



Markus Kask

PULBERVÄRVIMISE JAOSKONNA ROBOTI PROJEKTEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Inseneeria

Juhendaja: Peter Šverns, *BSc*

Tallinn 2024

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Markus Kask annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Pulbervärvimis jaoskonna roboti projekteerimine

- 1) reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada ja teha üldsusele kättesaadavaks Tallinna Tehnikakõrgkooli digiarhiivi DSpace kaudu;
- 2) reprodutseerimiseks pärast piirangu lõppu juhul, kui instituudi direktori korraldusega on kehtestatud lõputöö avaldamisele tähtajaline piirang.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi.

Autorideklaratsioon

Mina, Markus Kask tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja ja iseenda varasematele teostele on viidatud õiguspäraselt. Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

Juhendaja Peter Šverns

Töö vastab lõputööle esitatavatele nõuetele.

(allkirjastatud digitaalselt)

Lõputöö on kaitsmisele lubatud instituudi direktori korraldusega.

(allkirjastatud digitaalselt)

(kuupäevad

digiallkirjades)

SISUKORD

1	SISSEJUHATUS.....	4
2	ETTEVÕTTE ISELOOMUSTUS	6
3	VÄRVILIINI JA PULBERVÄRVIMISE ANALÜÜS	7
3.1	Olemasoleva värviliini efektiivsuse analüüs	9
3.2	Toodete positsioon	9
3.3	Detailide analüüs.....	10
4	SEADMED	13
4.1	Roboti tüübid	13
4.2	Robotite võrdlemine.....	14
4.3	Lineaartelg	17
4.4	Turva-valguskardin.....	19
5	JAOSKONNA PROJEKTEERIMINE	21
5.1	Lahendus 1.....	21
5.1.1	Roboti ja lineaartelje valik.....	22
5.1.2	Skeem.....	24
5.2	Lahendus 2.....	25
5.2.1	Roboti valik	26
5.2.2	Roboti tugisammas	28
5.2.3	Skeem.....	29
6	MAJANDUSLIK OSA	30
	KOKKUVÕTE	36
	SUMMARY.....	37
	VIIDATUD ALLIKAD.....	38
	LISAD	40
	Lisa 1. Ettevõtte robotiseerimiseks sobilikud detailid ühe aasta jooksul	40
	Lisa 2. Toote AD0000094769REA joonis	42
	Lisa 3. Toote AD5000002851REB joonis	43
	Lisa 4. Toote AC999003-AEA-RCA joonis	44
	Lisa 5. Lahendus 1 joonis	45
	Lisa 6. Lahendus 2 joonis	46

1 SISSEJUHATUS

Inseneri jaoks on automatiseerimine üks olulisemaid viise konkurentsivõime tagamiseks. Robotiseeritud lahenduste tootmisse integreerimine võimaldab tööjõudu kokku hoida, vähendab vigu ning suurendab tootmise täpsust ja kiirust. Projekti ettevõtte tehases on värviliin, mis liigub, kuivatab ja kuumutab ise, kuid ei värvi ise. Arvestades tehnoloogia arengut on tegu probleemiga, sest samal ajal teised turul olevad konkureerivad ettevõtted robotiseerivad aktiivselt enda masinaparke.

Projekteeritavas pulbervärvimis jaoskonnas värvitakse suure pinnalaotusega pindasid ehk kergesti ligipääsetavaid detailide tahkusi. Samuti tuleb värviga katta keerukad ja raskesti ligipääsetavad nurgad, näiteks välised ja sisesed nurgad, samuti detaili ülemised ja alumised küljed. Kõigele lisaks ei ole töötaja tööasend ergonoomiline, mis pikas perspektiivis mõjutab tema tervist. Lõputöö eesmärk on pulbervärvimis jaoskonna automatiseerimis seadmete valimine ja värviliini robotiseerimine. Automatiseerimine tähendab, et protsessi inimfaktori tähtsust vähendatakse oluliselt. Seetõttu tuleb projekteerida jaoskond, et tootmises ei oleks seisakuid ja keeruline töö robotitele rakendada. Kogu projekteerimine aitab kaasa ka tasuvust määrata seadmete soetamisel.

