käed oma koostamisprotsesse, kuni lõpuks esimene toode pakitakse ja asetatakse pakkimiskasti. Samal ajal on juba poolkoostute valmistamine järgmisel tootel käimas ning nii jätkub töö, kuni antakse stop signaal robotitele. Programmid on leitavad töö peatükis LISAD, robotite vooskeemid Joonis 30 -Joonis 36. Robotite töötrajektorid on nähtavad Joonis 37 - Joonis 40.



Joonis 30 - Robot 1 parema käe vooskeem



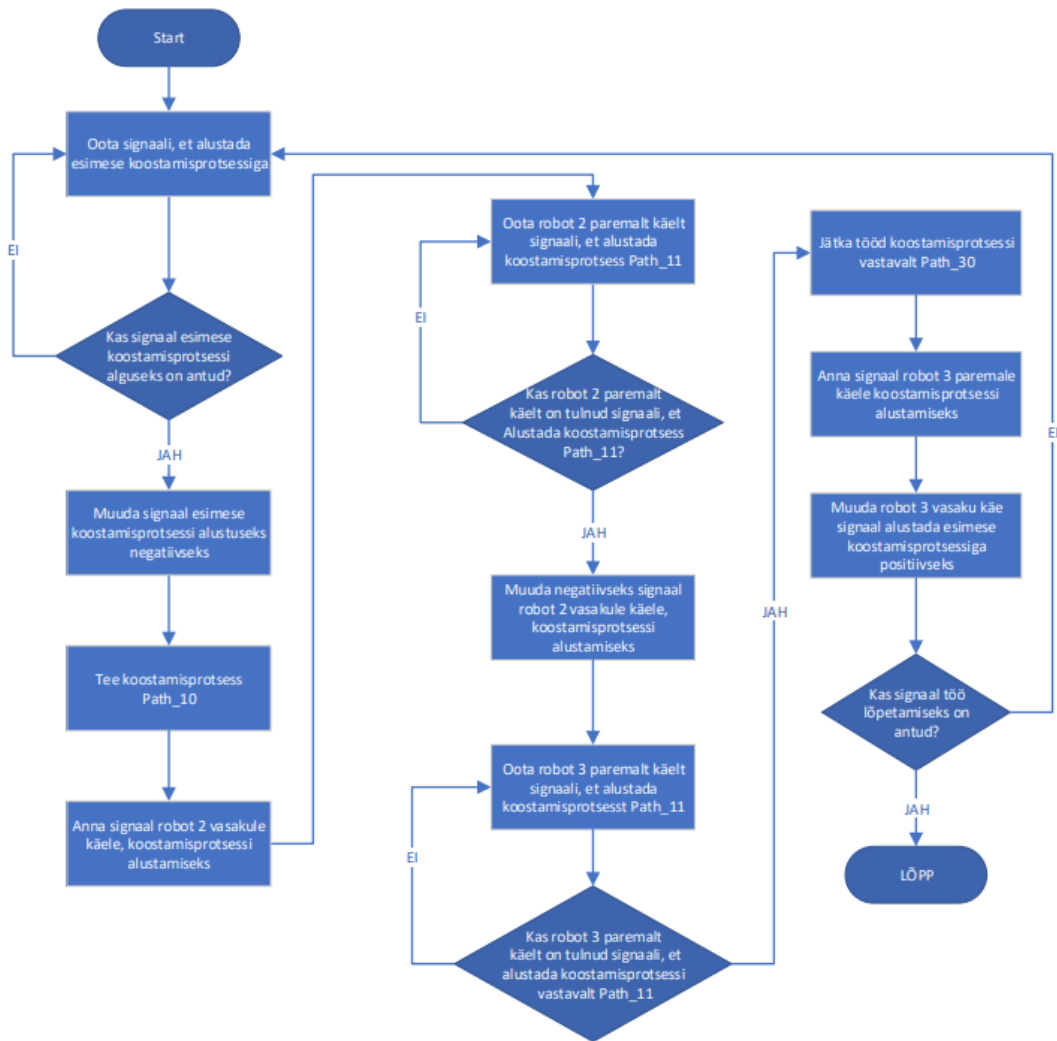
Joonis 31 Robot 1 parema käe vooskeem



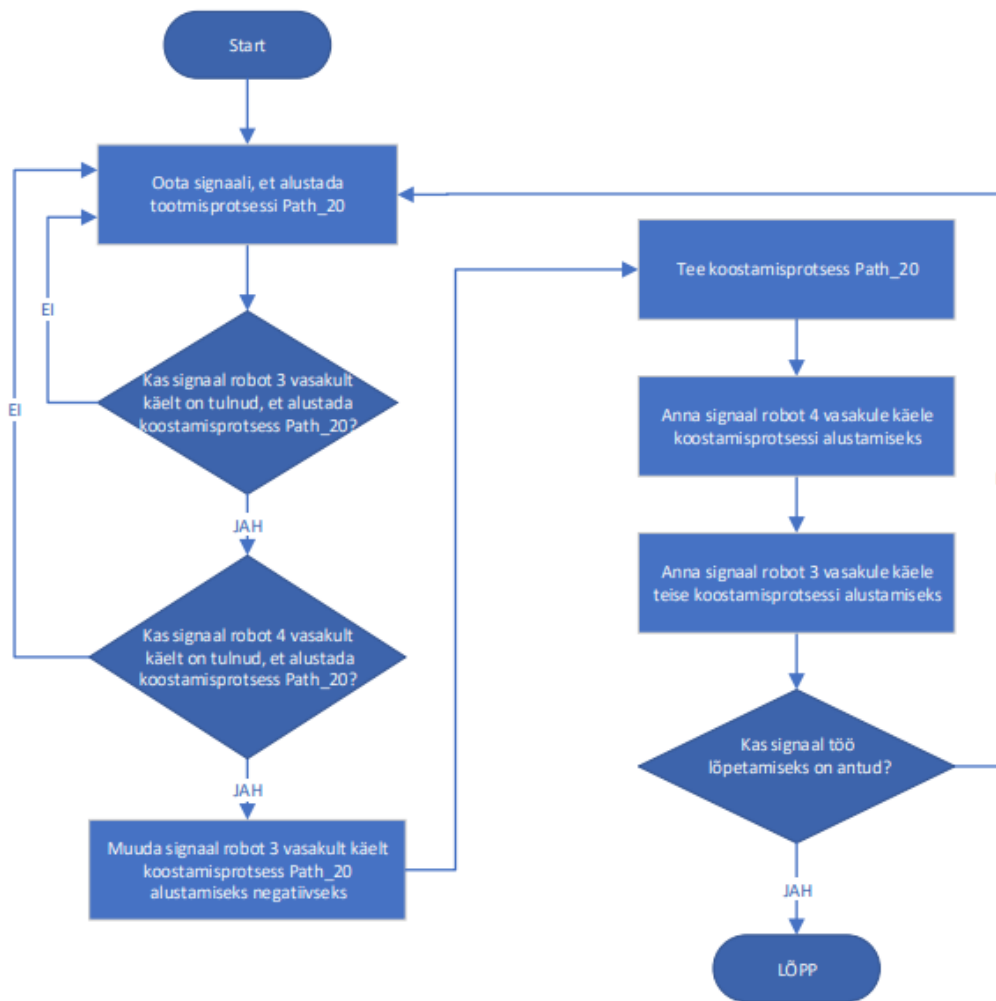
Joonis 32 Robot 2 vasaku käe vooskeem



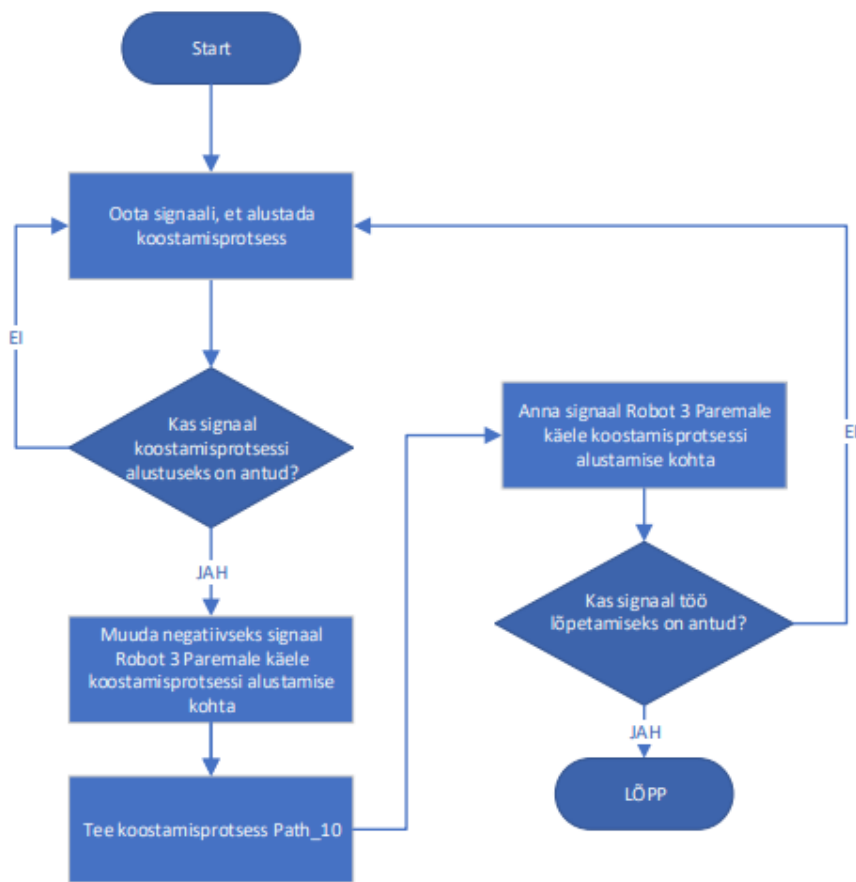
Joonis 33 Robot 2 parema käe vooskeem



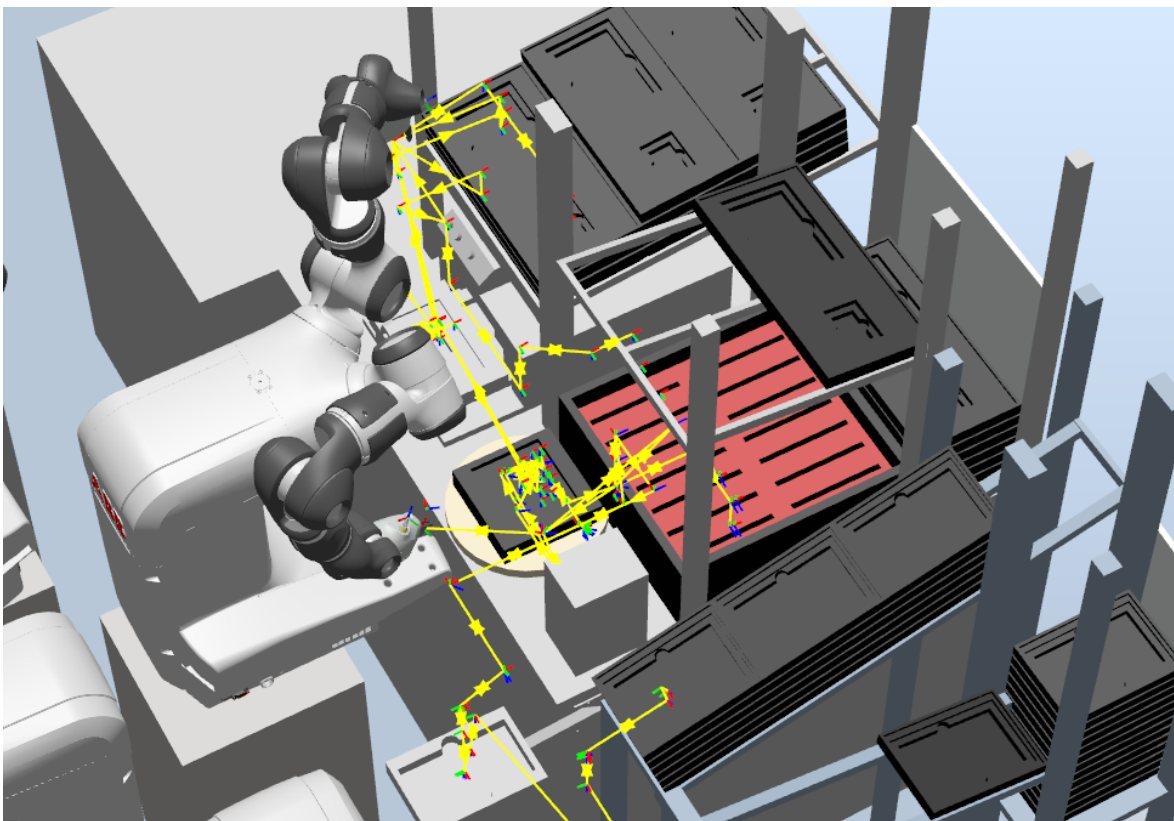
Joonis 34 Robot 3 vasaku käe vooskeem



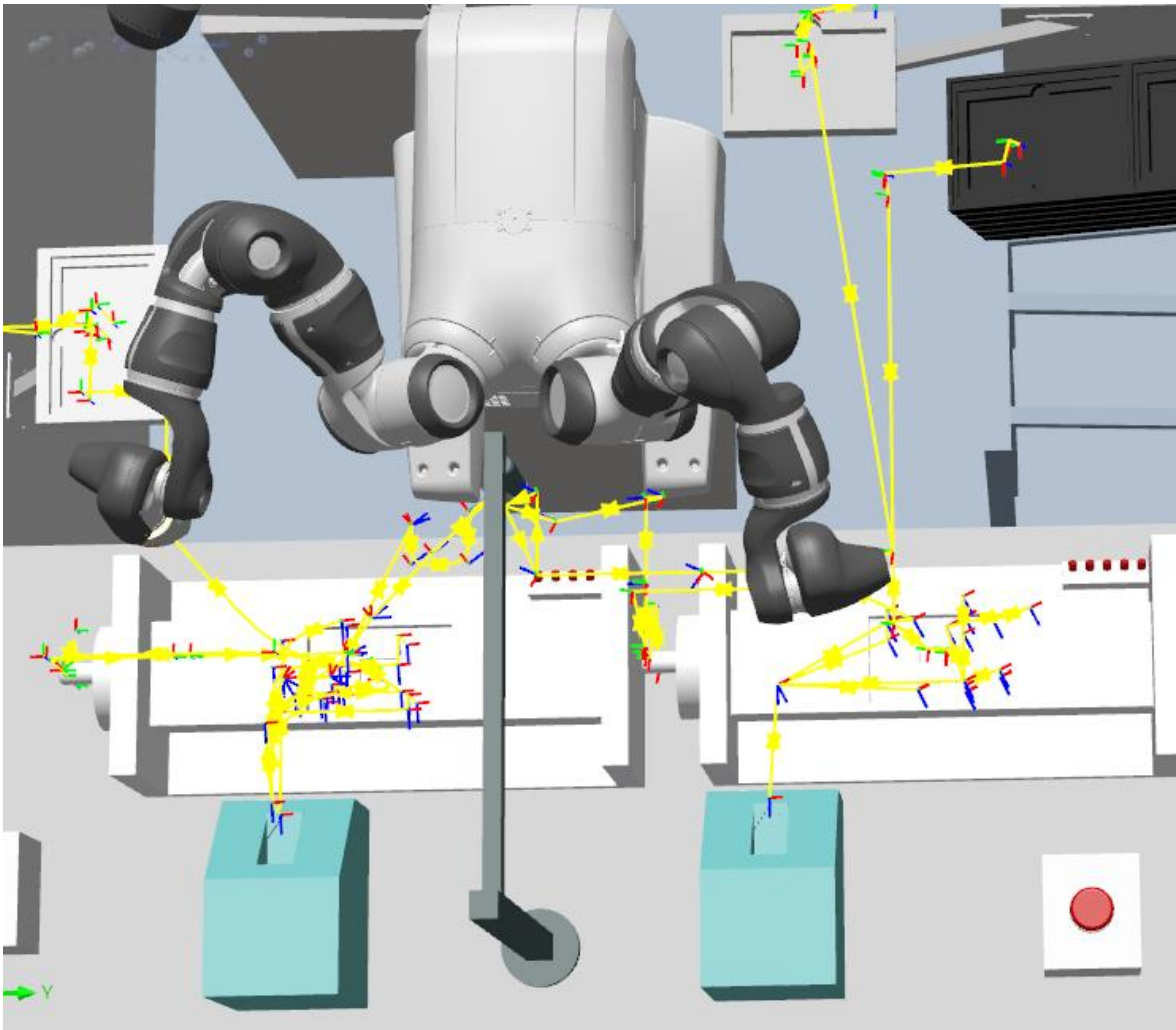
Joonis 35 Robot 3 parema käe vooskeem



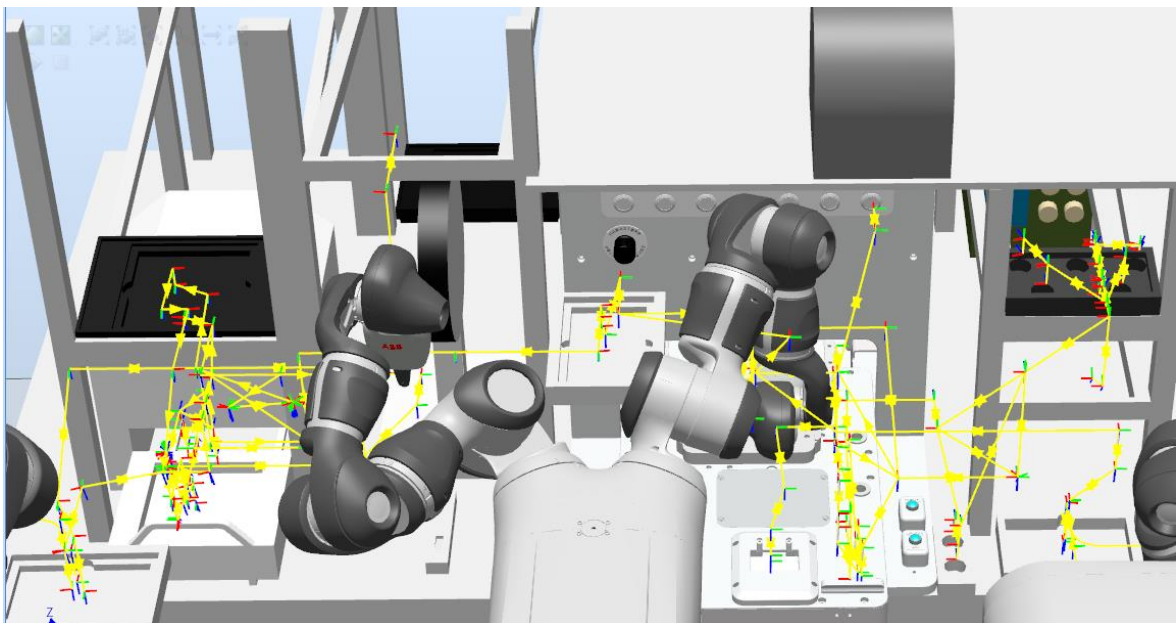
Joonis 36 Robot 4 parema käe vooskeem



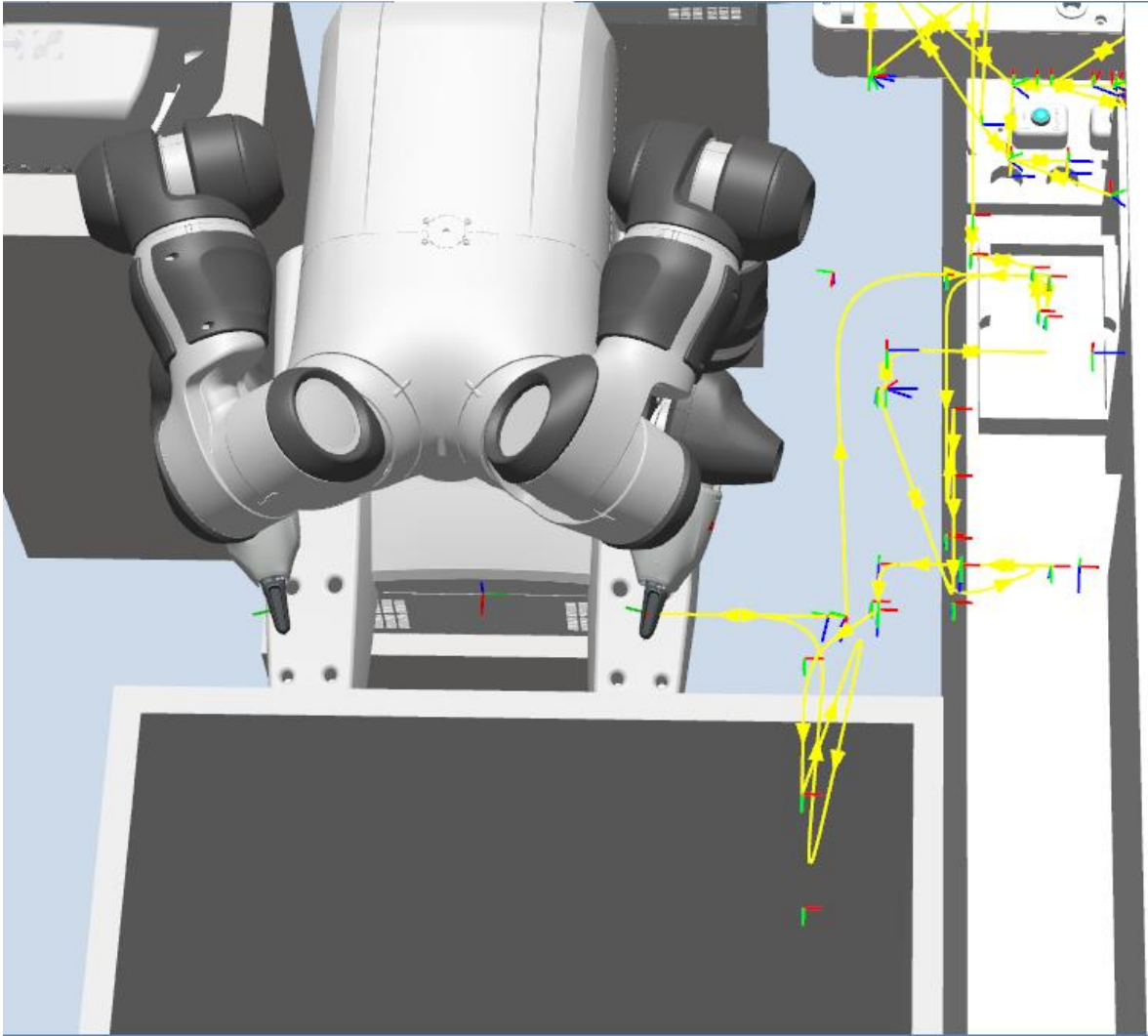
Joonis 37 Töökoht 1 roboti töötrajektor



