

SISUKORD

Eessõna	2
Selede loetelu.....	3
Tabelite loetelu	4
1. Sissejuhatus	5
2. Robotkompleks ja keevitustehnoloogia.....	8
2.1 Ettevõtte robotkompleks.....	8
2.2 Keevitustehnoloogia	14
3. Tooted ja tootmismahud	20
3.1 Planeeritavad tooted	21
4. Rakistuse väljatöötamine.....	28
4.1 Rakis küljetugede keevitamiseks robotil	28
4.2 Rakis keevitusrobotile vintsipuki keevitamiseks.....	35
4.3 Positsioneerimis- ja keevitusrakis vintsipukile	36
4.3.1. Rakise lahendus 1	36
4.3.2. Rakise lahendus 2	37
4.3.3. Rakise lahendus 3	38
4.3.4. Rakise lahendus 4	39
4.3.5 Vintsipuki rakis robotile	40
5. Analüüsimudelid.....	42
5.1 Toodete (302515, 302518, 302034) keevitustehnoloogia	42
5.2 Soovitused tootmise planeerimiseks.....	45
5.3 Koos keevitatavate detailide leidmine	48
6. Järeldused	52
Kokkuvõte	54
Summary.....	55
Kasutatud kirjandus	56
Lisad	58

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö teemaks on „Robotkompleksi tootmise planeerimine ja töökoormuse tasakaalustamine Bestnet AS-i keevitusroboti näitel“. Antud teemat palus käsitleda ettevõtte AS Bestnet, kus ka antud hetkel töötan tehnoloogina. Teema on välja kasvanud ettevõtte vajadusest suurendada keevituse robotkompleksi koormatust ning tasakaalustada seda ja seeläbi vähendada kulusid ja maksimeerida kasumit. Valisin antud teema, kuna see langeb suures osas kokku minu ametiülesannetega ning seeläbi on suurem võimalus viia ennast paremini kurssi firmas toimiva tootmissüsteemiga ning samuti võimaldas see lahendada mitmeid insener-tehnilisi probleeme.

Siinkohal soovin tänu avaldada Martinš Sarkans-ile, kelle pidev juhendamine ning asjakohased märkused aitasid otsida uusi lahendusi ja see töö lõpuni kirjutada. Eraldi soovin tänu avaldada Priit Uusberg-ile, kes aitas nõuga konstruktsioonide ja lõputöö koostamisel.

SELEDE LOETELU

Sele 1.1 Madel- ehk kastihaagis	5
Sele 1.2 Paadihaagis	5
Sele 1.3 Väiketraktori haagis	6
Sele 2.1 Robotkompleksi paigutus	10
Sele 2.2 Robot HP20D-6	10
Sele 2.3 Motoman liigendroboti tööruum	10
Sele 2.4 Kontroller NX-100	11
Sele 2.5 Roboti õpetamispuult	11
Sele 2.6 Roboti positsioneer TRD-2000	12
Sele 2.7 Toote positsioneer HSD-500 SX	12
Sele 2.8 Keevituspüstoli puhastusseadme mudel	13
Sele 2.9 Keevituspüstoli puhastusseade	13
Sele 2.10 Robotkeevituse keevituspüstol MIG protsessis	13
Sele 2.11 Robot koos keevituspüstoliga	13
Sele 2.2.1 Robot keevitamas	14
Sele 2.2.2 Keevituse summaarse kulu moodustumine	16
Sele 2.2.3 Kulude jaotus poolautomatiseeritud MAG keevituse korral	17
Sele 2.2.4 Kulude jaotus robotiseeritud MAG keevituse korral	18
Sele 3.1 Sektoriteks jagatud robotkompleks	22
Sele 3.2 Pooltoodete valmistamiseks kuluv aeg robotkompleksis aastas	25
Sele 3.3 Diagramm tööjaotuse kohta erinevates sektorites protsentides	27
Sele 4.1.1 Küljetugi BT-1300, 1500	28
Sele 4.1.2 Küljetugi BT-2000, 2500	29
Sele 4.1.3 Küljetugede keevitusrakis variant 1	30
Sele 4.1.4 Küljetugede keevitusrakis variant 2	31
Sele 4.1.5 Küljetugede keevitusrakis variant 3	32
Sele 4.1.6 Küljetoe rakise üks osa, kus on näha tapp-ühendused	33
Sele 4.1.7 Universaalne küljetugede rakis robotile	34
Sele 4.2.1 Vintsipukk BT450/600	35
Sele 4.2.2 Vintsipuki rakise detailide positsioneeriv raam	36

Sele 4.2.3 Kuue vintsipuki paigutuse skeem	37
Sele 4.2.4 Nelja vintsipuki paigutuse skeem kahes reas	38
Sele 4.2.5 Nelja vintsipuki paigutuse skeem ühes reas	39
Sele 4.2.6 Nelja vintsipuki paigutuse skeem	40
Sele 4.2.7 Vintsipuki keevitusrakis robotile	41
Sele 5.1.1 Pooltoodete valmistamiseks kuluv aeg robotkompleksis aastas koos lisatud toodetega	44
Sele 5.1.2 Tööjaotus erinevates sektorites protsentides koos laadimis ja puhastus ajaga	45
Sele 5.2.1 Uue jaotusega robotkompleksi koormatus erinevate sektorite vahel	47

TABELITE LOETELU

Tabel 1.1 Tootmiseseadmed ettevõttes Bestnet AS	6
Tabel 2.1 Robotkompleksi komponendid	9
Tabel 2.2.1 Algandmed ja kuluartiklid poolautomatiseeritud MAG keevitusel	17
Tabel 2.2.2 Algandmed ja kuluartiklid robotiseeritud MAG keevitusel	18
Tabel 3.1 Robotil keevitatud toodete kogused aastal 2013	20
Tabel 3.2 Robotile planeeritavate toodete valmistatud kogused aastal 2013	21
Tabel 3.3 Keevitusaaegade arvestamine	23
Tabel 3.4 Robotiaja arvestamine	24
Tabel 5.1.1 Kalkulatsiooni käigus arvatud BT1300,1500 küljetoe kaareajad	42
Tabel 5.1.2 Kalkulatsiooni käigus arvatud BT2000,2500 küljetoe kaareajad	42
Tabel 5.1.3 Kalkulatsiooni käigus arvatud BT450,600 vintsipuki kaareajad	43
Tabel 5.1.4 Arvutuslikud ajad projekteeritud rakises keevitatavatele toodetele	43
Tabel 5.2.1 Teisele töölauale siirduvad detailid	46
Tabel 5.2.2 Rakiste soovituslikud sektorid	46
Tabel 5.3.1 Rakisetäie toodete viibimise aeg robotkompleksis	48
Tabel 5.3.2 Nummerdatud tooted tagumisel töölaual	50
Tabel 5.3.3 Samal ajal valmistatavate toodete paarid	50

1. SISSEJUHATUS

Lõputöö teema on välja kasvanud ettevõtte Bestnet AS vajadustest oma tootmist paremini planeerida ja moderniseerida. Bestnet AS on asutatud 1990. aastal ning seal toodetakse peamiselt haagiseid. [1]

Valmistatavad tooted on liigitatud kolme põhilisse gruppi:

- madel- ehk kastihaagised (Sele 1.1);
- paadihaagised (Sele 1.2);
- väikeseeria haagised (autotreilerite, kaablihaagiste, väiketraktorite haagiste seeriad). (Sele 1.3)

Lisaks on võimalik ettevõttest tellida ja valmistada ka eriotstarbelisi haagiseid.



Sele 1.1 Madel- ehk kastihaagis [3]



Sele 1.2 Paadihaagis [3]



Sele 1.3 Väiketraktori haagis [3]

Aastal 2013 toodeti ligikaudu 14500 haagist ning aastaks 2014 on planeeritud tootmismahuks 16000 haagist. Ettevõttes oli 2014. aasta maikuu seisuga tööl 148 töötajat. Tehnoloogiliselt profiililt on ettevõtte spetsialiseerunud lehtmaterjalist ja toruprofiilist toodete valmistamisele. Seda iseloomustab ka põhiliselt kasutatav seadmete park (Tabel 1.1).

Tabel 1.1 Tootmiseseadmed ettevõttes Bestnet AS [2]

	Seade	Tootja	Kood	Märkused
1	Lehelaser	FinnPower	L6	
2	Lehekeskus	FinnPower	SG8e	
3	Torulaser	Trumpf	TruLaser Tube 5000	laserlõikuspink ümar- ja nelikanttorude lõikamiseks
4	Horisontaalne töötlemiskeskus	OKUMA	MA600HB	
5	CNC treipink	Takisawa	EX-310	
6	Painutuskeskus	XXL-Center	RAS 75.04	
7	Servoelektriline painutuspink	FinnPower	E200-4100	
8	Hüdrauliline painutaja	Amada	HFT 130/3	
9	Hüdrauliline painutaja	Amada	HFT 50/1,2	
10	Hüdrauliline painutaja	HACO	PPM 30135	
11	Käsikeevitusseadmed			
12	Metalli lintsaag			
13	Robotkompleks	Motoman		MIG/MAG kaarkeevitus

Valitud töö teema on tingitud ettevõtte vajadusest ning seetõttu on magistritöö ülesanded püstitatud järgmiselt:

1. tootmise planeerimise parendamine robotkompleksis ja sellega seonduvalt tagada võimalus ühtlustada tootmist ja suurendada produktiivsust;
2. robotkompleksi 3D mudeli loomine, mis aitab edaspidi visuaaliseerida tootavaid tooteid, ning hinnata robotkompleksi koormatust erinevates tsoonides, mis omakorda aitab kaasa paremale tootmise planeerimisele;
3. rakistuse projekteerimine kahele tootegrupile ja keevitustehnoloogia väljatöötamine, et suurendada ja samas ka ühtlustada tootmist robotkompleksis;
3. olemasoleva tootmismahu analüüs ning selle põhjal hetkelise robotkompleksi koormuspildi väljatoomine. See aitab paremini aru saada, milline on robotkompleksi kasutustegur enne optimeerima asumist;
4. omapoolse koormusskeemi väljapakkumine ja meetodika väljatöötamine robotkompleksi töö paremaks planeerimiseks.

Põhjus, miks antud teemaga rohkem süvitsi tegeleda, peitub ka selles, et olen hetkel kõnealuses firmas tööl tehnoloogina ning rakised ja keevitusroboti haldamine kuulub suures osas minu ametikohustuste hulka. Seega võimaldab antud teema suurendada teadmisi seoses keevitusrobotiga ja rakistuse planeerimisega edaspidiseks tööks.

Antud ettevõttes on keevituse robotkompleks kasutusel juba aastast 2004 ning nüüd on tarvis täiendavalt hinnata selle toimivust ning ka vajadusel planeerida tootmist selliselt, et ettevõtte saaks maksimaalse kasumi juba tehtud investeeringutest.

2. ROBOTKOMPLEKS JA KEEVITUSTEHNOLOOGIA

Keevitusprotsessi automatiseerimine pakub mitmeid eeliseid, tagades kõrge keevituskvaliteedi koos märkimisväärse konkurentsieelise teiste ettevõtete ees. Keevituseks kasutatavad robotid hõlmavad tänasel päeval ligikaudu 20% kogu tööstuslike robotite rakendustest, millest omakorda 35% suurune turuosa kuulub Motomanile, olles seeläbi kõige levinuma kasutusala robotite tootja.

Teadaovalt on Eestis kokku 40 Motoman-i keevituse robotkompleksi, olles seega kõige populaarsem roboti bränd meie turul. Lisaks võib Eestist leida Motoman-i roboteid ka sellistest valdkondadest nagu: pakkimine, painutamine, lehmade lüpsmine jne. Motoman kuulub täielikult Yaskawa Electronic Corporationi alla, mis on alates 1915. aastast aidanud tublisti kaasa automatiseerimise arengule kogu maailmas. Tänu sellele valmivad 100% roboti elektroonika komponentidest just Yaskawa tehastes. [4; 5]

2.1 Ettevõtte robotkompleks

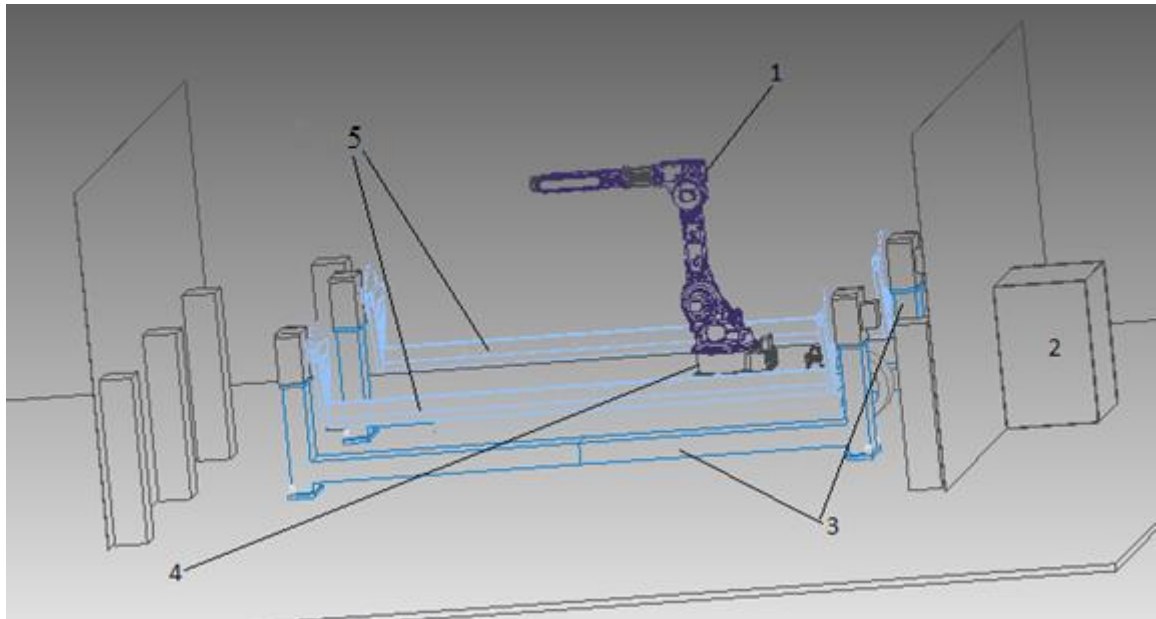
Antud töös analüüsitav keevituse robotkompleks asub Rummu tootmisüksuses ning koosneb robotist, lineaar-positsioneerist, kahest töölauast (grill-positsioneer), kontrollierist, keevitusseadmetest ja abiseadmetest (Sele 2.1). Antud robotsüsteem on paigaldatud aastal 2004 ning on siiani aktiivses kasutuses. Hetkel toimub töö ainult ühel töölaual korraga kahes vahetuses, ning oleks vaja kaasata pidevasse töösse ka teine töölaud, seeläbi suurendades efektiivsust ja vähendades ooteaega. Selle saavutamiseks on vaja identifitseerida tooted, mis sobivad samal ajal keevitamiseks. See tähendab, et keevituse- ja abiajad oleksid kahel erineval tootel enam-vähem võrdsed.

Robotkompleksi olulisemad komponendid on toodud tabelis 2.1

Tabel 2.1 Robotkompleksi komponendid

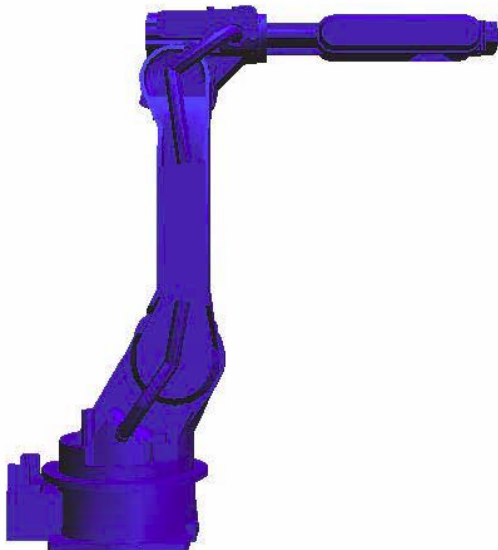
	Nimetus	Mudel	Tootja	Seeria number	Märkused
1	Robot	HP20-B10	Motoman	S4M444-1-1	Kandevõime 6 kg RH9530-5023-1
2	Roboti kontrolleri	NX100	Yasnac	052270	
3	Grill-positioneer (2 tk)	HSD-500 SX	Motoman	325320	Sn: 325320
4	Lineaar- positioneer	TRD-2000	Motoman	325208	
5	Keevitusseade	CWK-400	Kemppi		
6	Keevituspüstoli puhastusseade		Motoman		
7	Keevituspüstol				
8	Traadi etteandemehhanism	KempoMIG Feed 120 R	Kemppi		
9	Traadi etteandemehhanism	KempoMIG Feed 420 R	Kemppi	6236420	
10	Emaraam		Bestnet		

Robotkompleksi 3D mudel on loodud kasutades Motomani robotkompleksi erinevate detailide mudeleid [10], mis on SolidEdge keskkonnas kokku tõstetud vastavalt reaalsele situatsioonile. Selle eesmärgiks on visualiseerida, milline näeb välja Bestnetis asuv robotkompleks. See oleks abiks konstruktorile rakiste projekteerimisel, sest on võimalik paremini ette kujutada tulevast rakist kompleksis ning samuti seeläbi planeerida paremini tootmist. Valmistatud mudel näitab, kus kompleksi kuuluvad seadmed asuvad ning ka seadmete omavahelised kaugused. Samuti on sellega kaardistatud robotkompleksi üldine asend ruumis ning seeläbi roboti teenindamiseks kasutatav pind.

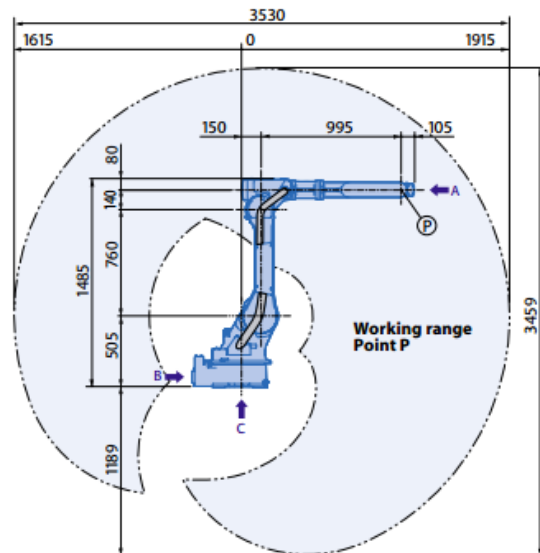


Sele 2.1 Robotkompleksi paigutus, 1 – robot, 2 – kontrolleri, 3 – grill-positioneer, 4 – lineaar-positioneer, 5 – emaraam

Roboti HP20D-6 kandevõime on 6 kg, omab kuute telge ja korratavustäpsus on $\pm 0,06$ mm Kuna roboti tööulatus ja täpsus on küllaltki suur ning robot ise on kompaktne, siis see sobib suurepäraselt keevitusprotsessi automatiseerimiseks.



