



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

KEEVITUSROBOTI JUURUTAMINE ETTEVÖTTES VAAKUM OÜ

IMPLEMENTATION OF WELDING ROBOT AT VAAKUM OÜ

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Kevin Pajula

Üliõpilaskood: 176931 MATM

Juhendaja: Martinš Sarkans, dotsent

Tallinn 2019

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.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201....

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Mehaanika ja tööstustehnika instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Kevin Pajula, 176931 (nimi, üliõpilaskood)
Õppekava, peeriala: MATM, tootmistehnika (kood ja nimetus)
Juhendaja(d): dotsent, Martinš Sarkans, 620 3267 (amet, nimi, telefon)
Vaakum OÜ, 6 010 887, info@vaakum.ee (ettevõtte, telefon, e-post)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Keevitusroboti juurutamine ettevõttes Vaakum OÜ

(inglise keeles) Implementation of welding robot at Vaakum OÜ

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida ettevõtte Vaakum OÜ tootesortimendis oleva tüüptoote keevitusrobotile juurutamise otstarbekust.
2. Projekteerida tootele sobilik keevitusrakis.
3. Kavandada robotjaam ning teostada selle tasuvusanalüüs.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülevaade projekteeritavast süsteemist ning kriteeriumite seadmine	18.02.2019
2.	Keevitustehnoloogia kaardistamine ja rakise projekteerimine	19.04.2019
3.	Keevitusjaama projekteerimine, robotkeevitusele programmi loomine, tasuvusanalüüs	01.05.2019

Töö keel: **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....."201....a

Üliõpilane: "....."201....a
/allkiri/

Juhendaja: "....."201....a
/allkiri

SISUKORD

SISUKORD	3
JOONISTE LOETELU.....	4
TABELITE LOETELU.....	5
EESSÕNA.....	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. ÜLESANDE PÜSTITUS.....	8
3. KEEVITUSE AUTOMATISEERIMISE EESMÄRK.....	10
4. TOOTMISMAHTUDE ANALÜÜS.....	11
4.1 Kärude alusraamid	11
4.2 Potentsiaalsed tooted	13
5. KEEVITUSTEHNOLOOGIA KAARDISTUS.....	15
5.1 Alusraami detailid.....	15
5.2 Keevitustehnoloogia.....	16
5.3 Teiste kärude alusraamide keevitusajad	22
6. RAKISE PROJEKTEERIMINE	24
6.1 Projekteerimise käik	25
6.2 Projekteeritud lahendus.....	30
6.3 Keevitusjärjekord	31
6.4 Rakise valmistamise kulu.....	34
7. ROBOTSÜSTEEMI KOMPLEKTEERIMINE	35
7.1. Robot ja kontrollid	35
7.2 Keevitusseadmed	39
7.3 Keevitusroboti töökeskuse asendiplaan.....	42
8. ROBOTSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE ROBOTSTUDIOS	45
8.1 Süsteemi ülesehitus RobotStudio tarkvara kasutades	45
8.2 Robotile töökäskude projekteerimine	48
8.3 Käsikeevituse ja robotkeevituse ajaline võrdlus	53
9. ABB robotsüsteemi maksumus	55
10. MAJANDUSNÄITAJATE ARVUTUS	56
KOKKUVÕTE.....	61
SUMMARY	63
KASUTATUD MATERJALID	65
LISAD	66
Lisa 1. Joonised.....	66

JOONISTE LOETELU

Joonis 1.1 Trolley Total koristuskäru [1]	7
Joonis 2.1 Koristuskäru alusraam	8
Joonis 4.1.1 Suur koristuskäru 4198160	12
Joonis 4.1.2 Väike koristuskäru 4158313	12
Joonis 4.2.1 U-piik perfoseinale	13
Joonis 4.2.2 Kannaga piik, L550.....	13
Joonis 4.2.3 Harvik.....	14
Joonis 5.1.1 Alusraami koost	15
Joonis 5.2.1 Alusraami põhjatoru asetus keevitusrakises	16
Joonis 5.2.2 Vahepuude keevitamine alusraami toru külge	17
Joonis 5.2.3 Põhjatraatide keevitus	18
Joonis 5.2.4 Ämbriplaadi keevitus.....	19
Joonis 5.2.5 Tappide keevitus	19
Joonis 5.3.1 Koristuskäru 4198220 [1]	22
Joonis 5.3.2 Koristuskäru 4198503 [1]	22
Joonis 6.1.1 Tapi positsioneerimine	25
Joonis 6.1.2 Hülsi koost	26
Joonis 6.1.3 Tapi positsioneerija elemendid	26
Joonis 6.1.4 Soontega detailid koos mopihoidja traadiga.....	27
Joonis 6.1.5 Põhjatoru paigaldus tappidele	28
Joonis 6.1.6 Vahepuude ja plaadi tugipostid.....	28
Joonis 6.1.7 Traatide kinnituselement "kamm"	29
Joonis 6.2.1 Projekteeritud rakis koos alusraamiga	30
Joonis 6.2.2 Projekteeritud rakise komponendid	30
Joonis 6.3.1 Keevisliited	32
Joonis 7.1.1 ABB IRB 1660ID robot [3]	36
Joonis 7.1.2 Roboti tööala (joonisel ühikud millimeetrites) [3]	36
Joonis 7.1.3 IRC5C kontrolleri (mõõtmetega 310 mm x 449 mm x 442 mm ja kaaludes 30kg) [4]	38
Joonis 7.1.4 IRC5 kontrolleri [5]	38
Joonis 7.1.5 Teach Pendant õpetamispult [6]	39
Joonis 7.2.1 Keevitusseade Fronius TPS320i [7].....	40
Joonis 7.2.2 Traadisöötja Fronius WF 25i R [10]	41

Joonis 7.2.3 Keevitustõlvik Fronius WF 25i ROBACTA DRIVE [11]	41
Joonis 7.2.4 WF 25i ROBACTA DRIVE ja tavalise tõlviku võrdlus [11]	42
Joonis 7.2.5 Põleti puhastusseade Binzel TCS Compact [12]	42
Joonis 7.3.1 Tootmishoone lihtsustatud plaan	43
Joonis 7.3.2 Töökeskuse lihtsustatud asendi plaan	44
Joonis 8.1.1 Komponentide asendi määramine	46
Joonis 8.1.2 Töökeskus	47
Joonis 8.1.3 Töökeskus pealtvaates	48
Joonis 8.2.1 Näide alusraamil paiknevast sihtpunktist <i>ArcWelding</i> mooduliga “ <i>robot at target</i> ”	49
Joonis 8.2.2 Teekonna ja keevituse liikumised RobotStudio <i>ArcWelding</i> moodulit kasutades	50
Joonis 8.2.3 Teekonda seletav joonis	51
Joonis 8.2.4 Roboti liikumise optimeerimise valikud	51
Joonis 8.2.5 Roboti liikumisteed pealtvaates	52
Joonis 8.2.6 Roboti liikumisteed koos sihtpunktidega pealtvaates	53

TABELITE LOETELU

Tabel 4.1.1 Kärude alusraamide tootmismahud	11
Tabel 4.2.1 Robotile keevitamise valmisolevate toodete kogused aastal 2017	14
Tabel 5.2.1 Keevitus- ja paigaldusajad käsikeevitusel	20
Tabel 5.3.1 Teiste koristuskäru alusraamide keevitus- ja abiajad	23
Tabel 6.3.1 Keevisliidete mõõdud	33
Tabel 6.4.1 Rakise valmistamise kulu	34
Tabel 7.1.1 ABB IRB1660ID spetsifikatsioon [3]	37
Tabel 7.1.2 IRC5 kontrolleri spetsifikatsioon [5]	39
Tabel 8.3.1 Käsikeevituse ning robotkeevituse ajaline võrdlus	54
Tabel 9.1 ABB'le esitatud robotjaama komponendid pakkumise tegemiseks	55
Tabel 10.1 Ettevõtte töökorralduse punktid arvutuste läbiviimiseks	56
Tabel 10.2 Kasutatud süsteemi komponendid ning maksumus	59

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teemaks on “Keevitusroboti integreerimine tootmisüksusesse”. Antud lõputöö teema kujunes välja ettevõtte Vaakum OÜ soovist planeerida tootmisüksusesse keevitusrobot, mille eesmärgiks oleks tüüptoote keevituse automatiseerimine, tagamaks keevitajatele rohkem aega tegelemaks mittestandardsete toodete keevitamisega.

Vaakum OÜ on kompleksteenusel põhinev ettevõtte pakkudes: kaupluste metallist sisustuse valmistamist, selle montaaži ja sinna juurde kuuluva reklaami valmistamist ning paigaldust. Erinevatel aegadel on reklaami ja sisustuse osakaal olnud erinev ja praeguseks on kujunenud põhitoodanguks traadist kaubamüügi stendid, kaubaalused, korvid, konteinerid, riputustarvikud ning müügiga kaasnevad reklaamtooted (reklaamtahvlid, valguskastid, müügistendide kujundused). Ettevõtte poolt toodetavaid elementaarseid tooted saab näha toidupoodides – lehepööririkud, ajalehestendid jms tooted.

Lisaks mainitule moodustab suure osa toodangust erinevad koristuskärud, mida peamiselt eksporditakse põhjamaadesse. Aastate jooksul on välja kujunenud suur sortiment erineva funktsiooni ja kasutusotstarbega kärusid ning pidevalt tegeletakse ka uute mudelite tootearenduse ja juurutamisega.

Lõputöö juhendajaks oli Martinš Sarkans, kelle nõu ja teadmised tööstuse automatiseerimises olid antud lõputöö lahendamisel asendamatuks abiks ja ma sooviksin teda selle eest tänada. Lisaks sooviksin eraldi tänada Peep Tänavat, kes oli igati abiks ning võimaldas sellise magistritöö teema ettevõttes kirjutada.

1. SISSEJUHATUS

Magistritöö eesmärgiks on ettevõttele Vaakum OÜ kavandada projekt, mis hõlmaks endas keevitusroboti juurutamist tootmisüksusesse, suurendamaks tsehhi tootlikust automatiseerides tüüptoote - koristuskäru alusraami keevitamise. Selle tulemusel jääb käsi keevitajatele rohkem aega tegelemaks toodetega, mis ei kuulu standardsete hulka ning mille keevitamist ei ole võimalik ega otstarbekas automatiseerida.

Probleemi käsitletus pakkus autorile huvi, kuna ta ise töötab antud ettevõttes konstruktor-joonestajana ning ettevõtte poolt pakuti võimalus kirjutada lõputöö keevitusroboti tootmisesse juurutamise teemal, millega töö autor ka nõustus.

Vaakum OÜ poolt valmistatavateks tüüptoodeks on koristuskärud. Ettevõttel on välja kujunenud oma sortiment kärusid, mis välimuselt on sarnased, kuid suuruse ning erinevate komponentide olemasolu poolest on klientide jaoks üpriski erinevad. Enamik koristuskärusid on siiski ehitatud ühele ja samale alusraamile, mille tõttu ongi soov just seda toodet automatiseerida viies käsi keevitus üle keevitusrobotile.

Näide Vaakum OÜ poolt valmistatavast koristuskärust:

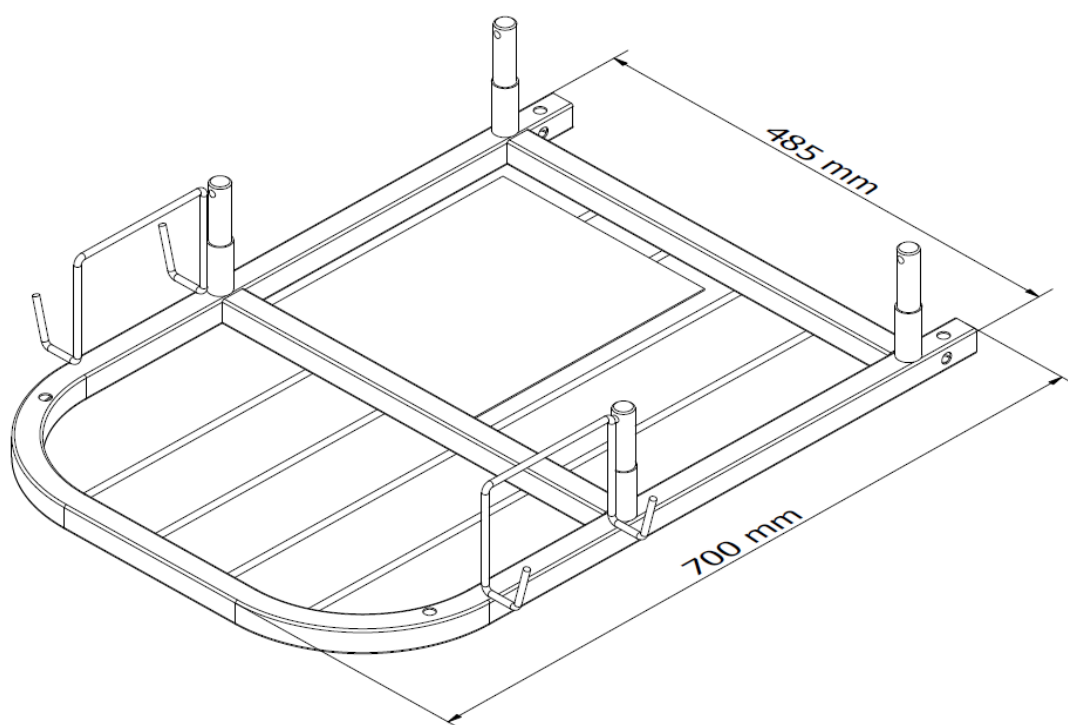


Joonis 1.1 Trolley Total koristuskäru [1]

Lisaks on ettevõttelt tellida kärusid vastavalt kliendi soovile ning äranägemisele.

2. ÜLESANDE PÜSTITUS

Magistritöös tuleb kavandada ettevõtte Vaakum OÜ tootesortimendis oleva tüüptoote koristuskäru alusraamile keevitusroboti vastava keevitusrakisega ning teostada tasuvusanalüüs keevitusroboti tootmise juurutamise kohta. Ettevõtte soovib teada saada, kas koristuskäru alusraam on võimalik juurutada keevitusrobotile ning kui pikk oleks praeguste tootmismahdade juures juurutamise tasuvusaeg.



Joonis 2.1 Koristuskäru alusraam

Ettevõtte esmaseks vajaduseks on teada saada, kui suured on kulutused, mis tekivad rakise valmistamisega, keevitusroboti ostmisega – ja juurutamisega. Tuleb välja tuua eraldi rakise projekteerimise käik, materjalide ja sõlmede valik, ostutooted ning rakise valmistamisega seonduvad kulud. Parima lahenduse leidmiseks tuleb nõu küsida keevitajatelt, kes siiani antud alusraame on käsikeevitusega keevitanud. Keevitusrakise projekteerimisel tuleb ühtlasi silmas pidada, et see oleks universaalne kasutamaks nii käsitsi kui ka robotiga keevitamisel.

Lisaks keevitusrakise projekteerimisele tuleb teostada ABB poolt välja töötatud RobotStudio tarkvara abil alusraami keevituse simulatsioon. Tarkvara abil on võimalik vastavalt nõutud kriteeriumitele valida sobilik manipulaatori ning ülejäänud robotjaama seadmed. RobotStudio abil on võimalik

teostada simulatsioon, mis võimaldab leida robotkeevituse keevitusaja, seejärel on võimalik seda võrrelda praegusel hetkel keevitamiseks kuluva ajaga.

Lõputöö on jaotatud viieks osaks:

Esimese sammuna tuuakse toote kirjeldus, mille tarvis rakis projekteeritakse ning kirjeldatakse, millised sõlmed tuleb keevitada. Kaardistada tuleb praegusel hetkel alusraami tootmise keevitustehnoloogia ning leida käsikeevitusele kuluv aeg. See annab võimaluse seda hiljem võrrelda automatiseeritud ajaga.

Teise sammuna teostatakse tootmismahdade analüüs, mille käigus uuritakse tootesegmenti, valmistatavaid kärusid ning nende aasta tootmismahтусid, teostamaks esialgne hinnang robotkeevituse otstarbekuse kohta.

Kolmanda sammuna projekteeritakse alusraamile sobilik rakis, seletatakse koostatavad sõlmpunktid ning nende toimimine. Ühtlasi rakise ning alusraami mudeli viimine üle RobotStudio programmi, mille abil saab analüüsida rakise sobivust ning leida keevitamiseks kuluv aeg. Ühtlasi saab nimetatud tarkvara abil teostada algse robotsüsteemi komponentide valiku nagu näiteks robot, positioneer ja keevitusseadmed.

Järgmise etapina kui on projekteeritud rakis ning katsetatud roboti toimimist RobotStudio tarkvara keskkonnas. Teostatakse süsteemi kogumaksumuse analüüs, mille käigus:

1. valitakse sobilikud komponendid ja selgitatakse nende maksumus;
2. lisatakse rakise valmistamisega seonduvad kulud;
3. tootmisesse juurutamisega kaasnevad kulutused.

Viimasena tuuakse võrdlev analüüs käsi - ja robotkeevituse vahel ning viiakse läbi kogu süsteemi tasuvushinnang. Selle alusel saab ettevõtte teha otsuse, kas robotkeevituse tootmisse juurutamine on otstarbekas või oleks otstarbekam teostada ettevõttes teistsuguseid lahendusi.

Mudelite projekteerimisel ning jooniste koostamisel kasutati Autodesk Fusion 360 ning Autodesk Inventor 2019 tarkvara. Robotkeevituse simuleerimiseks kasutati ABB RobotStudio tarkvara.

3. KEEVITUSE AUTOMATISEERIMISE EESMÄRK

Üha rohkem juurutatakse tootmisettevõtetes keevitavaid tooteid ja detaile keevitusrobotile ning sellel on mitmeid põhjuseid ja eesmärke. Robotsüsteemid on ajaga pidevalt arenenud ning nende võimekus ja töökindlus on järjepidev. Järgnevalt on toodud põhjused, miks automatiseerida keevisliini:

1. robot manipulaatorid suudavad teostada inimese liigutusi imiteerivaid liigutusi vähemalt sama kvaliteediga pikema aja vältel;
2. robot manipulaatorite kasutamine väljendub kõige paremini tootmise kulu ja tootmismahu suhtena, mis tuleb hästi välja just väikeste ja keskmise suurusega ettevõtete näol;
3. robot manipulaatorid on tänu programmeeritavusele võimekad masinad, mis teeb nad väga paindlikuks erineva toodangu suhtes. Manipulaatoreid on programmeerimise abil võimalik kiiresti muuta seadistusi ning programme, et käia kaasas turul toimuvate muutustega. [2]

Lisaks eelnimetatud punktidele on robotite eeliseks keevitusel võimekus teostada keerukaid keevisõmbelusi stabiilsemalt, parema kvaliteediga ning kiiremalt.

Robotkeevitusel on palju eeliseid, millest osa on:

- suurendatud tootmismahut;
- parem kvaliteet;
- stabiilsem kvaliteet;
- suurem tootmise paindlikkus;
- vähendatud tegevuskulud;
- vähendatud materjali kulu (praak);
- tööjõukulude vähendamine.

4. TOOTMISMAHTUDE ANALÜÜS

4.1 Kärude alusraamid

Vaakum OÜ'l on kolm peamist suurfirma klienti, kes koristuskärusid tellivad. Eelmise aasta lõpus õnnestus ettevõttel saada veel üks suuri koguseid kärusid telliv klient, seega tuleviku prognoos näitab, et tootmismahud on kasvamas umbes kolmandiku võrra.

Järgnevalt on toodud ettevõttes Vaakum OÜ valmistatavad kärude alusraamid ning nende aastased kogused arvestades 2018 aasta tootmismahтусid. Tootmiskogused on toodud aasta arvestusega ning arvestuslikult on kogused jaotatud ühtlaselt 12 kuu peale, kuid tuleb arvestada, et ettevõtte reaalne aastane töömaht on 1680 tundi. Tellimuste jaotus on läbi aasta ühtlane, jaotudes võrdselt kõigi kuude vahel.

Tabel 4.1.1 Kärude alusraamide tootmismahud

	Toode	Tootekood	Kogus tk/ kuus	Kogus tk/aastas
1.	Trolley Total	4158160	100	1203
2.	Trolley Mini	4158313	57	683
3.	Compact	4198503	54	649
4.	Miniswab Trolley	4198500	6	71
5.	Swabtrolley Basic	4198220	35	420
6.	Bucket Trolley	4158506	1	15
Kokku				3041

Ülal toodud tabelis on toodud kuue erineva käru tootmismahud aasta ja kuu lõikes. Tooted koodiga 4158160 ja 4158313 on ühe alusraami peale konstrueeritud kärud ning nende aastane maht moodustab üle poole kogu toodetud kärudest. See on ka põhjuseks, miks esimese sammuna on ettevõtte on võtnud tootmisesse planeeritava keevitusroboti paigaldada just nendele toodete alusraamide keevitamiseks ning selle tarvis rakise projekteerida.



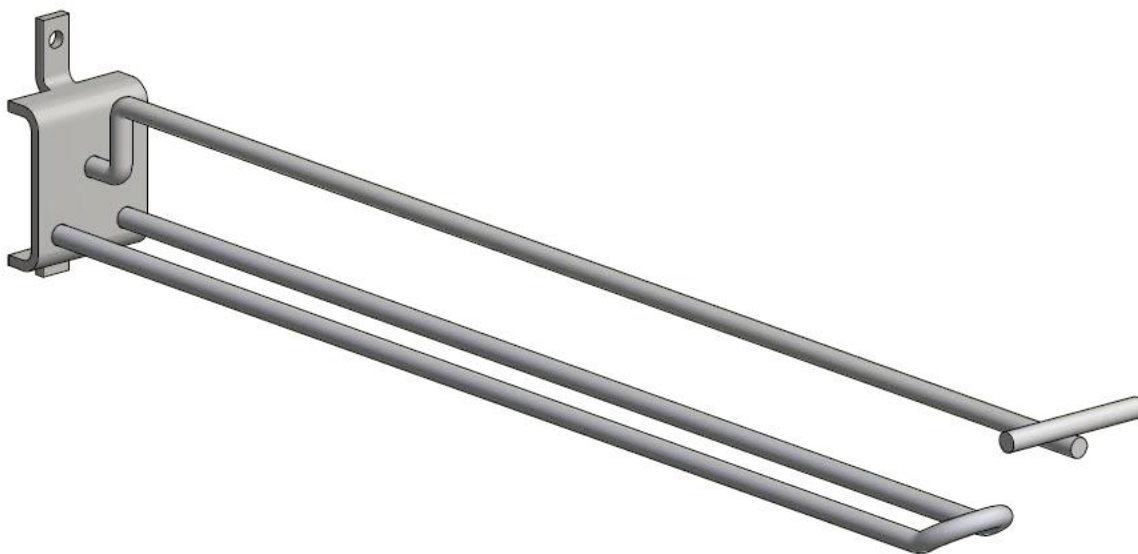
Joonis 4.1.1 Suur koristuskäru 4198160



Joonis 4.1.2 Väike koristuskäru 4158313

4.2 Potentsiaalsed tooted

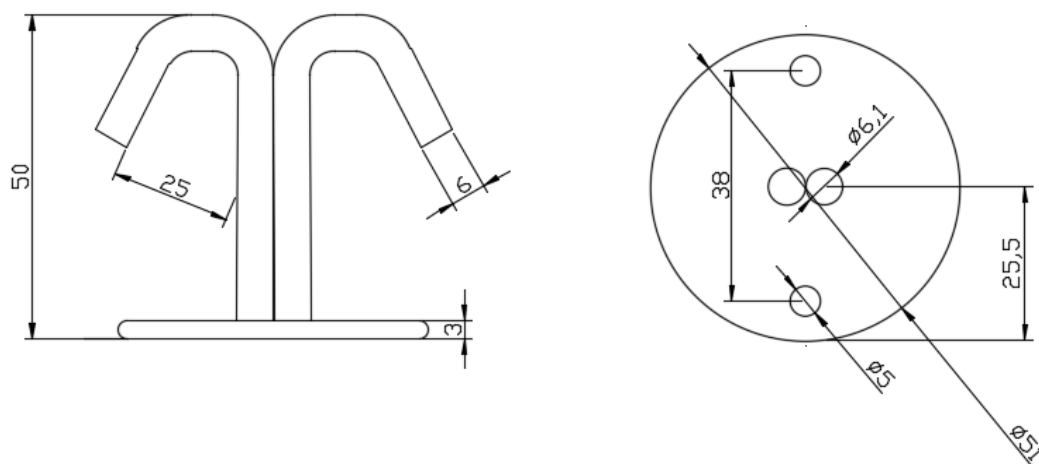
Siiani on käsitletud kärusid, mis on antud lõputöös toodud keevitusroboti tootmisesse kavandamise aluseks, kuid ettevõtte tootesortimenti kuulub ka palju teisi erinevaid tüüptooteid nagu näiteks joonisel 4.2.1 ja 4.2.2 toodud piigid ja joonisel 4.2.3 toodud harvik. Antud toodete mahud on toodud tabelis 4.2.1. Roboti valikul tuleks silmas pidada ka analoogse tootesortimendi automatiseerimise võimalust, et suurendada roboti koormatavust keevitamisel ja vähendada tüüptoote käsikeevitust.



Joonis 4.2.1 U-piik perforseinale



Joonis 4.2.2 Kannaga piik, L550



Joonis 4.2.3 Harvik

Järgnevas tabelis 4.2.1 on välja toodud ettevõtte Vaakum OÜ poolt valmistatavad tooted, saaks tulevikus rakendada keevitamiseks keevitusrobotil. Nimetatud tooteid valmistatakse aastas tuhandete kaupa ning omadustelt on suhteliselt lihtsad ning sobilikud robotkeevitusele. Toodete rakistusele kuluvad investeeringud tasuks ennast ära suurte tootmismahdade tõttu.

Tabel 4.2.1 Robotile keevitamise valmidusega toodete kogused aastal 2017

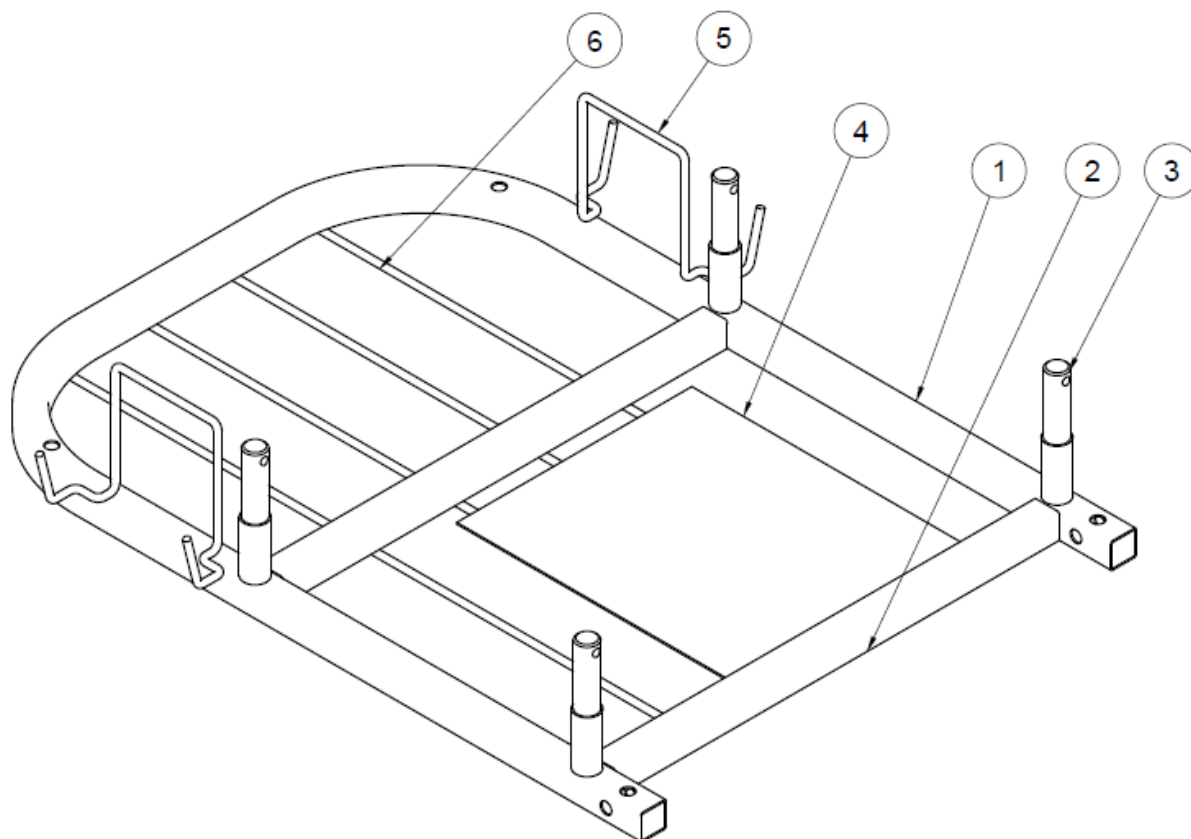
	Toode	Kogus tk/ kuus	Kogus tk/aastas	Keevitusaege + abiaeg s	Keevitusaege + abiaeg h/aastas
1.	Harvik	910	10 000	40	111
2.	U-piik perfoseinale	273	3000	50	42
3.	Kannaga piik, L550	136	1500	45	19

Piikidele esitatakse tellimusi palju, ülal on toodud vaid kaks levinuimat tellimust. Potentsiaalne probleem piikide juurutamisega keevitusrobotile on piikide variatsioonid traatide läbimõõdudes ja pikkustes. See on probleemiks, kui hakatakse valmistama rakiseid. Piigi traadid on erineva pikkusega seega on keeruline kasutada sama rakistust. Iga piigi pikkusele oma rakistust ei ole ka otstarbekas valmistada, küll aga on võimalik välja sorteerida piigid, mida tellitakse aastast aastasse ning mille puhul on võimalikud variatsioonid traadi pikkuse ja läbimõõdu osas minimaalsed.

5. KEEVITUSTEHNOLOOGIA KAARDISTUS

5.1 Alusraami detailid

Saamaks ettekujutust, milline näeb välja koristuskäru alusraami käsikeevitus on järgnevalt välja toodud selle erinevad etapid koos kirjeldusega. Esmalt tuleb aga selgitada millistest detailidest alusraam täpselt koosneb ning millised on nõuded nende koostamisel ja keevitamisel.



Joonis 5.1.1 Alusraami koost

Joonisel 5.1.1 saab näha alusraami koostu, mis koosneb kokku kahest erinevast detailist, kokku on ühes alusraamil 14 detaili.