Robotiseerimine koosneb neljast põhitegevusest. Esmalt uuritakse töös värviliini lähteandmeid, efektiivsust olemasolevas värviliinis ja detaile, mis sobivad automatiseeritud tööprotsessi jaoks. Eelnevaid andmeid on vaja selleks, et seadmeid valida. Teiseks tehakse ülevaade vajalikest seadmetest nagu näiteks robot, lineaartelg ja turva-valguskardin. Robotist ja lineaarteljest on vaja ülevaadet selleks, et nende vahel valida. Edaspidi keskendutakse eelnevalt kogutud informatsiooni põhjal jaoskonna projekteerimisele. Probleemi on võimalik lahendada mitut moodi seega edasi jagunevad peatükid kaheks. Viimaks tuleb lahenduse majanduslikud näitajad leida, et tasuvusaeg arvutada. Tasuvusaja leidmine on töö olulisim faktor, sest see näitab mis ajaks on robotsüsteemi teenitud tulud ja selle robotiseerimiseks tehtavad kulud võrdsed. St, et robotlahendus hakkab peale seda tulusid teenima. Samuti saab ettevõtte hea ülevaate millised tegurid ja kui palju mõjutavad tasuvusaega, et kulusid vähendada või tulusid suurendada.

Töös kasutatakse toodete 2024 aasta planeerimisandmeid, värviliini lähteandmeid ja robotite spetsifikatsioone. Roboteid võrreldakse omavahel tabelis, et leida parim lahendus.

Töö kirjutamisel olid abiks Tallinna Tehnikakõrgkooli varasemad lõputööd manipulaatori rakendamine tootmisüksusesse, pulbervärviliini konstrueerimine ja värviliinide tootmisefektiivsuse hindamine. Manipulaatori rakendamise töö oli abiks robotiseerimise

teemal. Pulbervärviliini konstrueerimine ning värviliini tootmisefektiivsuse hindamine pulbervärvimise tehnoloogia mõistmisel. [1], [2], [3]

Projekteerimiseks olulised lähteandmed seatakse nii, et robotlahendus oleks maksimaalselt otstarbekas. Nende järgi võrreldakse erinevaid seadmete võimalusi, mida lõpplahendusse valida. Parima lahenduse leidmiseks valitakse kaks võimalust ja leitakse nende tasuvusajad ning muud olulised mitte mõõdetavad näitajad.

2 ETTEVÖTTE ISELOOMUSTUS

Lõputöö projekt tehti ettevõttes AQ Components Kodara OÜ. AQ Components Kodara OÜ ja AQ Lasertool OÜ olid kuni 2022. aastani üks ettevõtte AQ Lasertool OÜ nime all. AQ Lasertool OÜ asutati Eestis Lasertool AB nime all tütarettevõttena 2003. aastal. Lisaks kuulub tööstuskontsernile ka tehased Viimsis ja Jüris. Viimati mainitud tehased on spetsialiseerunud rohkem metalltoodete pinnatöötlusele või metallist komponentide vormimisele. AQ Components Kodara OÜ laiendus toimus kõige värskemalt Pärnumaal 2018. aastal ja seal töötab umbes 120 töötajat.

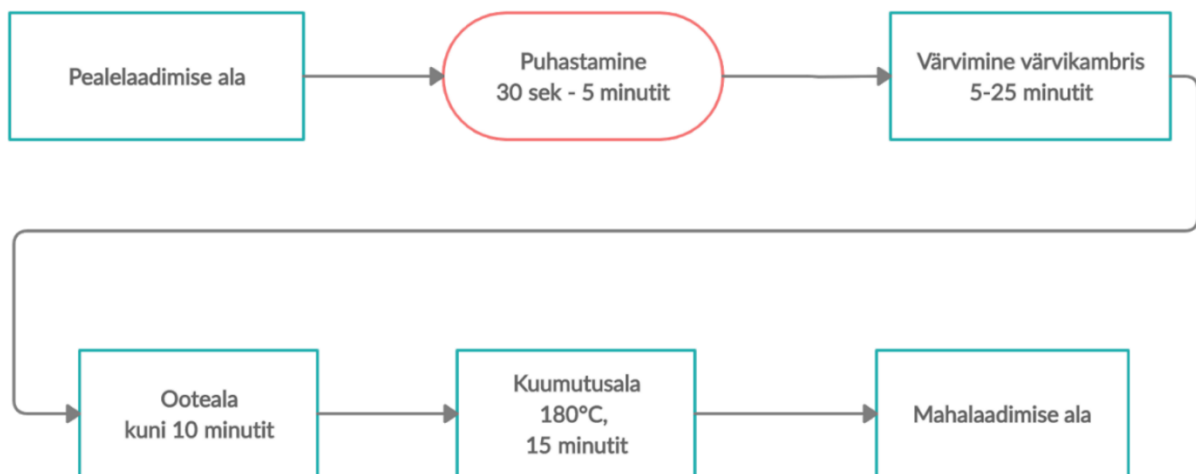
Põhisuunitlusega tegeldakse tootearenduse, tootmise ja koostamisega spetsiaalsetele teras- ja alumiiniumtoodetele. Ettevõtte on spetsialiseerunud raudtee- ja üldtööstuse ärivaldkondades. [4]

Tootmisprotsessid:

- Lehtmetalli töötlemine (stantsimine, laserlõikamine)
- Järjestik- ja manuaalne stantsimine (pressid kuni 300t)
- Painutamine
- Freesimine
- Treimine
- Käsikeevitus, robotkeevitus
- Pinnatöötlus
- Koostamine
- Induktsioonjootmine

3 VÄRVILIINI JA PULBERVÄRVIMISE ANALÜÜS

Pulbervärvimine on laialdaselt levinud metalltoodete värvimistehnoloogia, mis sisaldab ettevalmistust, pulbervärvimist ja kuumutamist. Ettevalmistuses puhastatakse ja neutraliseeritakse detaili pinnad. Värvimisel pihustatakse maandatud detailile laetud värviosakesed peale. Seejärel kuumutatakse detaili 180-200 kraadises ahjus 15-20 minutit. [5] Pulbervärvimise peamised positiivsed tegurid on ilmastikukindlus, mehaaniline tugevus ja tuleohutus. [6] Ilmastikukindlus on oluline, et metalltooted ei hakkaks roostetama niisketes keskkondades. Tuleohutus annab pulbervärvitud toodetele suurema kasutusulatuse erinevates keskkondades. Töokeskus koosneb värviliinist, puhastuskambrist, värvikambrist ja kuumutamisahjust. [5]

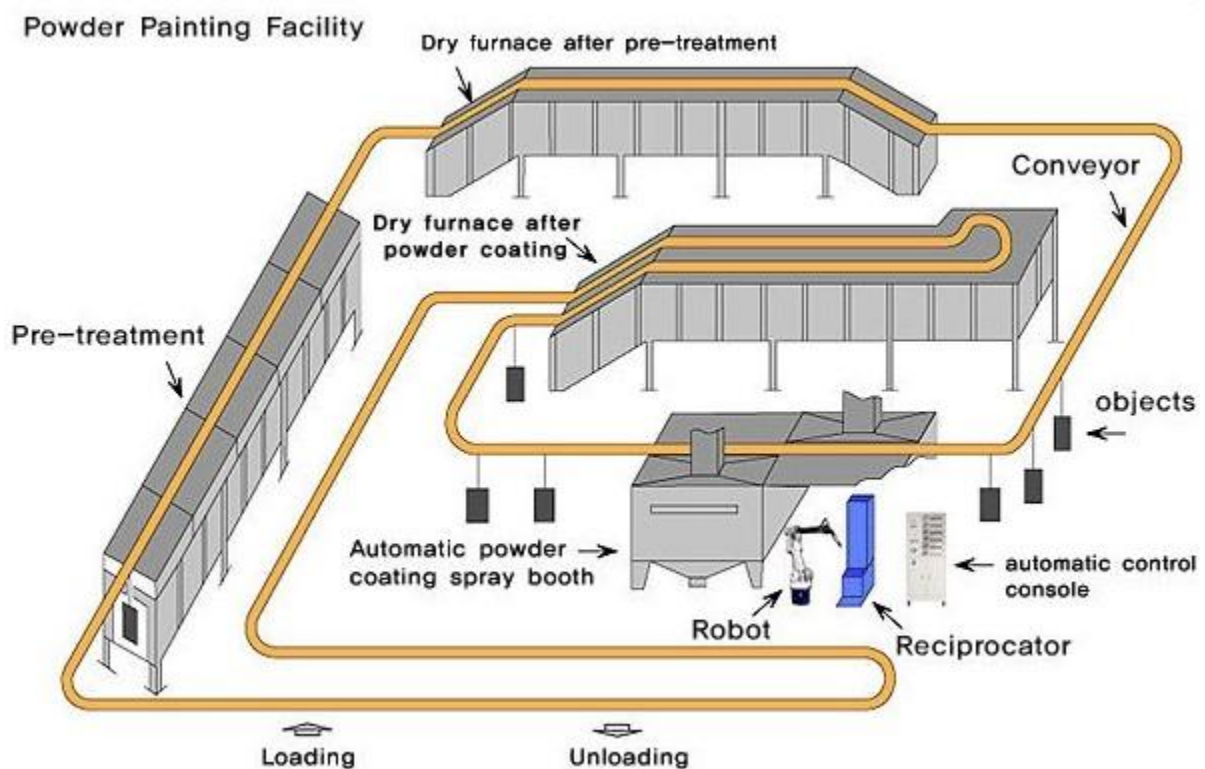


Joonis 1. Värviliini protsessi voodiagramm [2]

Töötappide järjestus:

- Laadimisala, kus ootavad värvimistöödeldavad tooted (Lisaleht 1), on korraldatud vastavalt tarnekuupäevale - tellimuste esitamise kuupäevale. Erandiks võib pidada laotäienduse tellimusi, standardtoodete tellimist; [2]
- Enne komponentide värvimisele saatmist viiakse läbi puhastusprotsess. Enam kasutatavad puhastusained on decorrdal (tolmu ja mustuse eemaldamiseks) ning atsetoon (markerijälgede ja sügavama mustuse eemaldamiseks). Eriti pööratakse tähelepanu komponentide servade puhastamisele, sealhulgas keevituskohtadele, kus tolm kipub kergesti kogunema. Ebapiisavalt korralikult puhastades jääks pärast värvimist komponentidele vastavad defektid, nagu laigud või ebaühtlane värv; [2]

- Seejärel liiguvad komponendid edasi värvimiskambrisse, kus värvimine toimub ükshaaval. Värvimiskambris on automaatrobotid, mis suudavad katta vaid kergesti ligipääsetavaid pindasid. Raskesti ligipääsetavad pinnad katab hetkel värvija; [2]
- Pärast värvimist liiguvad komponendid kuumutuskambrisse. Vajadusel on erinevatele detailidele seatud vastav kaugus, et kuumutamise aeg oleks sobilik; [2]
- Kuumutamine - see tsüklil on seatud kindlale ajale ja temperatuurile. Kui komponendid sisenevad kuumutuskambrisse, saavutatakse vajalik temperatuur ning eelnevalt määratud taimer käivitub. Kuumutustsüklil on seatud 5-30 minutiks 180 kraadi juures. Kuumutamisaeg on reguleeritud liini kiirusega. [2]



Joonis 2. Värviiliini skeem [7]

Värviiliini jaoskonnas on korrakaasatud 5 inimest. Tööülesanded on detailide riputamine, värvimine, maha tõstmine ja muud abistavad jooksvad ülesanded. Kõik tööd jagatakse töötajate vahel vastavalt rutiinile.

Väiksemaid detaile, mida on lihtne tõsta, paigutatakse siinidele käsitsi. Raskemate ja suuremate detailide puhul kasutatakse elektrilist vinnastajat. See on oluline töötajate heaolule ja tervisele. Ettevõttes pööratakse erilist tähelepanu töökeskkonna ergonoomikaga seotud parendustele ja suunatakse töötajaid ergonoomilisi töövõtteid

kasutama. Uued töövõtted ja seadmed aitavad vähendada pidevat kummardamist ja koormavaid tõsteid, mis omakorda mõjutab positiivselt töötajate heaolu ja tervist.

Samuti on olulised toodete välis- ja sisemöödud. Välismöötmete järgi toimub värvimine. Kui toote välismöödud ületavad kambri maksimaalseid gabariitmööde, tuleb võimalusel suurendada gabariite või värvimisteenus mujal teostada. Üldiselt suudab ettevõtte enamiku oma toodete värvimise ise läbi viia ning teenuse sisse ostmiseks pole vajadust. Harvadel juhtudel, kui toote mõõtmed on nii suured, et kohapeal värvimine pole võimalik, on ettevõtte võtnud teenuse sisse partnerettevõtetelt, kelle kambrite mahutavus võimaldab suuremate detailide värvimist.

3.1 Olemasoleva värviliini efektiivsuse analüüs

Ettevõtte värviliini kambrite tunnelitel on kindlad kabariitmöötmed, millele detailid peavad vastama. Olemasolevas värviliinis on tunnelite kabariitmöötmekõrgusi suuremaks tehtud seega on võimalik värvida isegi suurte gabariitmöötmekõrgustega detaile. Piirangu seab siiski toodete arv, mida saab korraga värvimiseks ette valmistada. Samuti on oluline planeerida värvivahetusi nii, et neid oleks võimalikult vähe, mis omakorda vähendab seadistusaegu ja värvikulu, suurendab tootlikkust ja efektiivsust. Lisaks on värviliinis tehtavate tööde maksumus kõrge. Värvivahetuse protsess ei võta küll palju aega, kuid kui vahetus toimub tööpäeva jooksul mitmeid kordi, on mõju tootmise efektiivsusele märgatav. Sama värvikoodiga värvitavad detailid peaksid olema ajastatud samasse ajavahemikku kindlas järjekorras. Ideaalis teeb värviliini jaoskonna eest vastutav planeerijaga koostööd, et seadistada tööde järjekord värvi järgi. Reaalses elus esineb seda harva, sest planeerijal ei ole võimalik tellimuste tähtaegasid muuta. Samuti on tülikas toode liiga vara valmis teha, sest see võtab koheselt laos ruumi.

Keerukamate detailide korral riputatakse need peale pesemisetappi, sel juhul pestakse detail eelnevalt käsitsi. Peale pesemismoodulit on värviliini siin kõrgemal, seega kasutatakse tõstmiseks suuremat laotõstukat või vironastajat.

Toodete kvaliteet sõltub töötajaskonna tähelepanelikkusest ja hoolsusest, eriti värvija töörutiniist. See aitab ennetada võimalikke defekte ning tagab minimaalse praagi tootmise juures.