Joonis 38 Töökoht 2 roboti töötrajektor



Joonis 39 Töökoht 3 roboti töötrajektor



Joonis 40 Töökoht 4 roboti töötrajektoor

4.3 Simulatsiooni tulemused

Simulatsioonist on näha, et kõik koostamisoperatsioonid on tehtavad Joonis 17 väljatoodud asetusega. Lisaks tuli välja, et esimese toote koostamistsükli manuaalne töö võtab 370 sekundit, kuid iga järgneva koostamistsükli manuaalne töö võtab kõigest 180 sekundit. Et leida koostamistsükli aeg, tuleb sellele lisada veel tootmisfikstuuride ja testide aeg, mis on ühe toote kohta 205 sekundit. Leiame, et esimese koostamistsükli lõplik aeg on $370 + 205 = 575$ sekundit ning iga järgneva toote koostamistsükli aeg $180 + 205 = 385$ sekundit.

Selleks, et täita Videolüliliti aastast tootmiskogust, mis on välja toodud Tabel 1 kulub robotiseeritud lahendusel vastavalt valemile (3) 1605 h.

$$t = 1 * t_1 + 14999 * t_2 = 1 * 575 + 14999 * 385 = 5\,775\,190 \text{ s} \approx 1605 \text{ h} \quad (3)$$

, kus