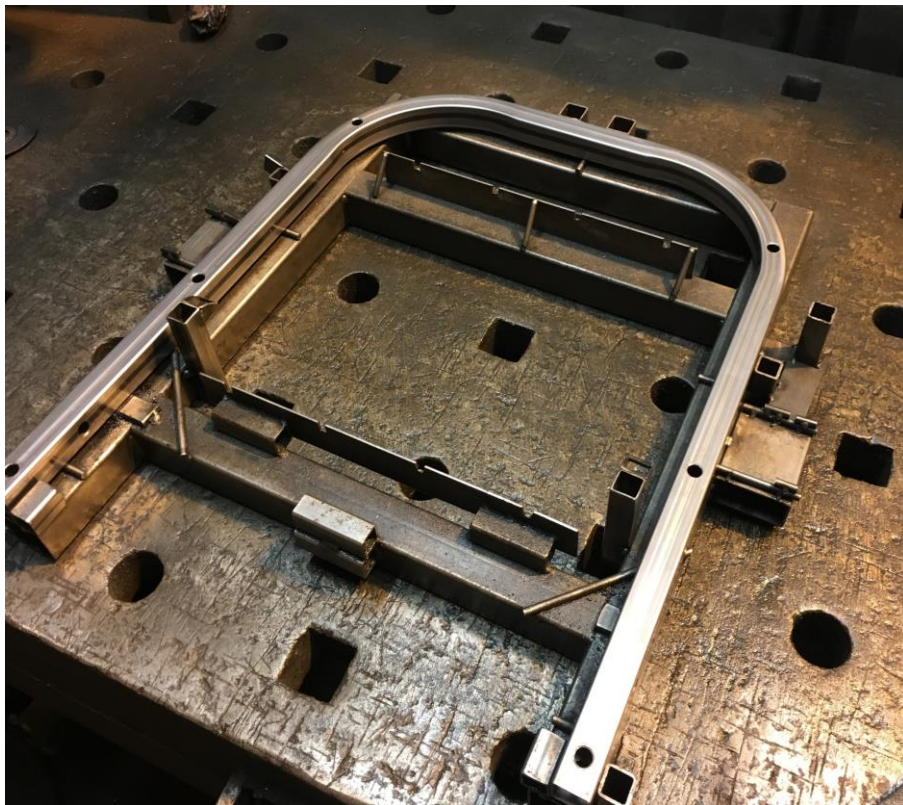
Esimene detaili on alusraami põhjatoru, mis on 25 mm x 25 mm x 1,5 mm ruuttoru, mis moodustab platvormi, mille külge kõik ülejäänud detailid keevitatakse. Teine detail on vahepuu, samuti 25 mm x 25 mm x 1,5 mm ruuttorust, antud koostus on neid kaks tükki. Vahepuu eesmärgiks on hoida alusraami põhjatoru vormi, takistamaks painutatud detaili vetrumist ning ühtlasi on vahepuud omakorda kinnitus platvormiks ämbriplaadi ja põhjatraatidele. Kolmandaks detailiks on tapp - võll läbimõõduga 22 mm materjalist detail, mida koostus on kokku neli tükki. Tapi külge kinnitatakse hiljem käetoed ning tugiraam. Neljas detail on ämbriplaat, mis on 2 mm paksune terasleht, selle

peale asetab koristaja oma koristusämbri. Viies detail on traadist valmistatud harjahoidik, keevitatud otse alusraami põhjatorule, nende eesmärk on toetada koristaja moppi või harja, koostus on nimetatud detaile kaks tükki. Viimaseks detailiks on põhjatraadid - koostus kokku neli tükki, keevitatud alusraami põhjatoru ning vahepuude külge, toimivad traadid kui alusplatvorm erinevate asjade paigutamiseks.

5.2 Keesitustehnoloogia

Praegusel hetkel toimub alusraami keevitus mitmes erinevas etapis, st et keevitust ei viida läbi ühe operatsioonina vaid vahepeal tehakse lisa paigaldusi, mis on tingitud algselt aastaid tagasi valmistatud rakistest. Ettevõtte ei ole praegusel hetkel teostanud analüüsi, milline keevitamise järjestus oleks kõige optimaalsem paigalduste arvu ning ajakulu poolest. Toetutakse eeldusele, kogemusele ja harjumusele, kuid ei väideta, et see on kiireim ja efektiivseim moodus.

Esimene sammuna teostatakse alusraami põhjatoru ja vahepuude keevitus.



Joonis 5.2.1 Alusraami põhjatoru asetus keevitusrakises

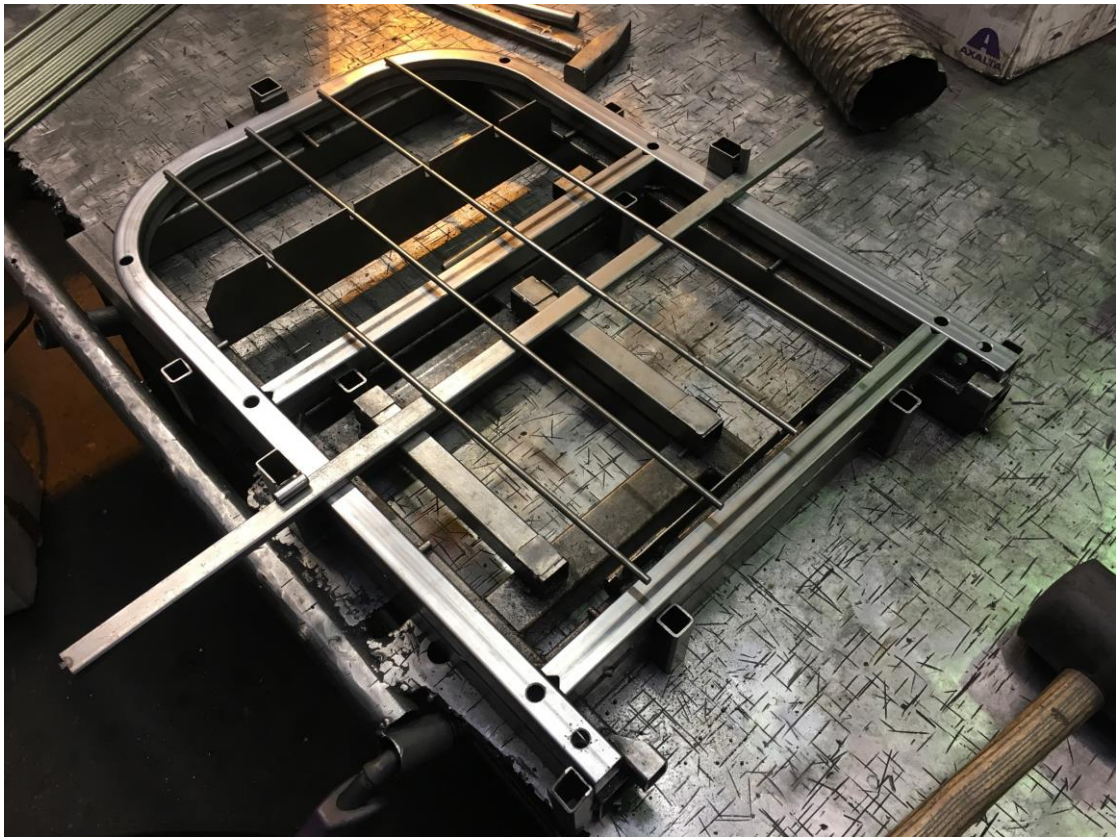
Ülal toodud joonisel saab näha keevitusrakist alusraami põhjatoru ja vahepuude keevitamiseks. Esmalt asetatakse alusraami põhjatoru rakisesse, nagu on toodud joonisel 5.2.1 ning seejärel lisatakse vahepuud.



Joonis 5.2.2 Vahepuude keevitamine alusraami toru külge

Alusraami toru on fikseeritud lahtistest otsadest tugelega tagamaks toru korrektse tsentreerituse ning asetuse. Samas saab ka näha alusega risti asetsevat toru, see piirab keevitatava alusraami torul ülespoole liikumast. Vahepuud keevitatakse nurkõmblusega mõlemalt poolt vahepuud, kaatet 5 mm. Paigaldusaeg rakisesse antud operatsioonil ning muud abiajad kokku on 35 s ja keevitusaeg 25 s, tulemused võivad erineda olenevalt rakise kulumise astmest ja keevitaja vilumuselt.

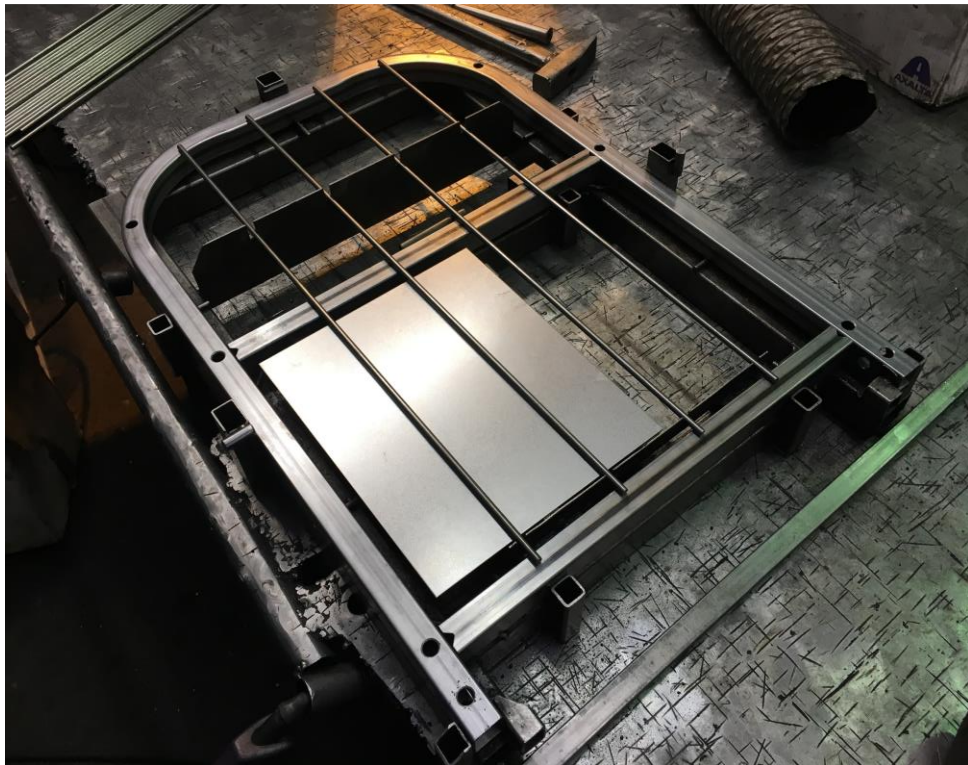
Järgmine etapina paigaldatakse rakisele põhjatraadid nagu on näha joonisel 5.2.3, kus iga traat keevitatakse punktidega kolmest kohast - põhjatoru ülemise serva külge, ning mõlema vahepuu külge. Kokku on paigaldusaeg ja muud abiajad 15 s ja keevitusaeg 25 s, antud operatsiooni puhul võib ajaline erinevus tekkida peamiselt keevitaja vilumuselt.



Joonis 5.2.3 Põhjatraatide keevitus

Joonisel on näha põhjatraatide paigutus - traatidel on õige asukoha fikseerimiseks paigaldatud kaks kammi taolist abinõud, mis tsentreerivad traadid rakisel. Traatide liikumine piki suunas ei ole aga fikseeritud ning see tuleb teostada käsitsi. Konkreetsetel joonisel on näha, et ei ole veel eemaldatud eelnevalt mainitud risti asetsevat toru, kuid traatide keevitamiseks tuleb see eemaldada.

Antud rakisega viimane operatsioon on ämbriplaadi keevitamine põhjatraatide külge. Selle tarvis eemaldatakse alusraam rakisest ning asetatakse selle alla ämbriplaat nagu saab näha joonisel 5.2.4. Plaadi liikumine on fikseeritud kolme toega, vastavalt alt ning kahe külje pealt. Plaat keevitatakse traatide külge kahe-kolme punktiga. Paigalduse aeg ja muud abiajad 15 s ja keevitusaeg 13 s, tulemused võivad jällegi erineda olenevalt keevitaja vilumusest.



Joonis 5.2.4 Ämbriplaadi keevitus

Antud rakist kasutades on vajalikud keevitus operatsioonid tehtud ning järgneb vaid tappide keevitus. Tapid keevitatakse alusraami põhjatoru külge läbi avade, nagu saab näha joonisel 5.2.5.



Joonis 5.2.5 Tappide keevitus

Tappide keevitamisel on oluline jälgida, et tappides olevad avad oleksid omavahel kohakuti ning asetseksid paralleelselt põhjatoru servaga, see tsentreeritus tagab, et hiljem koristuskäru kokku monteerides satuksid käetoe ja tugiraami avad kohakuti tappide avadega, läbi mille paigaldatakse lukustusklamber. Hetkel on tsentreeritus tagatud pika traadiga, mis pistetakse läbi mõlema tapi ava. Paigaldusaeg ja muud abiajad 40 s ja keevitusaeg 40 s, tulemused võivad jällegi erineda olenevalt raami puuritud avade täpsusest ning keevitaja vilumusest.

Tabel 5.2.1 Keevitus- ja paigaldusajad käsikeevitusel

Jrk nr	Etapp	Abiaeg s	Keevitusaeg s	Abiaeg ja keevitusaeg kokku s
1	Alusraami põhjatoru ja vahepuude keevitus	35	25	60
2	Põhjatraatide keevitus	15	25	40
3	Ämbriplaadi keevitus	15	13	28
4	Mopihoidja keevitus	40	30	70
5	Tappide keevitus	40	40	80
6	Transport töökohtade vahel	~ 120	-	120
Kokku		265	133	398

Ülal toodud tabelis on toodud erinevates etappides kuluvad keevitus ja abiajad. Tabelist saab näha, et abiajad moodustavad vähemalt poole, mida võis ka eeldada kuna vahepeal toimub mitu paigaldust, need tõstavad tarbetult ühe raami keevitamiseks kuluvat aega. Tuleb mainida, et keevitamine ei toimi alati ühes töökohas, st et raamid liiguvad töölaudade vahel. Hetkel on välja kujunenud nii, et alusraamid ilma tappideta keevitatakse ühes töökohas ning tapid keevitatakse alusraami külge teises tööpaigas. Selle tõttu on tegelik keevitamise aeg veelgi pikem, sest tuleb sisse arvestada alusraami liikumist erinevate töökohtade vahel.

Tootmismahdade peatükis toodud koguseid välja tuues leidis, et aastal 2018 toodeti umbes 1900 koristuskäru, mille alusraami keevitust on selles peatükis käsitletud. Järgnevalt on arvutatud 2018 aasta tootmismahthe arvestades kärude alusraamidele kuluv keevitusaeg.

Arvutan alusraamide 4158160 ja 4158313 aastase keevituse ajakulu käsikeevitusel:

$$t_{wk} = \frac{t_w \cdot n_a}{3600} \quad (5.2.1)$$

Kus t_{wk} – käsikeevitusel toodete keevitamiseks kuluv aeg aastas, h,

t_w – käsikeevitusel ühe toote keevitamiseks kuluv aeg, s,

n_a – tootmismahd aastas, tk.

$$t_{wk} = \frac{398 \cdot 1900}{3600} \approx 210 \text{ h}$$

Arvutan aastase töömahu alusraamide 4158160 ja 4158313 käsikeevitusel:

$$k_k = \frac{t_{wk} \cdot 100}{t_a} \quad (5.2.2)$$

Kus k_k – töötsehhi koormatus aastas, %,

t_{wk} – keevitusaeg toote kohta aastas, h,

t_a – töötunnid aastas, h.

$$k_k = \frac{1680}{210 \cdot 100} \approx 13 \%$$

Antud arvutusest näeme, et projekteeritava rakise töömaht oleks aastast umbes 210 tundi, mis on ettevõttes Vaakum OÜ ühe keevitaja kohta üle terve kuu töötunni normi. Tuleb tunnistada, et juba praegusel hetkel tundub, et ettevõttel tuleb projekteeritavale robotile keevitustöid juurde tekitada, sest hetkel on alusraamide 4158160 ja 4158313 käsikeevitusel töötsehhi koormatus vaid 13% aastasest töömahust, mis automatiseerides kindlasti veelgi väheneb.

Kuna ettevõtte sooviks oli töö eesmärgi püstitamise ajal teada saada toodete 4158160 ja 4158313 alusraamide automatiseerimise otstarbekus ning tasuvusaeg, siis jätkatakse projekteerimisega.

5.3 Teiste kärude alusraamide keevitusajad

Eelnevas peatükis selgus, et ainult ühe tüüptoote alusraami keevitusega on töötsehi koormatus vaid 13% tööajast. Keevituse automatiseerimisel toodud protsent väheneks veelgi. Roboti soetamise otstarbekus ning tasuvusaeg sõltuvad aga suuresti koormatusest, seega tuleb robot pidevalt töös hoida. Selle jaoks on toodud lühidalt ka teiste tüüpkärude käsikeevituse paigaldus- ning keevitusajad praegusel hetkel kasutatavate rakistega keevitamisel.

Keevitus- ning paigaldusajad on toodud lisaks järgnevatele kärudele:



Joonis 5.3.1 Koristuskäru 4198220 [1]



Joonis 5.3.2 Koristuskäru 4198503 [1]

Tabel 5.3.1 Teiste koristuskäru alusraamide keevitus- ja abiaajad

Toode	Etapp	Abiaeg s	Keevitusae g s	Abiaeg ja keevitusae g kokku s
4198220	Alusraami keevitus	140	90	230
4198503	Alusraami keevitus	100	80	180

Arvutan teiste alusraamide käsikeevituse aastase ajakulu käsikeevitusel:

1. Tootele 4198220

$$t_{wk} = \frac{t_w \cdot n_a}{3600} \quad (5.3.1)$$

$$t_{wk} = \frac{230 \cdot 420}{3600} \approx 27 \text{ h}$$

2. Tootele 4198503

$$t_{wk} = \frac{t_w \cdot n_a}{3600} \quad (5.3.1)$$

$$t_{wk} = \frac{180 \cdot 649}{3600} \approx 33 \text{ h}$$

Arvutan teiste alusraamide käsikeevitamisel töötsehhi aastase koormatuse:

$$k_k = \frac{t_{wk} \cdot 100}{t_a} \quad (5.3.2)$$

$$k_k = \frac{(27 + 33) \cdot 100}{1680} \approx 4 \%$$

Viimasest arvutusest saab näha, et teiste alusraamide keevitamine moodustab töötsehhi aastasest koormusest vaid neli protsenti ning nende automatiseerides see protsent langeks veelgi. Kogutud andmeid saab kasutada töö lõpus majanduslike arvutuste peatükis, kus tehakse tasuvusanalüüs kõigepealt ainult toodete 4158160 ja 4158313 jaoks ning juhul kui tasuvusaeg läheb liigselt pikaks on võimalik lisada arvutustesse ka potentsiaalsed tooted ning ülejäänud kärude alusraamid.

6. RAKISE PROJEKTEERIMINE

Järgnevas peatükis on toodud koristuskäru alusraami keevitamiseks valmistatava rakise projekteerimine. Rakise projekteerimisel on lähtunud põhimõttest, et keevitus oleks võimalik teostada ühe paigaldusega, mille tulemusel märgatavalt vähenevad abiajad, mis praegusel hetkel keevitamise aeglaseks muudavad. Lisaks tuleb rakise projekteerimisel arvestada, et see oleks piisavalt stabiilne, kuid samas ka kompaktne, et soovi korral saaks seda ka käsikeevitusel kasutada. Kindlasti peavad sõlmpunktid olema aluse külge kinnitatud poltliidetega tagamaks erinevate komponentide vahetatavuse ning keevitamisel tekkivate pritsmete puhastamise võimaluse. Lahenduse väljatöötamisel võeti arvesse ka keevitajate kogemustel põhinevaid teadmisi ja nõuandeid. Esimese sammuna pandi paika peamised kriteeriumid, millele rakis peab vastama, nende alusel on võimalik alustada projekteerimisega.

Valmistatavate komponentide tootmise tehnoloogiat ei ole eraldi välja toodud, kuna see ei ole antud magistritöö peamine ülesanne. Rakise hind on arvestatud ligikaudselt omahinnana. Rakise tootmine toimub Vaakum OÜ tootmisruumides, kasutades ettevõtte käsutuses olevaid tootmisseadmeid ja pinke. Ettevõttel puudub laserlõikuse võimalus, seega antud teenuse hind on arvestatud kasutades *fractory.co* platvormi.

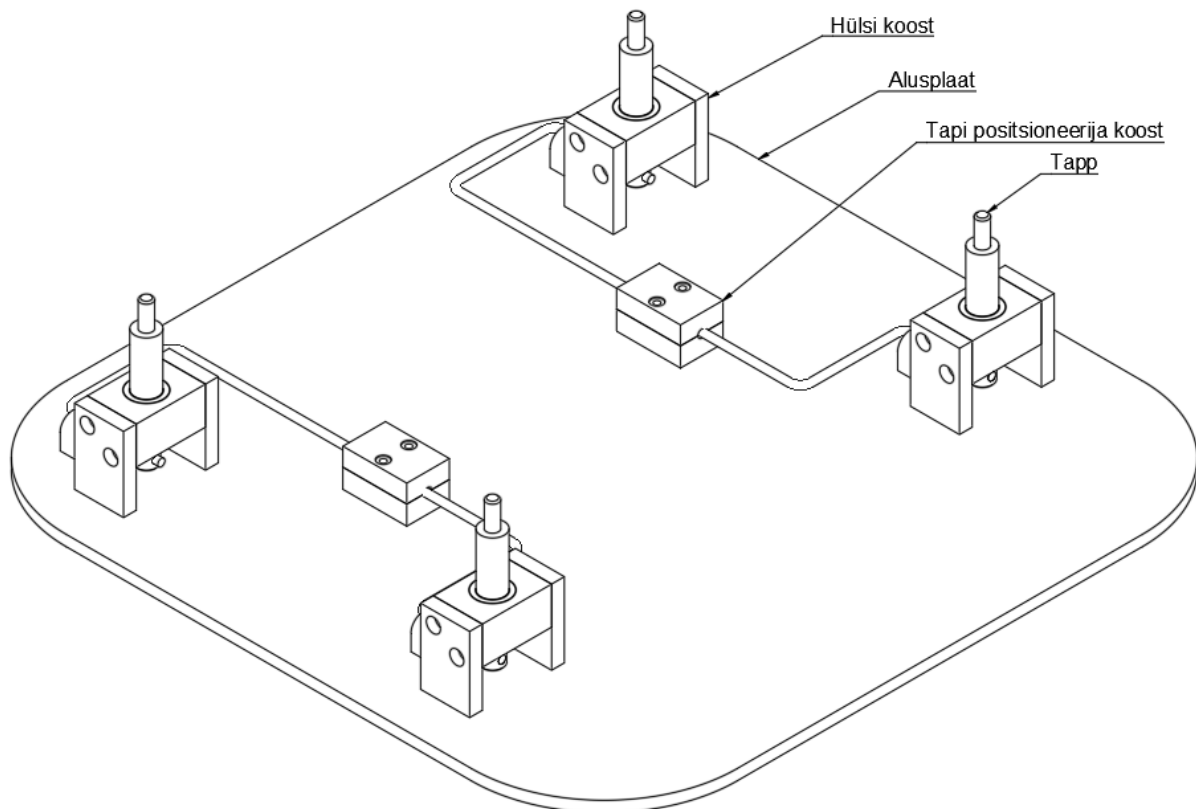
Peamised nõuded projekteeritavale rakisele on järgnevad:

- keevitusprotsess ühe paigaldusega;
- $m < 65$ kg;
- transporditav;
- komponendid kinnitatud poltliidetega;
- kasutatav nii robot - kui ka käsikeevitusel, kuid tegemist ei pea olema ühe ja sama rakisega;
- maksimaalne pikkus 800 mm, laius 800 mm;
- rakis peab fikseerima alusraami toru ja muud komponendid.

Lähtudes seatud kriteeriumitest tuleb projekteerida alusraamile rakis. Järgnevalt on toodud projekteeritud rakis, selle erinevad sõlmpunktid, nende otstarve ja kirjeldus.

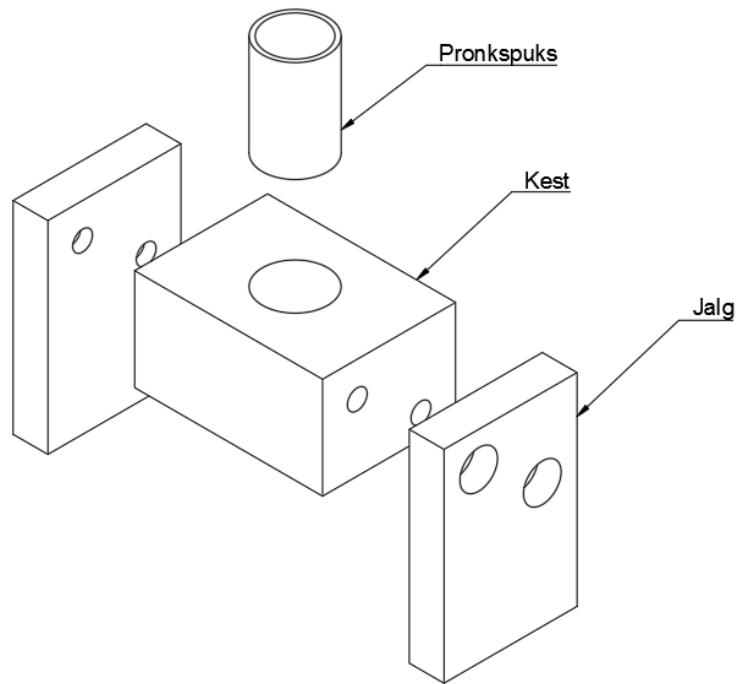
6.1 Projekteerimise käik

Kriteeriumites seisab, et keevitus peab olema teostatav ühe paigaldusega, see tähendab, et kõik keevitused tuleb teostada ühel poolt raami. Teostamiseks antud nõuet on vaja esmalt tapid tsentreerida kindlasse asendisse, mis võimaldaks tappidele asetada alusraami põhjatoru. Tapid peavad asetsema kohakuti alusraami põhjatorus olevate avadega. Antud nõude täitmiseks on projekteeritud lahendus, mis on toodud joonisel 6.1.1.



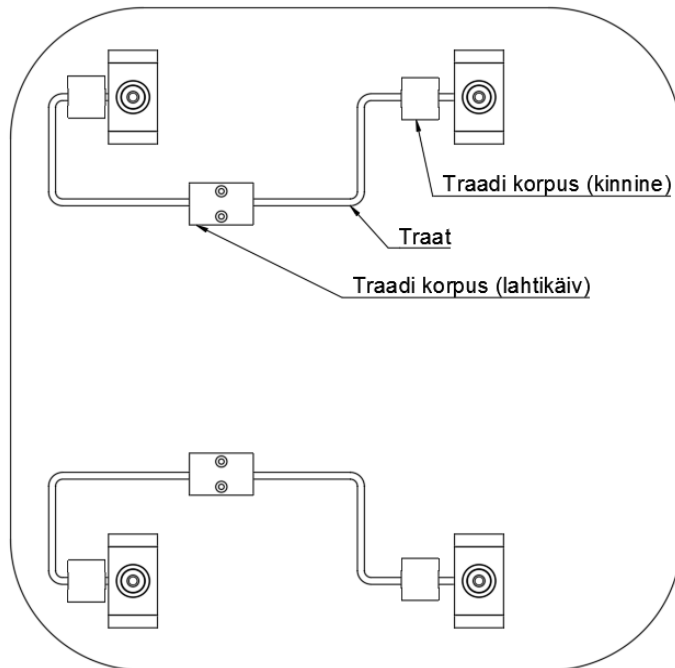
Joonis 6.1.1 Tapi positsioneerimine

Esmalt asetatakse neli tappi hülssidesse, nagu saab näha ka ülemisel joonisel ning seejärel on vaja tsentreerida tapi avad, mille jaoks kasutatakse tapi positsioneerijat. Positsioneerijana kasutatakse traati, mis lükatakse läbi tapi avade. Traat liigub korpuses mis suunab traadi liikumist. Joonisel 6.3.1 saab täpsemalt näha kuidas traadi liigutamine toimub. Positsioneerija koosneb kolmest erinevast detailist. Traadist, kinnisest korpusest ning lahtikäivast korpusest. Korpused on traadi jaoks kui suunajad. Lahtikäivat korpust kasutatakse, et oleks võimalik kasutatavat traati vahetada. Nimetatud komponendid on valmistatud terasprofiilist.



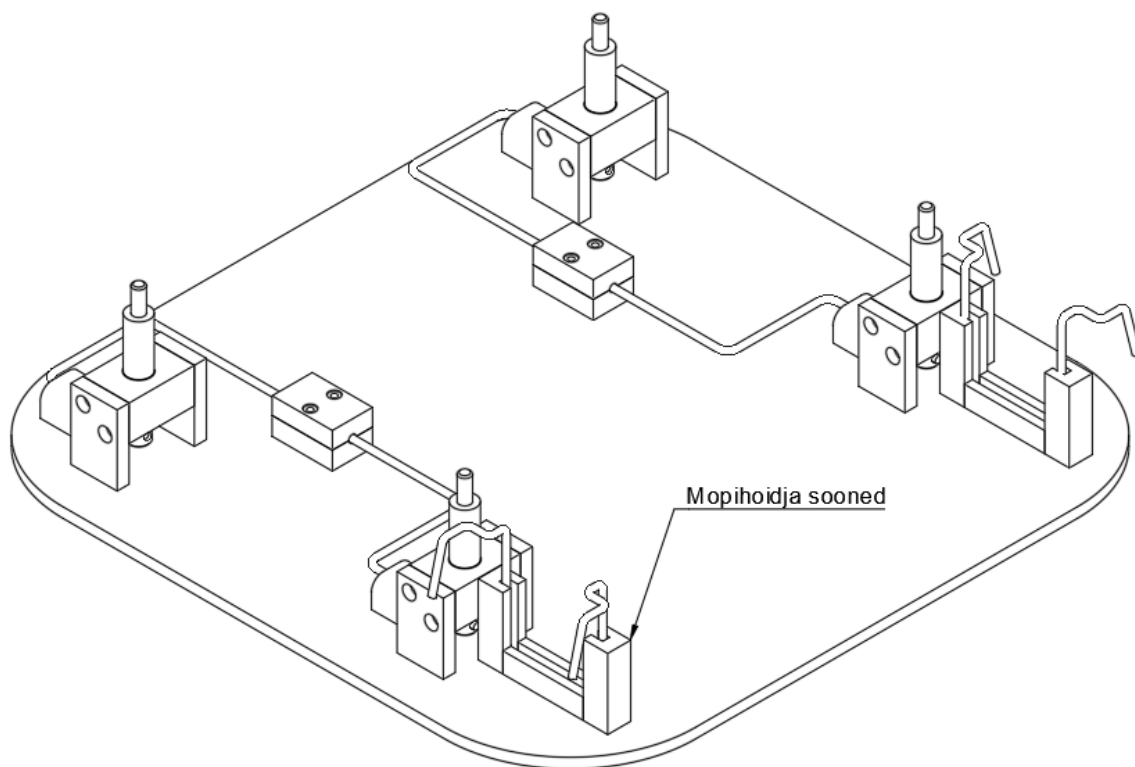
Joonis 6.1.2 Hülssi koost

Joonisel 6.1.2 saab näha hülssi koostu, millega tapid fikseeritakse. Hülssi sisse on pressistuga paigaldatud pronkspuksid tagamaks head elektrijuhtivust. Lisaks võimaldavad pronkspuksid hiljem keevitatud alusraami kergemat eemaldamist rakisest oma heade hõõrde omaduste tõttu. Joonisel 6.1.3 on toodud ka tapi tsentreerimiseks kasutatava hülssi koost. Tagamaks pidev tappide tsentreeritus on puksid vahetatavad, kuna pidev hõõrdumine tekitab kulumist.