Sele 2.2 Robot HP20D-6 [6]



Sele 2.3 Motoman liigendroboti tööruum, tööulatus 1915 mm [11]

NX-100 kontrolleri kasutatakse Windows CE programmiga õpetamispuhki, koos värvilise puutetundlikku ekraaniga. Mälu on 60 000 sammu programmeerimiseks, kokku saab sisestada 10 000 instruksiooni. Kergelt saab hakkama mitmete ülesannetega ja see on võimeline juhtima kuni nelja robotit korraga (kokku 36 telge). Programmide koostamine roboti jaoks toimub käsitsi, kuna keevitatavate detailide konfiguratsioon on lihtne. Offline programmeerimiseks oleks võimalik kasutada ka simulatsioonitarkvara Motosim, kuid antud ettevõttes ei ole see otstarbekas litsentsi kalli hinna tõttu, ning seetõttu pole see otstarbekas, kuna ka toodetavad detailid on lihtsad, väikesegabariidilised ja väheste keeviste arvuga.

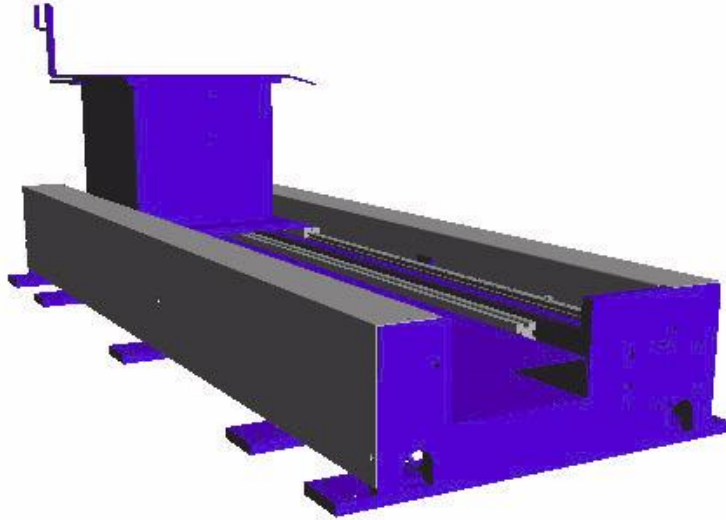


Sele 2.4 Kontrolleri NX-100 [12]



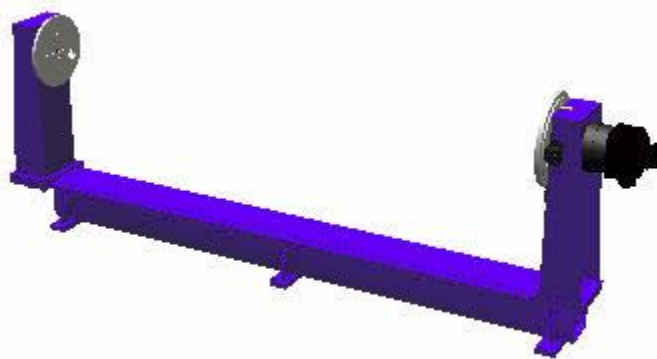
Sele 2.5 Roboti õpetamispuhki [13]

Roboti positsioneerija TRD-2000 puhul on tegemist kahe-positsioonilise robotialusega, millel puudub peatumisvõimalus keskel (peatumispunkt on kas ühes otsas või teises). Kindlasti võib pidada ka antud süsteemi puhul ainult kahte võimalikku positsiooni puuduseks, kuna tihti jääb natuke puudu roboti siru-ulatusest, ning robot peab täielikult liikuma teisele positsioonile. Liikumissüsteem on pneumaatiline ning selle põhiliseks ülesandeks on roboti transport ühelt positsioonilt teisele, eesmärgiga laiendada roboti tööpiirkonda.



Sele 2.6 Roboti positsioneer TRD-2000 [6]

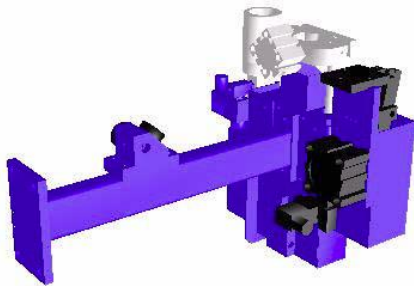
Grill-positsioneerija HSD-500SX on üheteljeline pöörlevat tüüpi tööalus, mis tagab positsioneerimise täpsuse $\pm 0,1$ mm ja 173 mm kaugusel tsentrist on kandevõime 500 kg. Ülekande arv on 119:1 ja kasutegur 0,85. Maksimaalne pöörlemine ühes suunas on programmi poolt piiratud 540 kraadiga, piiramatu pöörlemine on samuti võimalik. Antud seadme ülesandeks on positsioneerida toodet vastavalt vajadusele, et tagada roboti parem ligipääs töödeldavatele detailidele.



Sele 2.7 Toote positsioneer HSD-500 SX [6]

Keevituspüstoli puhastusseade on robotkeevituse protsessi toetav seade, mille ülesandeks on tõsta tootlikust ja samal ajal vähendada operaatori töökoormust. Seda kasutatakse keevituspüstoli otsiku puhastamiseks ja ka katmiseks pritsmevastase vedelikuga. Vajadusel löikab seade keevitustraadi väljaulatuva osa nõutud pikkusele, et tagada järgmise detaili probleemideta keevitus. Puhastusseade, mis on varustatud pneumaatilise mootori ja selle

otsa paigaldatud freesiga, toimib suruõhul ning puhastab antud freesiga gaasisuudmiku seest ja väljast ning ka traadi kontaktotsiku. Reeglina kasutatakse robotis puhastust pärast detaili keevitamise lõpetamist, kuid on ka erandeid. Tavaliselt kasutatakse puhastust iga ühe meetri keeviseõmbluse järel.

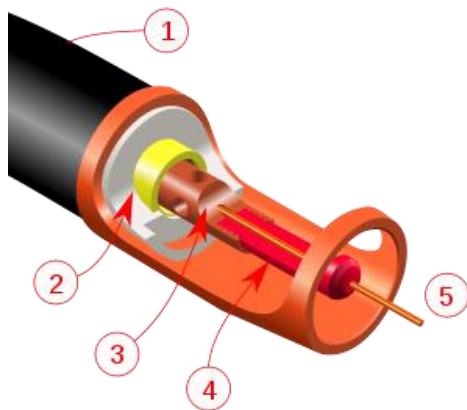


Sele 2.8 Keevituspüstoli puhastusseadme mudel [6]



Sele 2.9 Keevituspüstoli puhastusseade [14]

Keevituspüstol on roboti üks tööorganeid, mis kannab keevitusvoolu üle pidevalt etteantavale keevitustraadile ning samaaegselt lisatakse ka kaitsegaasi. Keevituspüstoleid on saadaval erinevate paindenurkade ja pikkustega. Selline valikuvõimalus lihtsustab raskesti ligipääsetavate kohtade keevitamist.

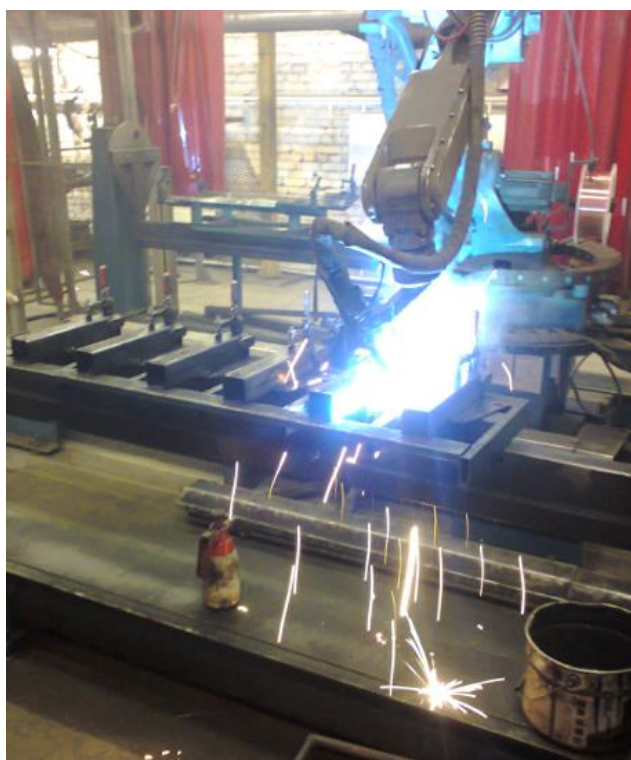


Sele 2.10 Robotkeevituse keevituspüstol MIG protsessis [15], 1 – keevituspüstoli käepide, 2 – isolatsioonipuks, 3 – kaitsegaasi hajuti, 4 – voolukontakt, 5 – keevitustraad



Sele 2.11 Robot koos keevituspüstoliga

2.2 Keevitustehnoloogia



Sele 2.2.1 Robot keevitamas

Keevituse kulude kalkulatsiooni põhjal on võimalik hinnata erinevate tegurite mõju tootmiskulutustele. Samuti võib seda kasutada erinevat tüüpi keevitusprotsesside võrdlemiseks, tootmiskulutuste määramiseks, või siis uute seadmete hankimisel investeerimise tasuvuse hindamiseks. Edasine info selles peatükis baseerub Soomes välja antud käsiraamatul [9], ning on toodud siia selleks, et tekiks parem arusaam robotsüsteemide vajalikkusest ja olemusest.

Kuna on võimalik täpselt arvutada keevituse maksumust ka ainult tarkvara kasutades, siis on loetletud need siinkohal, kuigi antud töös neid ei käsitleta: WELDplan, WeldCalc, Weldcost, VirtualArc, COSTCOMP, Weld Cost Calculator. Antud tarkvara kasutades sõltub täpsus kulude kalkuleerimisel väga suurel määral sisestatud andmete täpsusest. Kindlasti on arvutuste täpsemal määramisel kasu kogemustele baseeruvatel teadmistel kulude kalkulatsioonidest. Samuti on võimalik teostada kulude täpsemaks määramiseks proovikeevitusi, millest on võimalik saada praktilisi tootmisandmeid. Tänapäevase seisuga on võimalik ka teostada testkeevitusi virtuaalsete abivahenditega, ning saada sealt vajaminev info kalkulatsioonide teostamiseks.

Sula-keevitusprotsessi kuludes on võimalik välja tuua järgmised kulukomponendid:

- $K_{töö}$ – tööjõukulud (otsesed palgakulud, sotsiaalmaksud jms.);
- K_{keev} – keevitusprotsessi kulud (lisamaterjalid, kaitsegaasid, räbustid jms.);
- K_{seade} – seadmekulud (amortisatsioon, investeeringud);
- K_{el} – energiakulu (peamiselt elekter);
- K_{hool} – hoolduskulud (hooldus, varuosad jms.).

Keevituskulude summa: $K_H = K_{töö} + K_{keev} + K_{seade} + K_{el} + K_{hool}$ (Valem 1)

Kuna antud töös keskendutakse peamiselt keevitusajale, siis on samuti keevituse kalkulatsioonides väga tähtis koostisosa kaareaeg, mis näitab, kui kaua toimub puhas keevitus ilma liikumiste ja laadimisteta.

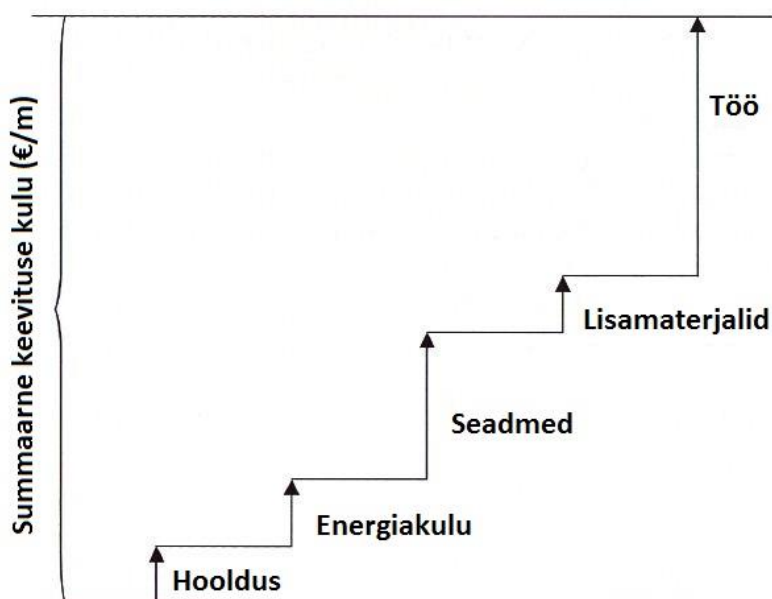
Kaareaja arvutamiseks kasutatakse valemit: [16, lk 96]

$$t_{kaar} = \frac{l}{v}, \quad (\text{Valem 2})$$

Kus t_{kaar} – keevituse kaareaeg, s;
 l – keevise kogupikkus, mm;
 v – keevituskiirus, mm / s.

Käsikeevituse puhul moodustavad põhilise osa keevituskuludest tööjõukulud, näiteks elektroodkeevitusel ja poolautomaatsel MIG/MAG keevitusel võivad need moodustada kuni 60...80 % kogu keevituse kuludest. Robotiseeritud keevituse puhul on nende osakaal palju väiksem, kuna suure osa moodustab seadme investeering. Robotiseeritud keevituskompleksides ulatuvad seadmete kulud 60...80 % summaarsetest keevituskuludest, samal ajal on käsi- ja poolautomatiseeritud keevituse puhul samad kulud 5...10 %. Kulutusi energiale arvestatakse kaareaja ja energiakulu alusel, kuid tavaliselt nende arvutus jäetakse tegemata, kuna nende osakaal on 1...2 % summaarsetest keevituskuludest. Lisamaterjalide kulud jäävad tavaliselt 5...10 % vahele summaarsetest kuludest käsitsi- ja poolautomatiseeritud keevitusel, samas võivad need kulud olla märksa suuremad kallite materjalide keevitamisel. Lisamaterjalide alla tuleks klassifitseerida kaitsegaasid, räbustid, jms sõltuvalt kasutatavast keevitusprotsessist.

Selel 2.2.2 on näidatud keevituse kogukulude moodustumine erinevatest osakuludest sula-keevitusprotsessi puhul.



Sele 2.2.2 Keevituse summaarse kulu moodustumine osakulude komponentide summana sula-keevitusprotsessi korral (graafiline esitus)

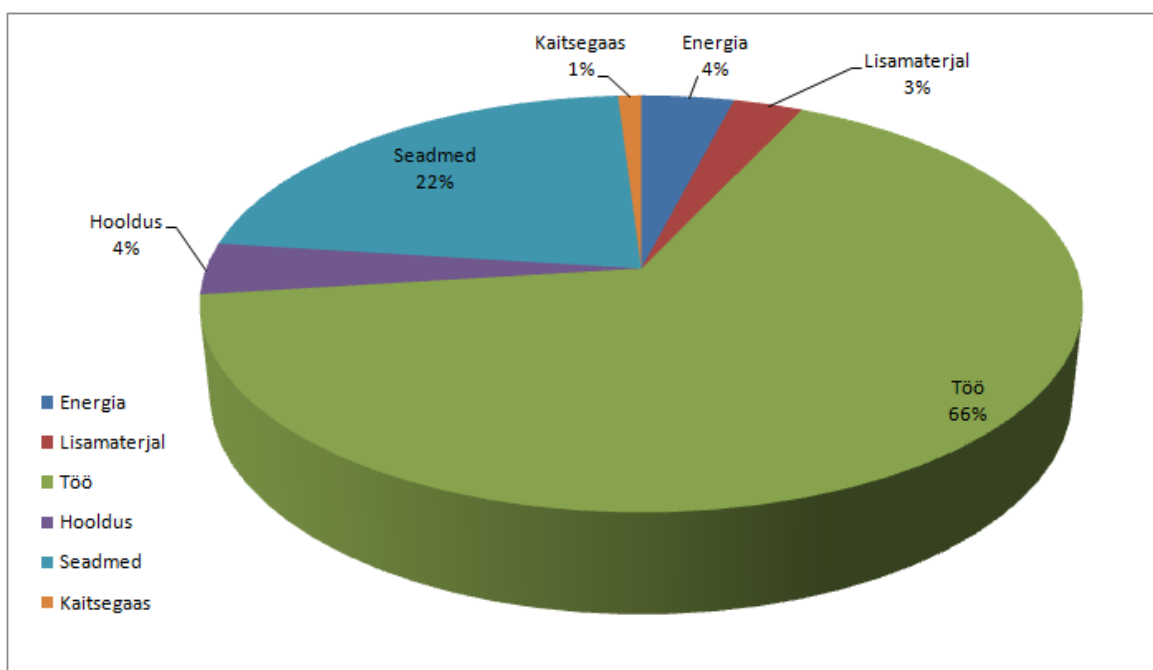
Erinevate kulukomponentide osakaal vastavalt Selele 2.2.2 võib olla täiesti erinev sõltuvalt uuritavast protsessist.

Selel 2.2.3 ja Selel 2.2.4 on välja toodud kahe erineva protsessi arvutustulemused. Mõlemad on tüüpilised Euroopa tingimustele, kui käsitletakse töö-, keevituse-, lisaaine-, seadme-, energia- ja hoolduskulutusi. Selel 2.2.3 on toodud kuluartiklite jagunemine poolautomaatse MAG keevituse korral (käsitsi keevitus) ja Sele 2.2.4 näitab robotiseeritud MAG keevituse kuluartikleid kahe vahetusega töö korral. Nende kahe näite vahel on väga suured erinevused just kuluartiklite suuruse kohal (tööjõukulude ja investeeringute suhtes).

Tabelis 2.2.1 on antud sele 2.2.3 (MAG keevitus) arvutusandmed ja –tulemused. Nagu Selelt 2.2.3 on näha, tööjõukulutused on peamised.

Tabel 2.2.1 Algandmed ja kuluartiklid poolautomiseeritud MAG keevitusel (käsitsi keevitus). Kulude osakaalude jaotumine on toodud Selet 2.2.3. Keevitatav liide: PA liide, a-mõõduga 4 mm.