t – aastase tootekoguse tootmiseks kuluv aeg

t_1 – esimese toote koostamistsükli aeg, s

t_2 – iga järgmise toote koostamistsükli aeg, s

Selleks, et täita Videolüliliti aastast tootmiskogust, mis on välja toodud Tabel 1, kulub olemasoleval lahendusel vastavalt valemile (4) 15875 h.

$$t = 15000 * t_3 = 15000 * 492 = 7\,380\,000 \text{ s} \approx 2050 \text{ h} \quad (4)$$

, kus

t – aastase tootekoguse tootmiseks kuluv aeg

t_3 – olemasoleva lahenduse koostamistsükli aeg, s

Valemi (3) ja (4) tulemustest on näha, et robotiseeritud lahendus on võimeline täitma aastast tootmiskogust 445 tundi kiiremini, kui olemasolev lahendus. Kuid valemi (4) tsükliaga pole sisse arvestatud operaatorite lõuna- ega puhkepause ning vahetuste üleandmisi.

5 Riskianalüüs

Tootmisesse uute tehnoloogiate ja lahenduste toomisega kaasnevad alati uued riskid ja ohud. Tabel 4 on välja toodud riskid, hinnatud nende esinemise tõenäosust ja olulisust ning pakutud välja lahendusi nende riskide maandamiseks.