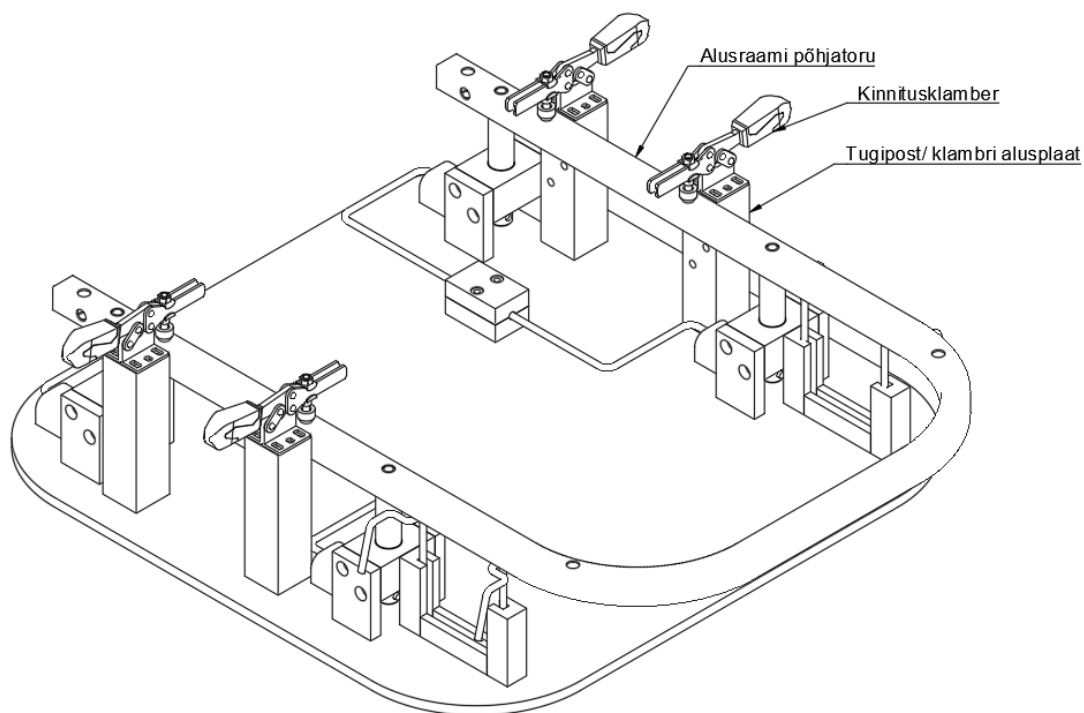
Joonis 6.1.3 Tapi positsioneerija elemendid

Järgnevalt tuleb mõelda traadist mopihoidja keevitamisele. Traatide asendit ja kuju on ettevõtte poolt lubatud veidi muuta, sobitamaks neid paremini rakisega, kuid projekteerimise käigus selgus, et toodet ei ole vaja muuta. Traatide paigutamise probleem sai lahendatud nagu on näha joonisel 6.1.4. Traadid on paigutatud soonte sisse, mis asetavad traadid nii, et on võimalik teostada lühike nurkõmblus. Traadid asetsevad stabiilselt soonte sees, mis fikseerivad nende asendi. Soontega detailid on valmistatud terasprofiilist mehaanilise töötlemise teel.



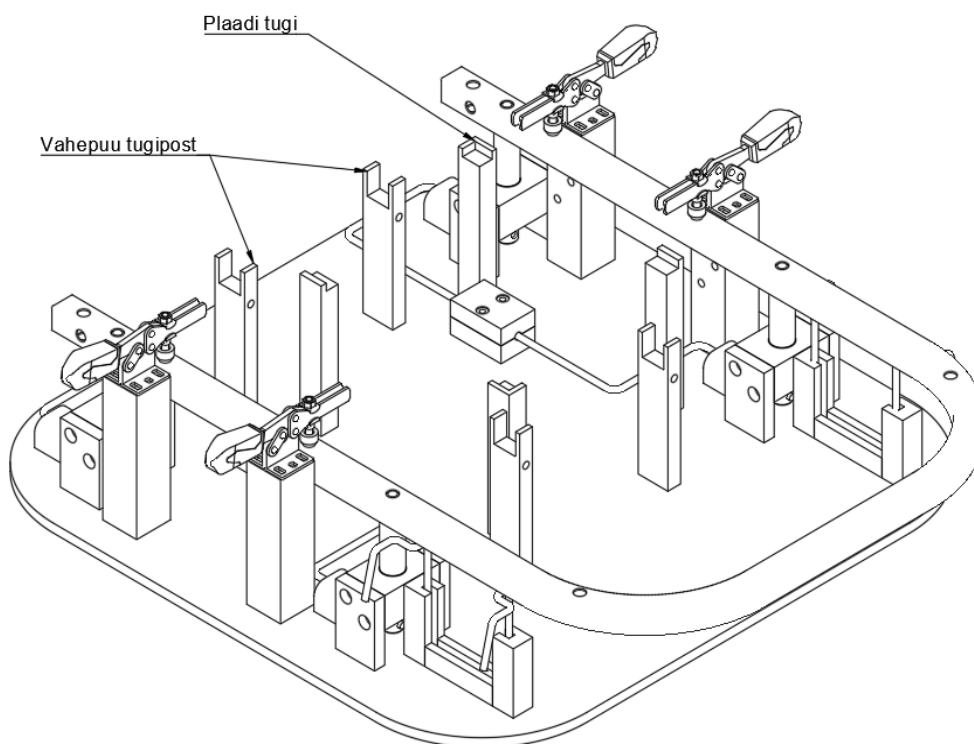
Joonis 6.1.4 Soontega detailid koos mopihoidja traadiga

Alusraami põhjatoru paigaldatakse tappide peale, vastavalt et tapi ülemised otsad läheksid läbi põhjatoru avade nagu saab näha joonisel 6.1.5. Alusraami põhjatoru painutamisel metalli elastsusest tingituna ei pruugi põhjatoru alati peale painutamist olla paralleelsete külgedega. Selle tõttu võib tekkida keeruline olukord, kuna tapid ja põhjatoru avad ei asetse kohakuti. Probleemi lahendamiseks on kaks abinõud, esiteks on paigaldatud tugipostid, mis tagavad põhjatoru paralleelsuse ning teisalt samadele tugipostidele on kinnitatud klambrid, mille kinnitamisel on tagatud tappide ja alusraami kindel paigaldus. Tugipostide detailid on valmistatud terasprofiilist mehaanilise töötlemise teel.



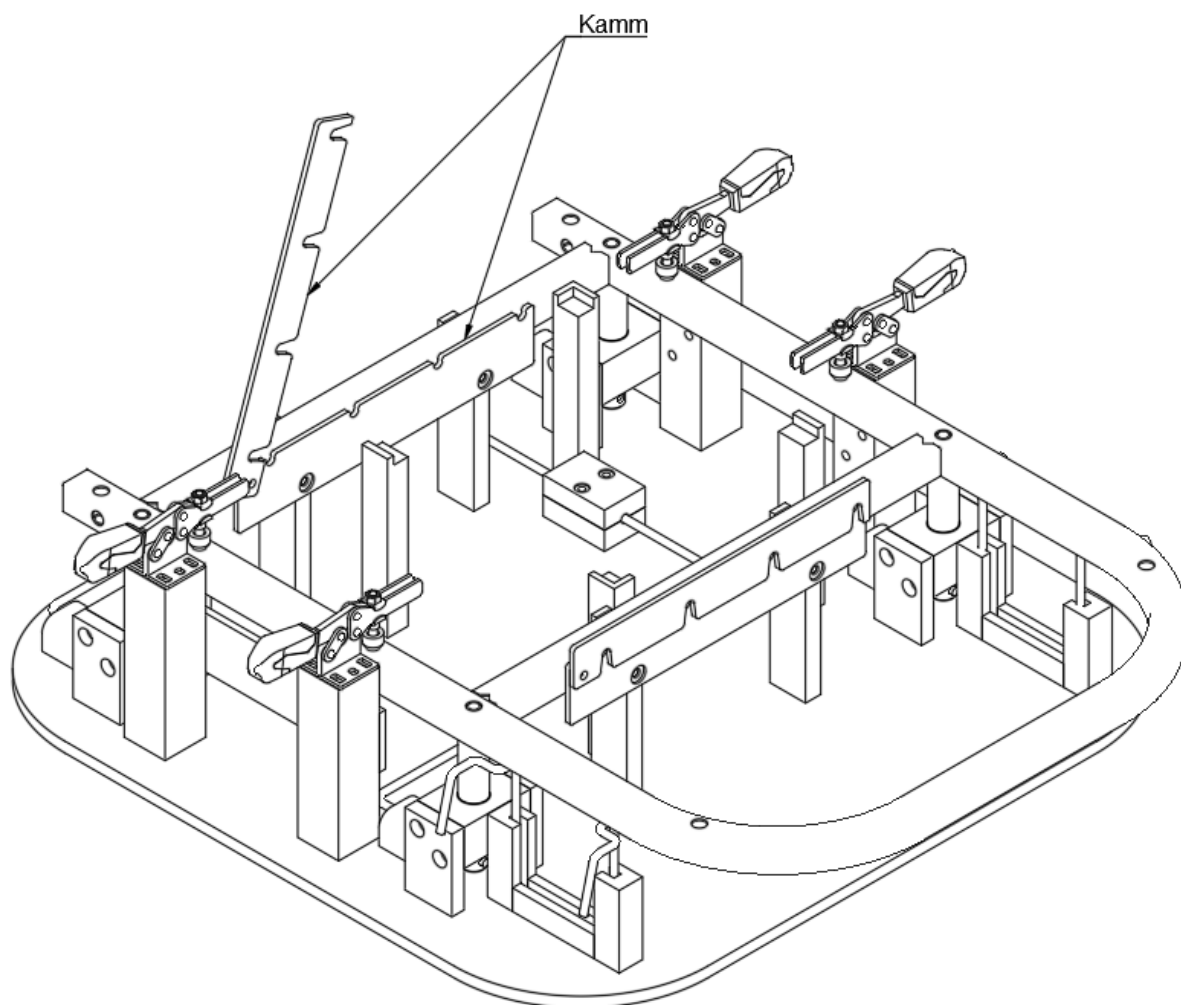
Joonis 6.1.5 Põhjatoru paigaldus tappidele

Vahepuude asendi tagavad samuti tugipostid, mille asetus on toodud joonisel 6.1.6, ühtlasi on seal näidatud ämbriplaadi tugipostid. Plaat toestatakse kahest nurgast ning servast, mis tagab plaadi tsentreerituse ning korrektse asukoha. Vahepuude tugipostid ning ämbriplaadi hoidja detailid on valmistatud nelikant täismaterjalist.



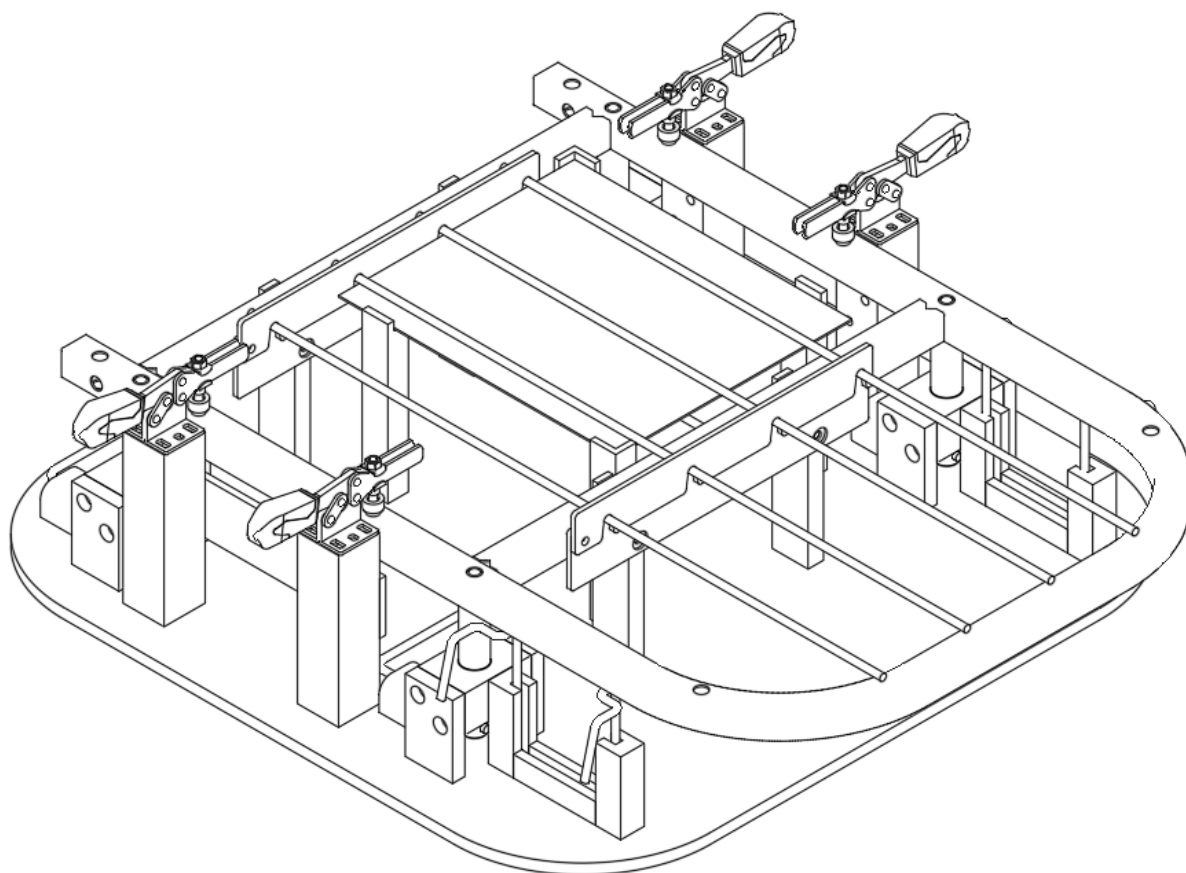
Joonis 6.1.6 Vahepuude ja plaadi tugipostid

Traatide fikseerimiseks on kasutatud kammi meenutavat detaili, nagu saab näha joonisel 6.1.7. Traadid asetatakse detailil olevatesse sälkudesse, positioneerides nende asendi, seejärel kamm suletakse ning traadid on sellega fikseeritud. Kamm ise on kinnitatud vahepuude tugipostide külge poltliitega.

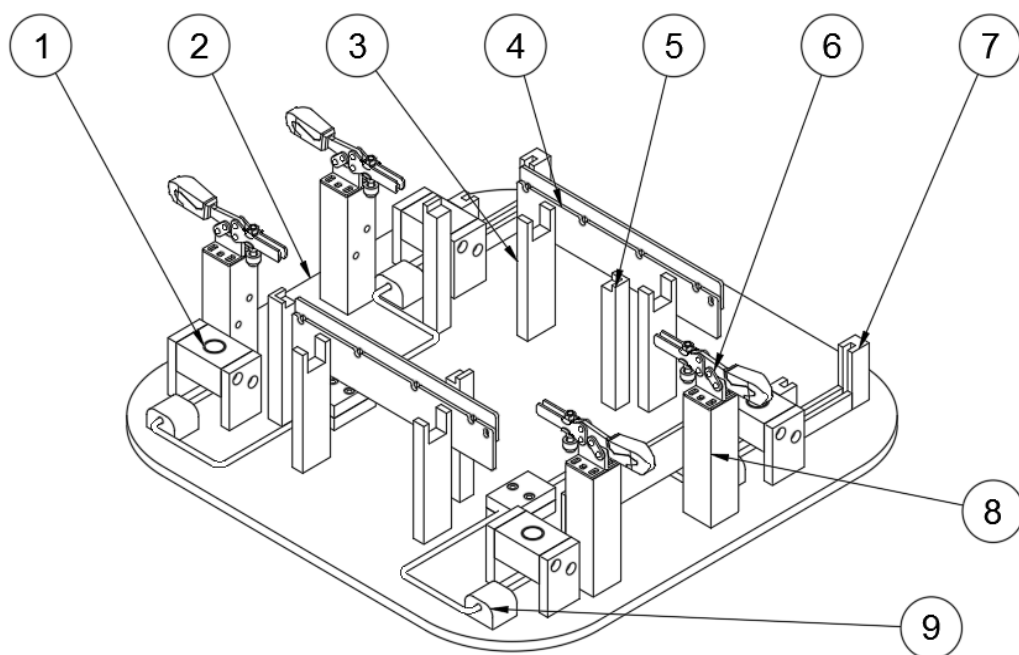


Joonis 6.1.7 Traatide kinnituselement "kamm"

6.2 Projekteeritud lahendus



Joonis 6.2.1 Projekteeritud rakis koos alusraamiga



Joonis 6.2.2 Projekteeritud rakise komponendid

Rakis koosneb viiest erinevast alamkoostust ning neljast erinevast detailist. Komponentid on valitud ning projekteeritud silmas pidades eelnevalt mainitud kriteeriume. Kõik joonisel 6.2.2 välja toodud komponendid on alusraami külge (joonisel tähistatud numbriga 2) kinnitatud poltliitega. Kasutatud on DIN 7984 madala peaga tsiingitud polte.

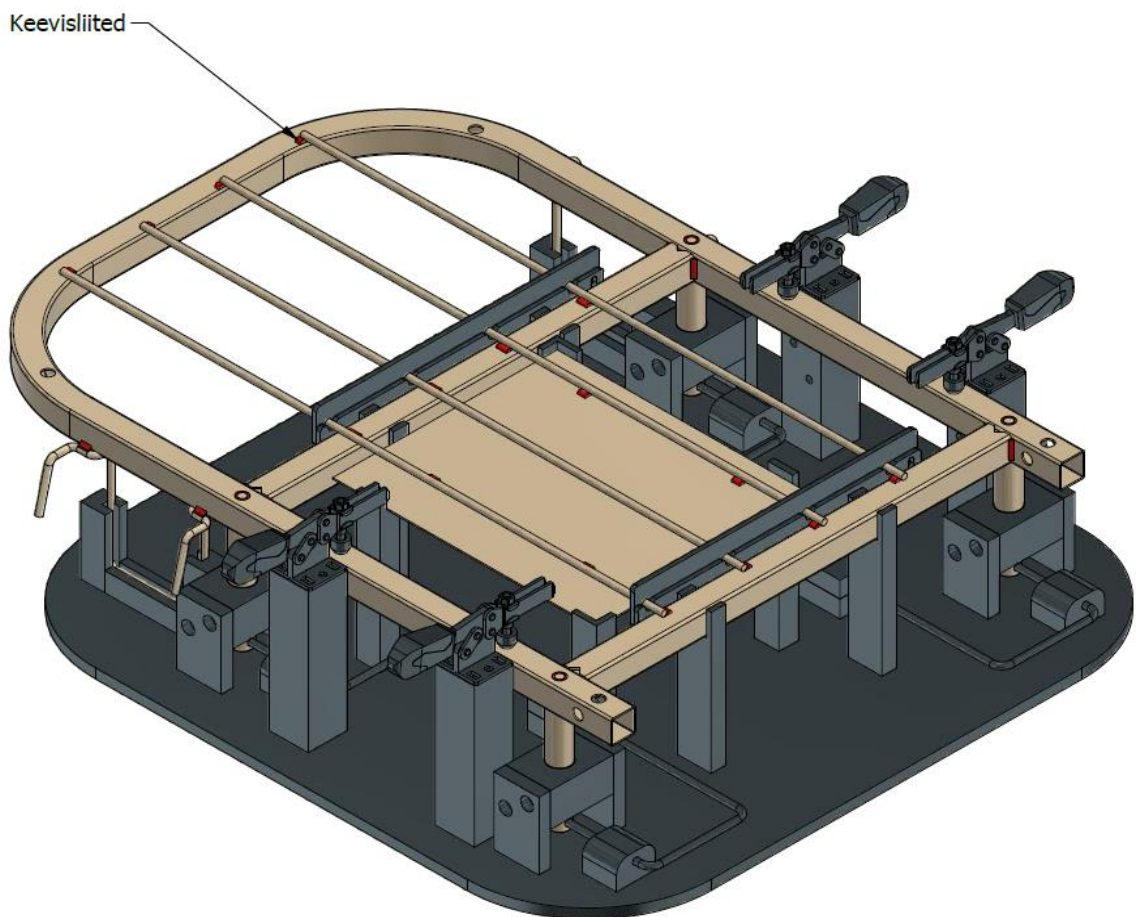
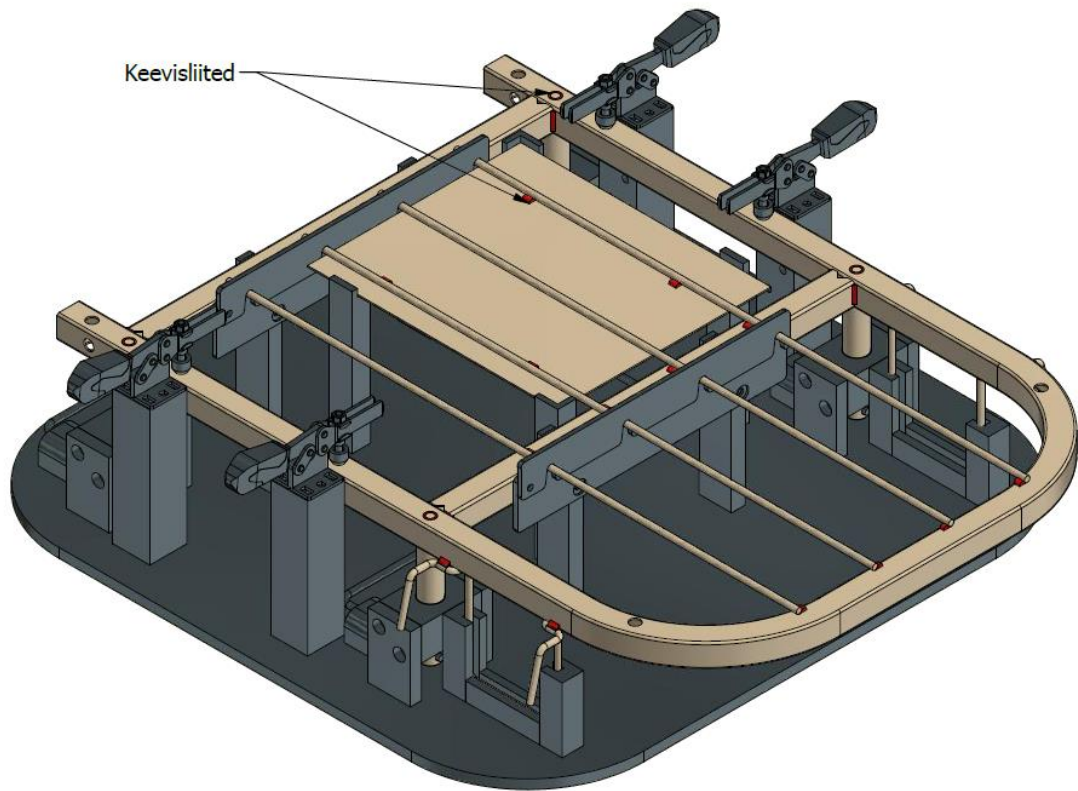
Joonisel 6.2.1 on võimalik näha rakises fikseeritud asendis olevat alusraami. Esimese sammuna paigaldatakse rakisesse neli tappi, asetades need hülssidesse (joonisel tähistatud numbriga 1) vastavalt, et hüsil olev avaga pool asetseks allapoole. Järgnevalt fikseeritakse tapi ava, kasutades tapi positsioneerijat (joonisel tähistatud numbriga 9) ning sellega on esimene samm - tappide paigaldamine lõppenud. Järgmise sammuna paigaldatakse kaks traadist harjahoidikut hoidja (joonisel tähistatud numbriga 7) oma pesadesse. Seejärel paigaldatakse alusraami põhjatoru, mis saab fikseeritud õigesse asendisse tänu tappide ning klambri aluspostidele (joonisel tähistatud numbriga 8), viimased tagavad alusraami painutatud põhjatoru külgede paralleelsuse. Järgnevalt asetatakse vahepuud ning lisatakse ämbriplaat. Viimase sammuna paigaldatakse neli traati ning nende peale asetatakse kammi liigendiga osa (joonisel tähistatud numbriga 4), mis oma raskusega surub traatide peale, fikseerides nende asendi.

6.3 Keevitusjärjekord

Järgnevalt on toodud alusraami detailide keevitusjärjekorra kirjeldus:

1. keevitatakse neli tappi mööda kontuuri - pökkõmblus;
2. keevitatakse vahepuud alusraami toru külge nurkõmblusega, mille kaatet $z = 3$ mm ja pikkus 18 mm;
3. keevitatakse mopihoidja traadid kahest punktist nurkõmblusega, mille kaatet $z = 3$ mm ja pikkus 10 mm;
4. keevitatakse põhjatraadid kolmest kohast - vahepuude ning alusraami põhjatoru külge nurkõmblusega, mille kaatet $z = 3$ mm ja pikkus 8 mm;
5. keevitatakse ämbriplaat nelja punktiga kasutades nurkõmblust, mille kaatet $z = 3$ mm ja pikkus 8 mm.

Seletavad joonised on toodud järgnevalt, kus punase värviga on tähistatud keevisliited.



Joonis 6.3.1 Keevisliited

Järgnevalt esitatud tabelis on kirjeldatud keevitusprotsessid ning välja toodud iga keevitusoperatsiooni tüüp, pikkus, mass ning ruumala.

Tabel 6.3.1 Keevisliidete mõõdud

Nimetus	Õmbluse tüüp	Pikkus mm	Mass kg	Õmbluse ruumala mm ³
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Vahepuu õmblus	Nurkõmblus	18	0,0006	81
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Põhjatraatide õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Ämbriplaadi õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Ämbriplaadi õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Ämbriplaadi õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Ämbriplaadi õmblus	Nurkõmblus	8	0,0009	107
Tappide õmblus	Pökkõmblus	-	0,003	175
Tappide õmblus	Pökkõmblus	-	0,003	175
Tappide õmblus	Pökkõmblus	-	0,003	175
Tappide õmblus	Pökkõmblus	-	0,003	175
Mopihoidja traatide õmblus	Nurkõmblus	10	0,0004	45
Mopihoidja traatide õmblus	Nurkõmblus	10	0,0004	45
Mopihoidja traatide õmblus	Nurkõmblus	10	0,0004	45
Mopihoidja traatide õmblus	Nurkõmblus	10	0,0004	45
Kokku			0,025	3240

Tabelist näeme, et kasutatava elektroodi mass keevitusel on 25 g alusraami kohta, mis on suhteliselt väike kogus ning seega eraldi keevisliidete maksumust arvutada ei ole otstarbekas.

6.4 Rakise valmistamise kulu

Rakise valmistamisel kasutati erinevaid materjalitüüpe - täismaterjali, lehtmaterjali. Täismaterjalist profiilide töötlemisel kasutati ketassaagi, freespinku ja puurpinku. Laserlõigatud detailid nagu nt kamm, liigend ja alusplaat telliti platvormi *fractory.co* vahendusel. Kõik ühendused alusraamile on tehtud kasutades poltliiteid. Projekteerimist eraldi kuluna antud kalkulatsiooni tehes ei arvestatud, kuna see toimus pikema aja vältel ning ei olnud ajaliselt määratletav.

Materjalide ning töö kulu antud rakise valmistamiseks on toodud tabelis 6.4.1.

Tabel 6.4.1 Rakise valmistamise kulu

Rakis	Kulu	Hind €
Projekteerimine	-	-
Alusplaat - süsinikteras, plaat 12mm	340 x 640 mm (Fractory.co)	56
Kamm ja liigend - süsinikteras, leht 5 mm	(Fractory.co)	16
Hülssi jalad - süsinikteras, plaat 12mm	(Fractory.co)	21
Vahepuu hoidjad - süsinikteras, plaat 15mm	(Fractory.co)	20
Ruutteras S235; 20 mm x 20 mm	1,2 m	10
Ruutteras S235; 40 mm x 40 mm	1,1 m	38
Ruutteras S235; 50 mm x 50 mm	0,5 m	28
Ribateras S235; 15 mm x 40mm	0,4 m	5
Töötlemine, ajakulu	6 h	160
Koostamine, materjalikulu	-	20
Koostamine, ajakulu	0,3 h	10
Klambrid	-	64
Kokku		448

Hind kokku ühe alusraami rakise valmistamiseks tuli ca 448 eurot.

7. ROBOTSÜSTEEMI KOMPLEKTEERIMINE

Järgnevas peatükis on ABB RobotStudio tarkvara abil teostatud robotsüsteemi kompleksi ülesehitus. Välja on toodud konkreetset seadmed, nende parameetrid ja funktsionaalsus. Esimeses etapis on lähtunud põhimõttest, et tootmisesse planeeritakse soetada uus robot.