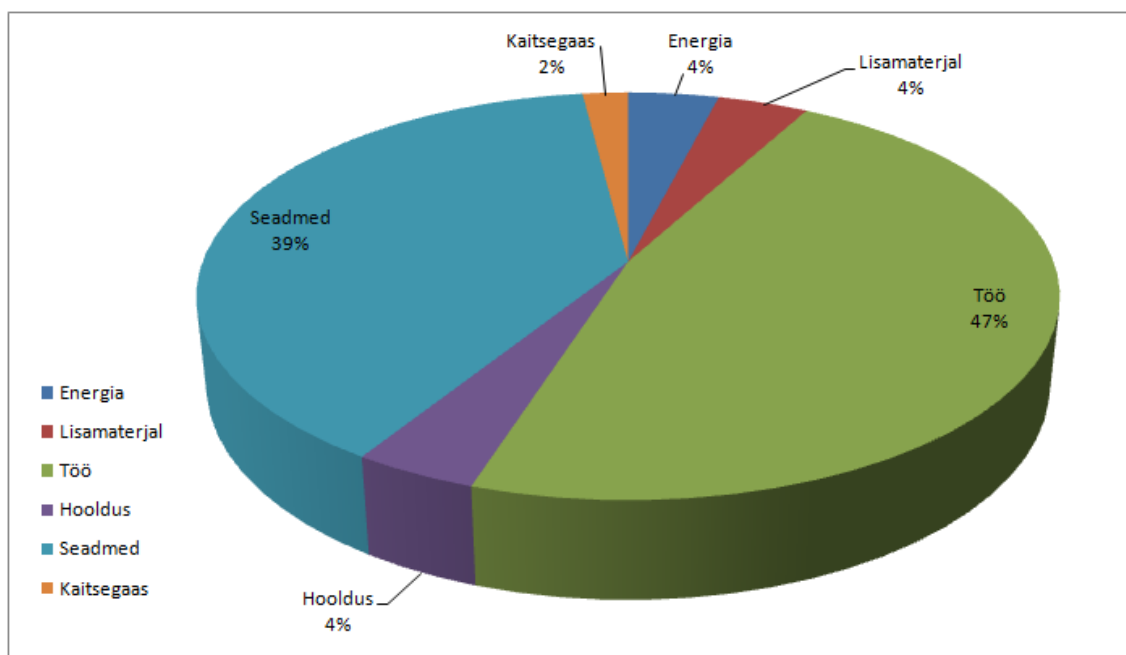
Algandmed			Tulemused		
Sulatuskiirus	4	kg/h	Tööjõukulud	492,6	€
Kasutegur	0,95	%	Lisamaterjali kulud	19,7	€
Õmbluse ristlõige	16	mm ²	Kaitsegaasi kulud	10,6	€
Keeviste pikkus	100	m/toode	Seadme kulud	164,2	€
Tööaeg	40	h/nädalas	Energiakulu	32,8	€
Keevitajate arv	1		Hoolduskulud	32,8	€
Kaaretegur	0,2		KOKKU	752,9	€
Keevitaja tunnihind	30	€/h	Kulu meetri kohta	7,5	€/m
Lisamaterjali hind	1,5	€/kg	Keevituskiirus	0,51	m/min
Kaitsegaasi hind	3	€/m ³			
Kaitsegaasi vooluhulk	18	l/min			
Seadme tunnihind	10	€/h			
Elektri hind	%-line	€/kWh			
Hoolduskulud	%-line	€/h			



Sele 2.2.3 Kulude jaotus poolautomiseeritud MAG keevituse korral (käsitsi keevitus). Tööjõukulude osakaal on märkimisväärne. Lähteandmed on toodud tabelis 2.2.1

Tabel 2.2.2 Algandmed ja kuluartiklid robotiseeritud MAG keevitusel (täisautomaatne). Kulude osakaalude jaotumine on toodud seel 2.2.4. Keevitatav liide: PA liide, a-mõõduga 4 mm.

Algandmed			Tulemused		
Sulatuskiirus	5	kg/h	Tööjõukulud	262,7	€
Kasutegur	1	%	Lisamaterjali kulud	19,7	€
Õmbluse ristlõige	16	mm ²	Kaitsegaasi kulud	10,4	€
Keeviste pikkus	100	m/toode	Seadme kulud	218,9	€
Tööaeg	40	h/nädalas	Energiakulu	24,1	€
Operaatorite arv	1		Hoolduskulud	24,1	€
Kaaretegur	0,3		KOKKU	560	€
Operaatori tunnihind	30	€/h	Kulu meetri kohta	5,6	€/m
Lisamaterjali hind	1,5	€/kg	Keevituskiirus	0,63	m/min
Kaitsegaasi hind	3	€/m ³			
Kaitsegaasi vooluhulk	22	l/min			
Seadme tunnihind	25	€/h			
Elektri hind	%-line	€/kWh			
Hoolduskulud	%-line	€/h			



Sele 2.2.4 Kulude jaotus robotiseeritud MAG keevituse korral (täisautomaatne). Seadme kulude osakaal on palju suurem kui seel 2.2.3. Lähteandmed on toodud tabelis 2.2.2

Toodud näitest võib välja lugeda, et keevituroboti soetamiskulud on küll kõrgemad, aga keevituskiirus on suurem, kui käsikeevituse korral. See omakorda tähendab, et käsikeevituse tootlikus on väiksem, kui robotkompleksi oma, kuid kulu meetri kohta on antud näite puhul käsikeevituse korral 7,5 €/m ja robotkeevituse puhul 5,6 €/m. Siit järeldub, et lõppkokkuvõttes on robotkeevituse meetri hind peaaegu 2 eurot odavam, kui käsikeevituse oma, ning tasub kindlasti ära kuna ka kvaliteet on stabiilsem. Kuna tööjõukulude osakaal robotil kogukuludest on küllaltki suur, siis tuleks keskenduda keevitus- ja abiaegadele (laadimine, rakiste vahetus), sest sealt on võimalik saavutada kõige suurem kokkuhoid.

3. TOOTED JA TOOTMISMAHUD

Alljärgnevas tabelis (Tabel 3.1) on välja toodud ettevõttes Bestnet AS hetkel robotil keevitatavad tooted ja nende tootmismahud 2013. aasta ja kuu lõikes. Tootmiskogused kuu lõikes on arvatatud aritmeetilist keskmist kasutades. Ajavahemik 01.01.2013 – 31.12.2013.

Tabel 3.1 Robotil keevitatud toodete kogused aastal 2013

	Toote- kood	Nimetus	Kogus tk/aastas	tk/kuus	Keevitus- sektor	Arv rakises
1	300028	265-275 tors sillakinnitus parem	2128	177	1 või 3	1
2	300029	265-275 tors sillakinnitus vasak	2128	177	1 või 3	1
3	301052	275P Luuk	720	60	2	2
4	302040	Küljetugi 750V, 1000V	1360	113	1	20
5	302042	Sõrm kiigel seibiga	1070	89	1	40
6	302048	BT600, 700 küljetugi torust sõrmega V2	5634	470	1	20
7	302053	450 küljetugi sõrmega	3904	325	1	20
8	302072	Kiige 600, 700, 750, 1000std	3790	316	1	4
9	302078	Kiige450V v4	2122	177	1	4
10	312008	Sild RH 450	88	7	1	1
11	312009	Sild RH 700	83	7	1	1
12	312010	Sild RH 1000/1250/1500	197	16	1	1
13	312011	Sild BUY 2000	64	5	1 ja 2	1
14	312060	Sillatala kinnitusega A-1000	1659	138	1	1
15	312061	Sillatala kinnitusega A-1100	1602	134	1	1
16	312062	Sillatala kinnitusega A-1200	1074	90	1	1
17	312063	Sillatala kinnitusega A-1300	2522	210	1	1
18	312065	Sillatala kinnitusega A-1500	62	5	1	1
19	312066	200 ECO sillatala kinnitusega	511	43	1	1
20	312067	Sillatala kinnitusega A-810	20	2	1	1
21	315097	Piduriteta veopea alus	8274	690	1 ja 3 (2 rakist)	6
22	340410	Värv sild C-265L	1404	117	1	2
23	340412	Värv sild 265 ECO C-1484 mm	422	35	1	2
24	340415	Sild 275L/600L	1404	117	1	2
25	340417	Sild C-275 L-P fermiga	214	18	1	2
26	340423	Balansiir TL	84	7	3	1
27	340424	Sild 300/327/350 LP	966	81	1	2
28	340425	Sild 300L	846	71	1	2
29	340427	Värv sild C-300L-P fermiga	0	0	1	2
30	340428	Sild 300LP 2010	33	3	1	2

	Toote- kood	Nimetus	Kogus tk/aastas	tk/kuus	Keevitus- sektor	Arv rakises
31	340446	750L sild EC	346	29	1	2
32	340449	Keev sild BS450-L	353	29	1	2
33	343029	C-200/265/275/300L sillakinnitus parem	1355	113	4	1
34	343030	C-200/265/275/300L sillakinnitus vasak	1355	113	4	1
35	363081	Axxa rullik	533	44	3	5
		KOKKU	48327	4029		

3.1 Planeeritavad tooted

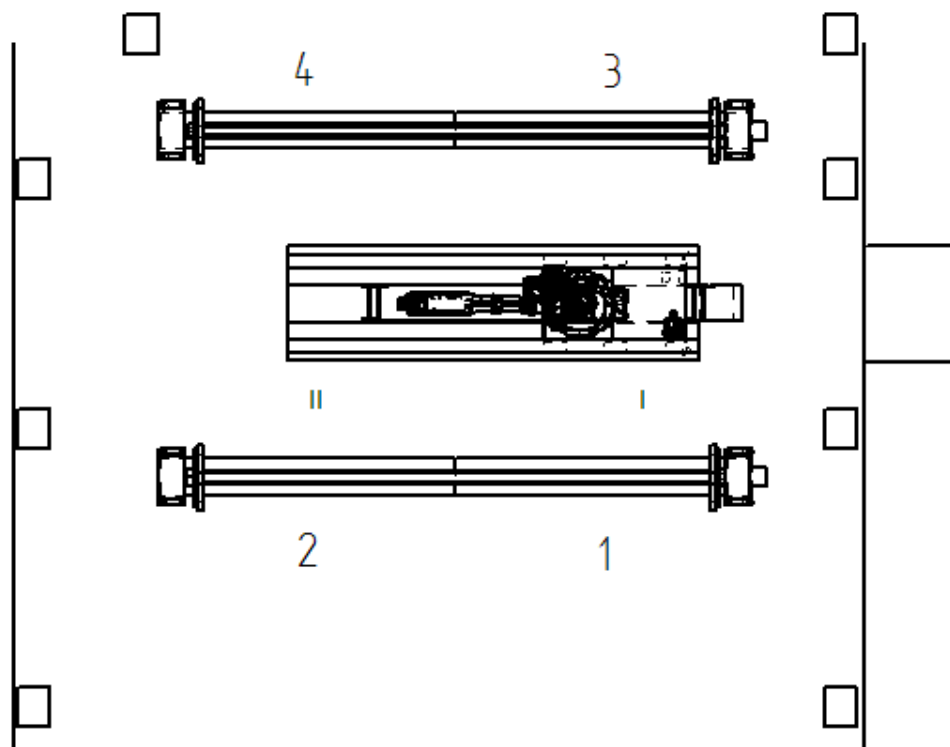
Alljärgnevas tabelis (Tabel 3.2) on välja toodud tooted, mida võiks keevitada keevitusrobotil, kuna tegemist on lihtsate ja robotile sobilike toodetega, ning tootmiskogused on suhteliselt suured. Seetõttu tasub ära nende detailide üleviimine robotkeevitusele, sest rakistusele ja programmeerimisele tehtavad kulutused tasuvad ennast ära.

Tabel 3.2 Robotile planeeritavate toodete valmistatud kogused aastal 2013

Robotile planeeritavate toodete valmistatud kogused 01.01.2013-31.12.2013				
	Tootekood	Nimetus	tk/aastas	tk/kuus
1	302010	Vintsipuki ülemine osa 750	2655	221
2	302026	1000, 1250, 1300, 1500 vintsipuki ülemine osa v2	1148	96
3	302034	Vintsipukk 450V,600V l-581mm	2775	231
4	302020	750, 1000 vintsipuki alumine osa	2564	218
5	302086	Kiilurulli alus	11331	944
6	302515	1300, 1500 küljetugi	1798	150
7	302518	Ts. BT-2000/2500 küljetugi	947	49
8	302047	Propeller 750V, 1000V proov	1302	109
9	301737	327P luugiraam	2823	235
10	300598	Raam BS700-R EC	2145	179
11	300608	Raam BS450-R	943	79

Alljärgneval joonisel (Sele 3.1) on robotkompleks sektoriteks jaotatud. Neljaks sektoriks on tööala jagatud seetõttu, et roboti lineaar-positsioneerijal on ainult kaks lõpp-asendit ja vastavalt sellele asub robot kas positsioonil I või positsioonil II (Sele 3.1). Nende positsioonide tõttu tekib kahe töölaua kasutamisel neli sektorit. Sektorid 1 ja 2 asuvad eesmisel töölaual ja sektorid 3 ja 4 tagumisel töölaual. Eesmärgiks on uurida, millistes

sektorites toimub põhiline töö, ning olenevalt tulemustest teha järeldused. Kuna koormus on kahe töölaua vahel äärmiselt ebahühtlane, siis tuleb ette võtta seda olukorda parandavad sammud.



Sele 3.1 Sektoriteks jagatud robotkompleks

Selleks, et oleks võimalik analüüsida robotkompleksis toimuvat, tuleks leida orienteeruv toodete robotkompleksis keevituse aeg toote kohta. Orienteeruvate keevitusaegade kalkuleerimiseks tuleb esmalt leida robotkompleksis keevitavate toodete kaareajad. Kaareaja arvutamiseks kasutatakse valemit 2.

Orienteeruva roboti keevitusaja leidmiseks on vaja kaareajale lisada 10...20 % aega juurde, mis kulub roboti liikumistele ning positsioneeril toote liigutamiseks. Antud töös on lisatud kaareajale 20% aega lisaks. Arvestatud on veel sisse ka robotil keevituspüstoli puhastusele kuluv aeg, millal robot on hõivatud. Puhastuseks kulub 20 sekundit pärast iga rakisetäie keevitust. Laadimisajad tabelis on valitud orienteeruvalt vastavalt tootele.

Järgmiseks leiti igale detailile vastav kaareaeg, ning arvestati juurde keevitusaja arvutamiseks roboti vaheliikumisteks kuluv aeg. Viimases veerus on võetud kokku, kui palju kulub aastas antud toodete keevitamiseks aega, see tähendab, et seal on tootmiskogus korrutatud keevitusajaga, ning tulemuseks on kui palju aega robot on realselt keevitamisega hõivatud. Tulemused on toodud tabelites 3.3 ja 3.4.

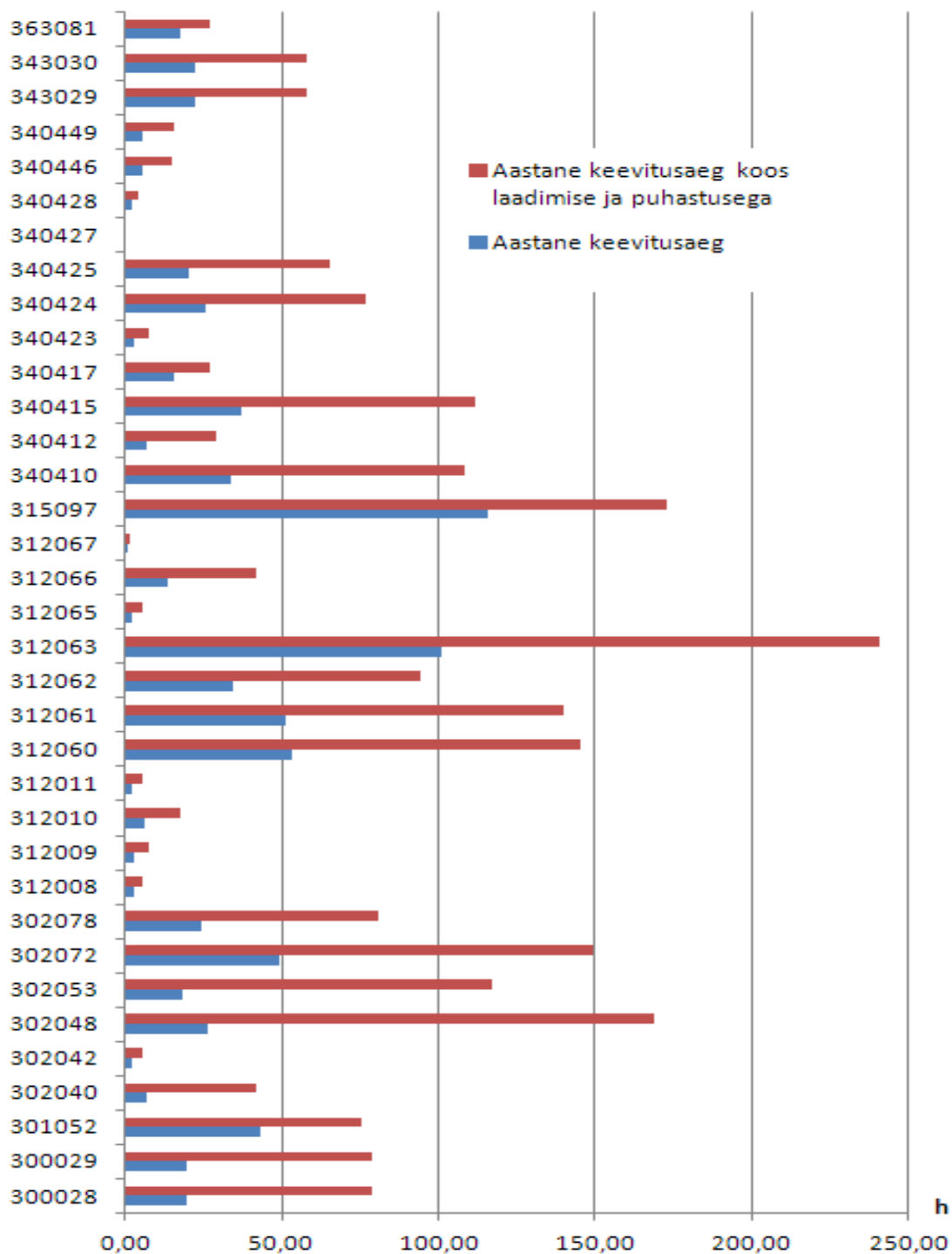
Tabel 3.3 Keevitusaeegade arvestamine

	Tootekood	Kogus	Kaareaeg	Keevitusaeag	Aastane keevitusaeag
		tk/aastas	sekundit	sekundit	h/aastas
1	300028	2128	28	33,6	19,86
2	300029	2128	28	33,6	19,86
3	301052	720	180	216	43,20
4	302040	1360	16	19,2	7,25
5	302042	1070	7,1	8,52	2,53
6	302048	5634	14	16,8	26,29
7	302053	3904	14	16,8	18,22
8	302072	3790	39	46,8	49,27
9	302078	2122	35	42	24,76
10	312008	88	100	120	2,93
11	312009	83	100	120	2,77
12	312010	197	100	120	6,57
13	312011	64	100	120	2,13
14	312060	1659	96	115,2	53,09
15	312061	1602	96	115,2	51,26
16	312062	1074	96	115,2	34,37
17	312063	2522	120	144	100,88
18	312065	62	120	144	2,48
19	312066	511	80	96	13,63
20	312067	20	96	115,2	0,64
21	315097	8274	42	50,4	115,84
22	340410	1404	73	87,6	34,16
23	340412	422	50	60	7,03
24	340415	1404	80	96	37,44
25	340417	214	218	261,6	15,55
26	340423	84	103	123,6	2,88
27	340424	966	80	96	25,76
28	340425	846	73	87,6	20,59
29	340427	0	210	252	0,00
30	340428	33	218	261,6	2,40
31	340446	346	50	60	5,77
32	340449	353	50	60	5,88
33	343029	1355	50	60	22,58
34	343030	1355	50	60	22,58
35	363081	533	100,0	120	17,77
	KOKKU	48327			818,23