Tabel 4 - Riskianalüüs

Riski kirjeldus	Riski esinemise tõenäosus	Riski olulisus	Hinnang
Puudub roboti kasutamise oskus	Kõrge	Keskmine	Koolitada robotit kasutavad isikud või palgata uus kogemustega inimene.
Puudub roboti hooldamise oskus	Kõrge	Keskmine	Koolitatakse roboti hoolduse eest vastutav isik või tellitakse hooldusteenus väljaspoolt.
Robot on peale töötamist kuum ning võib töötajale ohtlik olla	Keskmine	Kõrge	Lisada lisa andurid, mis näitaksid roboti kuumemate kohtade temperatuuri ning hoiataksid töötajat.
Roboti seadistamisel uuele töökohale tekib inimviga	Keskmine	Kõrge	Markeerida põrandal roboti asetsemispunktid, luua protseduur, mis tuleb läbida enne roboti tööle seadmist, näiteks programmi tühjalt läbi jooksutamine.
Küberturvalisus	Keskmine	Keskmine	Rakendada kõiki küberturvalisuse meetmeid, mis on seni kasutuses ettevõttes. Mõelda läbi IT osakonnaga erilised meetmed koostöörobotite jaoks. Kasutada ainult usaldatud tootjate koostööroboteid ja programme.