RobotStudio on ABB poolt välja töötatud programm, mis on mõeldud virtuaalsete robotsüsteemide ehitamiseks ja simuleerimiseks ning võimaldab simuleerida terve süsteemi toimimist alustades detailide töötlemisest ja roboti liikumiskiirangutest kuni lõpetades kokkupõrkeohtudega. Tarkvara abil saab hinnata, kas alusraam on keevitav kasutades projekteeritud rakist. Kuna tarkvara simulatsioon - roboti liikumine ja keevitusprotsess on võrdväärne realses elus toimuva roboti liikumisega, siis on võimalik selle abil leida keevitusaeg ja parameetrid. Leitud andmed võimaldavad teostada tasuvusanalüüsi roboti soetamise kohta.

7.1. Robot ja kontrollid

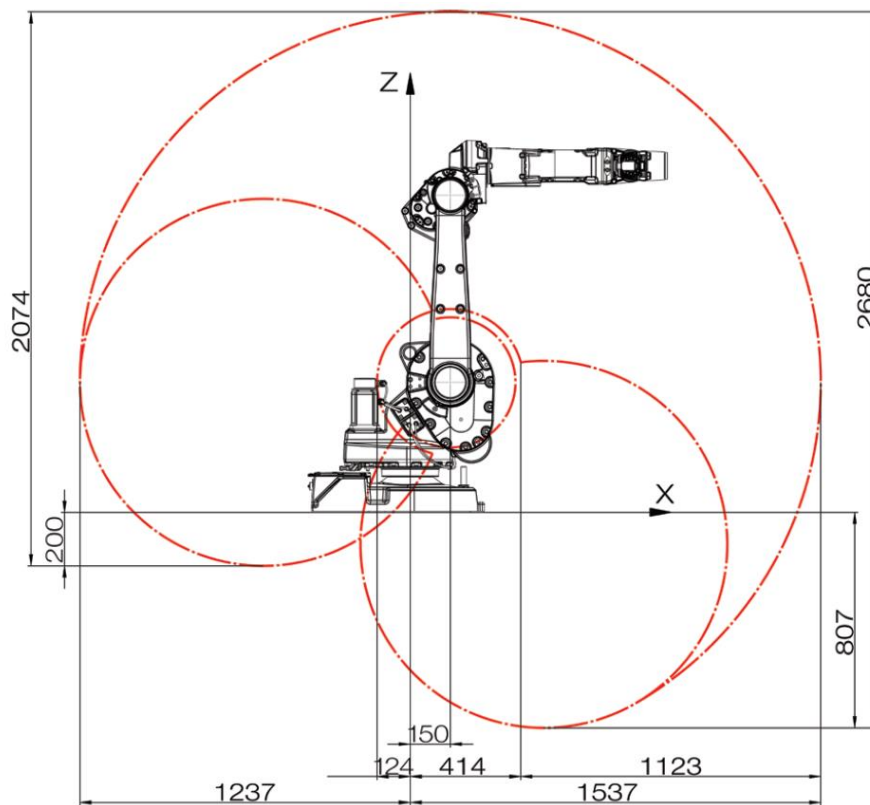
Süsteem tuleb valida vastavalt kriteeriumitele, mida on käsitletud rakise projekteerimise faasis. Valiku tegemisel oli tähtis punkt, mis sätestab, et seade oleks uus ning hoolduse ning varuosade tugipunkt oleks Eestis olemas. Nende nõudmiste rakendamisel jäid valikusse ABB ja Yaskawa/Motoman robotid ning nende komponendid. Järgnevalt teostati ettevõtte siseselt nii ABB kui Yaskawa võrdlus, mille tulemusena jäi peale ABB. Peamine argument, miks sai valitud ABB oli võimekus pakkuda hea hinnaga süsteemi komplekti - robot, kontrollid, keevitusseade.

Robot valiti selliselt, et see oleks võimalikult kompaktne, samas piisavalt suure tööalaga, selleks et tagada alusraami keevitamine. Valitud on ABB IRB 1660ID robot, mis oleks ostetud uuea. Tegemist on kuue teljelise robotiga, mille üks põhilisi suunitlusi on tootja sõnul keevitamine. Toode on ideaalne töötama tingimustes, kus väga oluline on roboti tööriista käpa liigendi liikumine. Ühtlasi on tegemist väga kiire sooritusvõime ja gabariitidelt väikse robotiga.

Roboti ulatus on 1,55 m maksimaalse teiseldatava kaaluga 6 kg. Positsiooni korratavus antud mudelil on 0,02 mm ning töörajal liikumise korratavus on 0,05 mm [3].



Joonis 7.1.1 ABB IRB 1660ID robot [3]



Joonis 7.1.2 Roboti tööala (joonisel ühikud millimeetrites) [3]

Tabel 7.1.1 ABB IRB1660ID spetsifikatsioon [3]

Omadus	Väärtus	Ühik
Roboti põhja mõõtmed	484 x 648	mm
Mass	257	kg
Telgede arv	6	telge
Turvaklass	IP67 (neljas telg IP40)	
Liikumise korratavus	0,05	mm
Positsiooni korratavus	0,02	mm
Toitepinge	200-600 V, 50-60 Hz	
Energiatarve	0,62 kW	kW
Töökeskkonna temperatuur	+5 kuni +45	°C
Lubatud õhuniiskus	kuni 95	%
Müratase	All 70 dB	dB

Roboti juhtimiseks kasutatakse kontrolleri, mis koosneb juhtelektroonikast ning jõuelektroonikast (Servodraivid elektrimootorite juhtimiseks). Kontrolleriina sooviti kasutada viimase seeria toodangut - *IRC5C Compact Controller*. Antud controller on oma mõõtmetelt ja kaalult kordi väiksem, kui tavaline *IRC5* controller, võimaldades säästa ruumi töökojas. Controller omab ka uut ABB *safemove'i* - turvalahendus tõstmaks turvalisuse taset töölise ja masina vahel. Võimalik on paigaldada erinevad sensorid, et tagada tööliste ohutus roboti tööalal liikumisel, mis omakorda võimaldab vähendada kasutatavat tööpinda töökojas. Programmeerimine võib toimuda nii *online* kui *offline* meetodil. Kompaktne versioon oleks olnud hea just oma väiksete gabariitmõõtmete tõttu, kuid kuna keevitusaparaadiga suhtlemiseks vajab controller 633-4 Arc 6 lisavarustust, mis on riistvaramoodul, siis ei olnud võimalik seda mahutada kompaktsesse controllerisse ning tuleb kasutada täissuuruses *IRC5* kontrolleri. Oma gabariitidelt on tegemist ligi kolm korda suurema ja kaalult isegi umbes viis korda raskema controlleriga.



Joonis 7.1.3 IRC5C kontrolleri (mõõtmetega 310 mm x 449 mm x 442 mm ja kaaludes 30kg) [4]



Joonis 7.1.4 IRC5 kontrolleri [5]

ABB robotite programmeerimiseks on Rapid, mille põhilised rakendused on suhteliselt kerge kasutada, kuid on võimalik välja töötada ka keerukaid ja väga spetsiifilisi lahendusi.

Tabel 7.1.2 IRC5 kontrolleri spetsifikatsioon [5]

Omadus	Väärtus	Ühik
Mõõtmed	970 x 725 x 710	mm
Mass	150	kg
Toitepinge	3 phase, 200-600 V, 50-60 Hz	
Turvaklass	IP54 (jahutusavad IP33)	
Töökeskkonna temperatuur	0 kuni +45	°C
Lubatud õhuniiskus	kuni 95	%
Turvalisus	ISO10218; SafeMove 2	

Lisaks on süsteem varustatud roboti kontrollimiseks õpetamispuldiga *Teach Pendant*, mis on käes hoitav juhtpult. *Teach Pendant* on ühendatud kontrolleriiga ning selle abil on võimalik robotit liigutada, liikumisi programmeerida, programmeeritud seadistusi muuta ning testida koostatud programmi.



Joonis 7.1.5 Teach Pendant õpetamispult [6]

7.2 Keevitusseadmed

Keevitusseadmeks sai valitud Fronius TPS320i. Tegemist MIG/MAG keevitusseadmega, mis on Froniuse seerias mõni aeg tagasi uuenenud mudel. Aparaat saab kohanda vastavalt vajadustele ja

selle omadusi on võimalik uuendada ning kaasajastada. Seade on varustatud CMT ehk *Cold Metal Transfer* keevitusprotsessiga, mis võimaldab:

- märgatavalt vähendada soojussisestust;
- vähendada pritsmeid;
- vähendada emissioone;
- hoida suuremat protsessi stabiilsust.

Nimetatud omadused on eeliseks tavalise MIG/MAG keevitusprotsessi ees.



Joonis 7.2.1 Keevitusseade Fronius TPS320i [7]

CMT meetod on MIG/MAG keevituse arendus, mida nimetatakse ka külmkeevituseks ja kaarjootmiseks. Elektroodimetalli siire keevitusvanni toimub ilma pinget ja keevitusvoolu rakendamata. Traadi etteandmine on katkendlik ja isegi kui juhtub tekkima lühis traadi tipu ja keevitusvanni vahel, siis lõpetatakse koheselt traadi etteandmine ning traati tõmmatakse veidi tagasi, mille tulemusel metallitilk eemaldub traadi tipust. Keevitusvool läheb nulli ning metalli siire toimub vooluta. Protsess on pidev ning sekundiga tekib umbes 70 tilka [8].

Keevitusvoolu vahemik 3 - 320 A, pinge 14,2 - 30,0 V. Keevitavad metallid on süsinikteras, legerteras, alumiinium. Seadmega on võimalik omavahel keevitada ka terast ja alumiiniumit, kuid selle võimekust antud kontekstis vaja ei lähe [9].

Järgnevalt on toodud traadisöötja kirjeldus. Traadisöötja on vajalik, et edastada keevistraati tõlvikuni. Söötjaks on valitud Fronius WF 25i R, mõõtudega 250 mm x 210 mm x 190 mm, seade on tänu oma kompaktsusele ja väiksele kaalule, mis jääb alla 5 kg hästi paigaldatav roboti telgede külge. Antud

söötja võimaldab kasutada keevistraati läbimõõduga 0,8 mm kuni 2,4 mm ning traadi liikumise kiirus on 1 m kuni 24 m minutis. Traati juhitakse masinast nelja rulliku abil, mis tagab hea ülekande ja traadi liikumise.

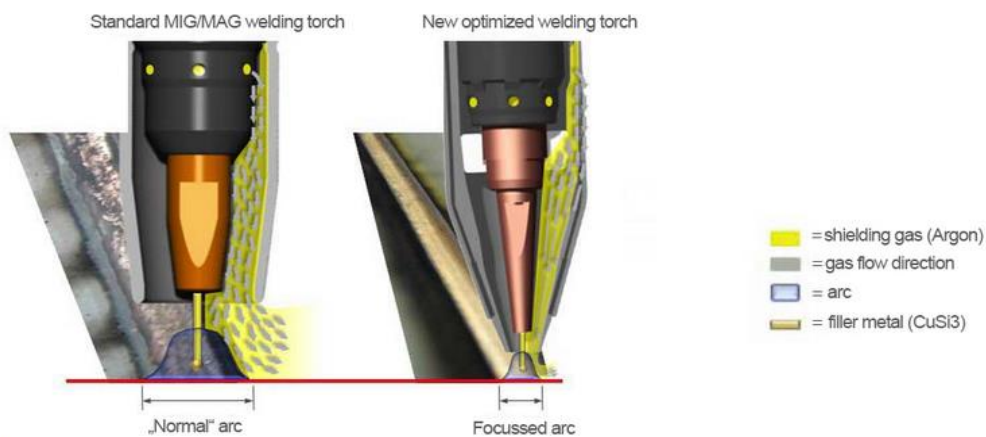


Joonis 7.2.2 Traadisöötja Fronius WF 25i R [10]

Keevitustõlvikuna on kasutatud Fronius WF 25i ROBACTA DRIVE tõlvikut, mis võimaldab keevitamisel kasutada CMT tehnoloogiat. Joonisel 7.2.4 saab näha WF25i eelist tavalise tõlviku ees. Tõlviku ava nimelt on palju kitsam ja fokuseeritum, tagades CMT keevitusel väga kõrge keevisliite kvaliteedi ning vähendades gaasikulu kuni 60% võrreldes tavalise MIG keevitus protsessil kasutatava tõlvikuga [11].



Joonis 7.2.3 Keevitustõlvik Fronius WF 25i ROBACTA DRIVE [11]



Joonis 7.2.4 WF 25i ROBACTA DRIVE ja tavalise tõlviku võrdlus [11]

Põleti puhastusseademeks on valitud Binzeli TCS Compact, toode on vajalik, et aeg ajalt puhastata keevitustõlvikut. Tegu on täisautomaatse lahendusega, mis sobib pea kõikide robotitootjate mudelite ning tüüpidega.

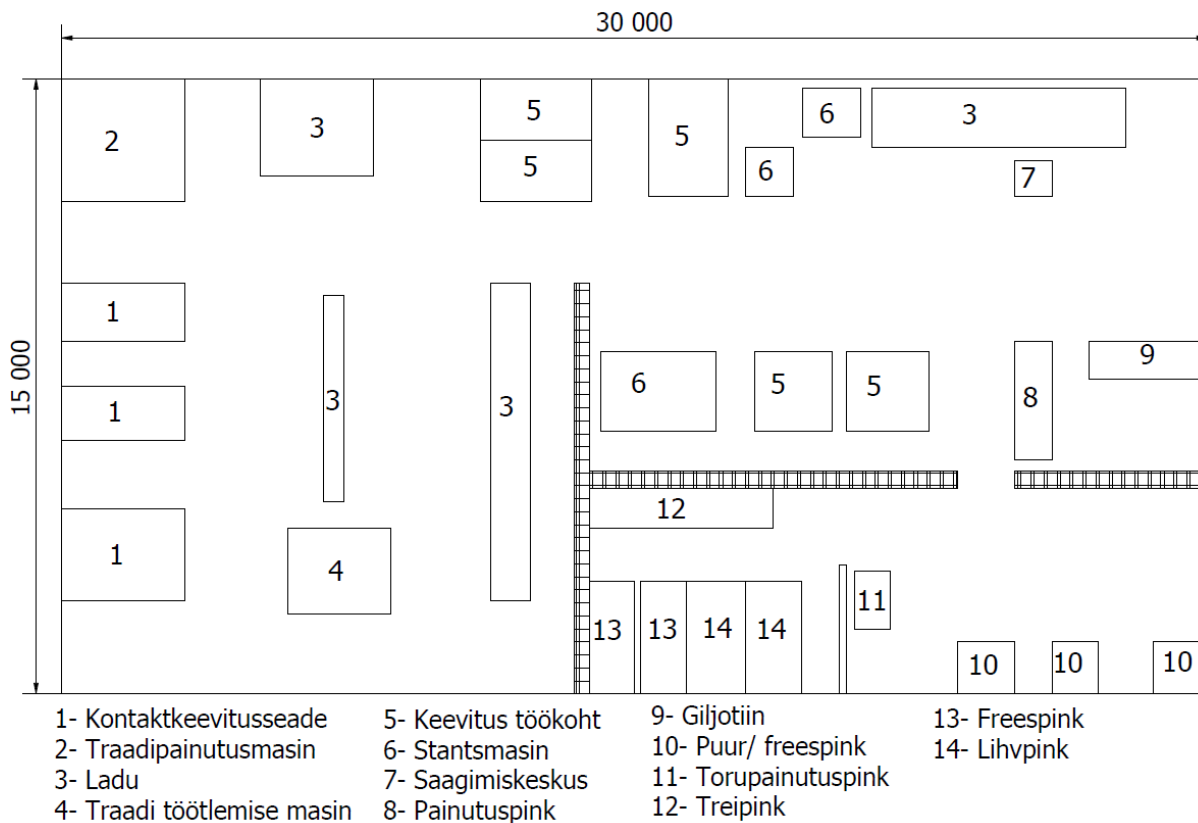


Joonis 7.2.5 Põleti puhastusseade Binzel TCS Compact [12]

7.3 Keesitusroboti töökeskuse asendiplaan

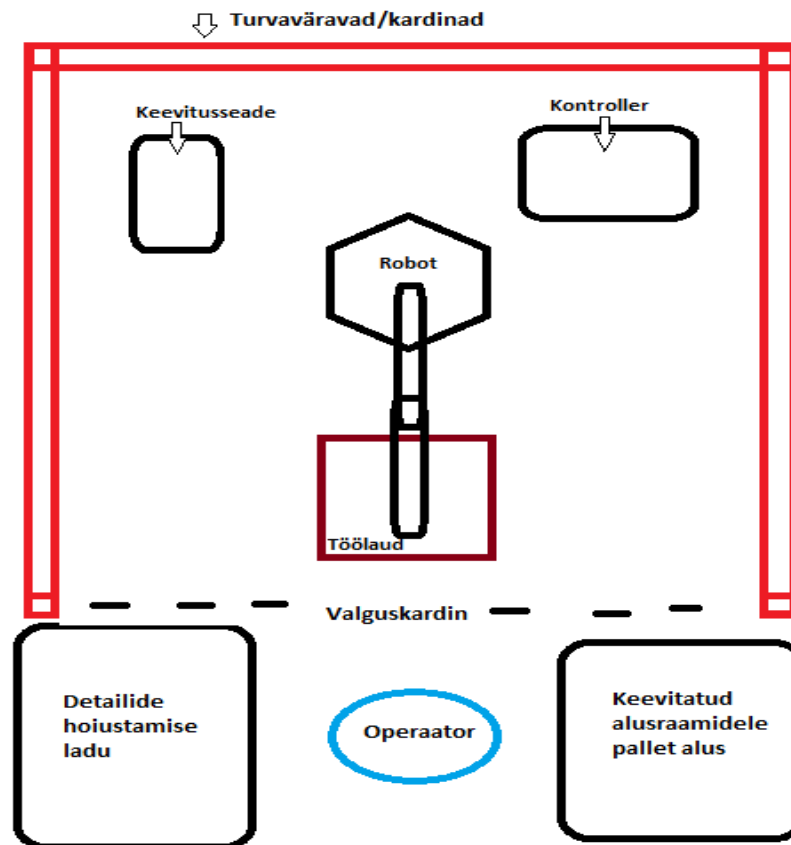
Robotsüsteemi asukohta ei ole võimalik praegusel hetkel täie kindlusega määratleda, kuna on võimalus, et ettevõtte saab lähiajal laiendada praeguses tootmishoones oma tööruume, mis tooks kaasa kogu praeguse planeeringu muutuse. Lõputöö raames on arvestatud, et robotjaam paigaldatakse joonisel 7.3.1 numbriga kaks tähistatud asukohta. Praegusel hetkel asetseb seal

traadipainutusmasin, kuid roboti soetamisel paigaldatakse sinna robotjaam. Ala, mille traadipainutusmasin enda alla võtab on mõõtmetega 4 m x 4 m, mis on piisav mahutamaks planeeritav jaam mõõtmetega 3,5 m x 3,5 m. All on toodud praegune tootmishoone lihtsustatud plaan. Joonisel on toodud suuremad seadmed ning masinad. Väiksemad seadmed on jäetud märkimata. Suuremad seadmed o



Joonis 7.3.1 Tootmishoone lihtsustatud plaan

Töö raames on arvestatud, et robotsüsteemi poolt haaratava ala tuleb mõõtmetega 3,5 x 3,5 meetrit, mis on piiratud turvaväravaga. Töökeskuse ala sisse peavad jääma: robot, kontroller, keevitusaparaat koos lisaseadmetega ning töölaud. Kuna robotjaam paigutatakse tootmishoones ühte ruumi nurka, siis puudub vajadus, et jaama kõik küljed oleksid kaitstud turvaseintega. Joonisel 7.3.2 on toodud robotjaama asendiplaan tootmishoones. Turvaseinaga on varustatud vaid üks külg, kuna kaks teist külge on asetatud vastu seinu ning eesmine külg on avatud, tagamaks kiiret juurdepääsu keevitusjaama komponentidele. Turvalisuse tagamiseks on kasutatud valguskardinat, mis keevitusjaama sisenemisel peatab roboti töö.



Joonis 7.3.2 Töökeskuse lihtsustatud asendi plaan

Lisaks tuleb mõelda materjali käitlemisele - kuidas hakkab toimuma rakise täitmine detailidega ning kuhu hakatakse ladustama keevitatud tooteid. Probleemi saab lahendada väga erinevatel meetoditel, kasutades nt kahepoolset tööplatvormi koos pöördlauaga, kus roboti keevituse teostamise ajal operaator juba valmistab ette järgmise rakise. Antud meetod oleks efektiivne ja otstarbekas kasutada olukorras, kus roboti töökoormus on väga kõrge, praeguste tootmismahude juures selle järgi vajadust ei ole. Sobilik lahendus on toodud joonisel 7.3.2, kus saab näha, et on töövoog järgmine: operaator võtab tootmiskeskuse kõrvalt laost detailid ning paigaldab need töölaual asetsevale rakisele ning seejärel sulgeb ukse, keevitusprotsessi lõppedes võtab keevitatud alusraami ning asetab joonisel näidatud euroalusele. Protsess kordub kuni on keevitatud vajalik kogus alusraame.

8. ROBOTSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE ROBOTSTUDIOS

Süsteemi koostamiseks ning simulatsiooni teostamiseks kasutati ABB RobotStudio Tarkvara. Antud tarkvara abil on võimalik komplekteerida terviklik lahendus visualiseerimaks nii tervet tootmisüksust kui näha roboti reaalsel liikumisel keevitamisel.

Ettevõttel puudub RobotStudio litsents, kuid ABB võimaldab antud tarkvara kasutada 30 päeva jooksul tasuta ning ühtlasi on võimalus kasutada ülikooli arvuteid, kus on antud tarkvara litsents olemas.

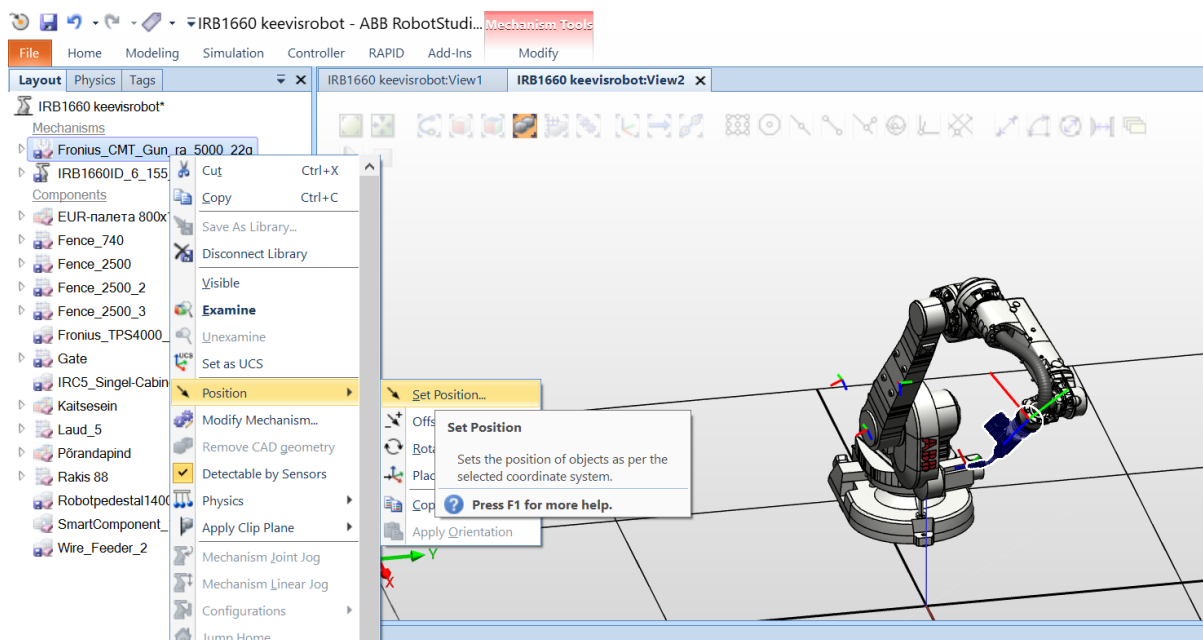
8.1 Süsteemi ülesehitus RobotStudio tarkvara kasutades

Tarkvara kasutamisel tuleb esimese sammuna tekitada uus virtuaalne robotsüsteem, mille sisse süsteemi projekteerima/ ehitama hakatakse, selle tarvis tekitati programmis *New Station with Robot Controller*. Loodud sai tühi keskkond, mis on varustatud virtuaalse kontrolleri tänu millele on kõik arvutis toimuv simulatsioon võrdväärne reaalses elus toimuvaga.

Järgnevalt avaneb tühi töökeskkond, kuhu on võimalik robotsüsteem ehitada. Esiteks tuleb tekitada *New Station* keskkonna sisse tööpind, mille peale valitud komponendid paigutatakse. Tööpinda valitakse vastavalt tootmishoones planeeritava võimaliku vaba tootmispinnaga, kuhu robot paigutatakse. Tööpind projekteeriti Autodesk *Inventor* tarkvara kasutades, modelleriti 3,5 m x 3,5 m suurune ruudukujuline pind, seejärel konverteeriti antud *Inventor* faili mudel üldkasutatavaks .SAT faili formaati, ning sisestati RobotStudio *New Station* programmi (*New Station – Modeling – Import Geometry – Browse for Geometry*). Tööpinna mõõtudeks valitud 3,5 m x 3,5 m suuruse ala kohta oli täpsemalt on juttu keevitusroboti töökeskuse asendiplaani peatükis.

Järgmise etapina hakati üles ehitama kogu robotsüsteemi. RobotStudios on olemas robotid, standardtööriistad ning, enamus vajalike komponente, mida saab kasutada robotisüsteemi koostamisel. Komponendid paiknevad menüüs *Home* menüüst mööda järgmist otsingurada: *Import Library - Equipment*. Töökeskkonda sisestati valituks osutunud ABB IBR1660ID robot, mis asetati kõrgendus platvormile, et tõsta robot maapinnast kõrgemale. Robotit tõstes saavutati olukord kus robot teostab keevitust maapinnast umbes 0,8 meetri kõrgusel, mis on töölisele mugav ning ta saab

ergonoomiliselt keevitatud alusraami rakisest eemaldada ning ühtlasi uusi detaili rakisesse paigaldada. Komponentide asendi muutmiseks tuleb tarkvara keskkonnas kasutada käsklust *Set Position*, selle jaoks tuleb *Layout* paneelis parema hiire klahviga valida sobilik objekt, *Position – Set Position*.



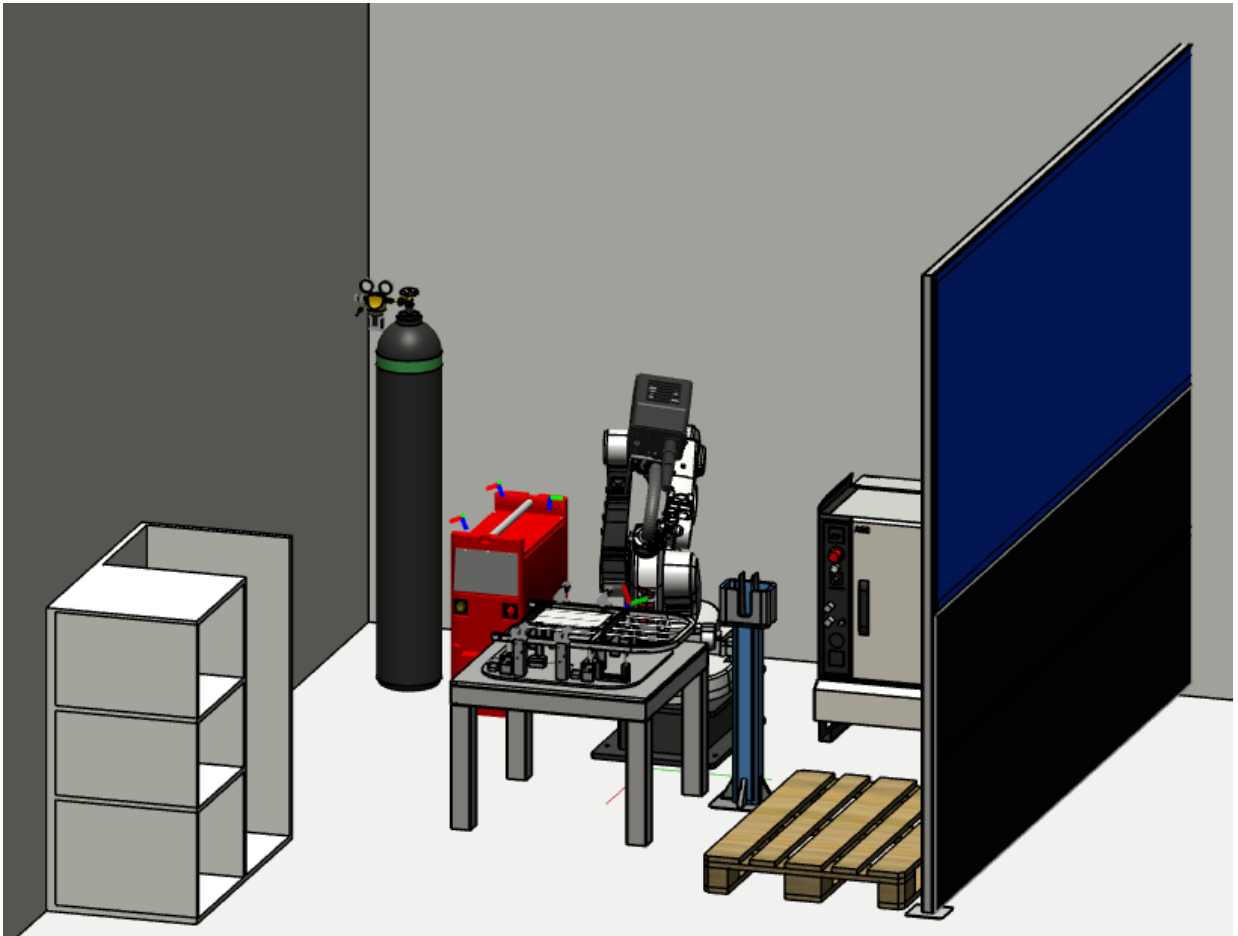
Joonis 8.1.1 Komponentide asendi määramine

Järgnevalt sisestati kontrolleriiks valitud IRC5 kabinet ning kõik ülejäänud keevitusseadmed: keevitusseade; tõlvik; traadisöötja; põleti puhastusseade. Nagu ennegi, tagamaks seadmete kindel asend tuli kasutada käsklust *Set Position*, et positsioneerida seadmed vastavalt soovile. Tõlviku sidumiseks roboti manipulaatoriga valitakse brauseris *Layout* paneelis sobilik tööriist, parema hiireklahviga *Attach to* ning valida töökeskkonda sisestatud robot. Seepeale avaneb aken, kus küsitakse, kas soovite värskendada tööriista positsiooni, millele tuleb vastata jaatavalt. Selle tulemusel kinnitub tõlvik roboti külge. Sama protseduur tuleb teostada ka traadisöötjaga, mis tuleb kinnitada roboti neljanda telje külge.