3.2 Toodete positsioon

Uue toote juurutamise käigus määrab insener vastavalt detailile riputusmeetodi. Värviliinile riputatakse detailid standardsete konksudega, kus detailid peavad jääma maksimaalsete mõõtmete sisse. Lisaks mõõtmetele tuleb silmas pidada detaili massi ja

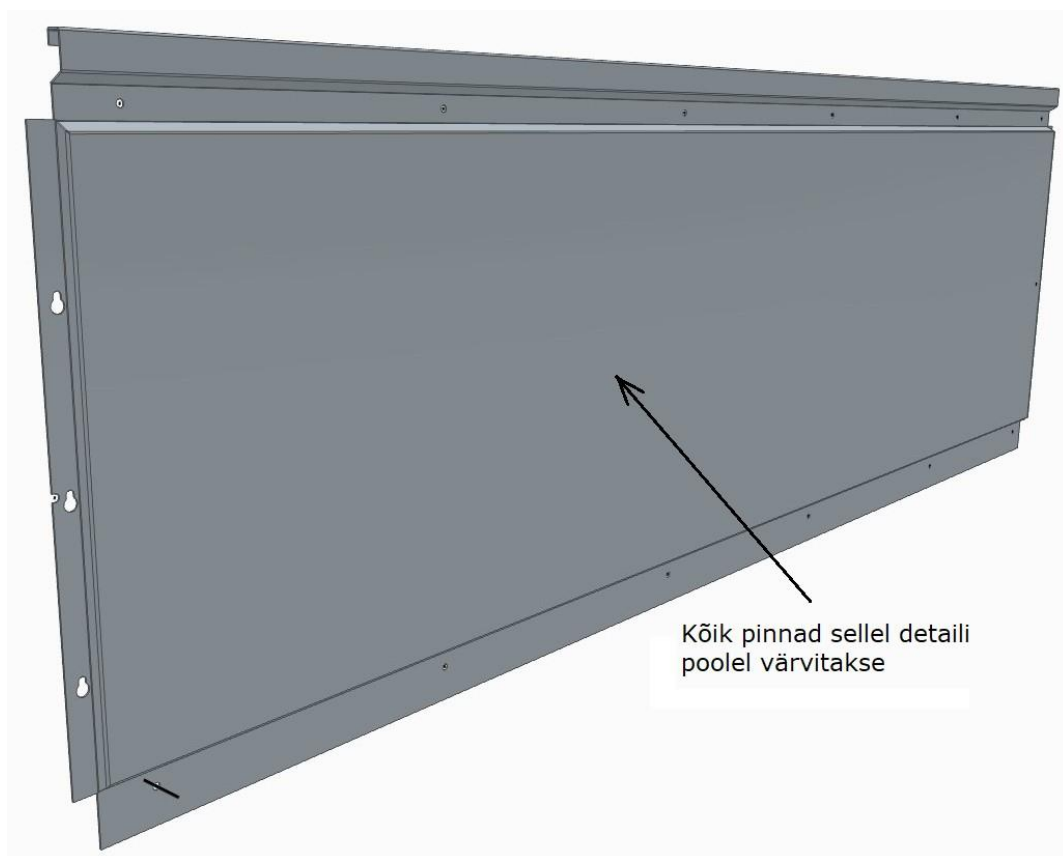
sellest lähtuvalt valida sobiva läbimõõduga varras. Riputuskonksu otsad on poolringi kujulised millel on erinev raadius seega tuleb ka konksu struktuurile tähelepanu pöörata. Toodete positsiooni seadmisel piisab kui detail jääb rippuma suunaga alla. Tähtis on, et detail häirimatult laadimisalasse tagasi jõuaks. Lisaks jäävad riputatavad detailid kogu tööprotsessi ajaks liini suhtes liikuma samas sihis, keegi detaile teistpidi tõstma ei hakka. Kuna konksude abil on positsioon kergesti saavutatav ei ole vaja lisa rakiseid detaili positsioneerimiseks konstrueerida. Küllaga tuleb detailil leida riputamiseks sobiv koht, mis pärast värvimist tuleb üle värvida. Konksude materjal on karastamata teras, mida katab vase kiht. [2]



Foto 1. Riputuskonks

3.3 Detailide analüüs

Hetkel toodetavad detailid erinevad nii kuju kui ka mahu poolest. Robotiga värvimisel on oluline, et detailid mida hakatakse värvima on mahu poolest võimalikult suured. Põhjus seisneb selles, et mida suurem on maht seda kiiremini väheneb robotlahenduse tasuvusaeg. See läheb kokku ettevõtte algse sooviga saada teada roboti tasuvusaeg. Samuti peaks esmaste detailide kuju olema lihtne, sest robot suudab lihtsad detailid kiiremini ära värvida. Ettevõtte valis hulga hetkel töös olevaid tooteid mida robotiseerida. (Lisa 1)