Tabel 3.4 Robotiaja arvestamine

	Tootekood	Kogus	Aastane keevitusaeg	Puhastuste aeg	Laadimisaeg	Robotiaeg kokku
		tk/aastas	h/aastas	h/aastas	sek/tk	h
1	300028	2128	19,86	5,91	90	78,97
2	300029	2128	19,86	5,91	90	78,97
3	301052	720	43,2	2	150	75,20
4	302040	1360	7,25	0,38	90	41,63
5	302042	1070	2,53	0,15	10	5,65
6	302048	5634	26,29	1,57	90	168,71
7	302053	3904	18,22	1,08	90	116,90
8	302072	3790	49,27	5,26	90	149,28
9	302078	2122	24,76	2,95	90	80,76
10	312008	88	2,93	0,49	90	5,62
11	312009	83	2,77	0,46	180	7,38
12	312010	197	6,57	1,09	180	17,51
13	312011	64	2,13	0,36	180	5,69
14	312060	1659	53,09	9,22	180	145,26
15	312061	1602	51,26	8,9	180	140,26
16	312062	1074	34,37	5,97	180	94,04
17	312063	2522	100,88	14,01	180	240,99
18	312065	62	2,48	0,34	180	5,92
19	312066	511	13,63	2,84	180	42,02
20	312067	20	0,64	0,11	180	1,75
21	315097	8274	115,84	7,66	21,6	173,14
22	340410	1404	34,16	3,9	180	108,26
23	340412	422	7,03	1,17	180	29,30
24	340415	1404	37,44	3,9	180	111,54
25	340417	214	15,55	0,59	180	26,84
26	340423	84	2,88	0,47	180	7,55
27	340424	966	25,76	2,68	180	76,74
28	340425	846	20,59	2,35	180	65,24
29	340427	0	0	0	180	0,00
30	340428	33	2,4	0,09	180	4,14
31	340446	346	5,77	0,96	90	15,38
32	340449	353	5,88	0,98	90	15,69
33	343029	1355	22,58	1,88	90	58,34
34	343030	1355	22,58	1,88	90	58,34
35	363081	533	17,77	0,59	60	27,24
	KOKKU	48327	818,23	98,12		2280,24

Graafikul (Sele 3.2) on kujutatud toodete keevitamise aeg ilma ning koos laadimis- ja puhastusajaga. Eesmärgiks on visualiseerida erinevate toodete poolt kasutatavat keevitusroboti ressursi. Samuti näitab antud graafik, mis on põhilised töötlemisaega nõudvad detailid, ehk mis koormavad suurema osa roboti ajast.

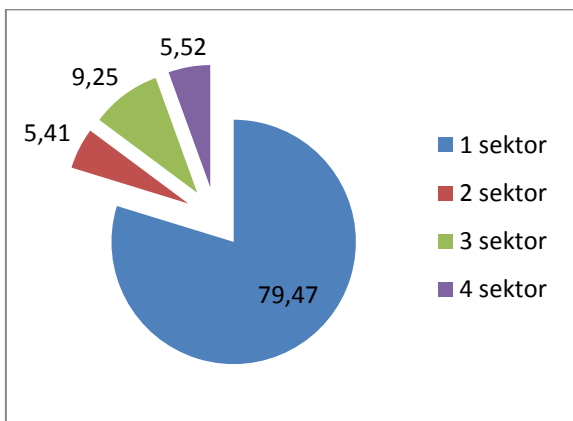


Sele 3.2 Pooltoodete valmistamiseks kuluv aeg robotkompleksis aastas

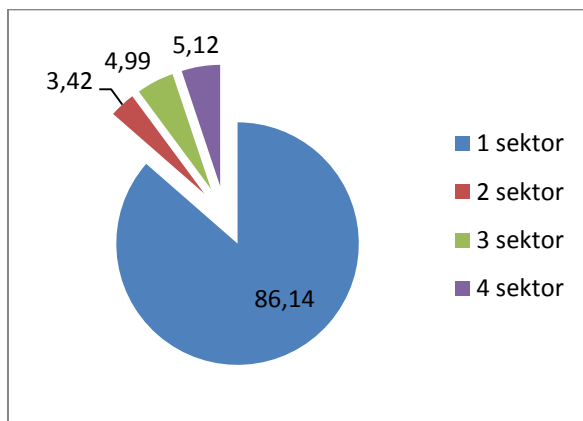
Tabelist 3.4 on näha, et aastane robotiaeg kokku on 2280,24 tundi ning kui sellest lahutada aastane keevitusaeg 818,23 siis tulemuseks saame laadimisaja 1462,01 tundi, millest tuleb lahutada roboti puhastusaeg 98,12 tundi, millal lisaks robot on hõivatud, saades vastuseks 1363,92 tundi. See tähendab ühe töölaua kasutamisel, et selle aja robot lihtsalt seisab aastast ja ootab operaatori järgi. Seda aega tuleb vähendada, võttes kasutusele teine töölaud, et robot saaks laadimise ajal teisel laual keevitada.

Graafikul (Sele 3.3) on näidatud tööde jaotus erinevate sektorite vahel. Vaadates diagrammi, mis on koos laadimis- ja puhastusajaga, siis on näha, et põhiline töö toimub sektoris 1 (86,14%), ning ülejäänud sektoritest saab suurema koormuse neljas sektor. Teise ja kolmanda sektori koormused jagunevad enam-vähem võrdselt. Koormatuse jaotus on väga ebaühtlane, mis on kindlasti osaliselt tingitud sellest, et esimene positsioon asub kõige mugavamas kohas. Seal on kõige rohkem ruumi ning saab ilma suurema vaevata transportida tooret ja valmistoodangut. Samuti on suurema ruumi tõttu mõistlikum kasutada seda poolt suuremate detailide keevitamiseks ja analüüsides saadud tulemusi, siis põhiliselt keevitatakse seal sildasid. Detailid, mis keevitatakse, on suuresti seotud esimese sektori detailidega. Nimelt osa teise sektori detaile on esimese sektori pikemad detailid, mille keevitamiseks robot liigub esimeselt positsioonilt teisele. Teise suurema järelalusena saab välja tuua, et tagumisel töölaual praktiliselt tööd ei tehtagi. Üheks põhjuseks võib pidada ruumipuudust ja kindlasti ka tööliste mugavust, kuna seal on kitsam, ning selle tõttu on ka detaile keerukam transportida.

Lähtudes saadud analüüsi tulemustest, võetakse eesmärgiks ühtlustada erinevate töölaudade koormatust ning üheks selleks võimaluseks on ka suurendada tagumise töölaua kasutust, projekteerides sinna juurde kaks rakist ning seejärel vaadata üle ka praeguste detailide uus jaotus antud töölaudade vahel. Rakiste konstrueerimiseks valitakse väiksemamõõtmelised detailid, millega oleks seal mugavam opereerida.



Sele 3.3 a Diagramm tööjaotuse kohta (keevitusaeg)



Sele 3.3 b Diagramm tööjaotuse kohta (keevitusaeg koos laadimis- ja puhastusajaga)

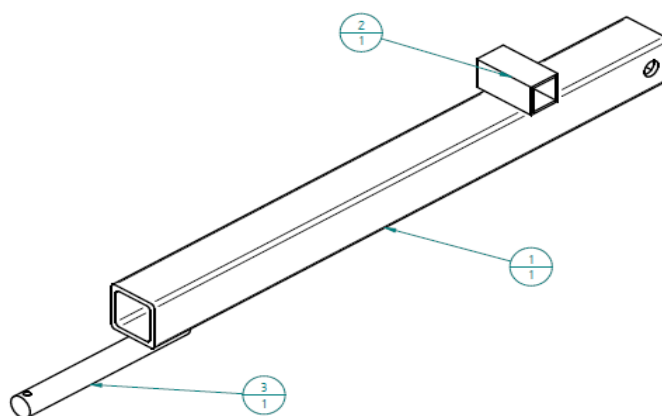
4. RAKISTUSE VÄLJATÖÖTAMINE

Tulenevalt eelmises punktis saadud tulemustest on vaja ühtlustada robotkompleksi tööde jaotust mõlema töölaua vahel. Selle probleemi lahendamiseks valin uute detailide robotile toomise võimaluse, mis suurendaks tagumise töölaua koormatust. Nimelt otsustati, et tehakse kaks rakist kolmele erinevale detailile. Detailide valikul lähtuti nende suurusest, et neid oleks võimalik tagumisel töölaual valmistada. Valitud detailideks osutusid BT1300, 1500 ja BT2000, 2500 küljetoed ja BT450, 600 vintsipukk. Kaks erinevat küljetuge sai valitud põhjusel, et need on küllaltki sarnased omavahel ning nende tootmiskogused on üle tuhande toote aastas. Vintsipukk sai valitud põhjusel, et selle gabariitmõõtmed pole suured. Mõlema toote viimiseks keevitusrobotile avaldas soovi ettevõtte Bestnet AS.

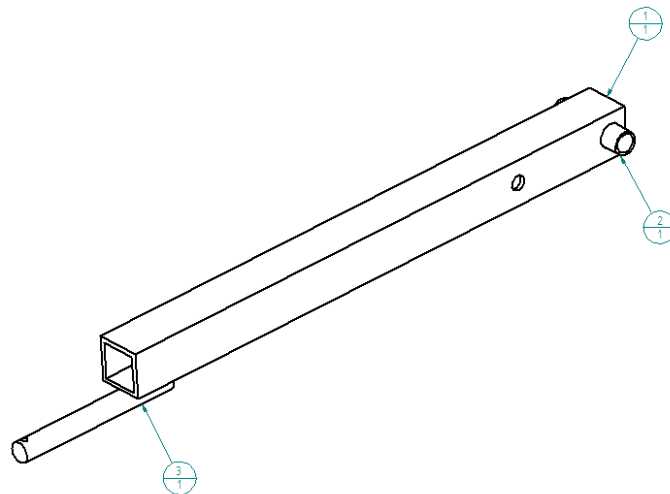
4.1 Rakis küljetugede keevitamiseks robotil

Algtingimuseks seatakse, et ühe rakise täitmisega peab saama keevitada võimalikult palju küljetugesid ja rakis peab olema universaalne. See tähendab, et rakisesse peab sobima kaks erinevat küljetuge, mis on toodud välja alumistel joonistel (Sele 4.1.1 ja Sele 4.1.2). Meeles tuleb pidada ka, et rakis oleks võimalikult kerge, mis tagaks operaatorile võimalikult lihtsa rakise vahetuse, kui on vaja üks konduktor asendada teisega.

Rakise projekteerimisel on probleemiks, et üks küljetugi on pikkusega 605 mm ja teine pikkusega 585 mm, samuti on ühel küljetoel tugipuks paigutatud küljetoe tala peale, teisel on aga puks paigaldatud küljetoe tala otsa sisse.



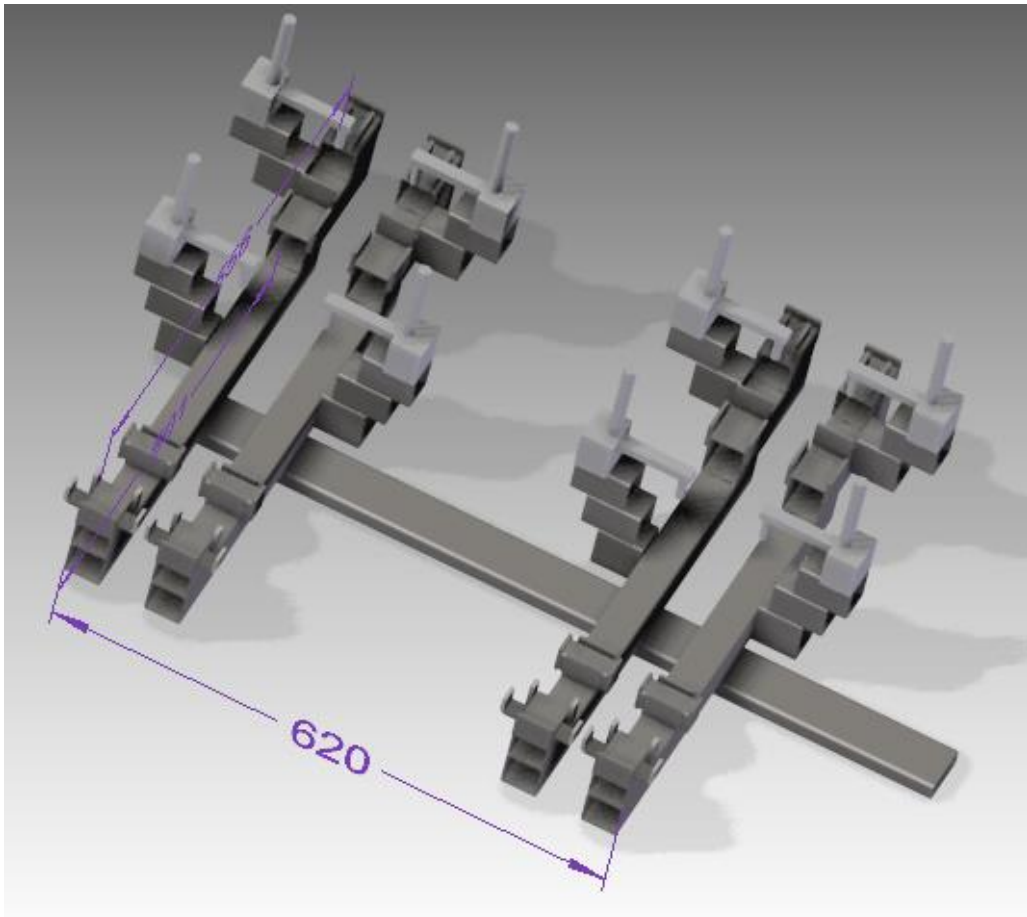
Sele 4.1.1 Küljetugi BT-1300, 1500 (tootekood: 302515), 1 – küljetoe tala, 2 – küljetoe puks, 3 – küljetoe sõrm [21]



Sele 4.1.2 Küljetugi BT-2000, 2500 (tootekood: 302518), 1 – küljetoe tala, 2 – küljetoe puks, 3 – küljetoe sõrm [21]

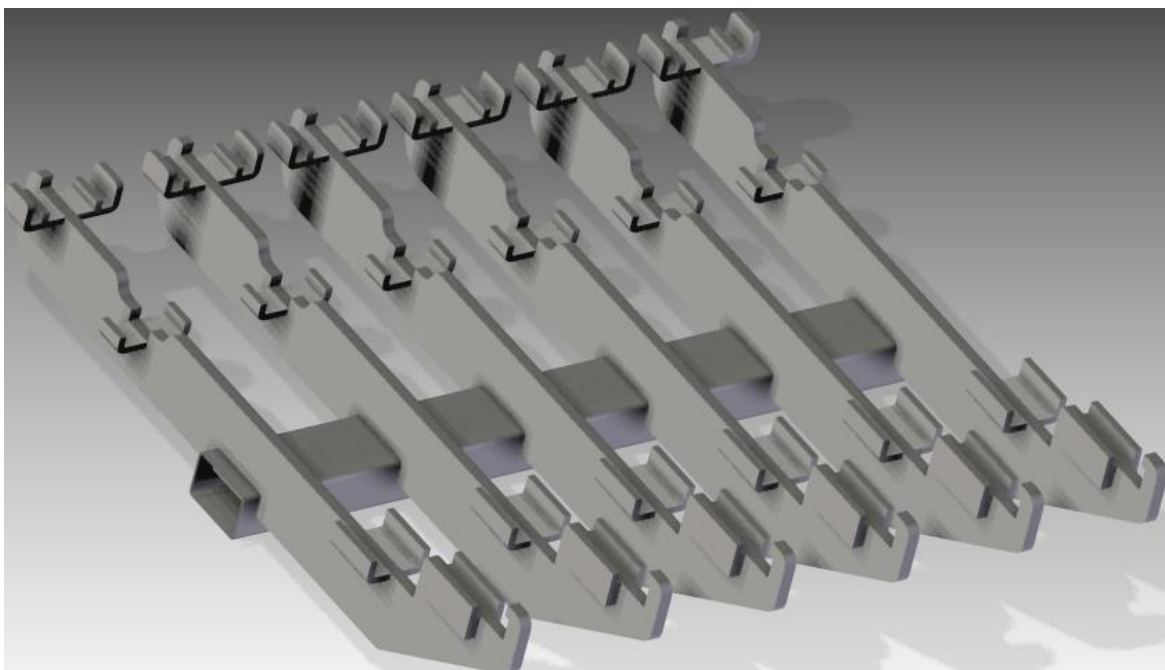
Üks küljetugi on kasutusel paadihaagistel BT1300-1500 ja teine on kasutusel haagistel BT2000-3500.

Esimese võimalusena sai välja töötatud variant (Sele 4.1.3), kus on kasutusel nelikanttorud ja sulgurid iga detaili sulgemiseks. Fikseerimise osa tundub hea, aga rakis kujuneb liiga massiivseks, ning keevitusrobot ei pääse kõikjale piisavalt hästi ligi. Samuti on robotil antud lahenduse korral vaja teha mitmeid õmbluseid kahes osas just piiratud ruumi tõttu ning rakise vahetus võib olla raskendatud massiivsuse tõttu. Võib arvata, et sulgurite rohkus (8 tükki) muudab konduktori operaatorile ebamugavaks, kuna on vaja teha palju ühesuguseid liigutusi. Rakise mahutavuseks on planeeritud neli küljetuge, ning selle juures kaaluks see 15 kg. Sellest võib järeldada, et tuleb otsida mugavamaid lahendusi, mis vastaksid paremini etteantud nõudmistele.