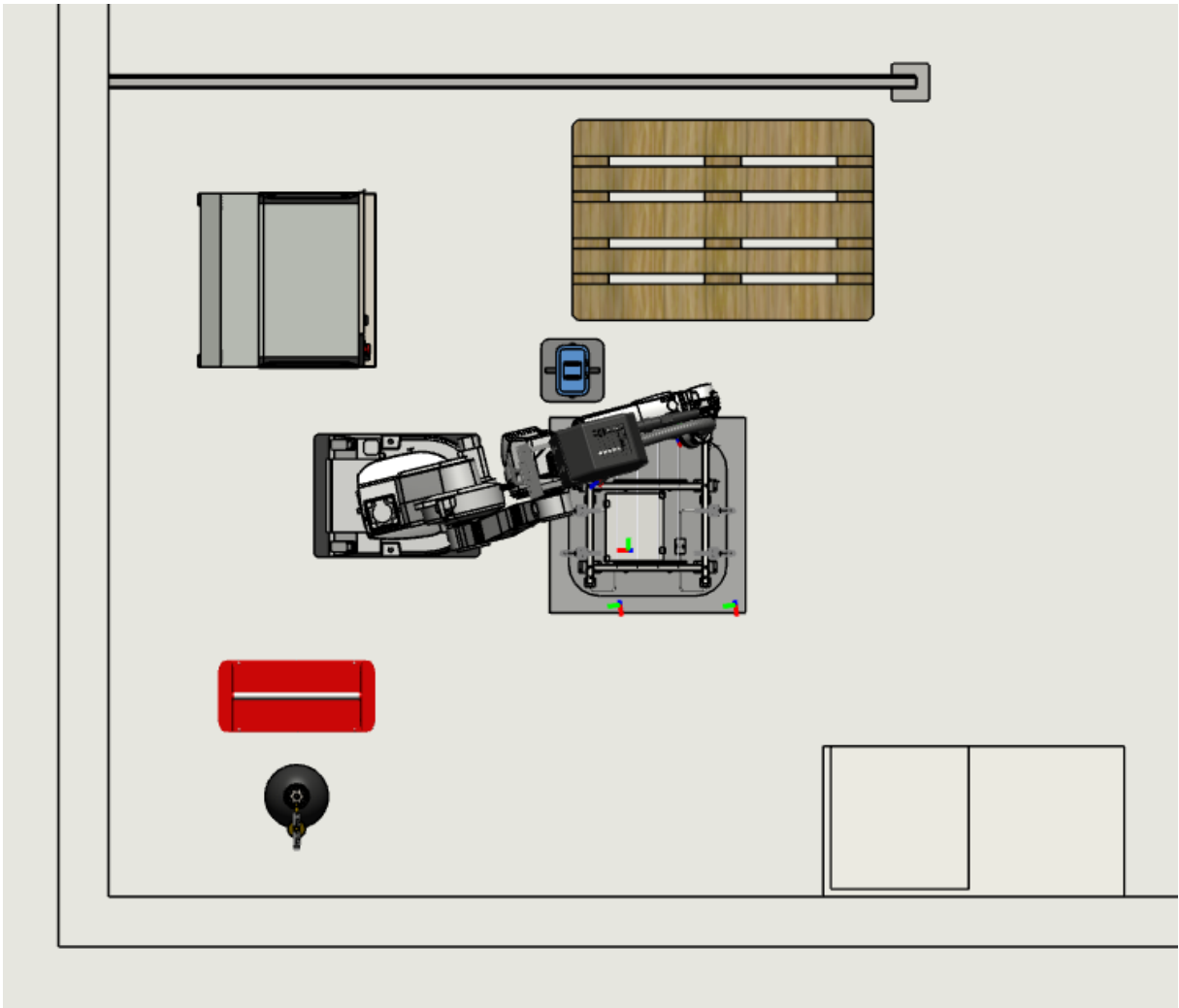
Ohutuse tagamiseks on vajalik robot isoleerida ülejäänud tootmiskeskusest turvasüsteemiaga, ilma selleta ei vasta projekteeritav keevitusjaam seadme ohutuse seadusele. Lahenduses on kasutatud turvaseinu, mis on projekteeritud *Inventor* tarkvaraga ning seejärel eelnevalt seletatud viisil viidud üle koostatavasse süsteemi. Täpsem valik turvaseinu/ kardinaid selgub hetkel, kui ettevõtte realselt jõuab sinnamaani, et tootmisesse robotsüsteem hangitakse. Robotsüsteemi komponendid valitud, konverteeriti projekteeritud rakis koos alusraamiga samuti .SAT faili formaati ning sisestati töökeskkonda. Nagu eelnevalt mainitud tõsteti robot maapinnast kõrgemale, tagamaks roboti operaatorile ergonoomilised töötingimused, nüüd tuli ka rakisele töölaud projekteerida.

Rakise töölaua projekteerimisel tuli arvestada tulevase töövooga - kuidas hakkab välja nägema keevitust ootavate detailide ladustamine ning kuidas ja kuhu hakatakse paigutama keevitatud alusraame. Täpsemalt oli sellest juttu töökeskuse asendiplaani peatükis. Töölaud projekteeriti 80 mm x 80 mm x 4 mm toruraamist, mille peale on paigaldatud 12 mm paksune terasplaat. Seega on töölaud piisavalt jäik ning stabiilne fikseeritud asendis, mis tagab roboti poolt keevitatavate sõlmede ühtlase kvaliteedi.

Järgnevalt on toodud mõningad pildid RobotStudios projekteeritud töökeskusest.



Joonis 8.1.2 Töökeskus



Joonis 8.1.3 Töökeskus pealtvaates

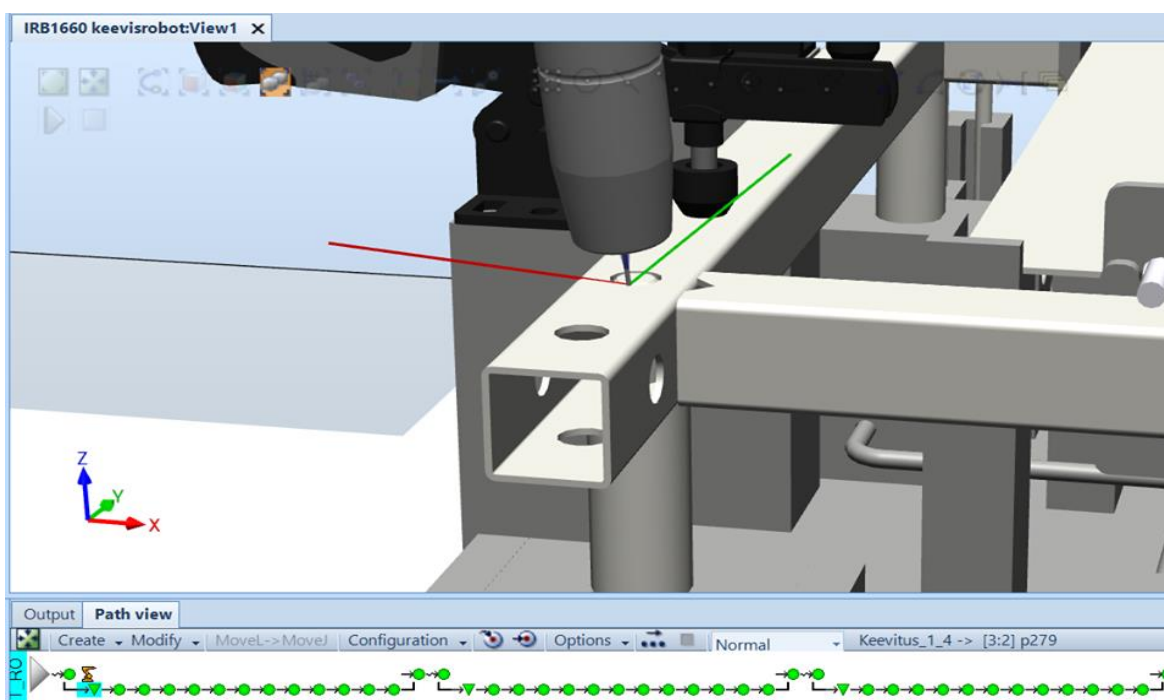
8.2 Robotile töökäskude projekteerimine

Eelnevalt käsitleti süsteemi komplekteerimist ning nüüd süsteemi projekteerimist. On oluline silmas pidada, et RobotStudio ei tee vahet reaalse ja arvutis kasutatava kontrolleri vahel, see tähendab, et kõik mis toimub arvuti ekraanil toimuks ka reaalsuses. Selleks tuleb programmis luua ühendus roboti ja kontrolleri vahel. Projekteerimisel kasutati ABB *ArcWelding Powerpack'i*, mis on tarkvarale lisatav eraldi keevitamise funktsioonidega moodul. Mõeldud on see just keevitusrobotitega varustatud süsteemi projekteerimisel kasutamiseks.

Robotile töökäskluste andmiseks tuli esmalt defineerida tööobjekti koordinaatide alguspunkt. Antud juhul oli tööobjektiks rakisele kinnitatud alusraam, millele nimetatud punkt määrati. Antud punkti

abil teab robot, mis on töödeldav objekt ning mille suhtes roboti koordinaadid peavad liikuma. Roboti või alusraami liigutamisel ühes kohast teise on selle käsklusega tagatud, et kavandatavad sihtpunktid liiguvad sünkroonis alusraamiga, st et roboti või alusraami asukoha muutmine ei too kaasa vajadust uuesti kõiki sihtpunkte defineerida.

Robotile teekonna moodustamine käib sihtpunktide loomise abiga. Sihtpunktid on punkti koordinaadid, kuhu robot liigub oma tööpunktiga, milleks on määratud tõlviku tipust väljaulatuv keevitustraat. Sihtpunktid on võimalik valida alusraami mudelilt *snap* käsklusega, st et iga koordinaati ei tule manuaalselt sisestada. Sihtpunkti näidis on toodud joonisel 8.2.1.



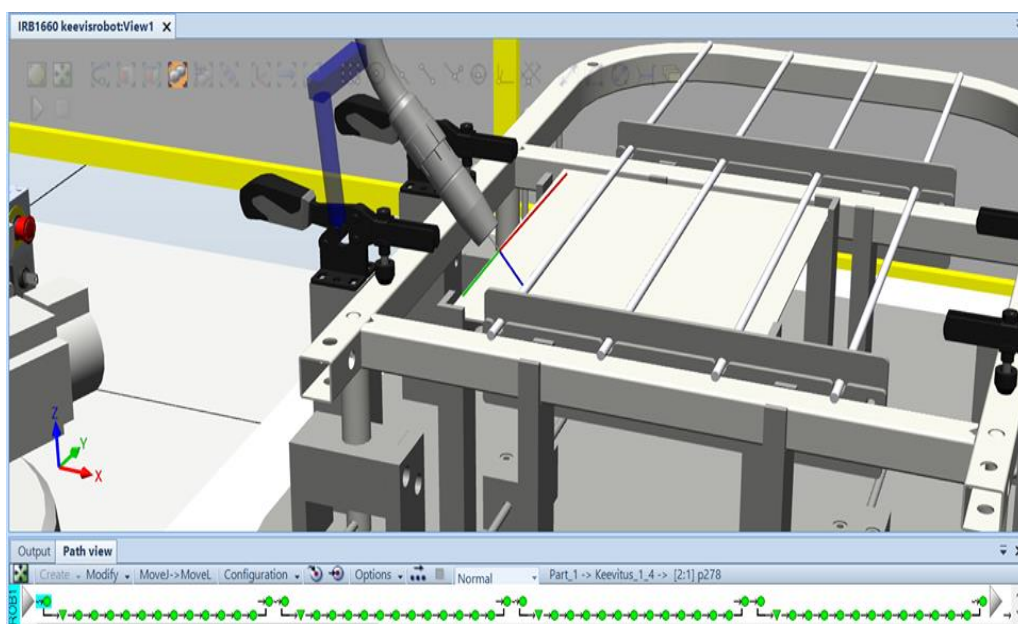
Joonis 8.2.1 Näide alusraamil paiknevast sihtpunktist *ArcWelding* mooduliga “robot at target”

Loodud punktid on aga hetkel lihtsalt punktid kuhu robot oma tööpunktiga liigub, veel ei ole määratletud milliste lülide liikumise asendiga robot sinna punkti jõuab ning millises asendis on roboti tööriist. Lisaks sellele ei ole robotil veel teada, mis käsklusi konkreetsetes punktides täita. Seega tuleks esmalt luua kõik sihtpunktid, seejärel määrata keevitatavad punktid ning alles siis on võimalik seadistada keevitusparemeetreid ja liikumisi. ABB Robotstudio tarkvaral on aga võimalus alla laadida *ArcWelding* moodul, mis võimaldab lihtsalt sihtpunkte omavahel siduda ning konkreetseid käsklusi jagada. *Arcwelding* moodul on võimalik alla laadida *Robotstudio – Add-Ins – RobotApps* ning otsida *ArcWelding*.

Nimetatud paketiiga tuleb tekitada keevitatav punkt (või punktide vahe) soovitud asukohas, kasutada saab punkti defineerimisel koordinaate või lihtsalt soovitud asukoha peale klõpsata. Keevitatav

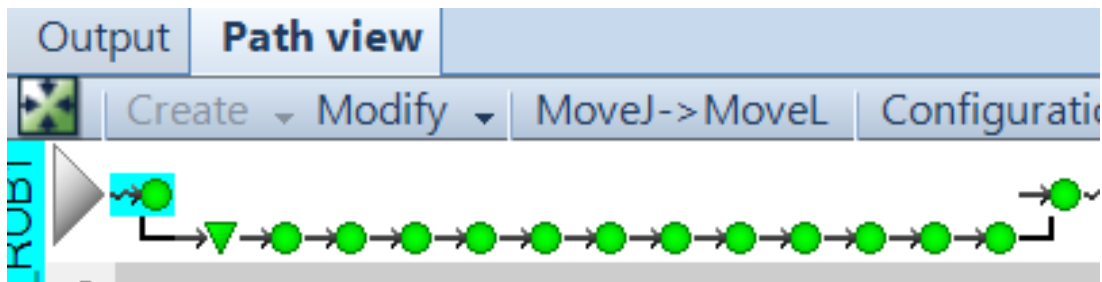
punktide vahe valitud, tekitab *ArcWelding* pakett antud keevisliite teekonnale ise teekonna ning veel kaks lisa liikumist. Esiteks siseneva liikumise, mis määrab tõlviku lähenemise keevitatava asukoha juurde ning eemalduva liikumise, mis eemaldab tõlviku sisestatud punkti juurest. Seda teekonda on võimalik modifitseerida vastavalt vajadusele. Järgnevalt saab defineerida roboti liikumist, valida saab erinevate liikumiste vahel, mis liigitatakse järgnevalt: lineaarne liikumine; mööda ringjoont liikumine; mööda serva liikumine. Käesolevas töös kasutati neist kahte, lineaarset ning mööda ringjoont liikumist. Seadistamisel on võimalik muuta põhilistest parameetritest liikumiskiirust, lähenemiskiirust, eemaldumiskiirust ning roboti *zone'i* - kõik need kirjeldavad kuidas robot ühest punktist teise liigub.

Keevitavate punktide vahe seotakse omavahel *weld* käsklusega, mis tekitab kahe punkti vahele keevisõmbuse, mille kõiki parameetreid on samuti võimalik muuta, alustades voolutugevusest, pingest, kaare pikkusest kuni tõlviku kaldenurga ja tõlviku tipust väljaulatuva traadi pikkuseni. Roboti liikumiseks ühest sihtpunktist teise tuleb vahepeal luua ka sihtpunktide vaheline liikumine, mis on samuti sama mooduliga sooritatavad. Vaheliikumisi on samuti võimalik kõigi eelnevalt nimetatud parameetritega kirjeldada. Järgnevalt toodud joonisel 8.2.2 on toodud eelnevat teksti ning *ArcWelding* moodulit seletav joonis.



Joonis 8.2.2 Teekonna ja keevituse liikumised RobotStudio ArcWelding moodulit kasutades

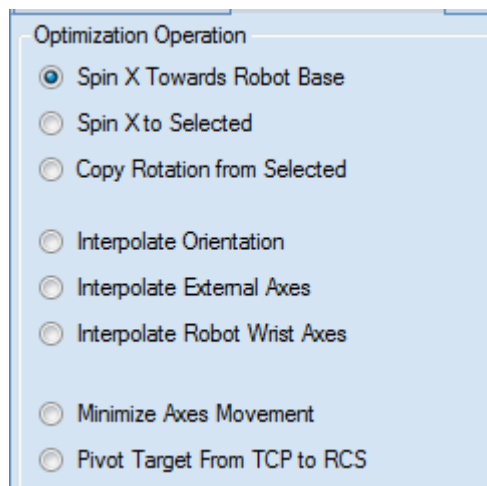
Joonise all nähtav roheliste punktide jada kirjeldab roboti liikumist. Kõrgemal asuvad punktid kirjeldavad vaheliikumisi, lähenemis- või eemaldumise liikumisi ning allpool asetsevad punktid kirjeldavad keevitusprotsessi ning selle toimumisel tõlviku liikumist.



Joonis 8.2.3 Teekonda seletav joonis

Kaks põhilist liikumist mida robot sooritab on *MoveJ* ja *MoveL*. *MoveJ* ehk *Move Joint* kirjeldab liikumist mööda vaba trajektoori, ehk mitte mööda ranget ringjoonelist trajektoori. *MoveL* ehk *Move Linear* kirjeldab roboti käe liikumist mööda ranget sirgjoont. Joonisel 8.2.3 on nimetatud liikumised toodud ülemisel protsessi real. Vaba trajektoori kirjeldav liikumine on tähistatud joonisel lookleva noolega ning lineaarne liikumine on tähistatud sirge joonena.

Oluliseks võib ka osutada roboti telgede asend roboti liikumiste ajal. RobotStudio võimaldab seadistada ning optimeerida roboti telgede koormatavust ning positsioone. Selleks tuleb valida soovitud punktid, seejärel *modify* ning *optimize selected targets*.

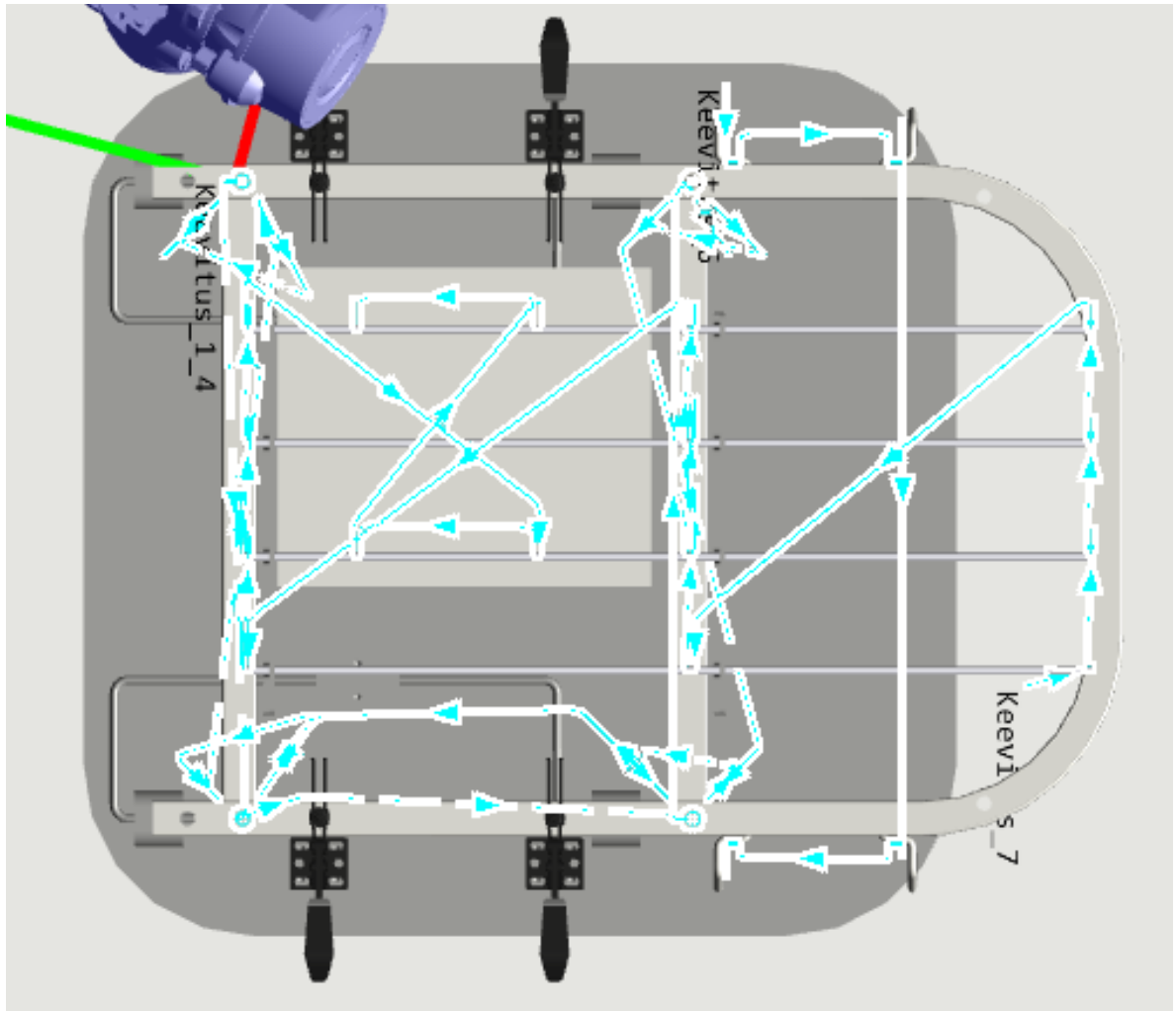


Joonis 8.2.4 Roboti liikumise optimeerimise valikud

Veendumaks, et loodud sihtpunktid on robotile haardeulatuses tuleb teostada kontroll, mille saab suurema vaevata sooritada *Check Reach* käsklusega. Hetkel projekteeritava süsteemi juhul teostati see *jump to* ja *move to* käsklustega, mis annavad info selle kohta, kas robotil on konkreetsesse punkti seadistatud parameetritega võimalik jõuda või mitte.

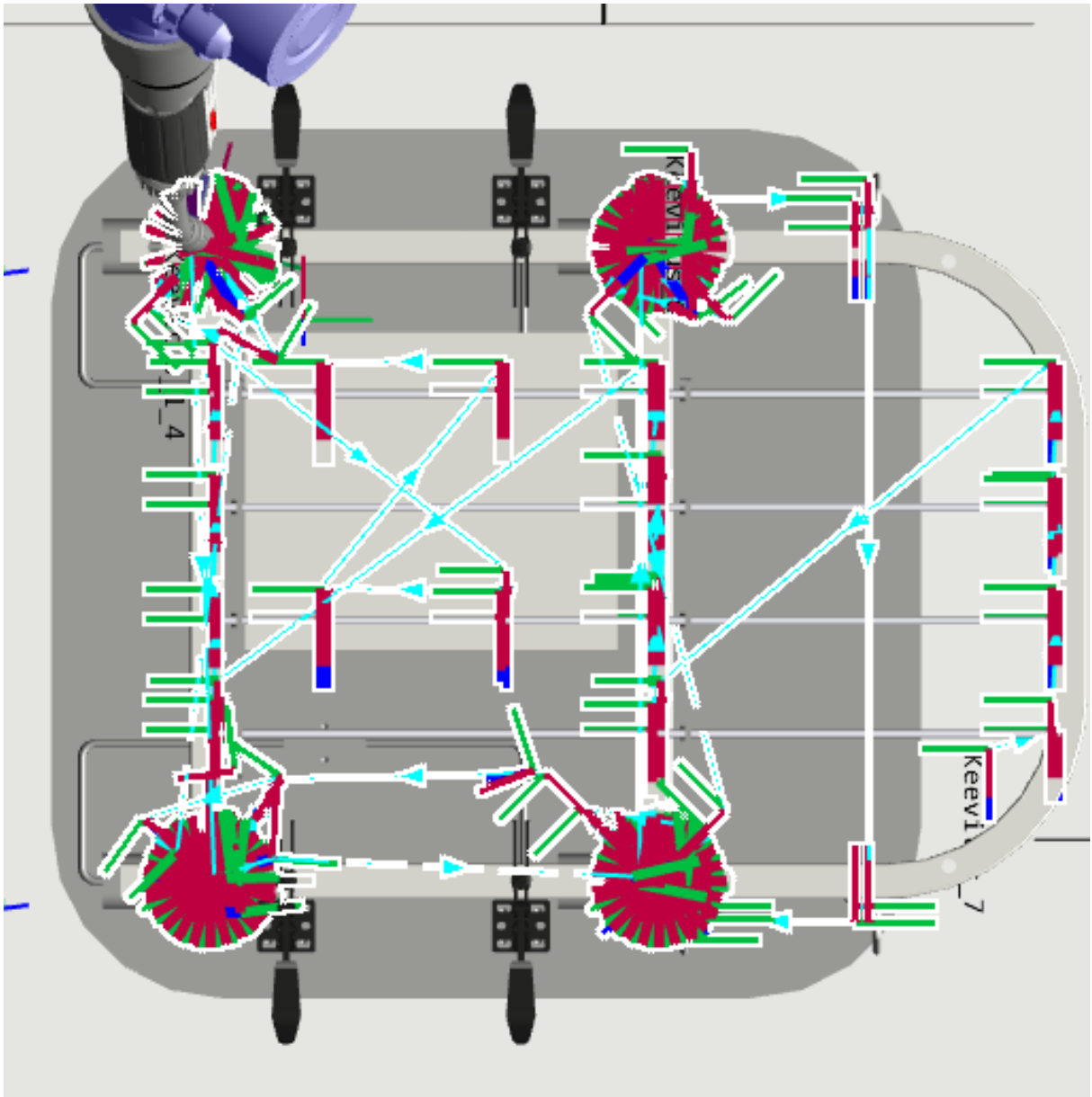
Liikumise simuleerimiseks tuleb loodud punktide moodustatud teekond sünkroniseerida virtuaalse kontrolleriiga, ning tuleb luua *Rapid* kood, misjärel saab käivitada simulatsiooni. Juhul kui simulatsioon ei tööta, siis näitab kontrolleri põhjuse tekitanud veakoodi või põhjust tekkinud

probleemile. Süsteemi projekteerimisel tekkinud vead olid enamasti seotud roboti telgedega või olukorraga, kus robot ei olnud võimeline valitud sihtpunkti jõudma. Korrigeerides punkti asukohta või liikumise parameetreid tagamaks korrektnet roboti telgede liikumine on tarvis uuesti teekond virtuaalse kontrolleriiga sünkroniseerida.



Joonis 8.2.5 Roboti liikumisteed pealtvaates

Üleval nähtaval joonisel on ära näidatud roboti liikumisteed. Liikumine hakkab joonise ülevalt vasakult servast, kus on näha koordinaatide punkti ning liigub vastavalt noolte suunale. Nagu eelnevalt mainitud sai, siis kasutajal tuleb määratleda kõik keevitatavad punktid või punktide vahed ning seejärel koostab tarkvara ise antud punktidest teekonna, mida seejärel modifitseeritakse. Täpsem ülevaade roboti keevitus liikumistest on toodud peatükis 6.3.



Joonis 8.2.6 Roboti liikumisteedkond koos sihtpunktidega pealtvaates

Jooniselt 8.2.6 saab näha nii sihtpunkte kui ka liikumisteedkonda. Sihtpunkte on palju seetõttu, et võimalikult täpselt kirjeldada roboti tööpunkti liikumist nii keevituse kui ka vaheliikumiste ajal.

8.3 Käsikeevituse ja robotkeevituse ajaline võrdlus

Teostatud programmis saab simulatsiooni teostades jälgida robotile antud käskluste täitmist ning kontrollida, et protsess toimuks nii nagu oli ette nähtud. Simulatsioon viidi läbi mitmeid kordi, ning pidevalt seadistati ja muudeti keevitusprotsessi ja liikumiste parameetreid, et vältida roboti asjatuid liikumisi ning, et teada saada võimalikult täpne keevitusaeg. Simulatsiooni lõppvariandis tuli robotil keevitades keevitusajaks 100 sekundit, mis on palju kiirem võrreldes käsikeevitusega. Tuleb

arvestada, et tegemist on ideaal olukorraga, kuna simulatsioon ei arvesta traadi ettesöötmise ja keevituskaare tekitamise aega. Järgnevas tabelis on lähtutud simulatsiooni tulemusest ning on toodud võrdlev tabel käsikeevituse ning robotkeevituse vahel.

Tabel 8.3.1 Käsikeevituse ning robotkeevituse ajaline võrdlus

Käsikeevitus					Robotkeevitus		
Jrk nr	Etapp	Abiaeg s	Keevitusaeg s	Abiaeg ja keevitusaeg kokku s	Paigaldus (abi)-aeg kokku s	Keevitusaeg s	Abiaeg ja keevitusaeg kokku s
1	Alusraami põhjatoru ja vahepuude keevitus	35	25	60	60	100	160
2	Põhjatraatide keevitus	15	25	40			
3	Ämbriplaadi keevitus	15	13	28			
4	Mopihoidja keevitus	40	30	70			
5	Tappide keevitus	40	40	80			
6	Transport töökohtade vahel	~ 120	-	120			
Kokku		265	133	398			

Tabelist 8.3.1 saab selgelt näha keevitusaegade erinevust käsi - ja robotkeevituse vahel. Kuna robotkeevitusel on arvestatud kõik etapid summaarsena, siis ei ole võimalik võrrelda detailseid andmeid, kuid suurim erinevus tuleb sellegi poolest kuuenda punkti juurest - transport töökohtade vahel, sest robotkeevitusel keevitatakse terve alusraam ühes kohas. Lisaks on näha, et keevitusaeg on robotkeevitusel 100 sekundit, mis on 33 sekundit kiirem käsikeevitusest. Kokku säästetakse ühe alusraami keevitamisega robotil 238 sekundit, mis on ligi neli minutit. Alusraami keevitamise protsess on seega antud lahendis ligi 60% kiirem käsikeevitusest. Täpsemad arvutused keevitusaegade ja roboti koormatuse kohta on toodud majanduslike näitajate peatükis.