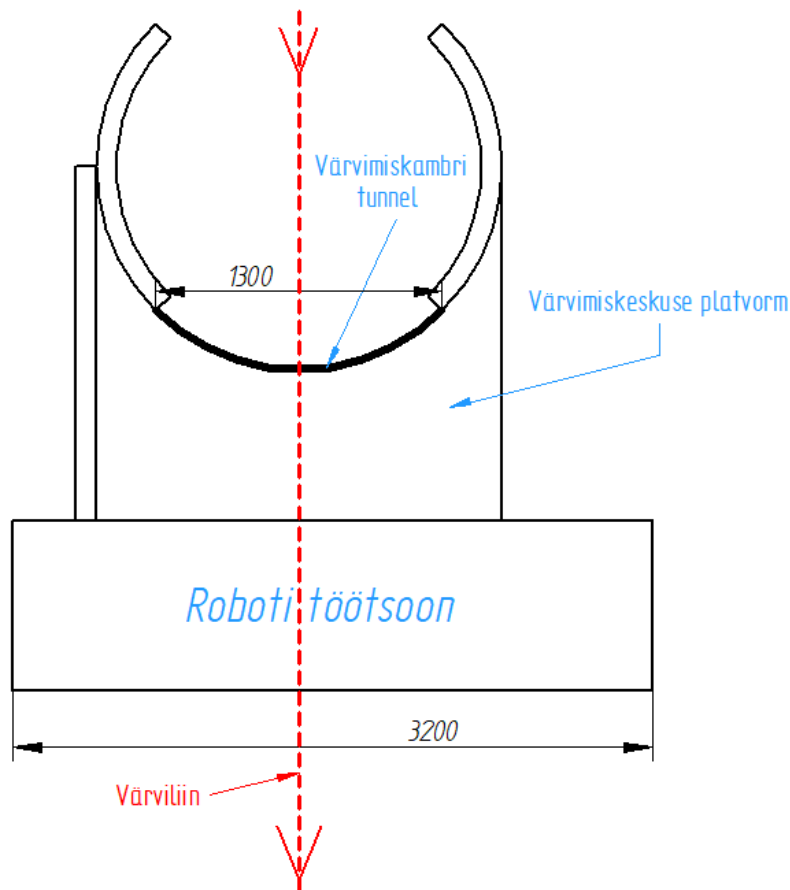
Joonis 3. Detail AD0000094769REA



Foto 2. Värvitud detail AC999003-AEA-RCA

4 SEADMED

Seadme valiku tegemisel lähtutakse ettevõtte juhendajaga seatud kriteeriumitest, jaoskondlikest parameetritest ja tehnilisest sobivusest tootmisüksusega. Robot paigaldatakse värviliini skeemi järgi peale värvimiskeskust.



Joonis 4. Roboti töötsoon ja värvimiskeskus

Ruumi kasutus peab olema minimaalne, et see ei segaks värviliinil liikuvaid detaile. Lisaks peab roboti paigutus võimaldama värvijal teha ajutisi värvimistöid detailidel millele robotit ei ole otstarbekas rakendada. Olulised lisatavad seadmed on robotisüsteem, lineaartelg ja turva-valguskardin. Olulised määravad seadmete valimisel on konkureerivate toodete hinnad ja võrreldavad omadused.

4.1 Roboti tüübid

Roboti tüübid jagunevad tööstusrobotiteks ja koostöörobotiteks. Tööstusroboti head omadused on täpsus, võimsus ja kiirus, näiteks olukorrad kus on vaja liigutada raskeid detaile ja töövahendeid. Samuti suutlikkus tõsta tootmistsükli aega ja suurendada siruulatust. Oluline on ka märkida, et protsessid kuhu on kaasatud inimene peab olema

tagatud ohutus. Kõrge võimsusega kaasneb ka jõukontrolli ebatäpsus. Peamiselt tuleb ohumeetmeid rakendada töödel, kus inimene ja robot viibivad samas ruumis.