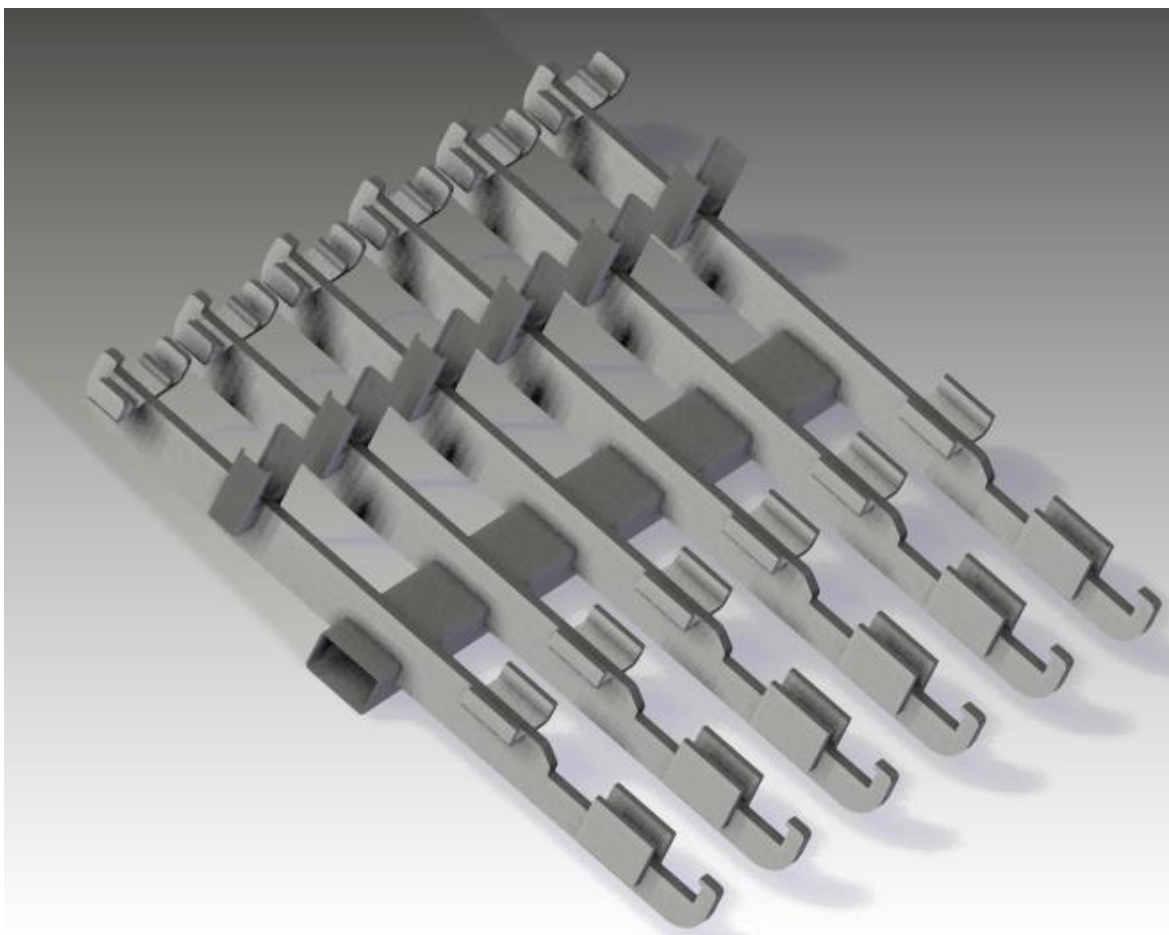
Sele 4.1.3 Küljetugede keevitusrakis variant 1

Järgmiseks variandiks on rakis (Sele 4.1.4), mis mahutab 6 toodet ja kaalub 24 kg. Täitmise järjekorras tuleb kõigepealt asetada kohale puks, seejärel küljetoe tala ning siis sõrm. Sõrme fikseerib ühest otsast oma kujuga juba rakis, mis ei luba sõrmel välja tulla ja on võimalik kasutada ainult üht sulgurit (sulgur pole antud pildil). Küljetoe tala asendi fikseerimiseks on kasutatud painutatud juhikuid. Kuna painutatud detailid on üpris väikesed (30x30 mm), siis võib kujuneda nende valmistamine küllaltki tülikaks ning täpsus võib kannatada. Kõik rakise detailid lõigatakse välja lehtmaterjalist, välja arvatud nelikanttorud, ning keevitatakse omavahel kokku. Kuna väikeseid detaile on palju, siis võib tekkida rakise koostajatel „pusle efekt“, mis tähendab, et rakise koostamine on segadusttekitav. Ainuke kitsaskoht on puksi keevitamine 1300/1500 küljetoe korral, kuna ruumi on vähe. Muus osas tundub, et rakis vastab etteantud tingimustele.



Sele 4.1.4 Küljetugede keevitusrakis variant 2

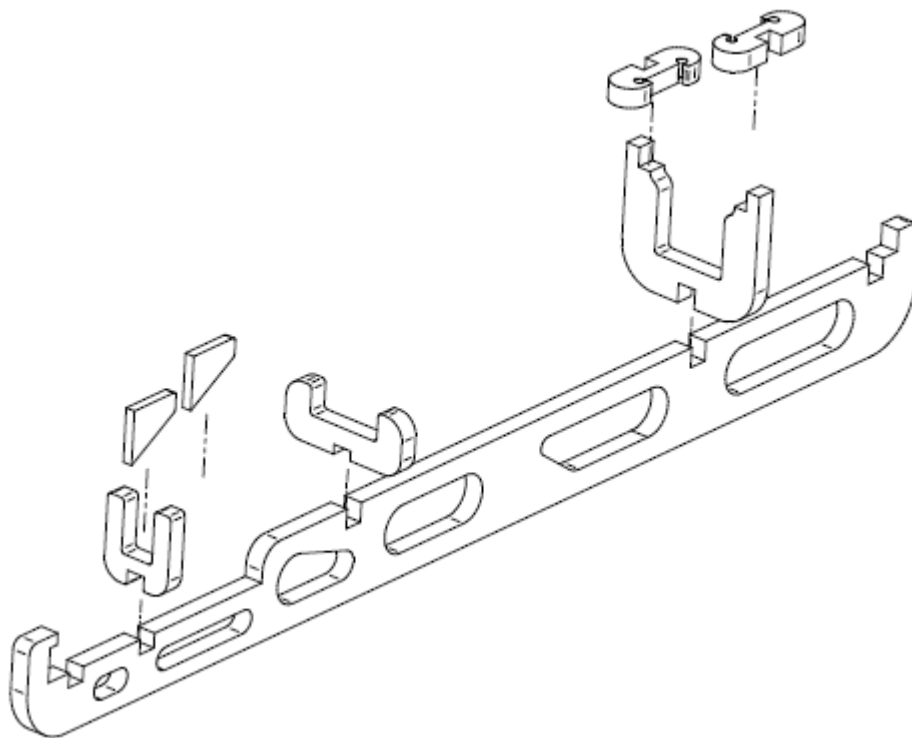
Järgmisena töötati välja rakis (Sele 4.1.5), mis on eelmise variandi peegelpilt, kus on keeratud küljetugi teistpidi. See tähendab, et kõigepealt lisatakse rakisesse küljetoe sõrm, seejärel küljetoe tala ning siis puks viimasena. BT2000/2500 puhul tuleb asetada puks küljetoe tala sisse enne kui küljetoe tala asetatakse rakisesse. Ülejäänud aspektides on antud rakis sarnane eelnevale, mahutades kuus toodet, kuid kaalub 20 kg. Konduktor on koostatud lehelaseri poolt välja lõigatud tükkidest ja nelikanttorudest. Ka siin on probleemiks väikeste detailide painutamine, kuid puksi keevitusprobleemi siin ei esine. Antud juhul asetseb tugipuks 1300/1500 küljetoe korral küljetoe tala peal ning puuduvad takistavad tegurid detaili keevitamiseks ühe läbimiga. Hetkel on rakis projekteeritud kuuele detailile, kuid asja arutades selgus, et sinna võiks mahtuda rohkem küljetugesid. Rohkemate detailide arv suurendaks antud rakise kasutegurit, kuna laadimisaja kasv pole niipalju suurem kui keevitusroboti poolt arendatav keevitusaeg ühe komplekti keevitamisel. Järelikult tuleb kohandada antud rakise tüüp suuremale hulgale detailidele. Samuti mõelda välja sulgurmehhanism, mis võimaldaks mõlemat tüüpi küljetugesid fikseerida.



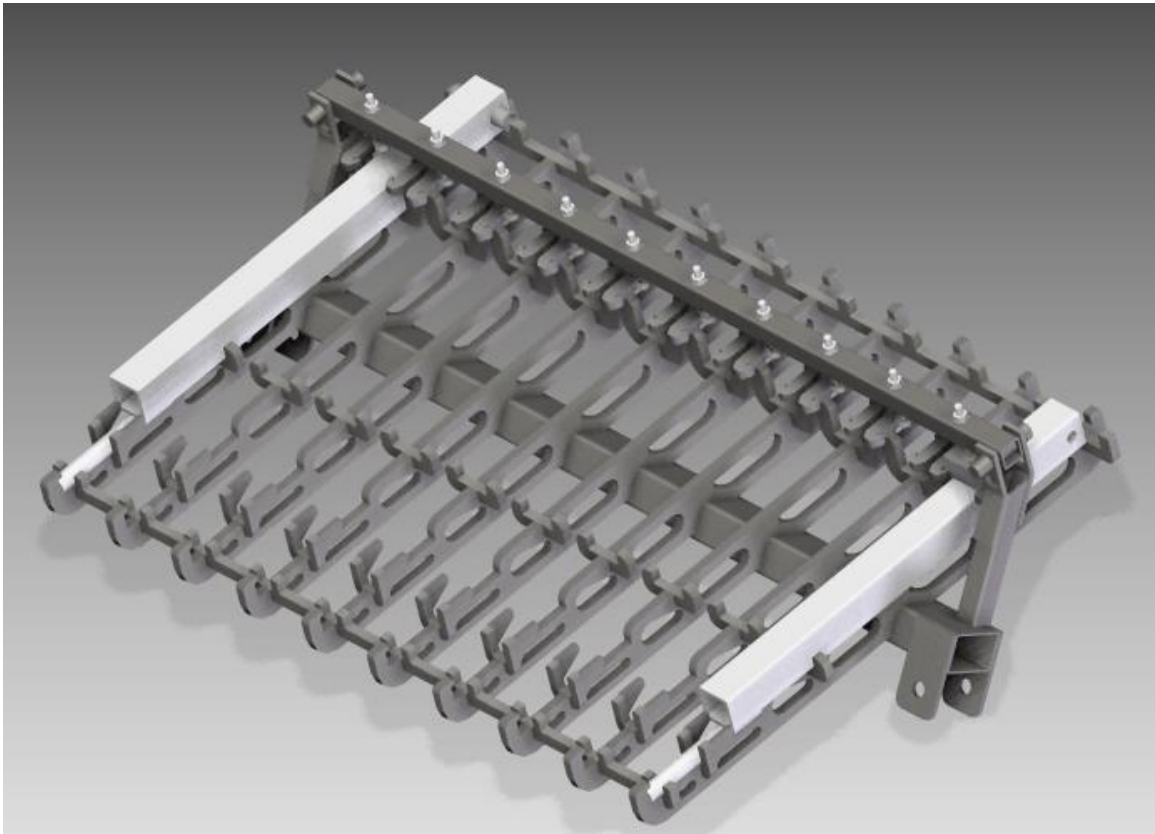
Sele 4.1.5 Küljetugede keevitusvrakis variant 3

Antud hetkel parima lahendusena sai projekteeritud põhiliselt laserlõikuse teel valmistatud detailidest rakis (sele 4.1.7), kuhu mahub kümme küljetuge ning mis kaalub 30,3 kg. Laserlõikuse teel valmistatud detailid annavad rakisele teatava õhulisuse ja parema juurdepääsetavuse. Eelkõige tundus probleemsena sõrme keevitamine, kus tuleb arvestada, et ei tekiks keevitust rakise enda ja detaili vahel. Rakis on projekteeritud taoliselt, et kõige pealt asetakse rakisesse sõrm, siis nelikanttoru ja pärast seda puks. Rakis arvestab detailide eripära ja seega määrab detailide vajaliku asendi ning ka abistab fikseerimisel. Põhiliseks probleemiks oli antud rakisel detailide fikseerimine, kuna mõlemat küljetuge keevitatakse erinevatest kohtadest. Antud probleemi lahenduseks sai valitud fikseerimine sulguriga, mis on varustatud vedrudega ning sulguri enda kõrgus on samuti reguleeritav, et oleks võimalik fikseerida mõlemat tüüpi küljetuge. Detailid on rakises 30 kraadise nurga all operaatori poole, et inimesel oleks mugavam rakist täita ja ka valmis detaile ära võtta, samuti tagab antud asend rakises olevate detailide parema positioneerimise sõrme suunal. Rakise valmistamiseks on kasutatud lehtmaterjali paksusega 10 mm, ning roboti raamile

kinnitamiseks 60x40x2 mm nelikanttoru, millele on keevitatud ka kõrvad mis võimaldavad fikseerida rakis M16 poltidega roboti emaraami külge. Piirajateks on kasutatud samuti laserlõikuse teel valmistatud detaile, mis kaotavad painutatud detailide vajaduse. Kõik detailid paigaldatakse õigele positsioonile tapp-meetodit kasutades, mis teeb rakise koostamise lihtsaks. Piirajate positsioneerimise vajadus kaob, ning need on ainult vaja keevisega fikseerida. Sulguriks on nelikanttoru 25x25x2 mm, mille sisse on puuritud avad ja lisatud sinna avadesse poldid koos vedrudega. Kõik detailid valmistatakse firmas kohapeal, kasutades lehelaserit FinnPower L6 (välja arvatud kinnitusvahendid: poldid mutrid ja ka vedrud, mis tellitakse) ning painutatakse suure tõenäosusega Amada HFT 50/1,2 painutajaga. Erimaja (Bestnet AS rakiste ja allhanke valmistamise osakond) koostab rakise, kus see keevitatakse lõplikult kokku, värvitakse ning seal toimub ka esmane katsetamine ja kontroll.



Sele 4.1.6 Küljetoe rakise üks osa, kus on näha tapp-ühendused

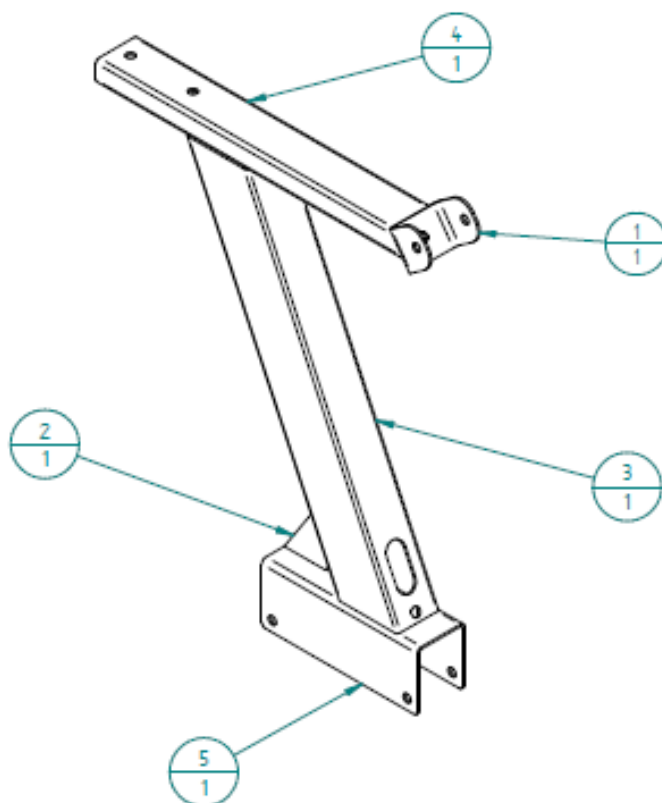


Sele 4.1.7 Universaalne küljetugede rakis robotile

Hetkel on rakis juba komplekteeritud kujul, kuid mõned komponendid on veel puudu, nagu näiteks vedrud. Kui saabuvad ka need detailid, siis on võimalik rakis katsetada ja teha ka proovikeevitamised. Pärast proovikeevitamist peaks olema selgunud, kas rakis on valmis tootmisele üleandmiseks või vajab mõni sõlm veel ümbervaatomist.

4.2 Rakis keevitusrobotile vintsipuki keevitamiseks

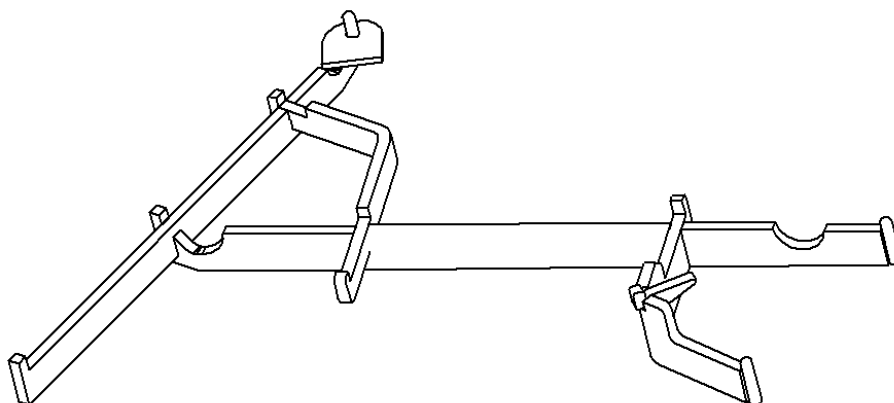
Järgmiseks ülesandeks on valmistada paadihaagise BT450/600 vintsipuki (tootekood: 302034) keevitamiseks robotile rakis. Tingimused on sarnased nagu ka küljetugede rakisel. See peab võimaldama keevitada võimalikult palju detaile korraga, ning seejuures peab olema kerge, et operaatoril oleks mugav seda vahetada. Samuti peab olema detailide ja rakise vahel piisavalt ruumi, et robot saaks kõikjale ligi. Lahenduseks on välja pakkuda 4 erinevat positioneerimise mudelit.