9. ABB robotsüsteemi maksumus

Komponentide valimise peatükis selgus, et sobilikuks roboti tootjaks osutus ABB. Nendepoolse hinnapakkumise saamiseks koostati väiksemahuline dokument, kus toodi välja valitud robotsüsteemi komponendid ning esialgne RobotStudio keskkonnas loodud simulatsioon, andmaks ettekujutuse milline süsteem soovitakse komplekteerida. Suheldes ABB pakkumiste spetsialistiga selgus, et algsest planeeritud IRC5 *compact* kontrolleri ei ole võimalik kasutada, kuna antud seadmel puudub vajalik 633-4 Arc 6 riistvaramoodul, seega tuli kasutada tavalist IRC5 kontrolleri.

Järgnevalt on toodud nimekiri komponentidest, mis esitati ABB'le pakkumise tegemiseks.

Tabel 9.1 ABB'le esitatud robotjaama komponendid pakkumise tegemiseks

Toode	Nimetus
Keevitusrobot	ABB IBR1660ID
Kontroller	IRC5
Käeshoitav juhtseade	Teach Pendant
Keevitusseade	Fronius TPS 320i
Traadisöötja	Fronius WF 25i R
Keevitustõlvik	Fronius WF 25i ROBACTA DRIVE
Põleti puhastusseade	Binzel TCS Compact

Süsteem esitati pakkumise tegemiseks komplektina. ABB tegi omalt poolt päringud nii Froniuse keevitusseadmete edasimüüjale Spetsiselektroodi AS'ile ning põleti puhastusseadme edasimüüjale Stokker AS'ile hinnapakkumise saamiseks.

Kogu süsteemi pakkumiseks tuli ABB poolt suurusjärg 50 000 eurot, täpne hind sõltub kõigi konkreetsete aspektide paika panemisel, juhul kui nimetatud süsteem antud komponentidega tellitakse. Saadud pakkumist kasutatakse majanduslike arvutuste peatükis, et teostada robotsüsteemi soetamise ning juurutamise tasuvusanalüüs.

10. MAJANDUSNÄITAJATE ARVUTUS

Konkreetses peatükis esitatakse erinevate majandusnäitajate arvutused. Eelnevalt mainiti, et keevitustraadi kogus ühe alusraami keevitamiseks on suhteliselt väike, seega arvestuslikult on keevitustraadi kulud nii automaatsel keevitusel kui käsitsi keevitusel jäetud samaks.

Tabel 10.1 Ettevõtte töökorralduse punktid arvutuste läbiviimiseks

Kriteerium	Väärtus	Ühik
Tööpäeva pikkus	8	Tundi
Vahetusi päevas	1	Tükki
Tööpäevi nädalas	5	Päeva
Aastane tööaeg	1680	Tundi
Tsehhi töötunni hind	30	€

Roboti integreerimise tasuvusaja arvutusi saab läbi viia kasutades erinevaid meetodeid. Kõige lihtsam neist on Lindströmi tasuvusaja arvutamise meetod [14], mida on ka kasutatud konkreetses töös. Antud lahendis võeti tootmiskulude arvutamisel aluseks ettevõtte tootmistsehhi tunnihind. Esmalt arvutatud kokkuhoitud aeg ning seejärel kokkuhoitud raha, arvestades tsehhi töötunni hinnaks 30 eurot.

Esmalt on arvutatud ettevõttes alusraamide keevitamise automatiseerimisel tekkiv ajaline kokkuhoid ning sellest tulenev rahaline kokkuhoid.

Arvutan alusraamide 4158160 ja 4158313 aastase keevituse aja robotkeevitusel:

$$t_{wr} = \frac{t_w \cdot n_a}{3600} \quad (10.1)$$

Kus t_{wr} – toote robotiga keevitamisele kuluv aeg aastas, h,

t_w – ühe toote keevitamiseks kuluv aeg, s,

n_a – tootmiskaht aastas, tk.

$$t_{wr} = \frac{160 \cdot 1900}{3600} \approx 84 \text{ h}$$

Arvutan alusraamide 4158160 ja 4158313 aastase töömahu robotkeevitusel:

$$t_r = \frac{t_{wr} \cdot 100}{t_a} \quad (10.2)$$

Kus t_r – roboti koormatus aastas, %,

t_{wr} – toote robotiga keevitamisele kuluv aeg aastas, h,

t_a – töötunnid aastas, h.

$$t_r = \frac{84 \cdot 100}{1680} \approx 5 \%$$

Automatiseerides alusraamide 4158160 ja 4158313 keevituse, arvutan kokkuhoitud aja aastas:

$$t_{ah} = t_{wk} - t_{wr} \quad (10.3)$$

Kus t_{ah} – kokkuhoitud aeg aastas, h,

t_{wk} – käsikeevitusel toodete keevitamiseks kuluv aeg aastas, h,

t_{wr} – toodete robotiga keevitamisele kuluv aeg aastas, h.

$$t_{ah} = 210 - 84 \approx 126 \text{ h}$$

Automatiseerides alusraamide 4158160 ja 4158313 keevituse, arvutan kokkuhoitud raha aastas:

$$K_r = t_{ah} \cdot Töö_h \quad (10.4)$$

Kus K_r – kokkuhoitud raha aastas, eurot,

t_{ah} – kokkuhoitud aeg aastas, h,

$Töö_h$ – tsehhi töötunni hind, eurot.

$$K_r = 126 \cdot 30 = 3780 \text{ eur}$$

Kasutades Lindströmi [14] valemit, arvutan robotsüsteemi juurutamise tasuvusaja:

$$P = \frac{I}{(L - M)} \quad (10.5)$$

kus P – tasuvusaja periood, aastates,

I – kogu investering seadmetesse ABB pakkumise alusel, eurot,

L – rahaline kokkuhoid aastas, eurot,

M – iga-aastased kulud robotsüsteemi hooldusele, eurot.

$$P = \frac{50000}{(3780 - 500)} = 15 \text{ aastat}$$

Arvutuste tulemustest selgub, et investeringud tasuksid ennast ära alles 15 aasta pärast. Nii pikale veniv tasuvusaeg ei ole mõistlik ning see tähendaks, et roboti koormatus oleks vaid 5%. Saadud tulemus ei tähenda, et ettevõtte peaks loobuma plaanist keevitusrobot soetada. Tuleb mõelda läbi terve tootesortiment ning seejärel teostada antud arvutuskäik uuesti. Sellega sai ettevõtte teada, et ainult ühe tüüpkäru alusraami keevitamise automatiseerimisest ei piisa. Esimene lihtne samm, mida saab keevitusroboti koormatuse tõstmiseks teha, on ka teised kärude alusraamid robotil keevitamiseks projekteerida. Tootmismahdade peatükis oli toodud teiste kärude alusraamide keevitus - ja abiajad. Järgnevalt on arvatud robotsüsteemi tasuvusanalüüs arvestusega, et robotile projekteeritakse ka teised alusraamid ning tootmismahdade peatükis välja toodud teised potentsiaalsed tooted. Kuna teistele toodetele ei ole teostatud robotkeevituste simulatsioone, siis arvestatakse arvutustes, et robotkeevitusel toimuks keevitus ning paigaldus kolmandiku võrra kiiremini.

Automatiseerides potentsiaalsete toodete keevituse, arvutan kokkuhoitud aja aastas:

$$t_{ahp} = \frac{\sum t_p}{3} \quad (10.6)$$

Kus t_{ahp} – toote robotiga keevitamisele kuluv aeg aastas, h,

t_p – potentsiaalsete toodete aastane käsikeevitusaeg kokku, h.

$$t_{ahp} = \frac{(27 + 33 + 111 + 42 + 19)}{3} \approx 77 \text{ h}$$

Eeldusel, et robotkeevitusel toimub keevitus ja paigaldusprotsess kolmandiku võrra kiiremini, säästetakse lisa 77 tsehhi töötundi.

Juurutades robotkeevitusele alusraamid ning potentsiaalsed tooted, arvutan kokkuhoitud raha aastas:

$$K_r = (t_{ah} + t_{ahp}) \cdot Töö_h \quad (10.4)$$

$$K_r = (126 + 77) \cdot 30 = 6090 \text{ €}$$

Selgub, et isegi kui juurutada kõik antud töös välja toodud alusraamid ning potentsiaalsed tooted robotkeevitusele säästetakse aastas veidi üle 6000 euro.

Arvutan robotsüsteemi tasuvusaja juurutades robotkeevitusele kõigi kärude alusraamid ning potentsiaalsed tooted:

$$P = \frac{I}{(L - M)} \quad (10.5)$$

$$P = \frac{50000}{(6090 - 500)} \approx 8,9 \text{ aastat}$$

Tuleb tõdeda, et antud summa ei ole piisav, et õigustada uue keevitusjaama soetamist. Ettevõttel on pika tasuvusaja vähendamiseks võimalik soetada uue roboti asemel kasutatud robot ning keevitusseadmed. Järgnevalt on komplekteeritud robotsüsteem, mis koosneb kasutatud komponentidest. Robotit valides sarnastest põhimõtetest, mis olid välja toodud robotsüsteemi komplekteerimise peatükis. Tasuvusaja arvestus on teostatud arvestades vaid töö eesmärgis toodud tüüptoodete 4158160 ja 4158313 alusraami keevitamisel.

Tabel 10.2 Kasutatud süsteemi komponendid ning maksumus

Komponent	Väärtus	Ühik
Fronius TPS 4000 CMT 400A; VR 7000 CMT traadisöötja; CMT Robacta torch [14]	9000	€
Robot (IBR1600 + IRC5 kontrolleri) 2004 aasta robot [15]	15600	€
Tõlviku puhastaja (Tregaskiss TT7117) [16]	1150	€
Tööjaama lisad (turvasein, kaitseklaasid, kaitsekardin)	1000	€
Kokku	26750	€

Antud robotsüsteemi maksumus tuli kokku 26750 eurot, mis on 44% väiksem kui täiesti uue robotsüsteemi maksumus, järgnevalt on läbi viidud tasuvusanalüüs tabelis 10.2 komplekteeritud seadmeid kasutades. Kasutatud roboti soetamisel tuleb arvestada, et see ei ole enam nii täpne kui uus, sest mehaanika on kulunud.

Arvutan robotsüsteemi tasuvusaja vaid ülesande püstituses määratud alusraamide keevitamisel:

$$P = \frac{I}{(L - M)} \quad (10.5)$$

$$P = \frac{26750}{(3780 - 500)} \approx 8,2 \text{ aastat}$$

Nagu ülal toodud arvutusest näha saab, siis tasuvusaeg kasutatud keevitusroboti ning seadmete soetamisel on üle kaheksa aasta, mis näitab, et keevitusrobotit ei ole nendel tingimustel otstarbekas ettevõttesse soetada. Roboti koormatus on ainult alusraame keevitades vaid 5% tööajast ning selle tõttu ei ole saavutatavad kokkuhoiud piisavalt suured, et õigustada tootmisesse roboti paigaldamist. Tasuvusaja kiirendamiseks tuleks läbi töötada kogu ettevõtte toodang ning uurida, milliseid tooteid on veel võimalik robotile juurutada. Tuleks saavutada olukord, kus roboti koormatus on vähemalt 80-90%.

Viimasena arvutan kasutatud robotsüsteemi tasuvusaja juurutades robotkeevitusele kõigi kärude alusraamid ning potentsiaalsed tooted:

$$P = \frac{I}{(L - M)} \quad (10.5)$$

$$P = \frac{26750}{(6090 - 500)} \approx 4,8 \text{ aastat}$$

Viimasest arvutusest saab välja lugeda, et juhul kui juurutada kõik töö käigus välja toodud tooted robotkeevitusele on võimalik saavutada tasuvusaeg, mis vastab heale tavale, kus tasuvusaeg jääb alla viie aasta. See tähendab, et robotjaam on investeeringu tagasi teeninud neljanda aasta lõpuks.

KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli ettevõtte Vaakum OÜ tootesortimendis toodetava tüüptoote – koristuskäru alusraami kavandamine keevitusrobotile sobiliku keevitusrakisega ning keevitusjaama tasuvusanalüüsi teostamine. Ettevõtte poolne soov oli välja selgitada, kas koristuskäru alusraami keevitamine on võimalik automatiseerida ning kui pikk oleks praeguste tootmismahude juures juurutamise tasuvusaeg.

Ettevõtte sooviks oli teada saada, millisesse suurusjärku jäävad esmalt investeeringud rakise valmistamisega, ning seejärel selgitada keevitusroboti ostmise – ja juurutamisega seonduvad kulud. Rakist projekteerides tuli jälgida, et rakis oleks sobilik kasutamisel nii käsi - kui ka robotkeevitusel.

Esimese sammuna toodi välja toote kirjeldus, mille tarvis rakis ning robotsüsteemi projekteerima hakati. Seletati lahti keevitatavad osad ning aspektid, mida tuleb projekteerimisel silmas pidada. Ühtlasi teostati käsikeevituse kaardistus, mille eesmärgiks oli leida praegu alusraami keevitamisele kuluv aeg, et seda võrrelda automatiseeritud keevituse ajaga.

Järgnevalt viidi läbi tootmismahude analüüs, mille käigus toodi täpsem ülevaade ettevõtte tootesegmendist ning valmistatavatest kärudest, misjärel leiti nende aastased tootmismahud teostamiseks esialgne hinnang robotkeevituse otstarbekuse kohta. Tootmismahude ja käsikeevitusel kuluva aja kaudu arvutati aastane töökoormus alusraamide keevitamisel. Arvutuste tulemusena selgus, et suure tõenäosusega ainult ühe tüüptoote keevituse automatiseerimisest jääb hea tava – viie aastase tasuvusaja saavutamisel väheks. Probleemile lahendust pakkudes teostati seega lisaks veel mõne tüüptoote tootmismahude analüüs ning leiti vastavad keevitusajad.

Alusraamile keevitusrakise projekteerimise osas määratleti esmalt tingimused, millele rakis peab vastama. Seejärel modelleeriti kriteeriumite alusel sõlmpunktid ja seletati nende toimimise põhimõtteid. Projekteerimise käigus peeti nõu ka ettevõttes töötavate keevitajatega, et välja selgitada nende soovid ning tähelepanekud rakise toimimise osas. Rakise modelleerimise lõppedes tuli käiku RobotStudio tarkvara, mille abil analüüsiti selle sobivust robotiga keevitamiseks. Selle tulemusel leiti, et abinõu on sobiv ning jätkati töö käiguga.

Järgmises osas toimus suur osa tööst RobotStudio keskkonnas, mis on ABB poolt välja töötatud tarkvara, mõeldud just virtuaalsete robotsüsteemide ehitamiseks. Tarkvara võimaldab simuleerida terve süsteemi toimimist alustades detailide töötlemisest ja roboti liikumispiirangutest kuni lõpetades kokkupõrkeohtudega. Lõputöö käigus toodi täpne ülevaade RobotStudios toimuvast

projekteerimise käigust, et selgitada tarkvara toimimist ning teha see võimalikult selgeks ja arusaadavaks.

Robotjaama projekteerimisel valiti esmalt keevitusjaama tööseadmed, mis hakkavad keevitusprotsessi teostama. Valitud sai just keevitustöödele orienteeritud ABB robot koos kaasaegse juhtseadme ja kontrolloriga. Roboti valimisel oli oluline silmas pidada, et robot oleks võimalikult kompaktne kuid samas piisavalt suure tööalaga, et tööorgan oleks vabalt võimeline kõikidesse sihtpunktidesse liikuma. Keevitusseadmed valiti CMT võimalusega varustatud Froniuse toodete hulgast. Oluline põhjus, miks valiti CMT keevitustehnoloogia, oli viia keevitusel tekkivate pritsmete hulk minimaalseks. Samal ajal toodi tootmishoone kirjeldus ning asendiplaan, kuhu robotjaam paigaldatakse ning töötati välja sobivaim töövoog alusraamide keevitamisel.

Programmeerimine teostati ABB RobotStudio *Arc Welding powerpack* abiga, mis muutis käskluste edastamise selgeks ja arusaadavaks. Esmalt loodi sihtpunktid, kuhu robot oma tööpunktiga jõudma peab ning seejärel määratleti täiendavad käsklused vaheliikumistele ning keevitusparameetritele. Programmeerimise tulemusena loodud simulatsiooni käigus oli võimalik jälgida roboti liikumist ning keevitusprotsessi toimimist. Kuna RobotStudio kontrolleri on tarkvara keskkonnas vastavuses päris elu kontrolloriga, siis kõik liikumised oleksid ka päris elus identsed ekraanil nähtavaga. Simulatsiooni teostades saadi kätte robotkeevituse aeg, mida võrreldi käsikeevituse ajaga ja selgus, et robotkeevitus on kokku ligi 60% kiirem kui käsikeevitus.

Viimase sammuna viidi läbi majanduslikud arvutused robotjaama tasuvusaja leidmiseks. Esiteks leiti töötsehhi aastane kokkuhoid töötundides ning seejärel rahaline sääst. Nende andmete tulemuste alusel kasutati Lindströmi valemit, et leida tasuvusaeg projekteeritud robotsüsteemile. Tulemus ei olnud aga aktsepteeritav väga pika tasuvusaja tõttu, mille põhjustab roboti alakoormatus. Tasuvusaja perioodi vähendamiseks teostati arvutus uuesti kuid seekord arvestades, et robotsüsteem soetatakse kasutatud peast. Tõstmaks roboti koormatust lisati arvutusse kõik töös mainitud potentsiaalsed tooted. Arvutades tasuvusaega kasutatud robotjaama komplektiga ning kõigi töös mainitud potentsiaalsete toodetega saavutati tasuvusaeg 4,8 aastat, mis on suhteliselt piiripealne tulemus, kuid siiski piisav, et õigustada keevitusroboti soetamist.

Kokkuvõtteks võib öelda, et ettevõttel tuleks veel põhjalikumalt läbi käia oma tootekataloog ning uurida, milliste toodete keevitamist oleks veel otstarbekas automatiseerida. Töö käigus mainiti, et kärude tootmismahud on kasvamas, mis samuti tõstaksid roboti koormatust ning mõjutaksid positiivselt roboti soetamise plaani. Töö esitatakse ettevõttele edasiste otsuste tegemiseks.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to implement a welding robot for welding cleaning trolley subframe at Vaakum OÜ. The company's desire was to find out whether it is possible to automate the welding of the subframe and how long would be the payback period with current production volumes.

The company wanted to find out firstly the cost to manufacture welding fixture, and then to clarify the costs of purchasing and implementing a welding robot. When designing the welding fixture for the subframe, it was necessary to ensure that the fixture would be suitable for both manual and robot welding.

As a first step, a description of the subframe was given for which the welding robot stations is designed. The nodes to be welded were explained, and criteria for designing the welding fixture were given. A manual welding mapping was also carried out to find the current welding time of the subframe. Afterwards this allows to compare manual and automated welding time.

As a next step, a production volume analysis was performed, annual workload for welding of the subframes was calculated in terms of production volumes and time spent on manual welding. As a result of the calculation it turned out that when implementing only mentioned subframe, the payback period would be too long to justify the robot station. To provide a solution for the problem, additional typical trolley subframes from company's lineup were mapped and added to the calculation.

In subframe welding fixture design part of the thesis, first conditions were defined for the fixture. Next, the nodes were modeled on the basis of the criteria and the principles of their operation were explained. Welders working in the company were also consulted in order to find out their requests regarding the functioning of the fixture. After modeling, RobotStudio software was used to analyze designed fixture suitability for robot welding.

In the next section, work was carried out in the RobotStudio environment, which is a software developed by ABB, designed specifically to build virtual robot systems. The software makes it possible to simulate the entire system from the processing of parts and the movement limitations of the robot to the risk of collision. An accurate overview of the design progress when using RobotStudio was introduced to explain the software's operation and make programming as clear and understandable as possible.

When designing the robot station, tools and equipment were first selected. ABB welding robot with a modern control unit and controller were selected. When choosing a robot, it was important to keep in mind that the robot would be as compact as possible, but with a sufficiently large working area to allow the working arm to move freely in all destinations. Welding equipment was selected from Fronius catalogue with CMT capability. An important reason for choosing CMT welding technology was to minimize the amount of weld spatter. At the same time, a description of the production plant and the location for the robot station were mapped. The most suitable welding workflow for the company was developed.

Programming was done with the help of ABB RobotStudio Arc Welding powerpack, which made the transmission of the commands clear and understandable. First, the destinations to which the robot has to reach with its working point were created, and then further commands were defined for welding parameters. As a result of the programming, simulation was created, which possible to observe the movement of the robot and the operation of the welding process. Since the RobotStudio controller in software environment matches a real life controller, all movements that are seen on the screen would be identical to those in real life. By performing the simulation, a robot welding time was obtained, which was then compared with the time of manual welding. It turned out that robot welding is about 60% faster than the manual welding.

As a final step, economic calculations were made to find the payback period of the robot station. First, the annual production plant savings were found in working hours and then the financial savings. Based on the results of these data, the Lindström formula was used to find the payback period for the designed robot system. Result of the calculation was unacceptable due to the very long payback time caused by the underload of the robot. To reduce the payback period, the calculation was made again, but this time considering that second hand robot system will be used. All additional products mentioned in the thesis were added to the calculation in order to increase the robot load. By calculating the payback period again with mentioned conditions, the payback period came 4,8 years, which is a relatively borderline result, but is still sufficient to justify the acquisition of the welding robot.

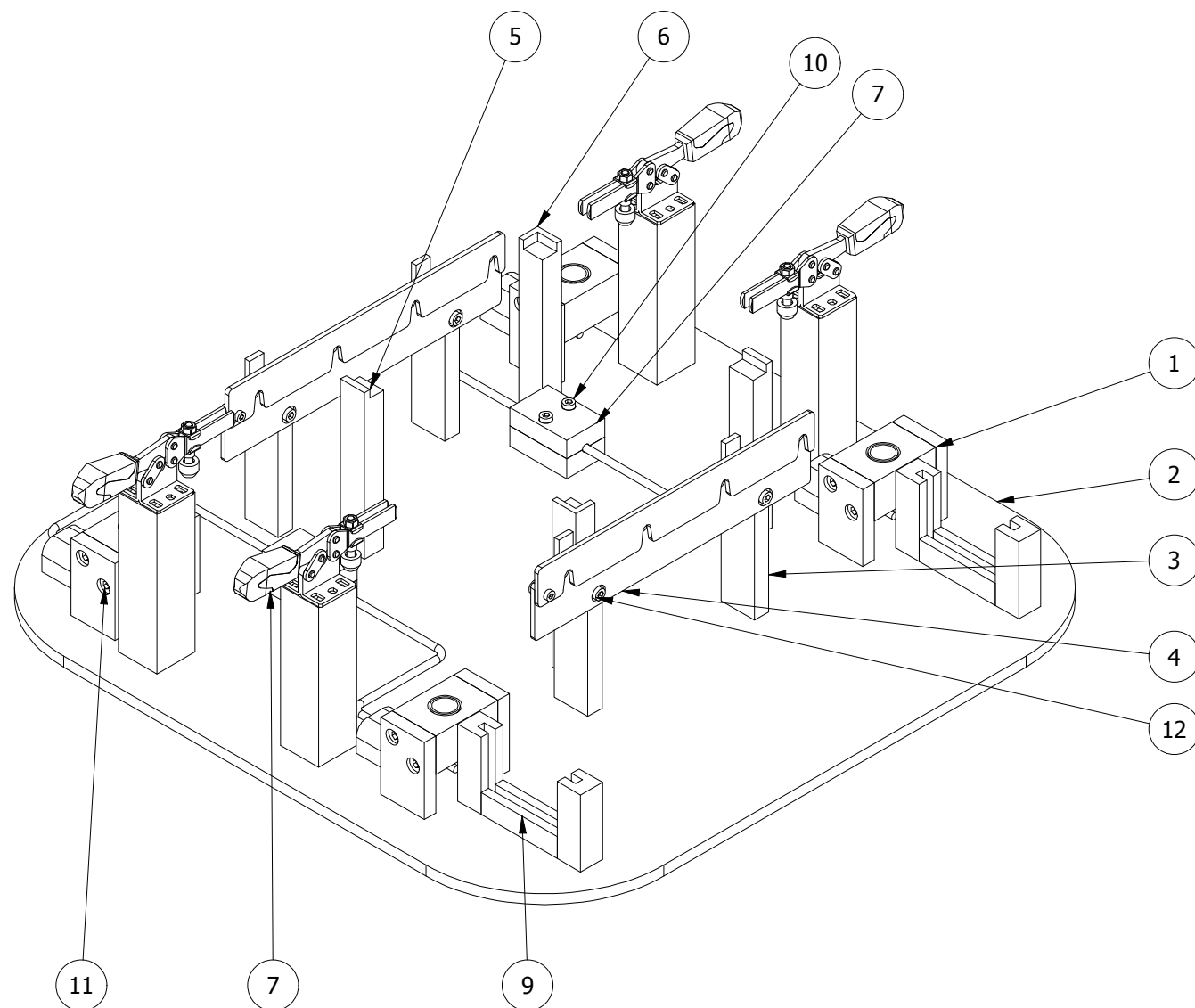
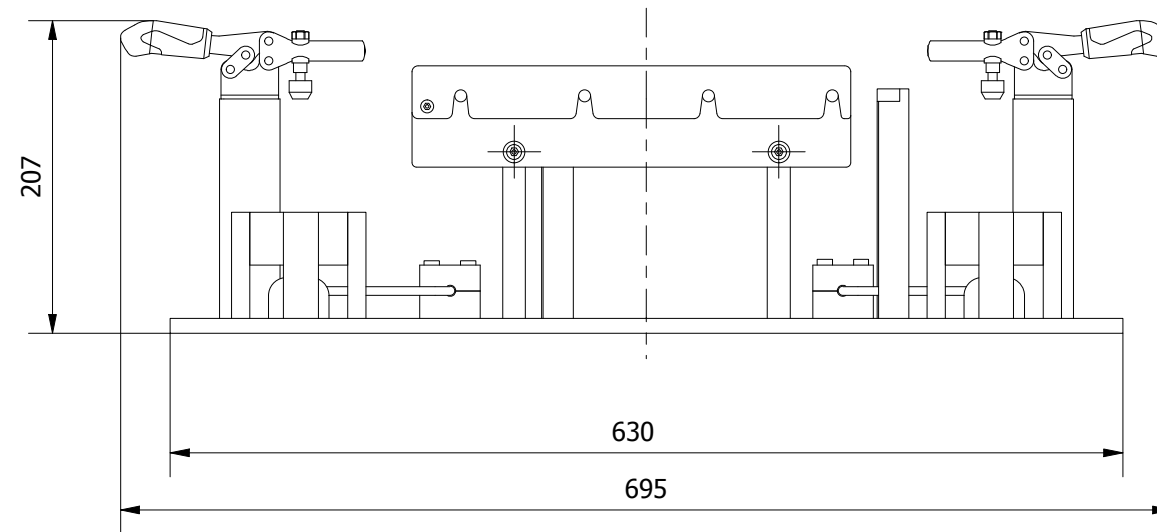
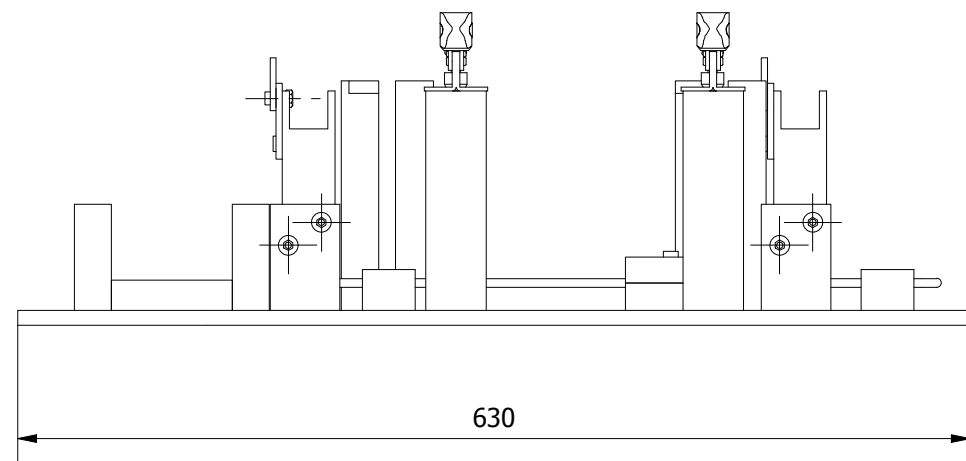
In conclusion, the company should go through its product catalog more thoroughly and examine which products could be further automated. In the beginning it was mentioned that production volumes of the trolleys are increasing, which would also increase the robot load and would positively affect the robot acquisition plan. The work is submitted to the company for further decisions.