Sorteerimisrobot laos on asetanud detailid valesse asendisse sorteerimisalustel	Madal	Kõrge	Enne esimest koostamisprotsessi kontrollida detailide asendeid sorteerimisalustel. Mitte lahkuda enne töökohalt kui esimese toote koostamine on edukalt lõppenud.
Puudulikud turvameetmed	Madal	Kõrge	Lisa turvanõuded ja süsteemid. Koolitatakse kõiki roboti turvalisusega seotud teemadel.
Robot jääb rikke tõttu seisma	Madal	Madal	Lua teavitussüsteem, mis teavitab roboti tööshoidmise eest vastutavat isikut

6 Majanduslike aspektide ülevaade

6.1 Videolüliti robotiseermise tasuvusaja arvutamine

Rethink robotics koostöörobot Sawyeril põhinev kogulahenduse maksumus on ligikaudu 190 000€. Operaatorite personalikulu on ~ 16000€ aastas. Aastal 2020 töötasid operaatorid iga päev kahes vahetuses ehk aastal 2020 oli kokku operaatorite personalikulu 32000€.

Leian Videolüliti töökoha robotiseerimise tasuvusaja:

$$t_4 = \frac{\text{robotiseeritud lahenduse maksumus}}{\text{aastane operaatorite personalikulu}} = \frac{190\,000}{32\,000} = 5,9375 \approx 6 \text{ aastat}$$

t_4 – robotiseeritud lahenduse tasuvusaeg

Kahjuks ei vasta tasuvusaeg peatükis 2.1 ettevõtte poolt kehtestatud tasuvusajale.

6.2 Robotiseeritud lahenduse tasuvusaja arvutamine täielikult utiliseeritud kasutusmeetodil

Kui peatükis 6.1 arvutati robotiseeritud lahenduse tasuvusajaks 6 aastat, siis selle lahenduse puuduseks oli see, et robotid seisid tühjalt pärast Videolüliti aastase koguse täitmist.

Sawyer robotitel on funktsioon, mis lubab neid ümberseadistada uutele töökohtadele ning kui robotid on lõpetanud Videolüliti aastase koguse tootmise, võib neid kasutada teise toote koostamiseks.

Selleks arvutame ligikaudselt, kui mitu % kiirem on robotiseeritud lahendus operaatori tööst. Leiame Tabel 1 manuaalse töö koguse koostamistsükklit, milleks on operaatoril 381 sekundit. Arvutame kui suure protsendi moodustab robotiseeritud lahenduse manuaalse töö operaatori manuaalse töö pikkusest.

$$p = \frac{\text{robotiseeritud lahenduse manuaalne töö} * 100\%}{\text{operaatori manuaalne töö}} = \frac{180 * 100}{381} = 47,244\% \approx 48\%$$

Tulemusest on näha, et robotiseeritud lahendus teeb manuaalse töö pea 2 korda kiiremini, kui operaator. Kasutades seda infot, saame leida, kui palju kiirem oleks robotiseeritud lahendus teistel tootmisliinidel.

6.2.1 Uksemooduli aastase koguse täitmine robotiseeritud lahendusega

Arvutame robotiseeritud lahenduse manuaalse töö pikkuse Šassiimooduli koostamise tsükli ajast:

$$t_5 = \frac{\textit{operaatori manuaalne töö}}{2} = \frac{30}{2} = 15$$

t_5 – robotiseeritud lahenduse manuaalse töö pikkus Šassiimooduli koostamisel, s

Arvutame, kui palju võtaks robotiseeritud lahendusel aega toota Uksemooduli aastane kogus. Selleks leiame robotiseeritud lahenduse Uksemooduli koostamise tsükliaja milleks on, olemasoleva lahenduse tsükliajast maha arvatada robotiseeritud lahenduse manuaalse töö võit:

$$t_6 = 64,5 - 15 = 49,5$$

t_6 – robotiseeritud lahenduse tsükliage Uksemooduli koostamisel, s

Arvutame, kui palju aega kulub robotiseeritud lahendusel Uksemooduli aastase tootmiskoguse täitmiseks:

$$t = t_6 * 180000 = 49,5 * 180000 = 8\,910\,000\text{ s} \approx 2475\text{ h}$$

Arvutame, mitu päeva kulub robotiseeritud lahendusel Uksemooduli aastase tootmiskoguse täitmiseks, kui robotid töötavad 16 h päevas.

$$t = \frac{2475}{16} = 154,688 \approx 155\text{ päeva}$$

6.2.2 Šassiimooduli aastase koguse täitmine robotiseeritud lahendusega

Kuna Šassiimooduli kogu tsükliaja moodustab lõpptest (Tabel 1), ei ole võimalik seda kiirendada robotiseeritud lahendusega. Sellegipoolest on võimalik kasutada robotiseeritud lahendust inimese asemel.

Leiti, kui palju aega kulub robotiseeritud lahendusel Šassiimooduli aastase tootmiskoguse täitmiseks:

$$t = 138 * 93600 = 49,5 * 180000 = 12\,916\,800\,s \approx 3588\,h$$

Leiti, mitu päeva kulub robotiseeritud lahendusel Šassiimooduli aastase tootmiskoguse täitmiseks, kui robotid töötavad 24 h päevas.

$$t = \frac{3588}{24} = 149,5 \approx 150\,päeva$$

Leiti, mitu päeva kulub robotiseeritud lahendusel Šassiimooduli aastase tootmiskoguse täitmiseks, kui robotid töötavad 16 h päevas.

$$t = \frac{3588}{16} = 224,25 \approx 225\,päeva$$

6.2.3 Tasuvusaja arvutamine, kui jagada roboteid Videolüliti, Uksemooduli ning Šassiimooduli koostamisliinide vahel

Aastal 2020 oli ligikaudu 253 tööpäeva. Sellest 100 töötaks koostöörobotid Videolüliti koostamisel, ning kui aastane kogus on täidetud, liigutatakse 1 koostöörobot Uksemooduli koostamisliini taha ning ülejäänud 3 Šassiimooduli koostamisliini taha.