Sele 4.2.1 Vintsipukk BT450/600, 1 – ninakummi hoidja, 2 – tuginurk, 3 – tugitoru, 4 – pealmine toru, 5 – aluskarp [21]

4.3 Positsioneerimis- ja keevitusrakis vintsipukile

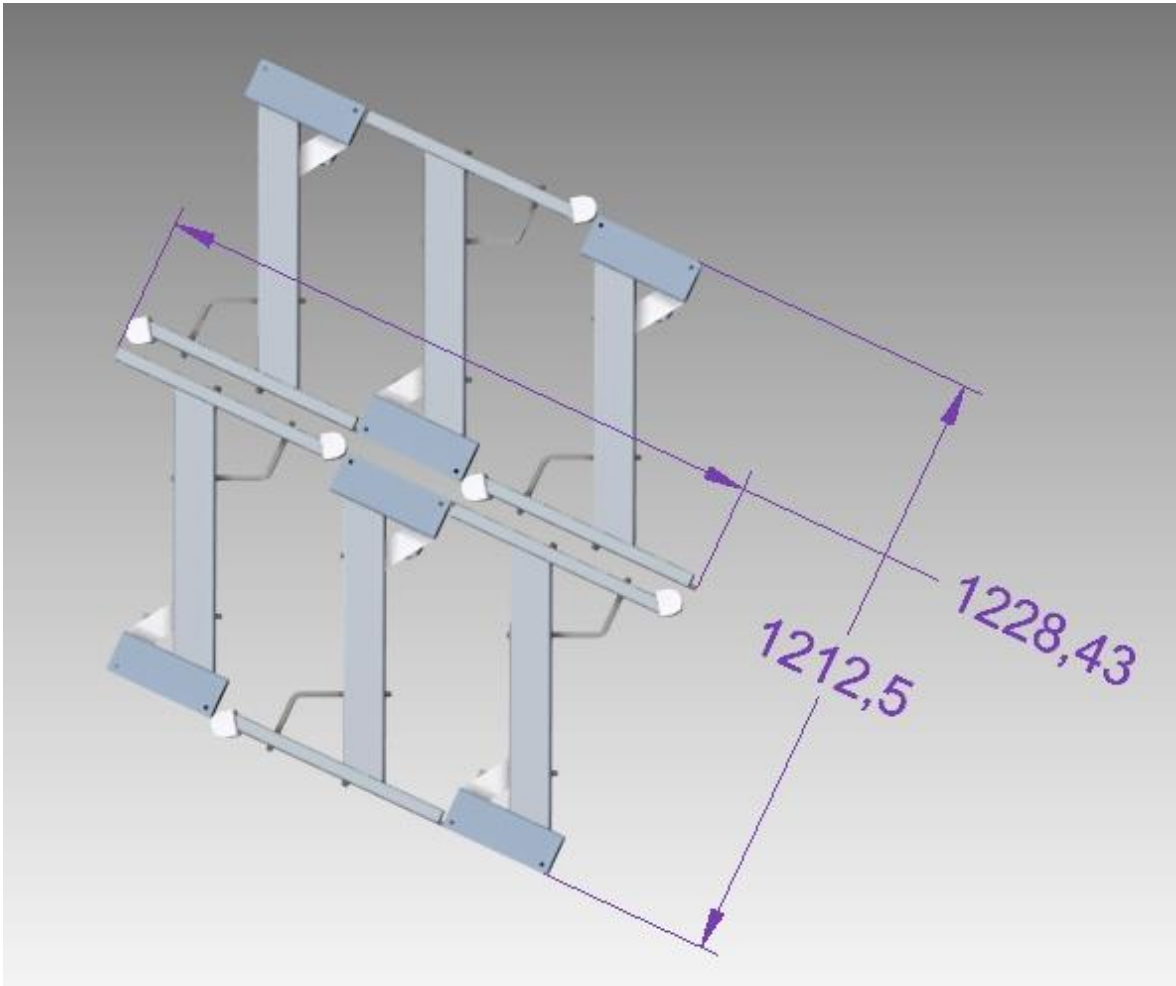
Rakis (Sele 4.2.2) on valmistatud lehtmaterjalist, toetudes eelmise rakise projekteerimise kogemusele ja lahendusele, mida töödeldi lehelaseriga ning on painutatud vastavalt vajadustele. Vintsipuki üks ots positsioneeritakse aluskarbi abil, mis asetatakse rakisesse aluskarbis olevate avade kaudu, sarnaselt paigaldatakse oma kohale vintsipuki ninakummi hoidja. Ülejäänud detailid positsioneeritakse piirajate kaudu. Vintsipuki pealmise toru ja tugitoru ühenduse kohas on rakises süvend, sarnaselt on ka tugitoru ja aluskarbi ühenduskohas. Need on selleks, et suurendada keevituspüstoli ligipääsetavust. Esmalt pannakse rakisesse ninakummi hoidja, siis pealne toru ja aluskarp. Seejärel lisatakse tugitoru ja viimaseks tuginurk. Vintsipuki tuginurka pole vaja fikseerida lisafiksaatoriga, kuna see läheb täpselt pesasse ning keevitatakse esimeses järjekorras.



Sele 4.2.2 Vintsipuki rakise detailide positsioneeriv raam

4.3.1. Rakise lahendus 1

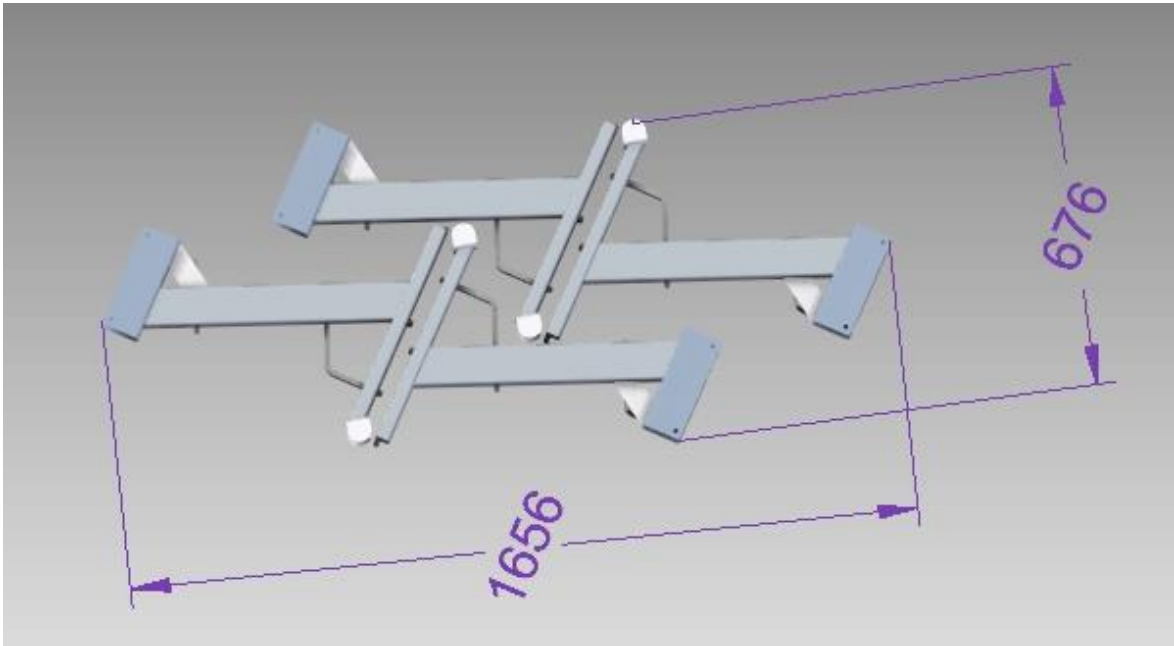
Vintsipukid on paigutatud kahte ritta kolmekaupaga nagu alltoodud joonisel (Sele 4.2.3) on näha. Probleemiks ongi kahte ritta paigutatud detailid, kuna rakise laiuse tõttu on operaatoril raske tagumisi detaile rakisesse laadida ja ka valmistooteid kätte saada. Teatud punktides on keeruline keevituspüstoli ligipääs, mida saaks küll lahendada suuremate vahemaadega detailide vahel, kuid see teeks rakise veelgi massiivsemaks. Põhiline probleem tekib ninakummi hoidjate keevitamisel, kuna nende ühe külje keevitamist hakkavad häirima teise vintsipuki detailid. Need põhjused muudavad rakise eksploatatsiooni keeruliseks ning ebamugavaks ja seega ei kuulu edasisele arutamisele.



Sele 4.2.3 Kuue vintsipuki paigutuse skeem

4.3.2. Rakise lahendus 2

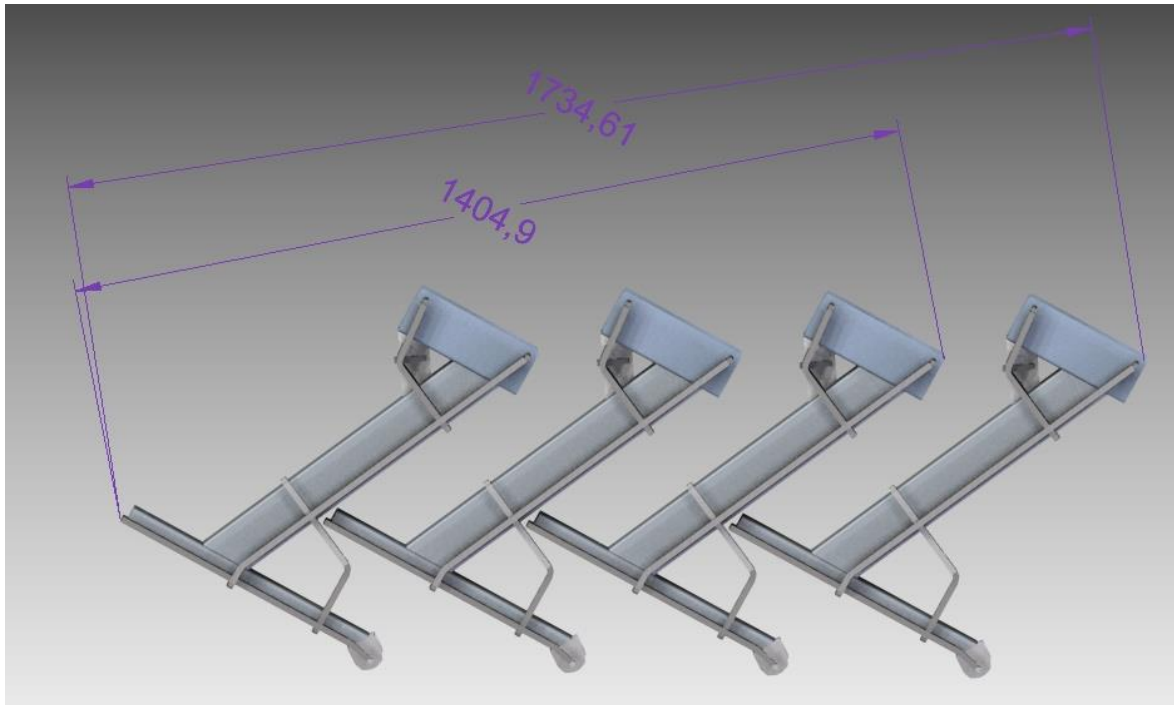
Antud paigutusskeemis (Sele 4.2.4) on samuti pandud tooted kahte ritta, kuid rakise laius on poole väiksem. See võimaldab operaatorile ligipääsu ka tagumistele detailipesadele, kuid ikkagi jääb probleemiks detailide kokkusurutus, mistõttu robot ei pääse kõikjale keevitama. Kitsaskohaks jääb ninakummihoidja pealmise toru külge keevitamine ülaltpoolt. Seda aitaks lahendada detailide vahekauguste suurendamine, kuid selle tõttu peaks robot hakkama liikuma kahe positsiooni vahel suurenenud rakise pikkuse tõttu. See aga omakorda vähendab rakistuse efektiivsust. Ka võib osutada keeruliseks ühe sulguri konstrueerimise võimalikkus, mis fikseeriks kõik detailid korraga. Loetletud puuduste järgi tuleb otsida edasi paremaid lahendusi.



Sele 4.2.4 Nelja vintsi puki paigutuse skeem kahes reas

4.3.3. Rakise lahendus 3

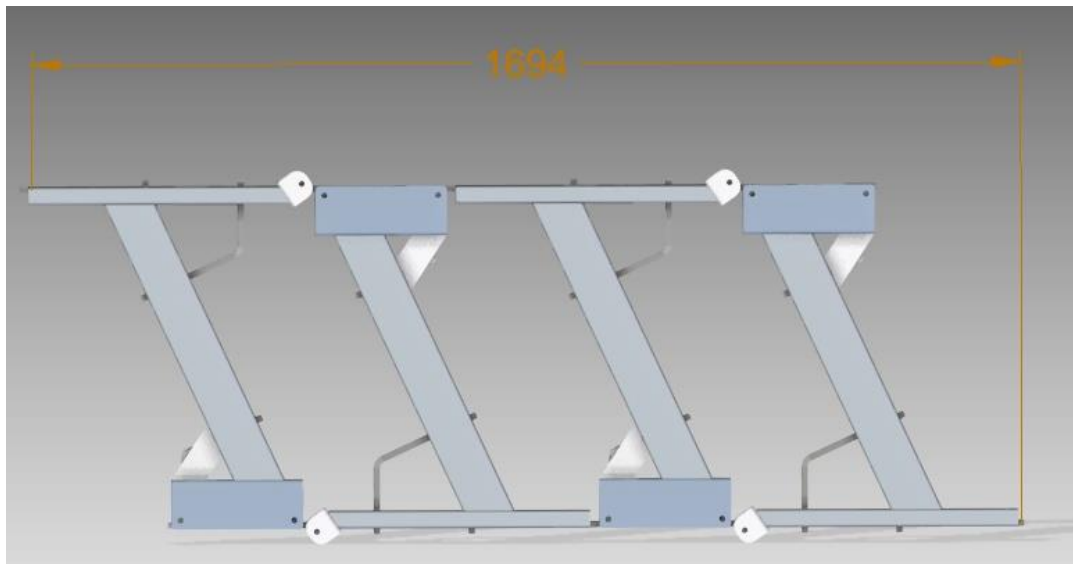
Antud paigutusskeemis (Sele 4.2.5) on asetatud neli vintsi puki alust ühte ritta. Rakise laius ei valmista operaatorile lisakoormust, kuna kõik detailide positsioonid on käe haardeulatuses ilma lisapingutusega, aga robotil võib tekkida probleeme kõikidesse punktidesse ligipääsetavusega, kuna detailide omavaheline vahekaugus on tegelikult väike. Operaatori seisukohast teeb rakise mugavaks ka asjaolu, et kõik detailid on rakises ühtepidi ning seetõttu on detailide valesi positsioneerimise tõenäosus väiksem. Kuna rakise pikkus nelja vintsi puki keevitamise korral on 1735 mm, siis see võib nõuda juba roboti liikumist esimeselt positsioonilt teisele. Selleks, et vältida roboti liikumist peaks olema rakis lühem ning antud paigutuse puhul tähendaks see ainult kolme vintsi puki keevitamist korraga. See aga ei tundu efektiivne rakistuse kasutus, kuna kindlasti on võimalik rohkem vintsi pukke keevitada sarnaste rakise gabariitmõõtmete juures.



Sele 4.2.5 Nelja vintsipuki paigutuse skeem ühes reas

4.3.4. Rakise lahendus 4

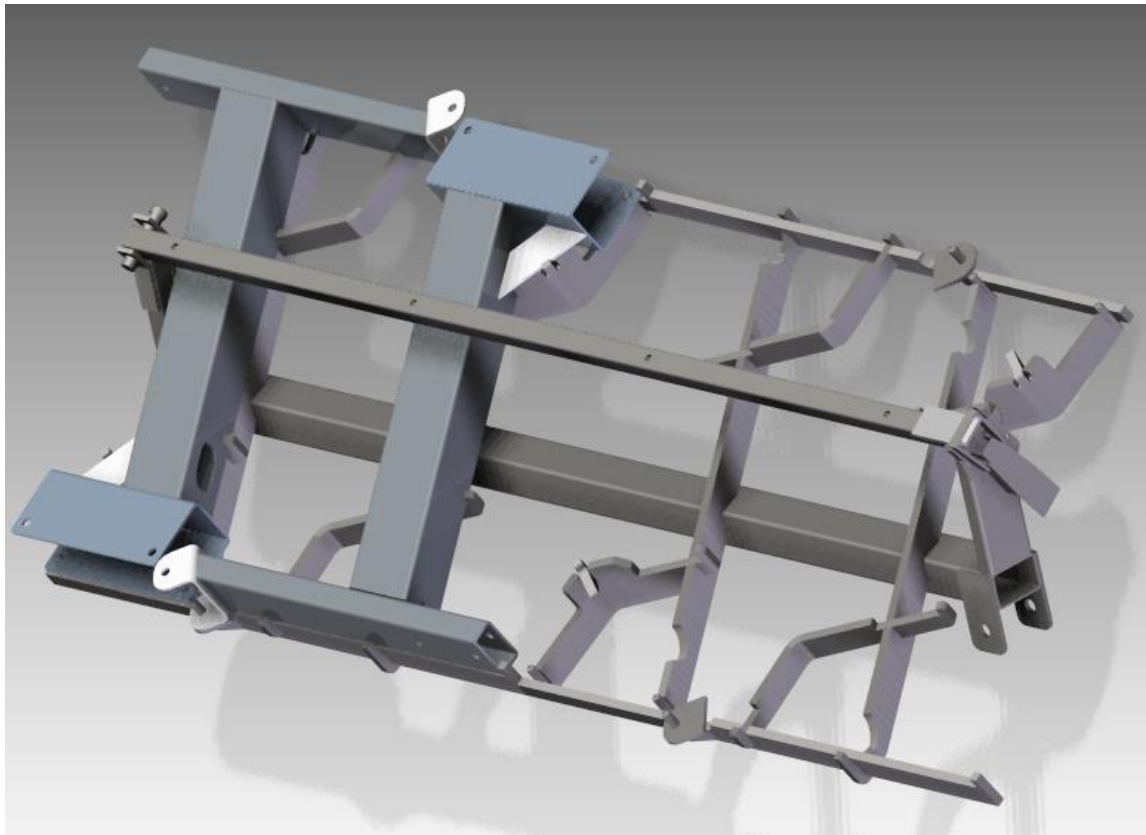
Antud skeemis (Sele 4.2.6) on paigutatud vintsipukid ühte ritta nii, et ühel vintsipukil on pealmine toru asetatud ülesse ja järgmisel aluskarp. Niiviisi võtab kõige vähem ruumi, kuigi pikkuse poolest ei ole tegemist kõige lühema lahendusega, aga see-eest on laius operaatorile mugav. Samuti on tagatud piisav juurdepääs keevituspunktidele, kuna rakis on piisavalt avatud konstruktsiooniga. Ka robot peaks olema suuteline ainult ühelt positsioonilt keevitama, sest rakise enda pikkus on lühem kui roboti tööulatus, kuigi tuleb tõdeda, et lõplik pilt selgub rakise kasutuselevõtmisel ja programmi tegemisel. Fikseerimine toimub antud lahenduse korral tugitoru kaudu, sest see on vintsipuki keskne osa ja teised detailid saab edukalt selle külge punktida ka robotil, et oleks tagatud detailide püsimine rakises ka rakise pööramisel teistpidi. Rakise pööramist on vaja selleks, et keevitada detaile mõlemalt poolt.