KASUTATUD MATERJALID

1. Vaakum OÜ tüüpkoristuskäru
[WWW]<http://www.vaakum.ee/index.php?id=10705> (15.02.2019)
2. J.N. Pires, A. Loureiro, G.Bolmsjö (2006). Welding robots. Technology, System Issues and Applications. London: Springer-Verlag London Ltd. (lk 54)
3. ABB IRB1660ID robot
[WWW]<https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-1660id/irb-1660id-data> (11.03.2019)
4. ABB IRC5C kontrolleri
[WWW]<https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5c/irc5c-data> (11.03.2019)
5. ABB IRC5 kontrolleri
[WWW] <https://new.abb.com/products/robotics/controllers/irc5/irc5-data> (08.04.2019)
6. Teach Pendant õpetamispuul
[WWW]<https://new.abb.com/products/3HAC028357-001/teach-pendant> (11.03.2019)
7. Fronius TPSi keevitusseade
[WWW]<http://www.spetsselektroodi.ee/tootekataloog/fronius-tps320i/> (13.03.2019)
8. A. Laansoo (2011). Keevitustehnoloogia. Tallinn : Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus. (lk 119)
9. Fronius TPSi spetsifikatsioon
[WWW]<https://www.fronius.com/en/welding-technology/products/robotic-welding/migmag-single-wire/push-systems/push-systems> (13.03.2019)
10. Fronius CMT tõlviku omadused
[WWW]http://www.fronius.cn/en/product_category.php?id=62 (14.03.2019)
11. Fronius WF 25i R traadisõõtja spetsifikatsioon
[WWW]<http://www.tps-i.com/en/> (19.03.2019)
12. Binzel põleti puhastusseade
[WWW]<https://www.binzel-abicor.com/US/eng/products/robotic-systems/torch-maintenance-reamers/torch-cleaning-station-tcs-compact/> (21.03.2019)
13. H. Colestock (2005). Industrial robotics: selection, design, and maintenance. New York: McGraw-Hill. (lk 153)
14. Kasutatud Fronius keevitusseade komplekt
[WWW]<https://www.ebay.com/itm/Fronius-TPS-4000-CMT-400A-with-VR-7000-CMT-FEEDER-CMT-Robacta-torch-/323516378693> (25.04.2019)
15. Kasutatud ABB IRB1600 robot koos IRC5 kontrolleri
[WWW]<http://www.globalrobots.com/product.aspx?product=24926> (25.04.2019)
16. Põleti puhastusseade
[WWW]<https://www.dougdeals.com/tregaskiss-tough-gun-reamer-robotic-nozzle-torch-cleaning-station-mig-welding/> (15.03.2019)

LISAD

Lisa 1. Joonised

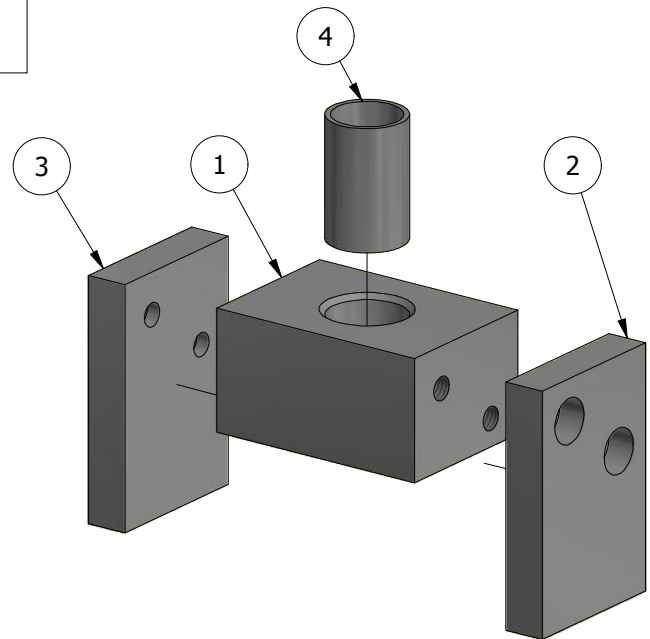
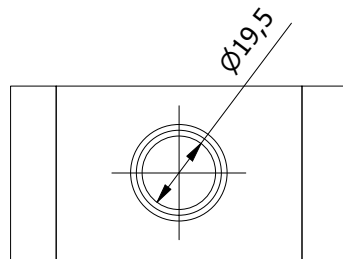
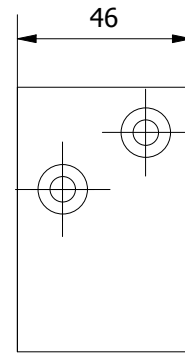
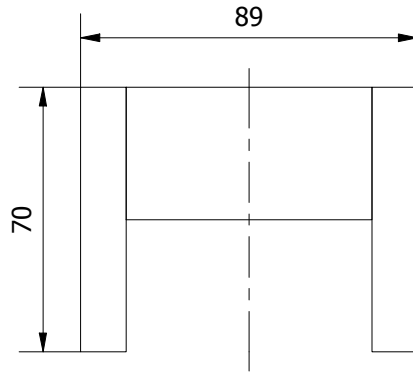


OSA	NIMETUS	TÄHISTUS	HULK
1	Rakise hülsi koost	VKMR.01.10	4
2	Alusplaat	VKMR.01.01	1
3	Vahepuu hoidja	VKMR.01.02	4
4	Traatide positsioneerija koost	VKMR.01.20	2
5	Plaadi hoidik - serv	VKMR.01.03	2
6	Plaadi hoidik - nurk	VKMR.01.04	2
7	Tapi positsioneerija koost	VKMR.01.30	2
8	Klamber	Würth 071467711	4
9	Harjahoidiku hoidja koost	VKMR.01.40	2
10	Polt M6 x 16	DIN 6912	4
11	Polt M8 x 16	DIN 6912	76
12	Polt M6 x 10	DIN 6912	4

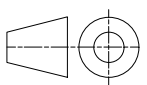
	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass: N/A	Mõõt: 1:5
--	-----------	-----------------------	--------------	--------------

Teostas:	Kevin Pajula	Nimetus:	Rakis
Kontrollis:			
Kinnitas:			

	Vaakum OÜ	Leht: 1	Tähis: VKMR.01.01	Formaat: A3
--	-----------	------------	----------------------	----------------



OSA	NIMETUS	TÄHISTUS	HULK
1	Kere	VKMR.01.11	1
2	Tugijalg	VKMR.01.12	1
3	Tugijalg (mir)	VKMR.01.13	1
4	Pronkspuks	PSM 182418 A51 SKF	1



Materjal:

Märkimata piirhälbed:

Mass:

Mõõt:

IT12

1,3 kg

1 : 2

Teostas:

Kevin Pajula

Nimetus:

Kontrollis:

Kinnitas:

Hülsi jala koost



Vaakum OÜ

Leht:

1

Tähis:

VKMR.01.10

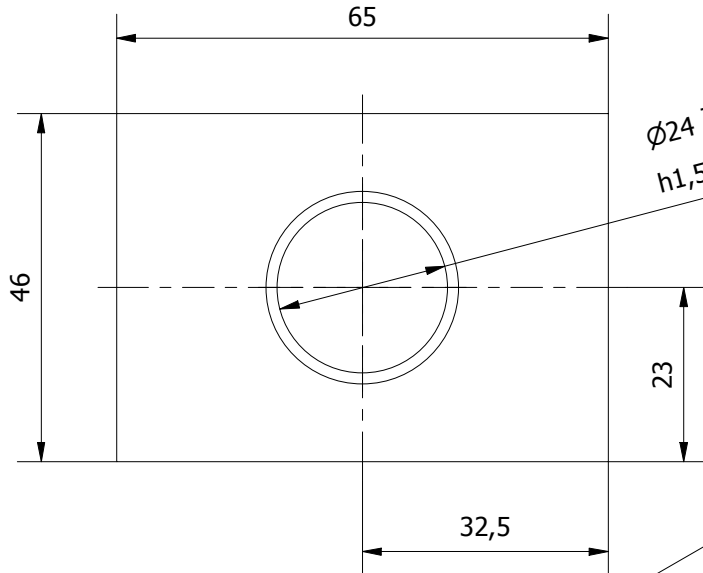
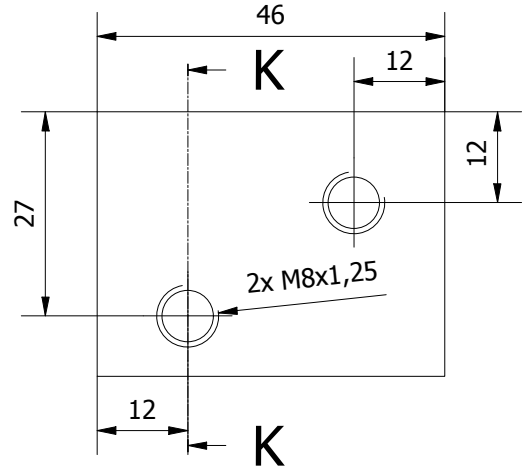
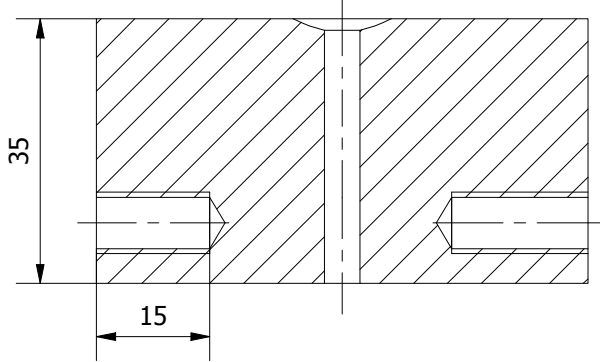
Formaat:

A4

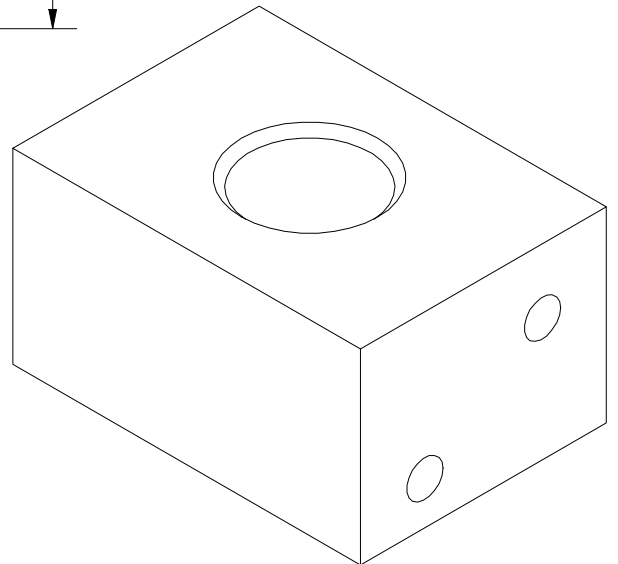
Töö nr	Kogus
--------	-------

$\sqrt{12,5}$ (✓)

K-K (1 : 1)



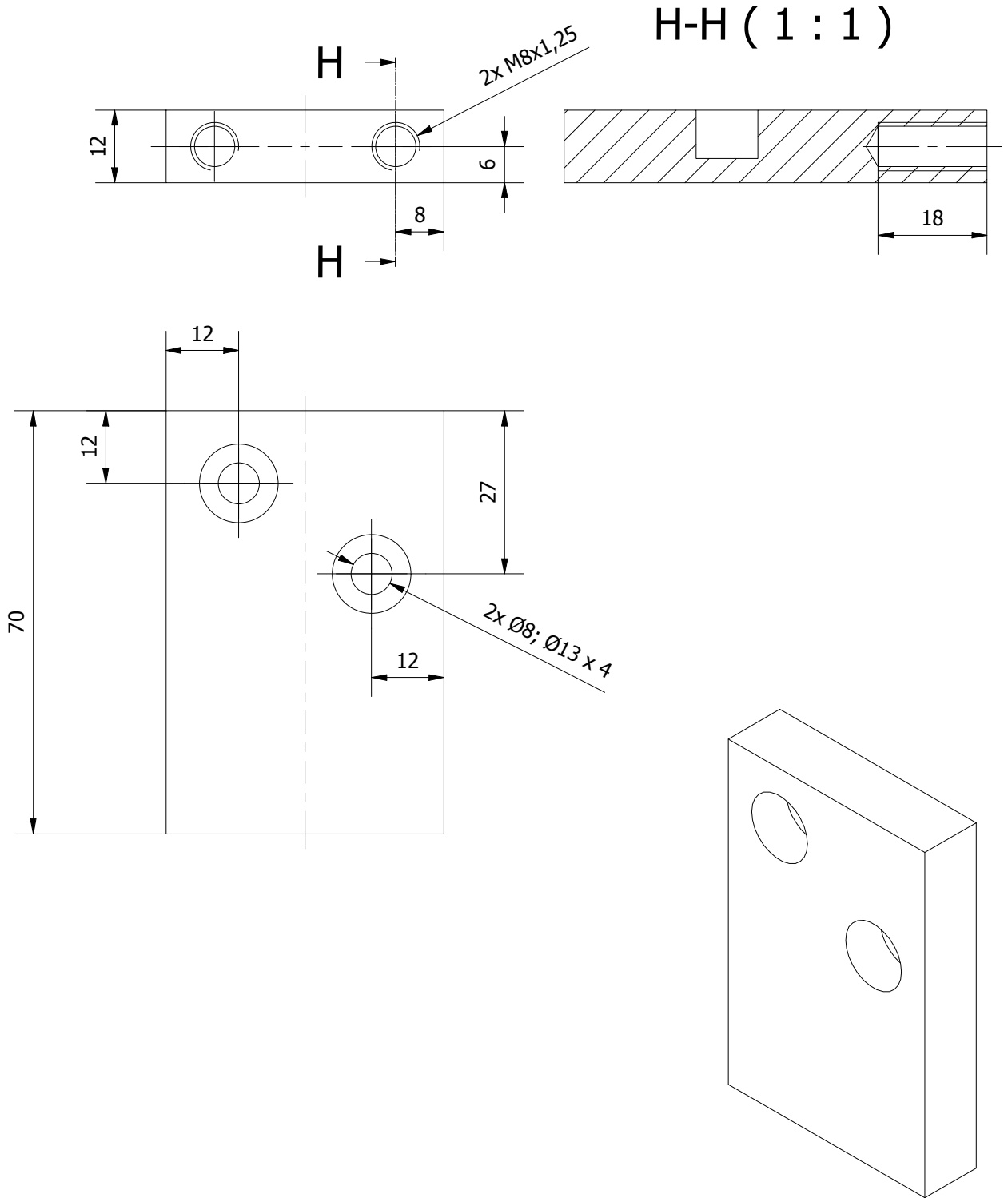
$\varnothing 24 \begin{matrix} -0,01 \\ -0,03 \end{matrix}$
 $h1,5 \times 90$
 6,3



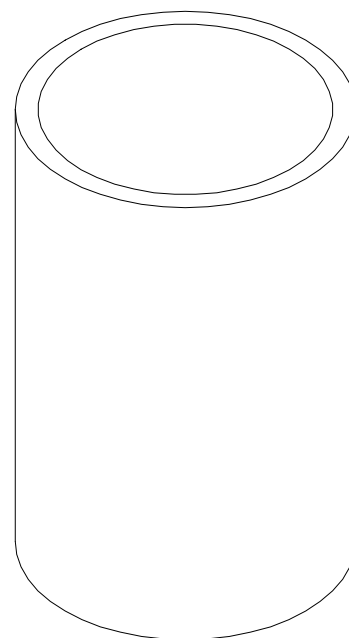
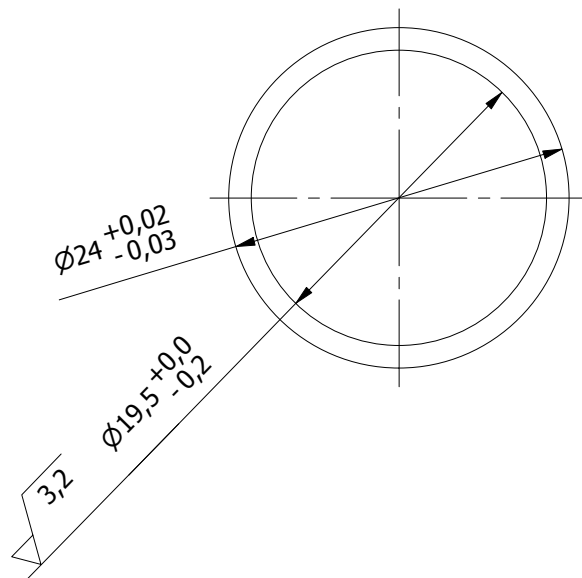
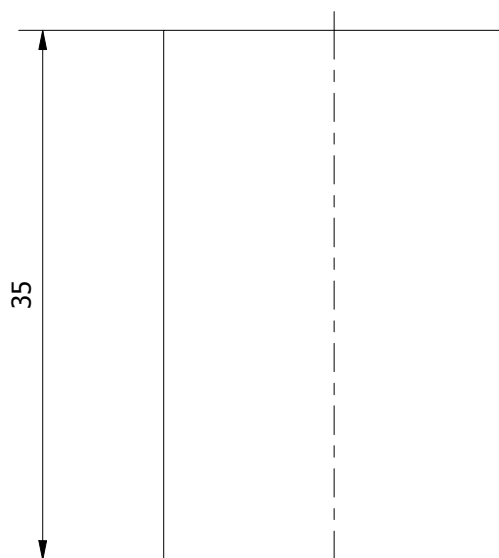
	Materjal: 50x50 ruutteras; S235	Märkimata piirhälbed: IT12	Mass: 0.7 kg	Mõõt: 1 : 1
Teostas:	Kevin Pajula	Nimetus:		
Kontrollis:		Kere		
Kinnitas:				
	Vaakum OÜ www.vaakum.ee	Leht: 1	Tähis: VKMR.01.11	Formaat: A4

Töö nr	Kogus
--------	-------

√ 12,5

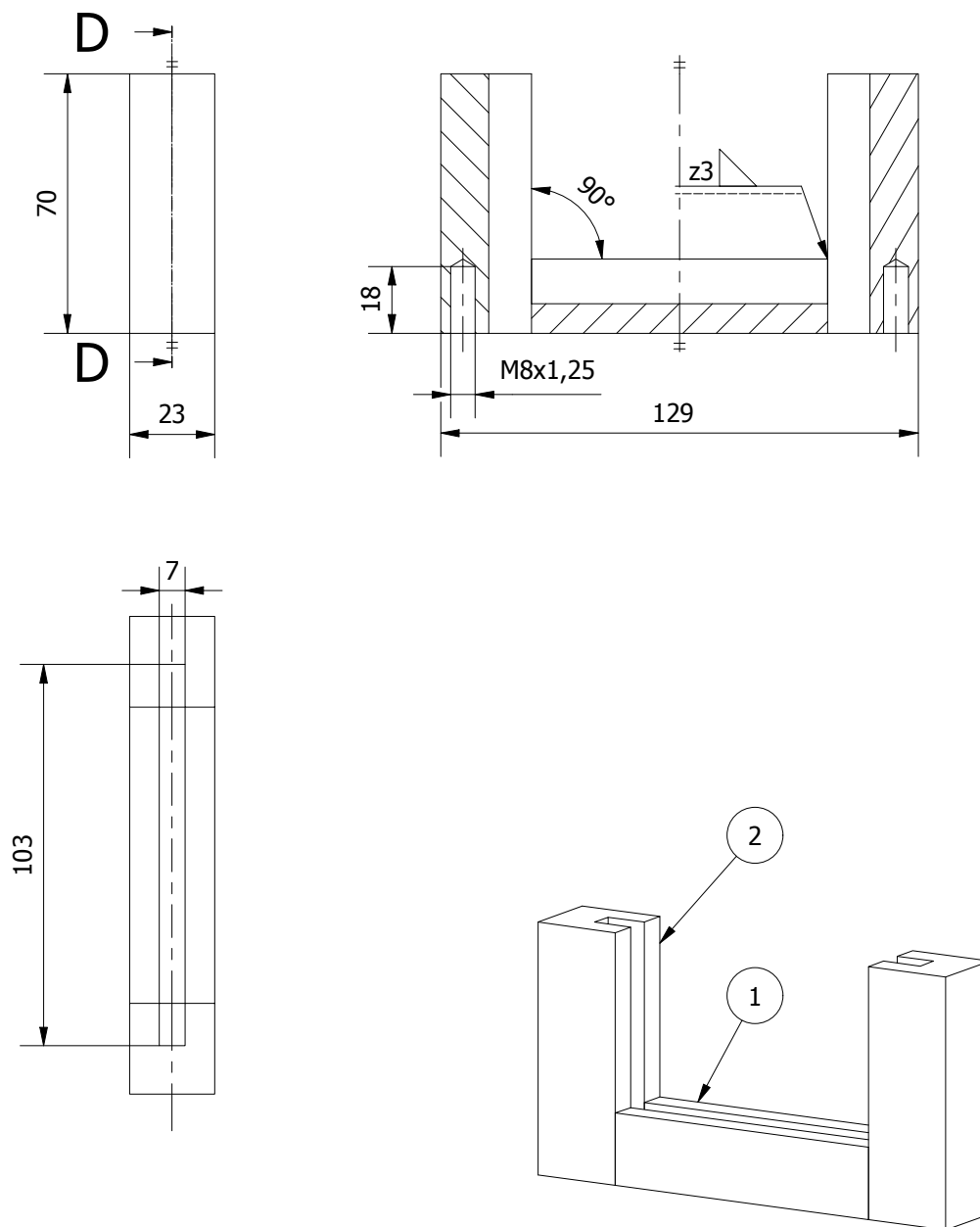


	Materjal: 15x40 ribateras; S235	Märkimata piirhälbed: IT12	Mass: 0.3 kg	Mõõt: 1 : 1
Teostas: Kevin Pajula	Nimetus: Tugijalg			
Kontrollis:				
Kinnitas:				
 www.vaakum.ee	Leht: 1	Tähis: VKMR.01.12	Formaat: A4	

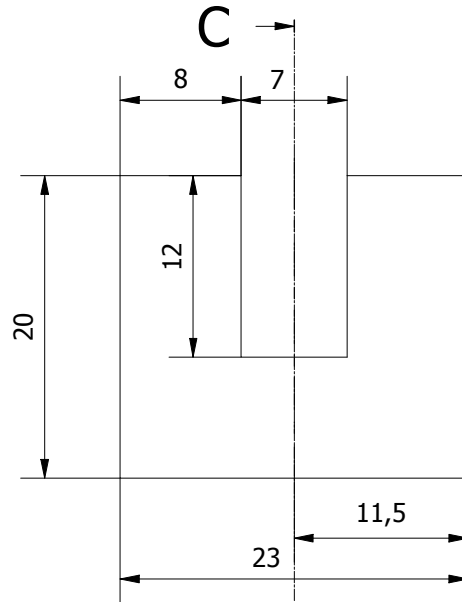


	<p><i>Materjal:</i> CuSn10 (DIN 30910)</p>	<p><i>Märkimata piirhälbed:</i> IT7</p>	<p><i>Mass:</i> 0,0 kg</p>	<p><i>Mõõt:</i> 2:1</p>
<p><i>Teostas:</i></p>	<p>Kevin Pajula</p>	<p><i>Nimetus:</i> Pronkspuks</p>		
<p><i>Kontrollis:</i></p>				
<p><i>Kinnitas:</i></p>				
<p>Vaakum OÜ</p>	<p><i>Leht:</i> 1</p>	<p><i>Tähis:</i> PSM 182418 A51 SKF</p>	<p><i>Formaat:</i> A4</p>	

D-D (1 : 2)

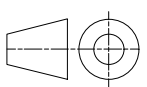
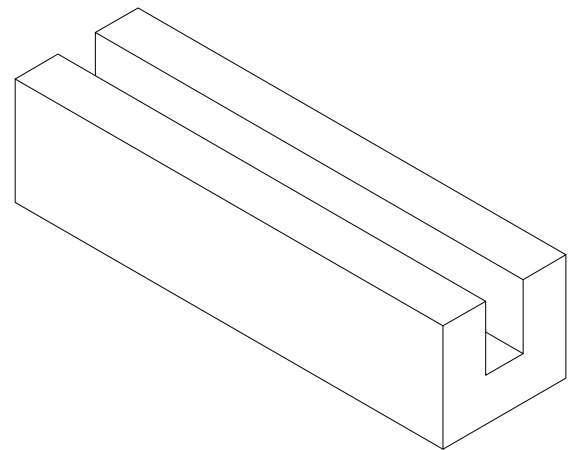
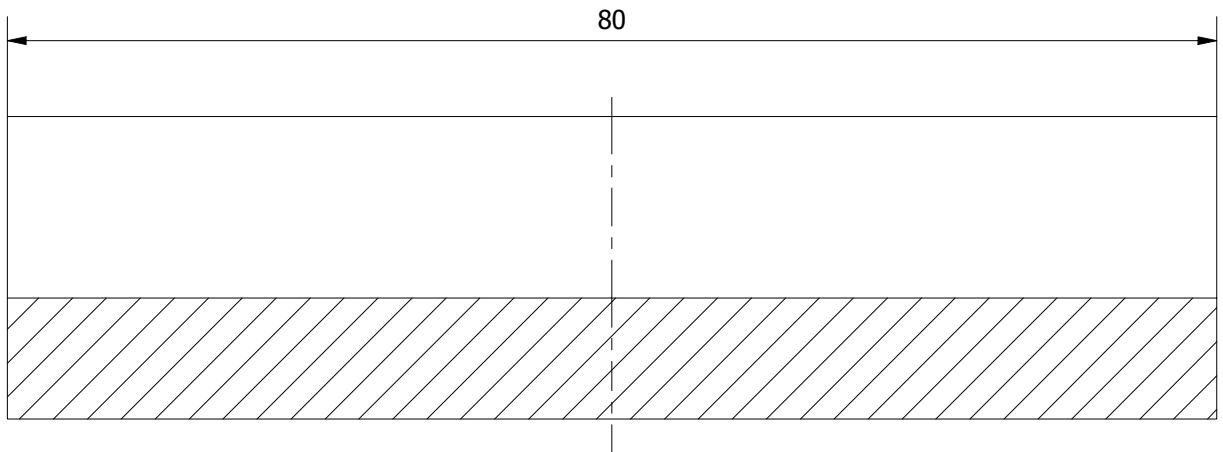


OSA	NIMETUS		TÄHISTUS	HULK
1	Horisontaalne soon		VKMR.01.41	1
2	Vertikaalne soon		VKMR.01.42	2
	<i>Materjal:</i>		<i>Märkimata piirhälbed:</i> IT12	<i>Mass:</i> 0,8 kg
<i>Teostas:</i>	Kevin Pajula	<i>Nimetus:</i>		
<i>Kontrollis:</i>		Harjahoidiku hoidja		
<i>Kinnitas:</i>				
	Vaakum OÜ www.vaakum.ee	<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> VKMR.01.40	<i>Formaat:</i> A4



√ 12,5

C-C (2:1)



Materjal:
Ruutteras S235

Märkimata piirhälbed:
IT12

Mass: 0,2 kg
Mõõt: 1 : 1

Teostas: Kevin Pajula

Nimetus:

Kontrollis:

Horisontaalne soon

Kinnitas:



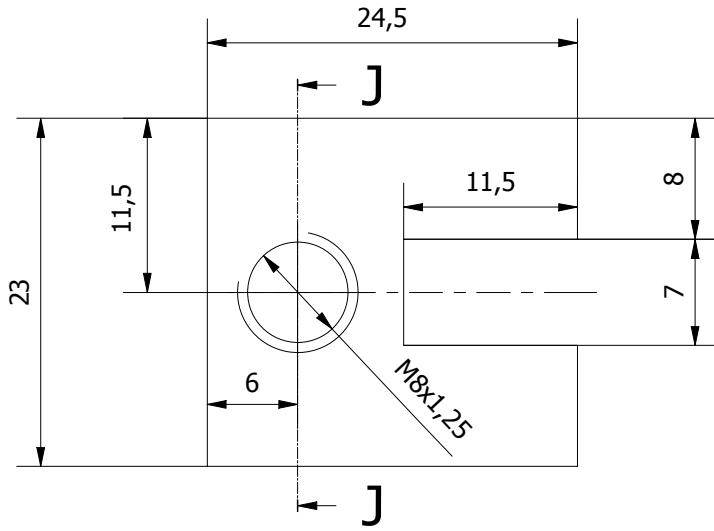
Vaakum OÜ
www.vaakum.ee

Leht:
1

Tähis:
VKMR.01.41

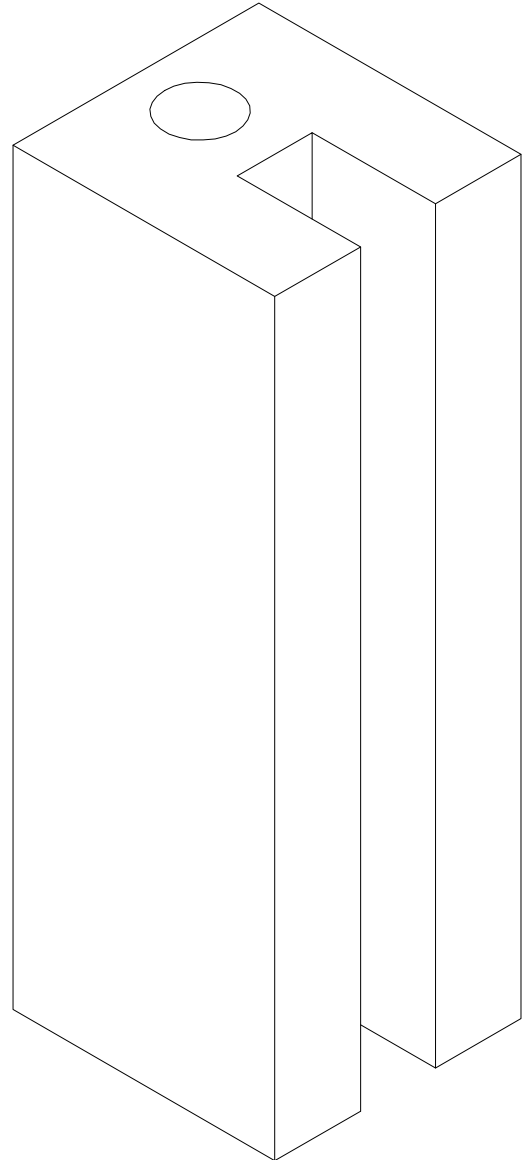
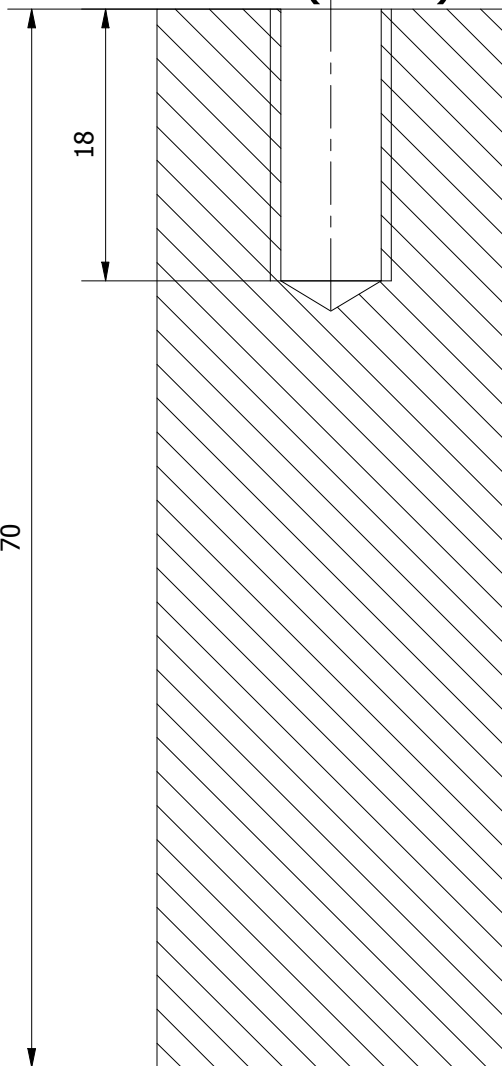
Formaat:
A4