Uksemooduli koostamisel töötavad operaatorid kahes vahetuses ning aastane personalikulu on ligikaudu 32 000€.

Šassiimooduli koostamisel töötavad operaatorid kolmes vahetuses, millest viimane on tasustatud 1,5 korda kõrgemalt kui teised kaks. Seetõttu on Šassiimooduli aastane personalikulu 56 000€.

Kokku oleks Videolüliti, Uksemooduli ning Šassiimooduli koostamiseks vajamineva personali kulu aastas:

$$32000 + 32000 + 56000 = 120\ 000\text{€}$$

Leian robotiseeritud lahenduse tasuvusaja kui kasutada neid mitmel koostamisliinil korraga:

$$t_4 = \frac{\text{robotiseeritud lahenduse maksumus}}{\text{aastane operaatorite personalikulu}} = \frac{190\ 000}{120\ 000} = 1,58 \approx 1,6 \text{ aastat}$$

t_4 – robotiseeritud lahenduse tasuvusaeg

Antud tasuvusaja sisse pole arvestatud robotite ümberseadistamisele kuluvat aega ega ümberseadistamisega tegeleva töötaja personalikulutusi, kuid isegi nii ei vasta lahenduse tasuvusaeg peatükis 2.1 ettevõtte poolt kehtestatud tingimusele.

6.3 Tahmaanduri töökoha robotiseerimise tasuvusaja arvutamine

Kuna tahmaanduri töökoha robotiseerimiseks piisaks vaid ühest robotist, võib arvutada Rethink robotics koostöörobot Sawyeril põhinev kogulahenduse maksumuseks on ligikaudu $\frac{190\,000}{4} = 47\,500\text{€}$. Operaatorite personalikulu on ~16000€ aastas. Aastal 2020 töötasid operaatorid iga tööpäev kolmes vahetuses ning laupäeviti kahes vahetuses. Tööpäeviti töötavate operaatorite personalikulu on ligikaudu 56 000€ , millele lisandub veel nädalavahetusel kahes vahetuses töötajate kulu, mis on ligikaudu $\frac{32000}{5} = 6400\text{€}$. Tahmaanduri töökoha aastane personalikulu on kokku ligikaudu 62 400€.

Leian Tahmaanduri töökoha robotiseerimise tasuvusaja:

$$t_4 = \frac{\text{robotiseeritud lahenduse maksumus}}{\text{aastane operaatorite personalikulu}} = \frac{47\,500}{62\,400} = 0,761 \approx 0,8 \text{ aastat}$$

t_4 – robotiseeritud lahenduse tasuvusaeg

Tahmaanduri töökoha robotiseerimine on vastavuses peatükis 2.1 ettevõtte poolt kehtestatud tasuvusajale.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli analüüsida robotiseermise sobilikkust Stoneridge Electronics AS Tallinna tehase tootmises. Kuna tööjõukulud ja tööjõupuudus lihtsatel ja monotoonsetel töökohtadel on Eestis kasvavas trendis ja ning toodetele määratud kvaliteedinõuded ja tootmismahud on suurenenud tuli idee analüüsida robotiseerimise sobilikkust tootmises.

Töö alguses kaardistati tootmises olevad võimalikud robotiseeritavad töökohad, nende operatsioonid ja parameetrid. Koguti vajalik info, mille põhjal saaks hinnata, kas tootmisliini töökohti on võimalik robotiseerida ja mis oleks tehnoloogilise lahenduse tasuvusaeg.

Järgmises töö etapis valiti kõige keerulisem tootmisliin, milleks osutus Videolüliti tootmisliin. Videolüliti tootmisliinile koostati detailne tehnoloogiline lahendus koostöörobotite põhjal. Lahenduse esimene etapp oli koostamisliini 3D mudeli loomine, mille alusel oli võimalik hinnata robotite haardeulatust ning paigutust. Peale mudeli loomist oli võimalik paika panna roboti valikukriteeriumid. Valikukriteeriumite põhjal valiti sobilik koostöörobot. Tootmisliinile loodi simulatsioon, mis kinnitaks, et koostöörobot on suuteline iga töökohta tootmisprotsesse läbi viima. Simulatsiooni põhjal leiti koostöörobotil põhineva lahenduse tsükliajad. Analüüsiti uue tehnoloogilise lahenduse riske ning pakuti välja lahendusi, kuidas neid maandada.

Põhinedes kõigele eelnevale võib öelda, et robotiseerimine oleks võimalik ettevõtte Stoneridge Electronics AS Tallinna tehases, kuid mitte kõikidel koostamisliinidel. Näiteks Telemaatika üksuse üks koostamisprotsess on liiga keeruline koostööroboti jaoks ning nõuaks selle töökohta täielikku ümberehitust ning automatiseerimist, mis poleks enam majanduslikult otstarbekas.

Simulatsiooni põhjal võib öelda, et koostöörobotid suudavad teha tööd kiiremini, kui operaatorid Videolüliti töökohtadel ning tsükliaja põhjal on võimalik arvutada kui kaua aega võtab robotiseeritud lahendusel aastase tootmiskoguse täitmine ning mis oleks tema tasuvusaeg.

Selleks, et Videolüliti, Šassiimooduli ja Uksemooduli töökohtade robotiseerimine oleks majanduslikult otstarbekas ja tasuvusaeg piisavalt väike, tuleks kasutada nendel töökohtadel mobiilseid koostööroboteid, mida saab vastavalt vajadusele töökohtade vahel liigutada. Kuid selline lahendus toob sisse võimaluse inimvea tekkele, kus robotite liigutamisel ja ülesseadmisel võidakse teha vigu ning kahjustada robotit, tooteid või

tootmisfikstuure. Lisaks sellele, leiti peatükis 6.2.3, et ka kõige paremal juhul ei vasta sellise lahenduse tasuvusaeg peatükis 2.1 ettevõtte poolt kehtestatud tasuvusajale.

Tahmaanduri töökoha robotiseerimine on teoreetiliselt võimalik ning tänu kõrgele koormusele ka majanduslikult otstarbekas nagu leiti peatükis 6.3.

Töö eesmärgid täideti. Leiti tootmises tootmisliinid, millel oleks robotiseerimine võimalik ning millistel koostamisoperatsioonidel pole võimalik operaatorit otseselt asendada koostöörobotiga. Loodi detailne robotiseerimise lahendus ja anti hinnang, kas tootmisliine oleks majanduslikult otstarbekas robotiseerida või mitte.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to analyze the suitability of robotics in the production of Stoneridge Electronics AS Tallinn factory. As labor costs and shortages are on a growing trend in simple and monotonous jobs in Estonia, and the quality requirements and production volumes have increased, which gave even further motivation to analyze the suitability of robotics in production.