Sele 4.2.6 Nelja vintsipuki paigutuse skeem

4.3.5 Vintsipuki rakis robotile

Eelnevalt on välja töötatud rakis (Sele 4.2.6), kuhu saab paigaldada nelja vintsipuki detailid ning seejärel need fikseerida ühe sulguriga. Rakis on valmistatud põhiliselt lehtmaterjalist paksusega 10 mm ning on kasutatud ka 5 mm lehtmaterjali ninakummi aluse valmistamiseks ja ümarmaterjali positsioneerivate varraste valmistamiseks. Sulgur on valmistatud 25x25x2 mm nelikanttorust, millesse on puuritud avad, kuhu saab paigaldada poldid ning vedrud. Sulguri fikseerimiseks kinnisesse asendisse on kasutatud ka haagise poordi sulgurit, mis peaks võimaldama operaatoril antud rakise mugavamalt käsitlemist. Rakis kinnitatakse roboti emaraamile kasutades nelikanttoru 60x40x2 mm ning keevitatavaid kõrvasid. Detailid on rakisesse paigutatud 30 kraadise nurga alla, kinnitatava nelikanttoru suhtes, et operaatoril oleks mugavam detaile rakisesse asetada ja neid ka sealt ära võtta. Allpool toodud pildil (Sele 4.2.7) on näha sulguril olevad avad, kuid vedrud koos poltidega on hetkel veel puudu, kuna need segaksid üldise lahendi selgemat vaatamist. Kõik detailid valmistatakse firmas kohapeal, kasutades lehelaserit FinnPower L6 ning painutatakse suure tõenäosusega Amada HFT 50/1,2 painutajaga, välja arvatud ostukomponendid. Erimaja (Bestnet AS rakiste ja allhanke valmistamise osakond) koostab rakise, kus see keevitatakse lõplikult, värvitakse ning toimub ka esmane katsetamine ja kontroll. Pärast seda kui konduktor on läbinud vajalikud katsetused, viiakse see edasi roboti juurde Rummu tootmisüksusesse, kus operaator programmeerib tootele keevitusprogrammi.



Sele 4.2.7 Vintsi puki keevitusrakis robotile

5. ANALÜÜSIMUDELID

5.1 Toodete (302515, 302518, 302034) keevitustehnoloogia

Järgmiseks leitakse toodetele 302515, 302518, 302034 arvutuslikud kaareajad. a-mõõt tabelis tähendab nurkõmbluse kõrgust ning keevituskiiruseks on valitud 8 mm/s. Aeg arvutatakse kasutades valemit 2. Tegemist on ainult kaareajaga, millele tuleb hiljem liita roboti poolt kuluvad liikumis- ja positsioneerimisajad, milleks lisatakse 20 % ning ka ligikaudne laadimisaeg.

Tabel 5.1.1 Kalkulatsiooni käigus arvatud BT1300, 1500 küljetoe kaareajad

302515 BT1300,1500 küljetugi									
Number	Keevise nr	Nimetus	a-mõõt	Keeviste arv	Pikkus	Keevituskiirus	Aeg		
		mõõdühik	mm	tk	mm	mm/s	s		
1	Keevis 1	Puks pealt, 2*40	4	1	80	8	10,0		
2	Keevis 2	küljetoe sõrm vasakult	4	1	45	8	5,6		
3	Keevis 3	küljetoe sõrm paremalt	4	1	45	8	5,6		
					Kokku	170	21,3		
							Kokku aeg	0,35	Minutit

Tabel 5.1.2 Kalkulatsiooni käigus arvatud BT2000, 2500 küljetoe kaareajad

302518 BT2000, 2500 küljetugi									
Number	Keevise nr	Nimetus	a-mõõt	Keeviste arv	Pikkus	Keevituskiirus	Aeg		
		mõõdühik	mm	tk	mm	mm/s	s		
1	Keevis 1	Puks paremalt perimeeter	4	1	31,4	8	3,9		
2	Keevis 2	Puks vasakult perimeeter	4	1	31,4	8	3,9		
3	Keevis 3	Küljetoe sõrm vasakult	4	1	45	8	5,6		
4	Keevis 4	Küljetoe sõrm paremalt	4	1	45	8	5,6		
					Kokku	152,8	19,1		
							Kokku aeg	0,32	Minutit

Tabel 5.1.3 Kalkulatsiooni käigus arvatatud BT450, 600 vintsipuki kaareajad

302034 BT450, 600 Vintsipukk							
Number	Keevise nr	Nimetus	a-mõõt	Keeviste arv	Pikkus	Keevituskiirus	Aeg
		mõõtühik	mm	tk	mm	mm/s	s
1	Keevis 1	ninakummi hoidja perimeeter	4	2	120	8	15,0
2	Keevis 2	vintspuki tugevdus perimeeter (ülalt)	4	1	60	8	7,5
3	Keevis 3	vintspuki tugevdus perimeeter (alt)	4	1	60	8	7,5
4	Keevis 4	tugitoru perimeeter (ülalt)	4	4	280	8	35,0
5	Keevis 5	tugitoru perimeeter (alt)	4	4	280	8	35,0
				Kokku	800		77,5
						Kokku aeg	1,29
							Minutit

Kuna BT1300, 1500 ja BT2000, 2500 küljetuge hakatakse keevitama kümne kaupa siis võiks ligikaudne laadimisaeg olla umbes 3 minutit komplekti kohta, mis teeb ühele tootele 18 sekundit.

Vintsipukki hakatakse keevitama nelja kaupa ning iga toode sisaldab endas nelja komponenti mistõttu rakise ligikaudne laadimisaeg võiks olla samuti 3 minutit, mis oleks toote kohta 45 sekundit.

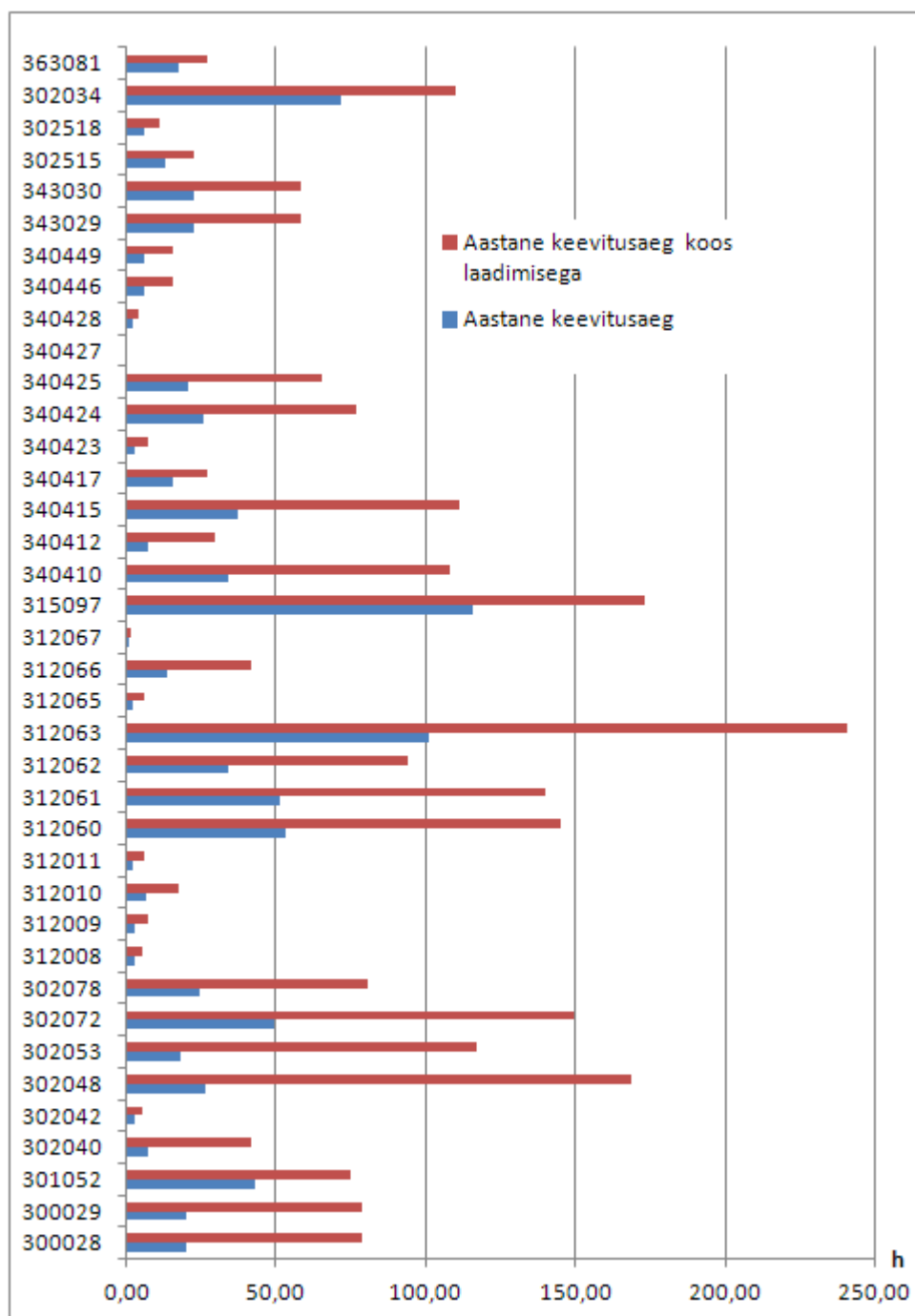
Arvestamiseks kasutan 2013 aasta tootmismahtu, mille saan Tabelist 3.2.

Tabel 5.1.4 Arvutuslikud ajad projekteeritud rakises keevitatavatele toodetele

	Nimetus	Tootmismah	Kaareaeg	Keevitusae	Laadimisaeg	Kokku	Kokku aast
		tk	sek/tk	sek/tk	sek/tk	sek/tk	h
1	BT1300, 1500 küljetugi	1798	21,3	25,56	18	43,56	21,76
2	BT2000, 2500 küljetugi	947	19,1	22,92	18	40,92	10,76
3	BT450, 600 Vintsipukk	2775	77,5	93	45	138	106,38
	Kokku	5520	117,9	141,48	81	222,48	138,90

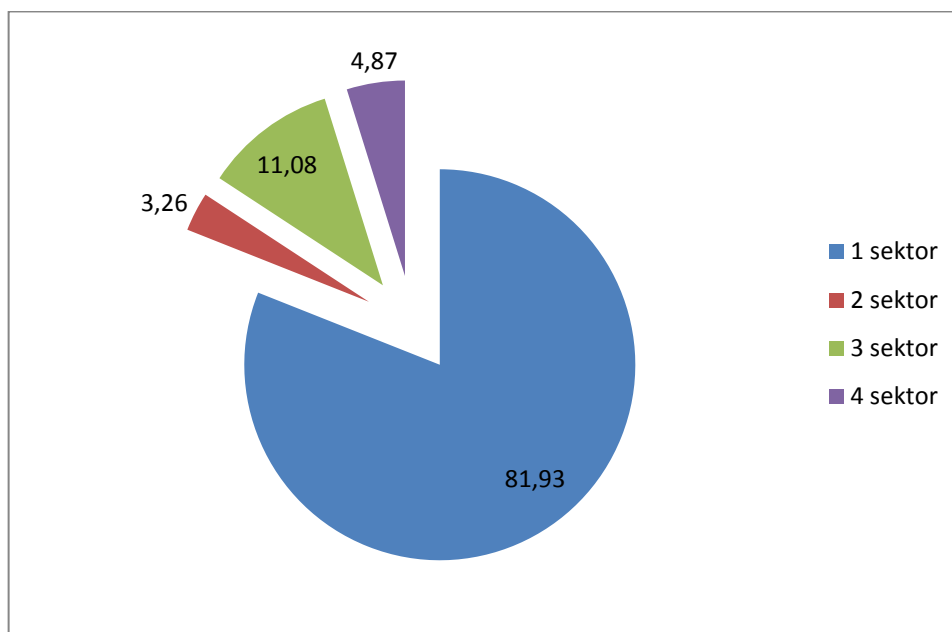
Veel tuleb arvestada sisse uute toodete puhul ka puhastus aeg mis on tabelis 5.1.4 toodud tootmiskoguse korral BT1300, 1500 küljetugede puhul 1 tund aastas, BT2000, 2500 küljetugede puhul 0,53 tundi aastas ja vintsipukkide korral 3,85 tundi aastas.

Projekteeritud rakises keevitatavad detailid siirduksid kolmandasse sektorisse keevitamisele. Jättes teiste toodete mahud samaks nagu need olid kolmandas peatükis ning liites sellele lisaks veel projekteeritud rakistes keevitatavate toodete mahud arvestades, et töö toimuks samas mahus, siis tulemuseks saame järgmise tööde jaotuse (Sele 5.5).



Sele 5.1.1 Pooltoodete valmistamiseks kuluv aeg robotkompleksis aastas koos lisatud toodetega

Jaotusel (Sele 5.1.2) on kujutatud tööde jaotus erinevate sektorite vahel protsentides pärast seda kui sinna sisse on arvestatud ka uute rakiste kasutamine. Selle järgi oleks eesmisel töölaua keevitatavate toodete aeg 81,93 % summaarsest ajast antud robotkompleksis. Tagumine töölaua oleks koormatud 15,95 % ajast, mis oleks 5,84 % rohkem kui ilma nende rakisteta.



Sele 5.1.2 Tööjaotus erinevates sektorites protsentides koos laadimis- ja puhastusajaga

5.2 Soovitused tootmise planeerimiseks

Kuna kolmandast peatükist selgus, et tagumise ja esimese töölaua vahel jaguneb töö väga ebavõrdselt, siis tehakse ettepanek osade toodete viimiseks tagumisele töölauale. See aitaks ühtlustada töölauade omavahelist koormatust ning sealt edasi saaks uurida, kuidas oleks võimalik panna mõlemad töölauad korraga tööle, vähendades nii roboti ooteaega. Tabelis 5.1.5 on toodud soovitused tehtud toodete liigutamiseks. Aluseks võeti detailide gabariitmõõtmed, kuna tagumisel töölaua on mugavam väiksemate detailidega opereerida. Kuna teises sektoris pole väga palju tooteid, siis liigutan kõik kolmandasse sektorisse, et sealt siis edasi otsustada, mis sobib samal ajal esimeses sektoris olevate detailidega keevitamiseks.

Tabel 5.2.1 Teisele töölauale siirduvad detailid

	Tootekood	Nimetus
1	300028	265-275 tors sillakinnitus parem
2	300029	265-275 tors sillakinnitus vasak
3	302040	Küljetugi 750V, 1000V
4	302042	Sõrm kiigel seibiga
5	302048	BT600, 700 küljetugi torust sõrmega V2
6	302053	450 küljetugi sõrmega
7	315097	Piduriteta veopea alus

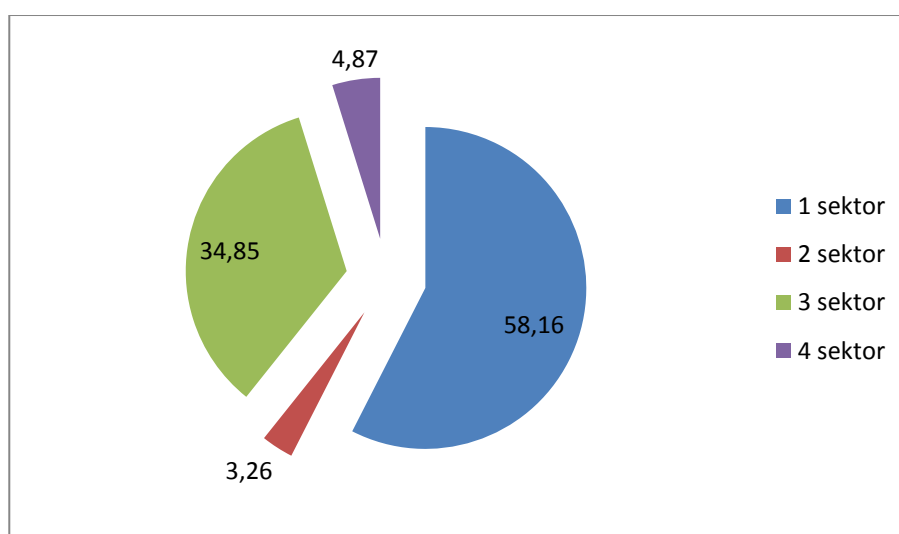
Tabel 5.2.2 Rakiste soovituslikud sektorid

Detailide kogused aastas alates 1.1.2013 kuni 31.12.2013 koos projekteeritud rakistega						
	Tootekood	Nimetus	kogus tk/aastas	Arv rakises	Keevitus-sektor	Soovituslik sektor
1	300028	265-275 tors sillakinnitus parem	2128	1	1 (või 3)	3
2	300029	265-275 tors sillakinnitus vasak	2128	1	1 (või 3)	3
3	301052	275P Luuk	720	2	2	
4	302034	BT450,600 Vintsipukk	2775	4	3	3 (või 4)
5	302040	Küljetugi 750V, 1000V	1360	20	1	3 (või 4)
6	302042	Sõrm kiigel seibiga	1070	40	1	3 (või 4)
7	302048	BT600, 700 küljetugi torust sõrmega V2	5634	20	1	3 (või 4)
8	302053	450 küljetugi sõrmega	3904	20	1	3 (või 4)
9	302072	Kiige 600, 700, 750, 1000std	3790	4	1	
10	302078	Kiige450V v4	2122	4	1	
11	302515	BT1300,1500 küljetugi	1798	10	3	3 (või 4)
12	302518	BT2000,2500 küljetugi	947	10	3	3 (või 4)
13	312008	Sild RH 450	88	1	1	
14	312009	Sild RH 700	83	1	1	
15	312010	Sild RH 1000/1250/1500	197	1	1	
16	312011	Sild BUV 2000	64	1	1 ja 2	
17	312060	Sillatala kinnitusega A-1000	1659	1	1	
18	312061	Sillatala kinnitusega A-1100	1602	1	1	
19	312062	Sillatala kinnitusega A-1200	1074	1	1	
20	312063	Sillatala kinnitusega A-1300	2522	1	1	
21	312065	Sillatala kinnitusega A-1500	62	1	1	
22	312066	200 ECO sillatala kinnitusega	511	1	1	
23	312067	Sillatala kinnitusega A-810	20	1	1	
24	315097	Piduriteta veopea alus	8274	6	1 ja 3 (2 rakist)	3
25	340410	Värv sild C-265L	1404	2	1	
26	340412	Värv sild 265 ECO C-1484 mm	422	2	1	
27	340415	Sild 275L/600L	1404	2	1	

Tabel 5.2.2 Rakiste soovituslikud sektorid (järg)

Detailide kogused aastas alates 1.1.2013 kuni 31.12.2013 koos projekteeritud rakistega						
	Tootekood	Nimetus	kogus tk/aastas	Arv rakises	Keevitus-sektor	Soovituslik sektor
28	340417	Sild C-275 L-P fermiga	214	2	1	
29	340423	Balansiir TL	84	1	3	
30	340424	Sild 300/327/350 LP	966	2	1	
31	340425	Sild 300L	846	2	1	
32	340427	Värv sild C-300L-P fermiga	0	2	1	
33	340428	Sild 300LP 2010	33	2	1	
34	340446	750L sild EC	346	2	1	
35	340449	Keev sild BS450-L	353	2	1	
36	343029	C-200/265/275/300L sillakinnitus parem	1355	1	4	
37	343030	C-200/265/275/300L sillakinnitus vasak	1355	1	4	
38	363081	Axxa rullik	533	5	3	
	KOKKU		53847			

Uus koormuse (Sele 5.2.1) jaotus on võrreldes algsega paremini tasakaalus ja võimaldab tooteid valmistada kahel erineval töölaual. Uue jaotuse korral siirduksid 7 toodet tagumisele töölauale juurde, ning seega oleks seal 13 toodet ja eesmisel laual 24 toodet. Selle plaani kohaselt jääks eesmisele töölauale koormus 61,42 % ajast ja tagumisele umbes 39 % ajast. Tagumise töölaua koormatus oleks seega suurenenud võrreldes esialgsega praktiliselt 30 % (alguses oli tagumine töölaua koormatud umbes 10 % ajast).