Töö nr	Kogus
--------	-------

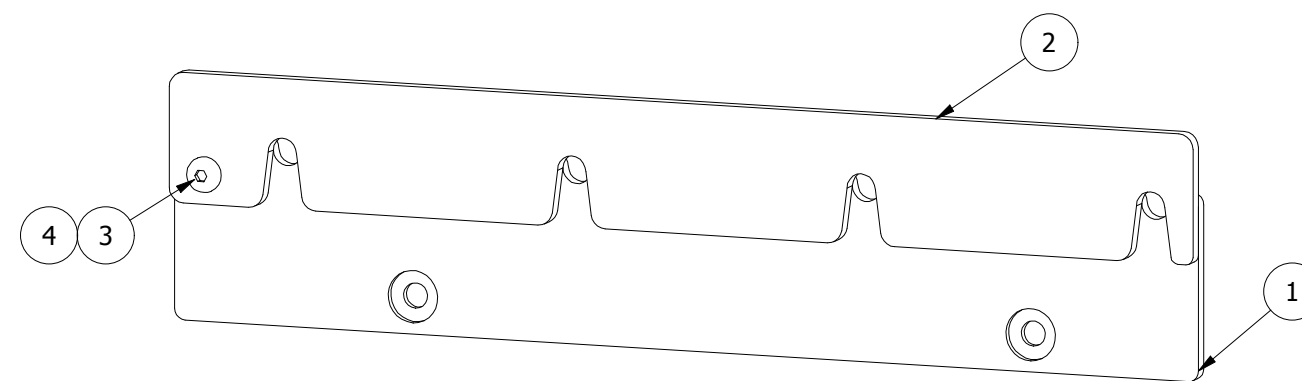
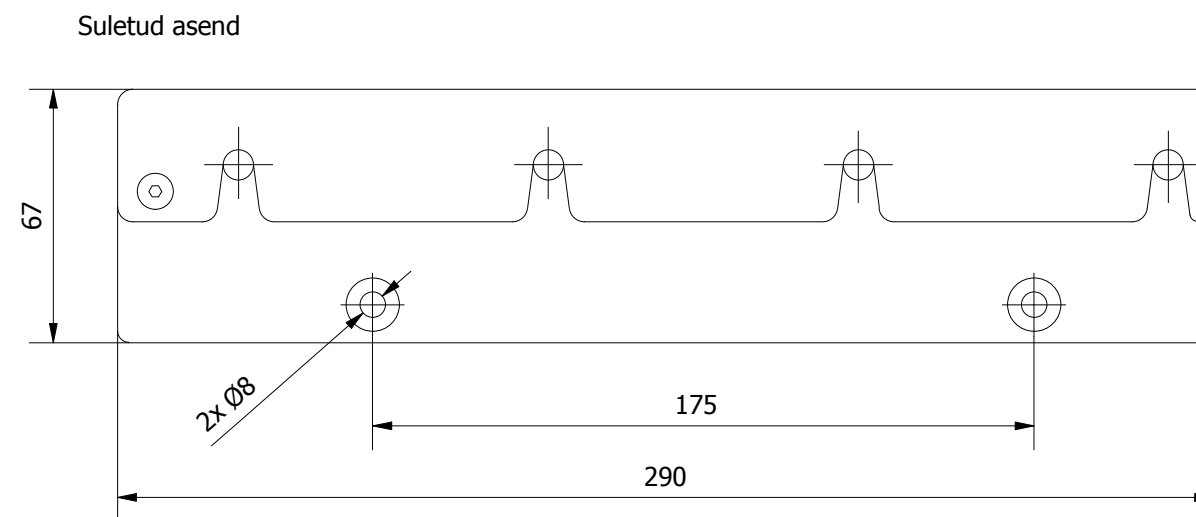
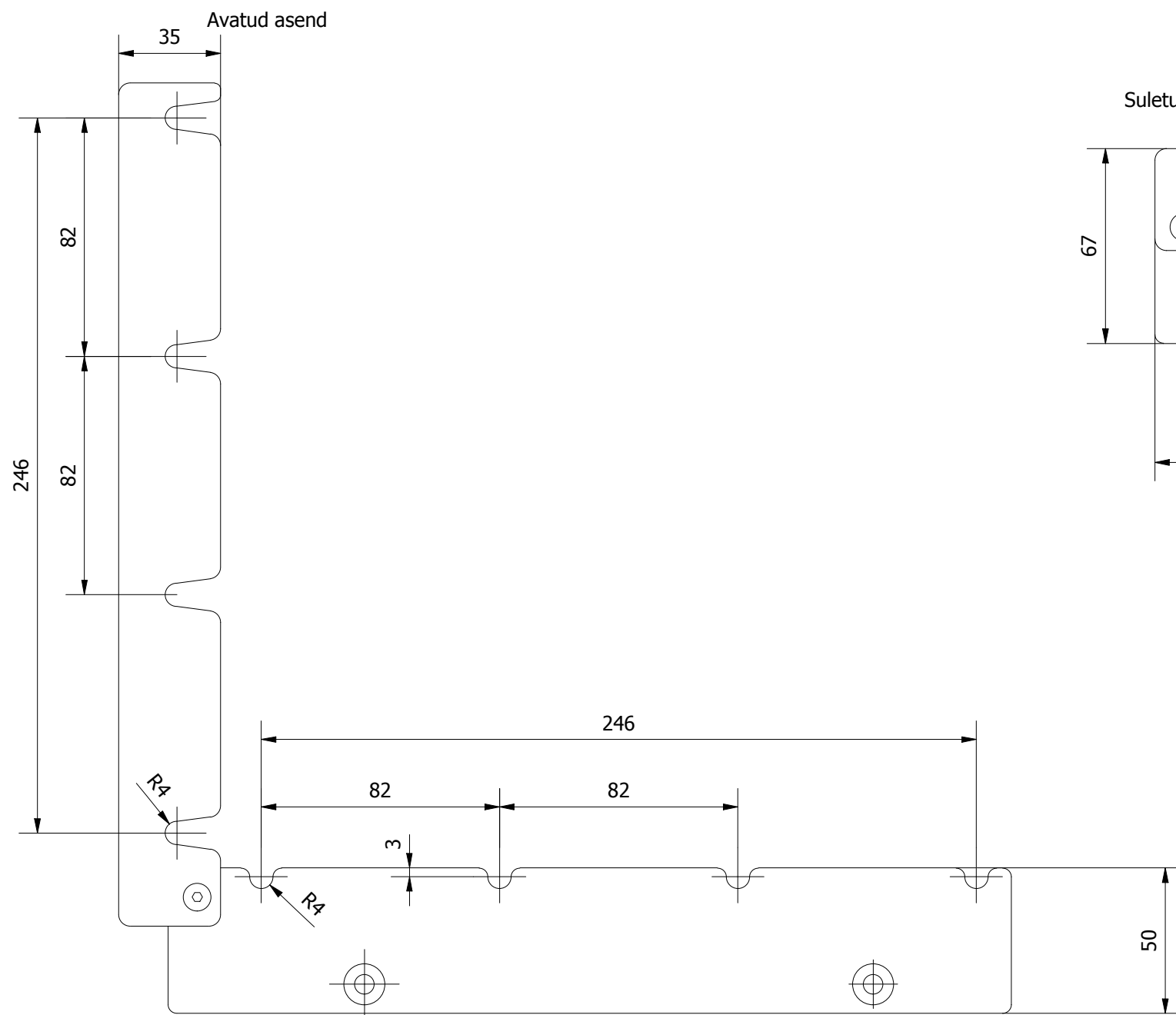


√ 12,5

J-J (2:1)



	Materjal: Ruuteras S235	Märkimata piirhälbed: IT12	Mass: 0.3 kg	Mööd: 2:1
Teostas: Kevin Pajula	Nimetus: Vertikaalne soon			
Kontrollis:				
Kinnitas:				
 VAAKUM www.vaakum.ee	Leht: 1	Tähis: VKMR.01.42	Formaat: A4	



OSA	NIMETUS	TÄHISTUS	HULK
1	Kamm	VKMR.01.21	1
2	Kammi liigend	VKMR.01.22	1
3	Polt M5 x 16	DIN 7380	1
4	Mutter M5	DIN 934	1

	<i>Materjal:</i>	<i>Märkimata piirhälbed:</i>	<i>Mass:</i> 0,7 kg	<i>Mõõt:</i> 1 : 2
--	------------------	------------------------------	------------------------	-----------------------

<i>Teostas:</i>	Kevin Pajula	<i>Nimetus:</i>	Kammi koost
<i>Kontrollis:</i>			
<i>Kinnitas:</i>			

	Vaakum OÜ	<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> VKMR.01.20	<i>Formaat:</i> A3
--	------------------	-------------------	-----------------------------	-----------------------

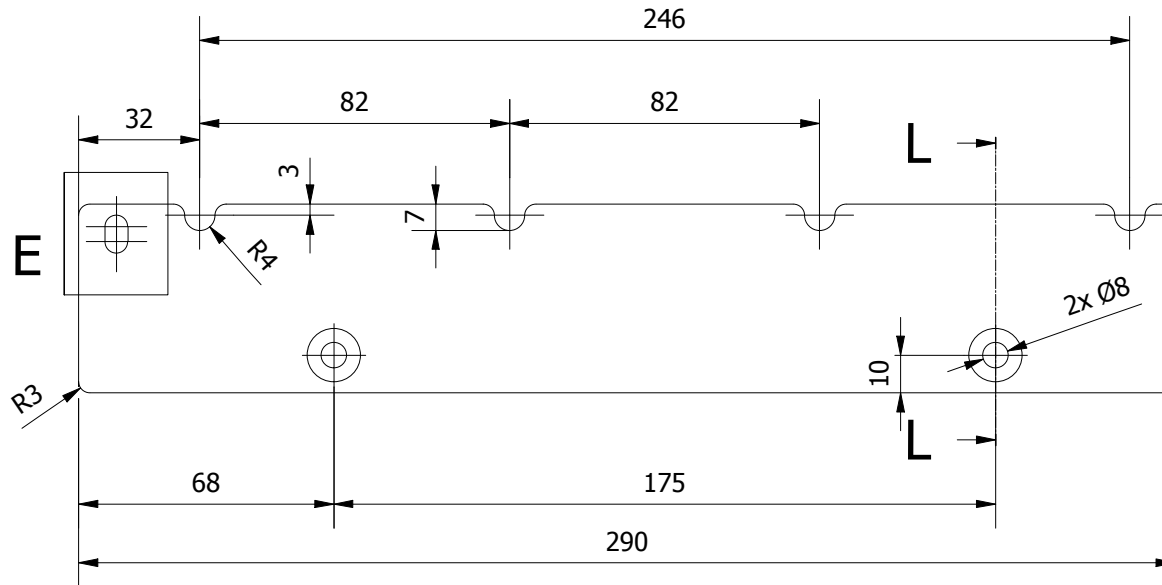
Muudatused / Lisamärkused

Märkimata raadiused R3

Töö nr

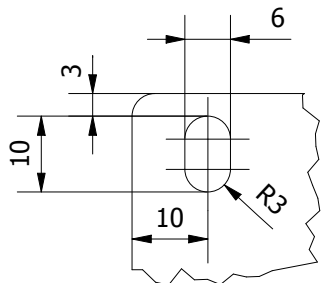
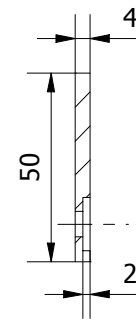
Kogus

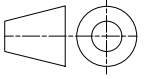

√12,5



E (1 : 1)

L-L (1 : 2)



	Materjal: S235 JR	Märkimata piirhälbed: IT12	Mass: 0,4 kg	Mõõt: 1 : 2
Teostas: Kevin Pajula	Nimetus: Kamm			
Kontrollis:				
Kinnitas:				
 Vaakum OÜ www.vaakum.ee	Leht: 1	Tähis: VKMR.01.21	Formaat: A4	

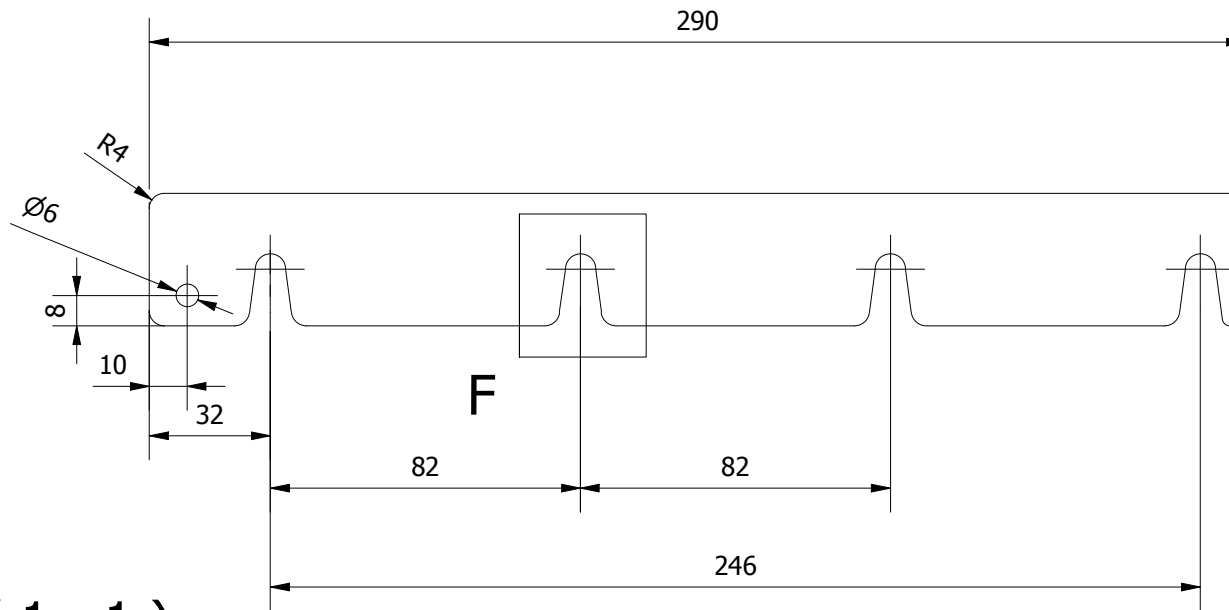
Muudatused / Lisamärkused

Märkimata raadiused R4

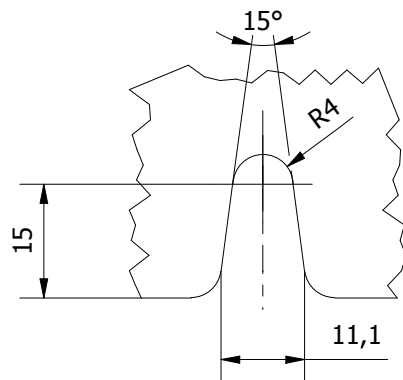
Töö nr

Kogus

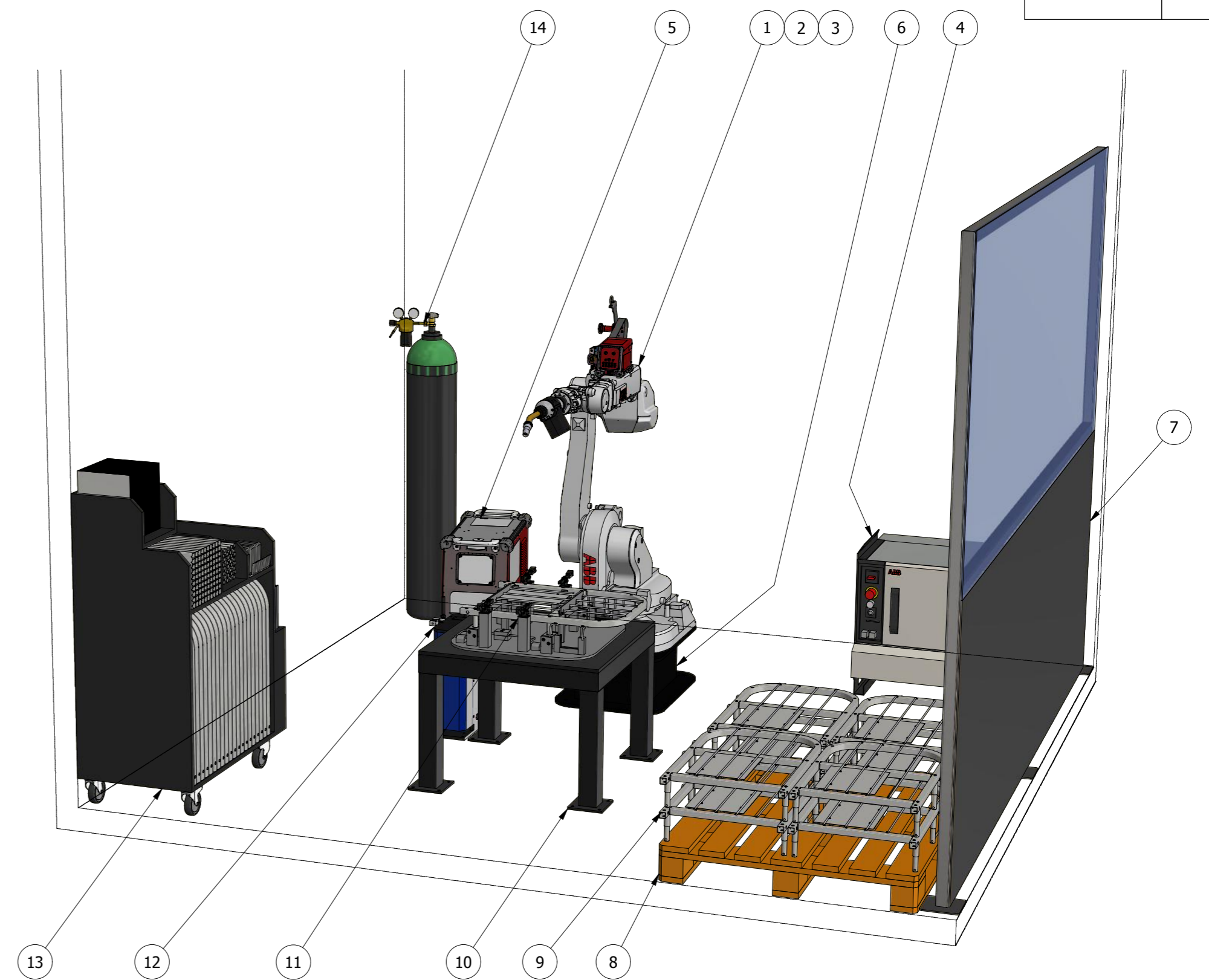
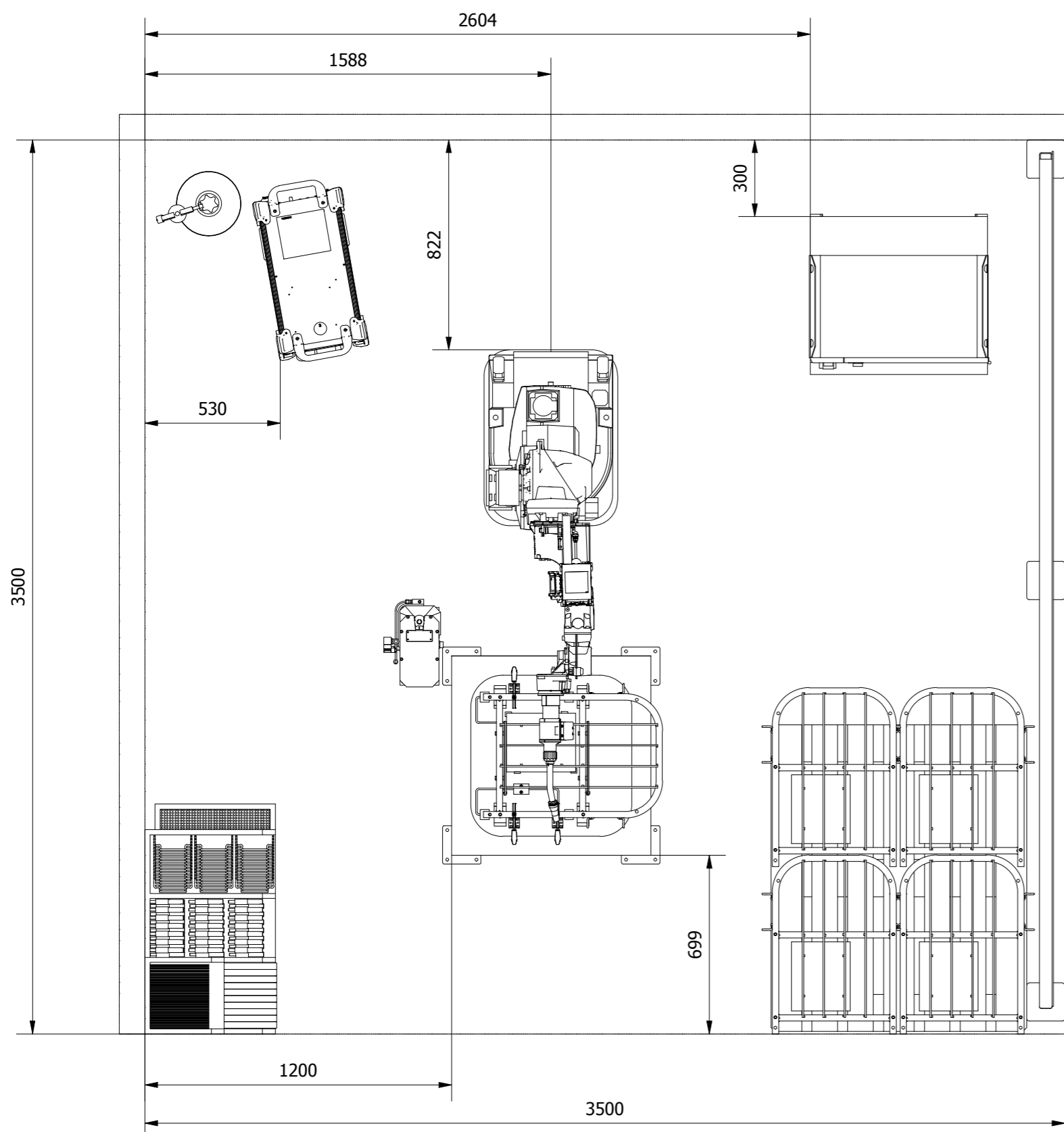
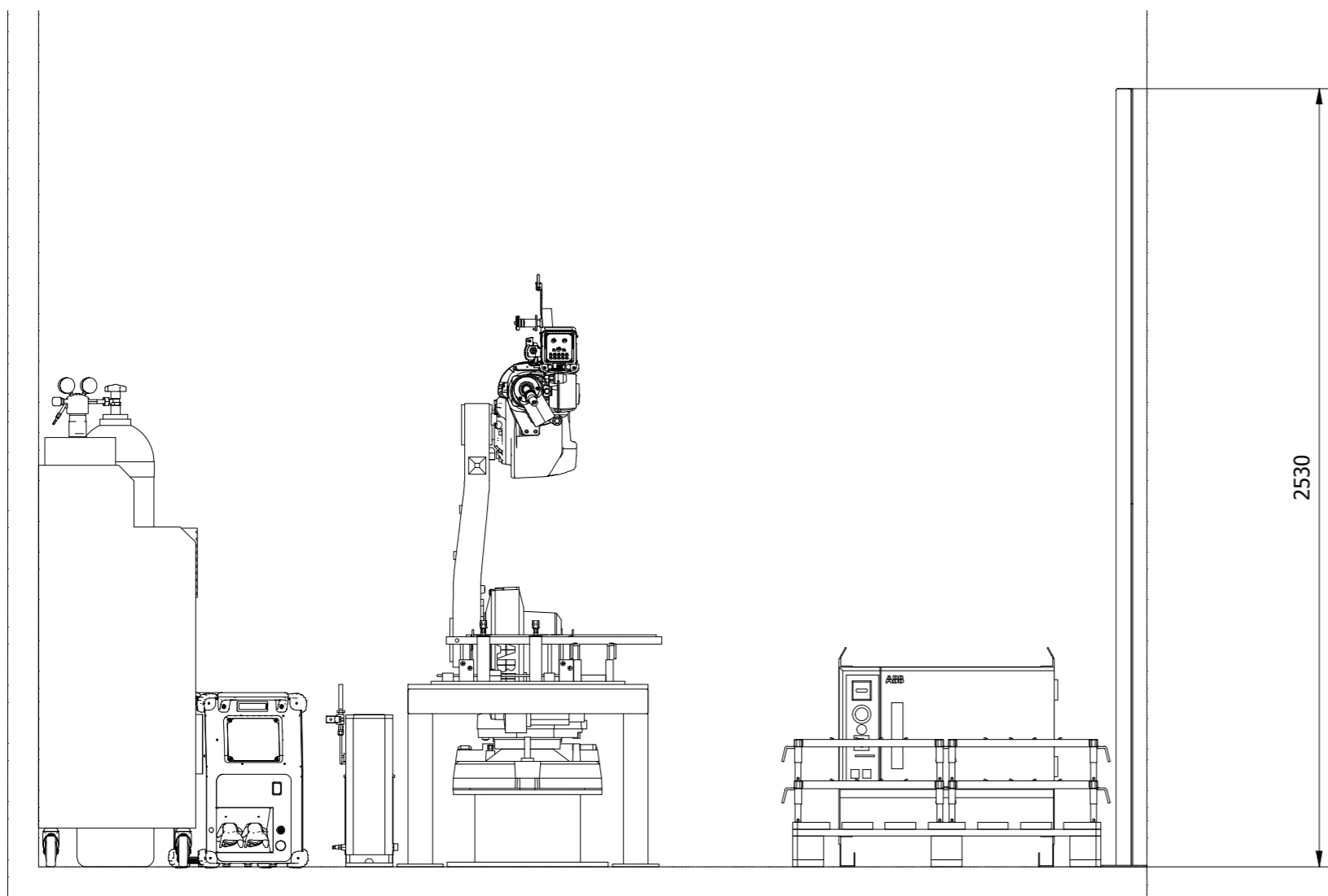
√ 12,5



F (1 : 1)



	<i>Materjal:</i> S235 JR	<i>Märkimata piirhälbed:</i> IT12	<i>Mass:</i> 0,3 kg	<i>Mõõt:</i> 1 : 2
<i>Teostas:</i>	Kevin Pajula	<i>Nimetus:</i> Kammi liigend		
<i>Kontrollis:</i>				
<i>Kinnitas:</i>				
 VAAKUM www.vaakum.ee	Vaakum OÜ	<i>Leht:</i> 1	<i>Tähis:</i> VKMR.01.22	<i>Formaat:</i> A4



OSA	NIMETUS	TÄHISTUS	HULK
1	ABB robot	ABB IRB1660ID	1
2	Fronius traadisöötja	WF 25i R	1
3	Fronius tõlvik	WF 25i ROBACTA DRIVE	1
4	ABB kontrollid	IRC5	1
5	Fronius keevitusseade	TPS 320i	1
6	Roboti alusplatvorm	ABB robot pedestal H240	1
7	Kaitsesein	VKM-RJ.01.10	1
8	FIN alus	Ostutoode	1
9	Alusraam		9
10	Rakise aluslaud	VKM-RJ.01.01	1
11	Rakis	VKMR.01.01	1
12	Binzel traadipuhastaja	TCS Compact	1
13	Detailide ladu	VKM-RJ.01.20	1
14	Balloongaas	Ostutoode	1

	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mööd:
			N/A	1:20
Teostas:	Kevin Pajula	Nimetus:	Robotjaam	
Kontrollis:				
Kinnitas:				
	Vaakum OÜ	Leht:	Tähis:	Formaat:
		1	VKM-RJ.01.00	A2

Lisa 2. Keevitusprotsessi RAPID kood

%%%

VERSION: X

LANGUAGE: ENGLISH

%%%

MODULE mMain

!Koristuskäru alusraami keevitus

PROC main()

WaitTime 0.01;

MODULE

PROC Keevitus_1_4()

MoveJ p278,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcLStart

p279,v100,1,adCalc1,sm1,wdWg1,wvWg1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis,trWg1;

ArcCalcL p280,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p281,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p282,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p283,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p284,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p285,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p286,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p287,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p288,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p289,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p290,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcLEnd p291,v20,1,adCalc1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

MoveL p292,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

MoveJ p293,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcLStart

p294,v50,10,adCalc1,sm1,wdWg1,wvWg1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis,trWg1;

ArcCalcL p295,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ArcCalcL p296,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p297,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p298,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p299,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p300,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p301,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p302,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p303,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p304,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p305,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcLEnd p306,v20,1,adCalc1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p307,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveJ p308,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcLStart
p309,v50,10,adCalc1,sm1,wdWg1,wwWg1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis,trWg1;
ArcCalcL p310,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p311,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p312,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p313,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p314,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p315,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p316,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p317,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p318,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p319,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p320,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcLEnd p321,v20,1,adCalc1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p322,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p323,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcLStart
p324,v50,10,adCalc1,sm1,wdWg1,wwWg1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis,trWg1;

```
ArcCalcL p325,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p326,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p327,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p328,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p329,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p330,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p331,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p332,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p333,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p334,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcL p335,v20,1,adCalc1,z1,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcCalcLEnd p336,v20,1,adCalc1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveJ p337,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ENDPROC

PROC Keevitus_5()

  ArcLStart p154,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLEnd p168,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveL p169,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveJ p151,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLStart p170,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLEnd p172,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveL p173,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveJ p178,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLStart p179,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLEnd p180,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveL p181,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveJ p182,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLStart p183,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  ArcLEnd p184,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
  MoveL p185,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
```

MoveL p186,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p187,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p188,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p189,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p194,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p195,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p196,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p197,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveJ p174,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p175,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p176,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p177,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveJ p190,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p191,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p192,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p193,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

ENDPROC

PROC Keevitus_6()

MoveL p198,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p199,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p200,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p201,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p202,v100,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p203,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p204,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p205,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p206,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p207,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p208,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p209,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

```
MoveL p210,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p211,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p212,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p213,v200,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ENDPROC
PROC Keevitus_7()
MoveJ p214,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p215,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p216,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p217,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p218,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p219,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p220,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p221,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p222,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p223,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p224,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p225,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p226,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p227,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p228,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p229,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p230,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p231,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p232,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p233,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p234,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p235,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p236,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p237,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
```

MoveL p238,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p239,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p240,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p241,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p242,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p243,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p244,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p245,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p246,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p247,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p248,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p249,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p250,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p251,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p252,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p253,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p254,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p255,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p256,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p257,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p258,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p259,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p260,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p261,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p262,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p263,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLEnd p264,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p265,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
MoveL p266,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
ArcLStart p267,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;

```
ArcLEnd p268,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
MoveL p269,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
MoveL p270,v400,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
ArcLStart p271,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
ArcLEnd p272,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
MoveL p273,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
MoveL p274,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
ArcLStart p275,v50,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
ArcLEnd p276,v10,sm1,wd1,fine,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;  
MoveL p277,v300,z10,tWeldGun\WObj:=WobjRakis;
```

ENDPROC

ENDMODULE