At the earliest stage of the work, workstations in production, their operations and parameters were mapped. Necessary information was collected on the basis of whether it would be possible to robotize the production operations on the assembly lines and what would be the payback period of the solution.

The most complex production line was then selected, which turned out to be Video Switch production line. A detailed technological solution for this production line was devised on the basis of collaborative robots. The first stage of the solution was to create a 3D model of the assembly line, on the basis of which the grip reach and position of the robots could be assessed. After that, the selection criteria for the robot were set and a suitable collaboration robot was selected, that met all the selection criteria. A simulation was then created on the production line to confirm that the collaboration robot is able to perform the production processes at each workplace, and cycle times of the solution based on the collaboration robot were also found. Risk analysis of the solution was performed, risks assessed and proposals made how to mitigate them.

Based on all of the above, it can be said that robotisation could be possible in the Tallinn plant of Stoneridge Electronics AS, but not completely. For example, one production process on Telematics unit is too complex for a collaborative robot and would require a complete remake and full automation of the workstation, which would no longer be economically viable.

Based on the simulation it can be said that the collaborative robots can work faster than the operators at the Video Switch workstations and on the basis of the cycle time it is possible to calculate how long it takes for collaborative robots solution to meet annual production volume and what would its payback period be.

In order to make robotization of the Video Switch, Chassis module and Door Module workstations economically feasible and the payback time sufficiently short, mobile collaboration robots should be used at these workplaces, which can be moved between workstations as needed. However, such a solution introduces the possibility of human error, where moving and setting up robots can lead to errors and damage the robot,

products or production fixtures. In addition it was found in Chapter 6.2.3 that, even in the best case scenario the payback period of such a solution does not correspond to the payback period set by the company in Chapter 2.1.

Robotization of the Soot Sensor workstation are theoretically possible and, due to high load it is also economically feasible, as found in Chapter 6.3.

In conclusion, the objectives of the thesis work were filled. Production lines were found in production that could and production processes, where the operator can not be replaced directly by collaborative robot. A detailed robotization solution was developed and an assessment was made as to whether it would be economically viable to robotize these production lines.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

1. Töötukassa tööjõuvajaduse baromeeter [WWW]
https://www.tootukassa.ee/baromeeter/kaart?period=181&profession=8212&indicator=labour_balance (30.12.2020)
2. IRB 14000 YuMi spetsifikatsioon [WWW]
<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-14000-yumi/irb-14000-yumi-data> (30.12.2020)
3. Rethink Robotics Sawyer infoleht [WWW]
<https://www.rethinkrobotics.com/sawyer> (30.12.2020)
4. Rething Robotiks Sawyer spetsifikatsioon [WWW]
https://www.rethinkrobotics.com/fileadmin/user_upload/sawyer/rr-blackedition-brochure_low.pdf (30.12.2020)
5. ISO 10218-1:2011 Robots and robotic devices – Safety requirements for industrial robots – Part 1: Robots
6. Autodesk Inventor Professional 2019. Autodesk kodulehekülj [WWW]
<https://www.autodesk.eu/products/inventor/overview> (30.12.2020)
7. ABB Robotstudio kodulehekülj [WWW]
<https://new.abb.com/products/robotics/robotstudio> (30.12.2020)
8. Mehaanikainseneri käsiraamat / üldtoimetaja P.Kulu. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015
9. Videolüliti tootmisliini parameetrid / Ettevõtte sisedokument
1228_001-076101 01 – Routing input.xls (11.03.2020, in English)
10. Telemaatika üksuse tootmisliini parameetrid / Ettevõtte sisedokument
1228_001-204050 10 – Routing input.xls (10.07.2019, in English)
11. Uksemooduli tootmisliini parameetrid / Ettevõtte sisedokument
1228_001-204060 03 – Routing input.xls (07.12.2017, in English)
12. Šassiimooduli tootmisliini parameetrid / Ettevõtte sisedokument
1228_001-204059 09 – Routing input.xls (20.12.2017, in English)
13. Tahmaanduri tootmisliini parameetrid / Ettevõtte sisedokument
1228_001-204049 01 – Routing input.xls (11.12.2018, in English)
14. Uuenduslik tootmine käsiraamat / üldtoimetaja J. Riives. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2011

LISAD

Lisa 1 Robot 1 vasaku käe main programm ja Path_10 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega

```
PROC main()
  WHILE TRUE DO
    WaitDO DO_workstation_1_left_start,1;
    WaitTime 2;
    SetDO DO_workstation_1_left_start,0;
    Path_10;
    SetDO DO_workstation_1_right_start,1;
  ENDWHILE
ENDPROC

PROC Path_10()
  MoveL Home_1st_left,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_10,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_20,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_30,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_40,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_41,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_43,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_44,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_44_2,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_45,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_46,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_46_2,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_60,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_70,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_80,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_90,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_100,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_110,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_120,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_130,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_150,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_160,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_170,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_180,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_190,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_200,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_210,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_220,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_230,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_240,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_250,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_260,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_270,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_280,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_290,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_300,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_310,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_330,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_340,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
  MoveL Target_350,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;
```

```
MoveL Target_360,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_370,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_380,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_400,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_410,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_420,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_430,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_440,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
MoveL Target_999,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_left;  
ENDPROC
```

**Lisa 2 Robot 1 parema k e main programm ning Path_20 ja Path_30
koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega**

```
PROC main()
  WHILE TRUE DO
    WaitDO DO_workstation_1_right_start,1;
    WaitTime 2;
    SetDO DO_workstation_1_right_start,0;
    Path_20;
    WaitDI DI_workstation_1_right_start_2,1;
    Path_30;

    SetDO DO_workstation_2_left_start,1;
    WaitTime 10;
    PulseDO\High\PLength:=pi,DO_workstation_1_left_start;
    SetDO DO_workstation_2_left_start,0;
  ENDWHILE
ENDPROC

PROC Path_20()
  MoveL Target_1,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_11,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_12,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_20,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_30,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_40,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_50,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_60,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_70,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_80,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_90,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_100,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_110,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_330,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_340,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_350,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_360,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_370,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_380,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_390,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_400,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_410,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_420,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_430,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_440,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_450,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_460,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_470,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_480,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_490,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_500,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_510,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_520,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_530,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_540,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_550,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
  MoveL Target_560,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_1_right;
```



```
MoveL Target_1120,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1130,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1140,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1150,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1160,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1170,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1180,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1190,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1200,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1210,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1220,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;  
MoveL Target_1230,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_right_2;
```