Koostöörobotid sobivad nii tööstuslikesse keskkondadesse kui ka muudesse sektoritesse. Nende robotitüüpide põhitöökeskkond on inimesega ühes ruumis, ehk nende ohutegur inimesele on tunduvalt väiksem kui tööstusrobotitel. Robotid mida kutsutakse „kobotiteks“ suudavad täita väga erinevaid ülesandeid. Koostöörobotit hinnatakse laiemalt tema lihtsuse ja paindlikkuse tõttu. Näiteks võimaldab see töötajaskonnal kerge vaevaga lähtestada kobotile uus ülesanne. Selline paindlikkus töö tegemisel säästab töötajate aega. Kui tööstusrobotitel olid tugevusteks kandevõime, siruulatus ja kiirus, siis koostöörobotitel on need parameetrid miinusteks. Seega on sedasorti robotlahendus mõeldud rohkem väiksemate tootmismudelite jaoks, kus robot peab mahtuma väiksematesse töötingimustesse. [8], [9]

4.2 Robotite võrdlemine

Värvirobot peab vastama paigalduskeskkonna kriteeriumitele. Värviliini jaoskonnas on palju ruumi, seega on võimalik mõlemat tüüpi robotit kasutada. Siinkohal tuleb lähtuda liini laiusest, et roboti paigutus liini suhtes oleks kõige optimaalsem suurele toote valikule. Vastavalt liini laiusele tuleb tööroboti valikul arvestada siruulatus. Antud töökeskuses on veel ebaselge kas kasutada robotit, mis tuleb piirata piirdeaiaga. Esiteks on värviliini tsoon piiratud juba eraldi seisvaks. Teiseks kui roboti töö peaks seiskuma, siis värviliin liigub endiselt edasi, mis on probleem. Värviliinile riputatavate detailide positsioon jääb liini suhtes samaks. Seega peab edasine lahendus ühe roboti puhul võimaldama robotil liikuda või tuleb soetada kaks omavahel suhtlevat robotit.

Tabel 1. Roboti valiku kriteeriumite seletus

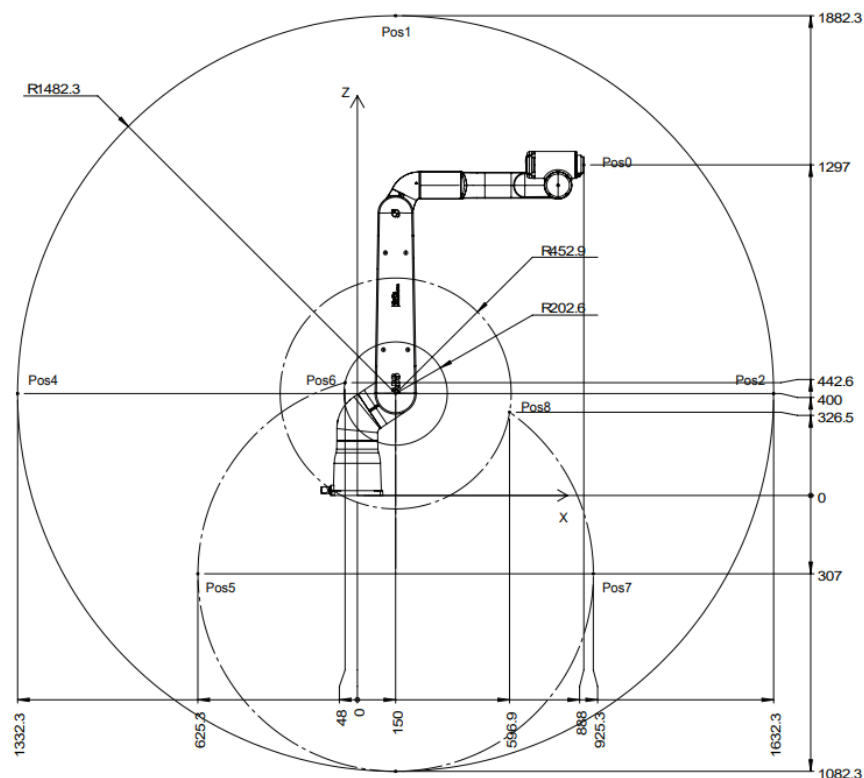
Kriteeriumi nr	Nimetus	Seletus
1	Siruulatus ja kõrgus	Siruulatus ja kõrgus peavad olema vastavalt lahendusele sellised, et ette antud tooteid saaks värvida.
2	Kiirus	Roboti kiirus peaks olema vastavalt, et kõik nõutud pinnad saaksid pulbervärviga kaetud ilma, et peaks liini seiskama.
3	Värvimis tehnoloogia	Värvimistehnoloogia ei tohi olla piiravaks teguriks roboti kiirusele.

4	Liini mõlemalt poolt värvimine	Robotlahendus peab olema võimeline mõlemalt poolt liini värvima.
---	--------------------------------	--

Lisaks on koostööroboti hea omadus küll inimestega koos töötamine, kuid seevastu suhteliselt madal kiirus hakkab kõvasti mõjutama tasuvusaega. Kuna koostöörobotit on kergem ümber seadistada saab seda väikese nõudluse korral teistel töödel rakendada. Tootmises aga sellega arvestada ei saa, sest ümberseadistamine on ajakulukas ja ebapraktiline. Allpool olevas tabelis on väljatoodud kaks koostööroboti ja kolm tööstusliku roboti valikut.