Sele 5.2.1 Uue jaotusega robotkompleksi koormatus erinevate sektorite vahel

Kuna eesmise töölauda pealt pole võimalik rohkem tooteid tagumise töölauda peale viia, siis järgmiseks etapiks edaspidi oleks roboti koormatuse suurendamine tagumise töölauda kaudu uute toodete robotile juurutamisega. See kindlasti ka tasakaalustaks süsteemi kuna tagumisele töölauale tuleks tooteid juurde ning see vähendabki ebavõrdsust mõlema töölauda vahel.

5.3 Koos keevitavate detailide leidmine

Esmalt tuleb leida iga toote rakisetäie keevitamise (Sele 5.3.1) aeg koos laadimisega ning selle põhjal moodustada rühmad nendest toodetest, millel on ajad sarnased. Andmed saame eelnevatest tabelitest, välja arvatud rakisetäie detailide töölaual keevitamise aja. See arvutatakse võttes arvesse rakise mahutavust, ühe detaili keevitamise aega ja laadimise aega. Võrdlus toimub nende toodete puhul, mis on jagatud eesmise ja tagumise töölauda vahel, et leida sobilikud paarid keevitamiseks üheaegselt.

Tabel 5.3.1 Rakisetäie toodete viibimise aeg robotkompleksis

	Tootekood	Nimetus	Arv rakises	Keevitus-aeg	Laadimis-aeg	Kokku koos laadimisega
			tk	sek/tk	sek/tk	sekundit
1	300028	265-275 tors sillakinnitus parem	1	33,6	90	247,2
2	300029	265-275 tors sillakinnitus vasak	1	33,6	90	
3	301052	275P Luuk	2	216	150	732
4	302040	Küljetugi 750V, 1000V	20	19,2	90	2184
5	302042	Sõrm kiigel seibiga	40	8,52	10	740,8
6	302048	BT600, 700 küljetugi torust sõrmega V2	20	16,8	90	2136
7	302053	450 küljetugi sõrmega	20	16,8	90	2136
8	302072	Kiige 600, 700, 750, 1000std	4	46,8	90	547,2
9	302078	Kiige450V v4	4	42	90	528
10	312008	Sild RH 450	1	120	90	210
11	312009	Sild RH 700	1	120	180	300
12	312010	Sild RH 1000/1250/1500	1	120	180	300
13	312011	Sild BUV 2000	1	120	180	300
14	312060	Sillatala kinnitusega A-1000	1	115,2	180	295,2
15	312061	Sillatala kinnitusega A-1100	1	115,2	180	295,2
16	312062	Sillatala kinnitusega A-1200	1	115,2	180	295,2
17	312063	Sillatala kinnitusega A-1300	1	144	180	324
18	312065	Sillatala kinnitusega A-1500	1	144	180	324
19	312066	200 ECO sillatala kinnitusega	1	96	180	276

Tabel 5.3.1 Rakisetäie toodete viibimise aeg robotkompleksis (järg)

	Tootekood	Nimetus	Arv rakises	Keevitus-aeg	Laadimis-aeg	Kokku koos laadimisega
20	312067	Sillatala kinnitusega A-810	1	115,2	180	295,2
21	315097	Piduriteta veopea alus	6	50,4	21,6	432
22	340410	Värv sild C-265L	2	87,6	180	535,2
23	340412	Värv sild 265 ECO C-1484 mm	2	60	180	480
24	340415	Sild 275L/600L	2	96	180	552
25	340417	Sild C-275 L-P fermiga	2	261,6	180	883,2
26	340423	Balanssir TL	1	123,6	180	303,6
27	340424	Sild 300/327/350 LP	2	96	180	552
28	340425	Sild 300L	2	87,6	180	535,2
29	340427	Värv sild C-300L-P fermiga	2	252	180	864
30	340428	Sild 300LP 2010	2	261,6	180	883,2
31	340446	750L sild EC	2	60	90	300
32	340449	Keev sild BS450-L	2	60	90	300
33	343029	C-200/265/275/300L sillakinnitus parem	1	60	90	300
34	343030	C-200/265/275/300L sillakinnitus vasak	1	60	90	
35	302515	BT1300,1500 küljetugi	10	25,56	18	435,6
36	302518	BT2000,2500 küljetugi	10	22,92	18	409,2
37	302034	BT450,600 Vintsipukk	4	93	45	552
38	363081	Axxa rullik	5	120	60	900

Leitud aegade põhjal jagatakse detailid gruppidesse. Detailide jagamisel gruppidesse arvestan nende paiknemist robotkompleksis soovitusliku asukoha järgi, ning aega, mis kulub ühe toote rakisetäie valmistamiseks robotkompleksis.

Tooted 300028/300029 ja 343029/343030 on ühe numbri alla pandud sellepärast et tegemist on ühes ja samas rakises korraga keevitatavate toodetega. Tooted 302515/302518 on koos sellepärast, et need valmistatakse samuti ühes rakises, kuigi tegemist on erinevate toodetega ning ka valmistatakse eraldi, kuid nende sarnasuse tõttu on ka keevitusajad praktiliselt samad. Kuna tagumisel töölaual on tooteid vähem, siis need on valitud vasakpoolsesse lahtrisse tabelis 5.3.3 ning eesmise töölaua omad on paremas ning hakatakse otsima tooteid, mis sobiksid koos keevitamiseks ajaliselt.

Tabel 5.3.2 Nummerdatud tooted tagumisel töölaual

	Tootekood	Nimetus	Sektor
1	300028	265-275 tors sillakinnitus parem	3
	300029	265-275 tors sillakinnitus vasak	3
2	302040	Küljetugi 750V, 1000V	3
3	302042	Sõrm kiigel seibiga	3
4	302048	BT600, 700 küljetugi torust sõrmega V2	3
5	302053	450 küljetugi sõrmega	3
6	315097	Piduriteta veopea alus	3
7	343029	C-200/265/275/300L sillakinnitus parem	4
	343030	C-200/265/275/300L sillakinnitus vasak	4
8	302515	BT1300,1500 küljetugi	3
	302518	BT2000,2500 küljetugi	3
9	302034	BT450,600 Vintsipukk	3
10	363081	Axxa rullik	3
11	340423	Balansiir TL	3

Tabel 5.3.3 Samal ajal valmistatavate toodete paarid

	Tagumine töölaud 3 ja 4 sektor	Eesmine töölaud, 1 ja 2 sektor
1	300028/300029	312008, 312009,312010,312011, 312060, 312061, 312062, 312063, 312065, 312066, 312067, 340446 ja 340449
2	302040	
3	302042	301052 kui paigutada toode 302042 neljandasse sektorisse.
4	302048	
5	302053	
6	315097	kõige paremini sobiks 340412. Teisteks variantideks oleksid 302072, 302078, 312063, 312065, 340410 ja 340425. Kui kasutatakse toote 315097 rakist esimeses sektoris siis sobiks veel 302515 ja 302518.
7	343029/343030	312011
8	302515/302518	302072, 302078, 312063, 312065, 315097, 340410 ja 340412
9	302034	302072, 302078, 340410, 340415, 340424 ja 340425
10	363081	340417, 340427 ja 34042
11	340423	312008, 312009, 312010, 312011, 312060, 312061, 312062, 312063, 312065, 312066, 312067, 340446 ja 340449

Tabelist 5.3.3 on võimalik vaadata, milliste detailide tootmise ajad omavahel sarnanevad, ning selle jaotuse põhjal oleks võimalik hakata tootmist planeerima kahe töölaua peal, mis tasakaalustaks robotkompleksi koormatust mõlema töölaua puhul, mis on ka selle töö üks eesmärkidest. Järgmise sammuna tuleks viia antud lahenduse järgi toodete mudelid robotkompleksi mudelisse, et oleks võimalik visualiseerida tekkivat olukorda mis omakorda aitaks tootmist paremini planeerida.

6. JÄRELDUSED

Esmases järjekorras sai koostatud Bestnet AS-i Rummu tootmisüksuses asuva robotkompleksi 3D mudel. Mudeli eesmärk on visualiseerida robotkompleksi erinevate osade paigutust, et oleks võimalik paremini hinnata robotkompleksis toimuvat ja mis aitaks ka hõlbustada uute toodete juurutamist robotile. 3D mudel aitas jaotada roboti mõlemad töölauad sektoriteks, mis aitab omakorda hinnata iga töölauda osa koormatust ning selle info abil on võimalik planeerida edasist tootmist.

Järgmiseks sai kaardistatud robotkompleksi hetkeolukord, mis näitas et 86,14 % ajast toimub töö ainult esimesel töölaual, esimeses sektoris. Selle probleemi üheks lahenduseks sai projekteeritud kaks rakist roboti tagumisele töölauale. See muutis tagumise töölauda kasutust 6 % roboti kogujast suuremaks, ehk suurendati nii roboti koormatust kui ka tasakaalustati kahe töölauda vahelist töödejaotust. Kuna rakiste projekteerimise tulemusena ei muutunud roboti töölaudade koormatus väga palju ühtlasemaks, siis järgmise etapina sai esimeselt töölaualt seitse toodet tagumisele töölauale ümber paigutatud. Selle tulemusena jäi esimese töölauda (sektorid 1 ja 2) koormatus ligikaudu 60 % ajast. Peale selle sai ka välja otsitud tooted, mis sobiksid ühel ajal keevitamiseks. See tähendab, et kui ühte toodet keevitatakse esimesel töölaual, siis samal ajal täidetakse tagumist või vastupidi. Kahe töölauda korraga kasutamisega on võimalik vähendada roboti seisuaega, mis tähendab, et robotkompleksi muudetakse niiviisi efektiivsemaks. Võimalikud variandid on toodud tabelis 5.3.3 ning toodete soovitatavad asukohad sektorites on toodud tabelis 5.2.2.

Edasi tuleks viia robotkompleksi mudelisse kõik tootemudelid ning ka täpsustada reaalsed roboti keevitus- ja laadimisajad. Andmete täpsustus on oluline, et kontrollida saadud analüüsi tulemuste vastavust reaalsusega. Edaspidi tuleb proovida säilitada robotkompleksi töölaudade vahelist tasakaalu, mille teostamiseks tuleb esialgu viia juurde uusi tooteid tagumisele töölauale. Toodete robotile sobivuse hindamiseks tuleks kasutada toote analüüsi.

Tooteanalüüs ja juurutusmetoodika koosneb järgnevatest etappidest:

1. Tooteanalüüs
 - a. Vajaliku tehnoloogia väljaselgitamine ja kaardistamine
 - b. Tootmismahu määramine
 - c. Toote gabariitmõõtmete ja massi arvestamine
2. Robotkompleksiga sidumine
 - a. Õige robotisektori valimine (tasakaalu säilitamine)
 - b. Tootemudeli valmistamine ja robotkompleksi mudelisse kandmine
 - c. Rakise projekteerimine
3. Robotiprogrammi loomine tootmiseks

KOKKUVÕTE

Käesolev töö on tehtud eesmärgiga, et analüüsida Bestnet AS robotkompleksi tootmist ning vajadusel planeerida seda. Esimese asjana sai koostatud robotkompleksist virtuaalne mudel kasutades programmi Solid Edge ST6, et paremini näha, kus olulised sõlmed asuvad ning eraldi on välja toodud iga sõlme ülesanne koos kirjeldusega. Veel võrreldi omavahel automatiseeritud keevitust ja käsikeevitust ning selgus, et automatiseeritud keevitus võiks olla kuni kaks eurot keevisemeetri kohta odavam, mis selgitab, miks üldse automatiseeritud süsteeme kasutada. Robotkompleksi tööd hinnates selgus, et keevitamine toimub põhiliselt ainult ühel töölaua, ning tuleks kaasata aktiivsesse töösse ka teine töölaud, seeläbi suurendades robotkompleksi efektiivsust. Ühe lahendusena sai projekteeritud kaks rakist roboti tagumisele töölauale, mis suurendab selle koormatust ja ka üleüldist kasutust. Teiseks lahenduseks on veel toodete ümberpaigutamine mõlema töölaua vahel, nii et esimesele töölauale jääksid ainult suuremad tooted, ning see omakorda tasakaalustaks koormust mõlema töölaua vahel. Ainuüksi kahe rakise juurde projekteerimisel tõusis tagumise töölaua koormatus peaaegu 6 % kogu robotkompleksi poolt kasutatavast ajast. Järgmiseks tuli leida erinevad tooted, mis sobiksid koos keevitamiseks, et saaks vähendada laadimisajast tingitud roboti ooteaega. Nimelt kui rakisesse laetakse detaile, siis ühe töölaua kasutamisel robot lihtsalt ootaks selle tsükli. Sellepärast tulebki kaasata aktiivsesse töösse mõlemad töölauad, kasvatades niiviisi robotkompleksi kasutamise efektiivsust. Töö lõppu on toodud soovitusel robotkompleksi edasiseks kasutamiseks, kus on välja toodud, millised detailid tuleks viia tagumisele töölauale, ning millised tooted sobiksid koos keevitamiseks. Lisades on koostatud robotkompleksi asetuse plaan ning kahe projekteeritud rakise mudelid. Samuti on lisatud veel kolme toote joonised, mida toodetakse antud rakistega.

SUMMARY

This work has been done to analyze robotic complex at Bestnet Ltd production and plan it if needed. First thing was to create the virtual model of the complex using Solid Edge ST6 in order to see better where everything is and to give the description of each part in the complex to understand better why they are needed. Another point was comparing the combination of fully automated welding done by robot and half-automated, and revealed that the automated welding could be up to two euros per one welding meter cheaper, which explains why it is good to use automated systems. The robot complex analyses revealed that the welding takes place essentially on only one work bench and there should be actively involved the second work bench also. If the second work bench would be actively involved then the efficiency of a robot complex would increase. One solution to solve that was to design two welding jigs for robot rear work bench, which would stabilize the work load between the two benches and also would increase the overall usage of the robot work force. Another solution is to relocate the seven smaller products from the front work bench to the rear one which in turn would balance the load between both of the benches. Only the two welding jigs would increase the rear work bench load nearly six percent of the total time used by the robot complex. Further on the next step was to find out different products that will fit to weld on two benches simultaneously. In that case the waiting time of the robot would be shorter because the robot could weld at the same time on the second work bench while the first one is being loaded with details by the operator. If the welding is done only on one work bench, then the robot would just wait after the operator and the filling of the jig. That is why two actively involved work benches are needed so that the efficiency of the complex would increase. At the end of this work are given recommendations for further use for the robot complex. Main two things are what products should be welded on which table and what details could be welded at the same time, using both work benches. Also in notes there are the layout of the welding complex with general assembly drawing with dimensions, and in addition two welding jigs which were created in this work and also the drawings of the products that will fit into the welding jigs.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. <http://www.tiki.ee/ettevotest> (22.04.2014)
2. <http://www.tiki.ee/tehnoloogia> (22.04.2014)
3. <http://www.tikitreiler.ee/> (22.04.2014)
4. <http://www.rkrseadmed.ee/et/robotid/keevitusrobot> (21.04.2014)
5. <http://www.rkrseadmed.ee/et/robotid/keevitusrobot/item/23-keevitusrobot>
(25.04.2014)
6. Robotkompleksi osade pildid
http://download.visualcomponents.net/elib/MotoVisual2007/EquipmentLibrary_HTML/1%20Simulation%20Models/Components/By%20Industry/Robotics/index.htm
(17.02.2014)
7. <http://www.alas-kuul.ee/webmain.nsf/vedrudest!openpage> (22.04.2014)
8. <http://www.balticbolt.ee/toode.php?show=products&parentID=2&productID=45>
(17.04.2014)
9. Stenbacka, N. Hitsaustalous ja tuottavuus. Helsingi: Eräsalon kirjapaino Oy, 2011, 159 lk.
10. Robotkompleksi osade spetsifikatsioon ja mudelid
<http://www.motoman.eu/?switchlang=true> (15.03.2014)
11. Robot HP20D-6 http://www.motoman.eu/products/robots/product-view/?tx_catalogrobot_pi1%5Buid%5D=977&cHash=6a688a1e30e0e47a7578d0c0b99d7ee4 (12.04.2014)
12. NX100 kontrolleri <http://www.directindustry.com/prod/motoman-robotics-europe/robot-controllers-14473-1116595.html> (12.04.2014)
13. <http://www.directindustry.com/prod/motoman/robot-controllers-18302-567007.html> (12.04.2014)
14. Keevitus püstol http://en.wikipedia.org/wiki/Gas_metal_arc_welding 13.05.2014
(12.04.2014)
15. Motoman puhastusseade <http://www.motoman.com/IMAGES/toolsight-close-up.gif> (13.04.2014)
16. Berge, J. M. Automating the Welding Process – Successful Implementation of Automated Welding Systems, 1st edition. New York: Industrial Press Inc, 1994, 220 lk.

17. Mehaanikainseneri käsiraamat, teine-parandatud trükk, TTÜ kirjastus, Tallinn 2013, 492 lk.
18. Lepikson, H. Masinaehitaja käsiraamat, teine köide, Kirjastus „Valgus“, Tallinn 1971, 868 lk.
19. Laansoo, A., Keesitustehnoloogia, TTÜ kirjastus, Tallinn 2011, 172 lk.
20. Uuenduslik tootmine, TTÜ kirjastus, Tallinn 2011, 446 lk.
21. Bestnet AS Intranet, Bestneti jooniste haldus, 2014

LISAD