ENDPROC

**Lisa 3 Robot 2 vasaku k e main programm ning Path_10 koordinaadid koos
liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega**

```
PROC Main_workstation_2_left()
```

```
  WHILE TRUE DO
```

```
    WaitDI DI_workstation_2_left_start,1;  
    WaitDO DO_workstation_2_left_start_2,1;  
    SetDO DO_workstation_2_right_start,0;  
    WaitTime 2;  
    Path_10;  
    SetDO DO_workstation_2_left_start_2,0;  
    SetDO DO_workstation_2_right_start,1;
```

```
  ENDWHILE
```

```
ENDPROC
```

```
PROC Path_10()
```

```
  MoveL Target_1_home_2,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_20,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_30,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_40,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_50,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_60,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_70,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_80,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_90,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_99,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_100,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_101,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_102,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_103,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_104,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_105,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_106,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_107,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_108,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_109,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_110,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_180,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_190,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_200,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_210,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_220,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_230,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_240,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_250,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_260,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_270,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_280,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_290,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_300,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_310,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_320,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_330,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_331,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_332,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_333,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;  
  MoveL Target_334,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
```


MoveL Target_1267,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1268,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1269,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1270,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1280,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1290,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1300,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1301,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1302,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1303,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1304,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1305,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1306,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1307,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1308,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1309,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1310,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1311,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1312,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1313,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1314,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1315,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1316,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1317,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1318,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1319,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;
MoveL Target_1320_home,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_2_left;

ENDPROC

Lisa 4 Robot 2 parema k e main programm ning Path_20 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega

```
PROC Main_workstation_2_right()
```

```
  WHILE TRUE DO
```

```
    WaitDO DO_workstation_2_right_start,1;  
    WaitDI DI_Workstation_2_right_start_2,1;  
    WaitTime 2;  
    Path_20;  
    SetDO DO_workstation_2_right_start,0;  
    SetDO DO_workstation_3_start_left_2,1;  
    WaitTime 5;  
    SetDO DO_workstation_3_start_left_2,0;  
    SetDO DO_workstation_2_left_start_2,1;  
    SetDO DO_workstation_1_right_start_2,1;  
    SetDO DO_workstation_1_right_start_2,0;
```

```
  ENDWHILE
```

```
ENDPROC
```

```
PROC Path_20()
```

```
  MoveL Target_10_home,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_40,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_50,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_60,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_70,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_80,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_90,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_100,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_110,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_120,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_130,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_140,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_150,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_160,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_170,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_180,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_190,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_200,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_210,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_220,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_230,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_240,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_250,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_260,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_270,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_271,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_290,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_300,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_310,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_320,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_330,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_340,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_350,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_360,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_370,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_380_end_turning,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;  
  MoveL Target_390,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_2_right;
```


**Lisa 5 Robot 3 vasaku k e main programm ning Path_10 ja Path_11
koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega**

```
PROC Main()  
  WHILE TRUE DO  
    WaitDI DI_workstation_3_left_start,1;  
    WaitTime 2;  
    SetDO DO_workstation_3_left_start,0;  
    Path_10;  
    SetDO DO_workstation_2_left_start_2,1;  
    WaitDI DI_workstation_3_left_start_2,1;  
    SetDO DO_workstation_2_left_start_2,0;  
    WaitDO DO_workstation_3_left_start_3,1;  
    SetDO DO_workstation_3_left_start_3,0;  
    Path_11;  
    SetDO DO_workstation_3_right_start,1;  
    SetDO DO_workstation_3_left_start,1;  
  ENDWHILE  
ENDPROC
```

```
PROC Path_10()  
  MoveL Target_1_home,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_2,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_3,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_80,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_90,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_100,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_110,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_120,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_160,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_170,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_190,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_200,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_210,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_220,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_230,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_240,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_250,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_260,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_270,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_280,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_290,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_300,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_310,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_320,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_330,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_340,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_350,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_360,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_370,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_380,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_390,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_400,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_410,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_411,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_412,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;  
  MoveL Target_413,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left;
```



```
PROC Path_11()  
  MoveL Target_1590_home,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1600,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1610,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1620,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1630,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1640,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1650,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1660,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1670,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1680,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1690,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1700,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1710,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1720,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1730,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1740,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1750,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1760,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1770,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1780,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1790,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1800,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1810,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1820,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1830,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1840,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1850,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1860,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
  MoveL Target_1870_end,v200,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_left_2;  
ENDPROC
```

Lisa 6 Robot 3 parema k e main programm ning Path_20 koordinaadid koos liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega

```
PROC Main_workstation_3_right()  
  WHILE TRUE DO  
    WaitDI DI_workstation_3_right_start,1;  
    WaitDI DI_workstation_3_right_start_2,1;  
    WaitTime 2;  
    SetDO DO_workstation_3_right_start,0;  
    Path_20;  
    PulseDO DO_workstation_4_left_start;  
    SetDO DO_workstation_3_left_start_3,1;  
  ENDWHILE  
ENDPROC
```

```
PROC Path_20()  
  MoveL Target_1,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_10,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_20,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_30,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_40,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_70,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_80,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_90,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_100,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_110,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_120,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_130,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_140,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_150,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_160,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_170,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_180,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_190,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_200,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_210,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_230,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_240,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_250,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_260,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_270,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_280,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_290,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_300,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_310,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_320,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_330,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_340,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_350,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_360,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_370,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_380,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_390,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_400,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_410,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_420,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
  MoveL Target_430,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;
```



```
MoveL Target_3860,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
MoveL Target_3940,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
MoveL Target_3950,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
MoveL Target_3960,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
MoveL Target_3961_end,v1500,fine,Servo\WObj:=Workstation_3_right;  
ENDPROC
```

**Lisa 6 Robot 4 vasaku k e main programm ning Path_10 koordinaadid koos
liikumiskiiruse ja positsioneerimistäpsusega**

```
PROC main()  
  WHILE TRUE DO  
    WaitDI DI_workstation_4_left_start,1;  
    WaitTime 5;  
    SetDO DO_workstation_3_right_start_2,0;  
    Path_10;  
    SetDO DO_workstation_3_right_start_2,1;  
  ENDWHILE  
ENDPROC
```

```
PROC Path_10()  
  MoveL  
Target_10_start_of_problem,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_20,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_30,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_40,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_50,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_70,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_80,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_90,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_100,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_110,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_120,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_130,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_140,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_150,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_160,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_170,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_180_before_scan,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_1,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_2,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_3,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_4,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_5,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_6,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_7,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_8,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_9,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_181_10,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_200,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_210,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_220,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_230,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_240,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_250,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_260,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_270,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_280,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_290,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_300,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_310,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_320,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_330,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
  MoveL Target_331,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;
```

```
MoveL Target_340,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
MoveL Target_350_end,v1000,z100,Servo\WObj:=Workstation_4_left;  
ENDPROC
```