Tabel 2. Roboti tüüpide valikud

Roboti tüüp	Koostöörobot		Tööstusrobot		
Tootja	Universal Robots	ABB	KUKA	Fanuc	ABB
Mudel	UR10e	GoFa 10	KR 8 R1420 arc HW	P-1000iA	IRB 5500-22



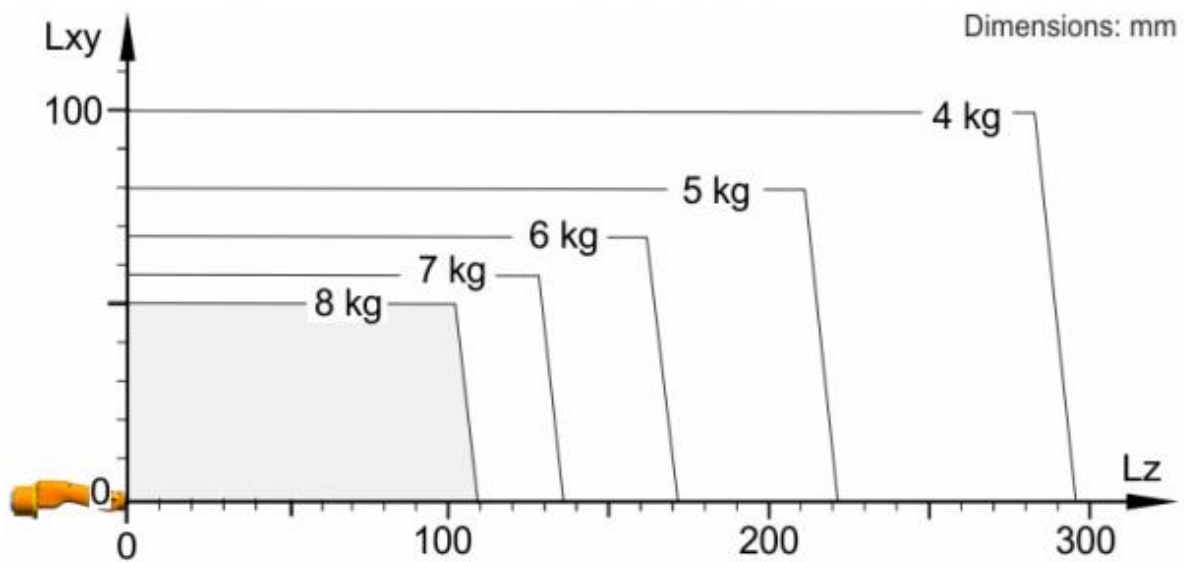
Joonis 5. Koostööroboti GoFa 10 mõõtudega eskiis [10]

Tabel 3. Robotite mudelid ja parameetrid [10], [11], [12], [13], [14]

Tootja	Universal Robots	ABB	KUKA	Fanuc	ABB
Roboti tüüp	Koostöörobot		Tööstusrobot		
Mudel	UR20	GoFa 10	KR 8 R1420 arc HW	P-1000iA	IRB 5500-23
Siruulatus, mm	1750	1520	1421	2848	2975
Kasulik koormus, kg	20	10	8	15	13
Seadme kaal, kg	64	51	179	700	600
Lülide liikuvus, °	±360	180-270	65-350	ca ±80; ±720	60-360
Maksimaalne kiirus, m/s	2	2	-	-	-
Liidese kiirus, °/s	±120-210	120-200	210-630	120-200	100-535
Kordus täpsus, mm	0,10	0,02	0,04	0,08	0,15
Vabadusastmete arv	6	6	6	7	6
IP klassifikatsioon	65	67	54	-	66; 54
Koostöörežiim	Jah	Jah	Ei	Ei	Ei
Keskmine energiakulu, W	300/750	-	-	3500	2500
Töötemperatuur, °C	0-50	-	5-45	0-45	0-40

Värviliini jaoskonnas võib suviti temperatuur kõikuda kuni 30 kraadini, seega peab masina töötemperatuur seda taluma. Siruulatus peab olema ligikaudu 1000 mm, kuid selle parameetri saab lõplikult paika panna kui hilisemas töötapis paigaldusele on lahendus määratud. Kasulik koormus on samuti oluline parameeter, see ei pea olema liiga kõrge, aga peab suutma värvimiseks vajalikku riistvara töö ajal kanda. Joonisel 6 märgitud kasulik koormus on seatud nominaalvahemikku. Kui koormuse kaugus suureneb viimasest roboti teljest hakkab lubatud koormus vähenema. Parimaks osutus ABB IRB 5500-23 robot.

Skeemil on näide KUKA roboti kasulikust koormusest.



Joonis 6. KUKA roboti kasulik koormus [12]

4.3 Lineaartelg

Robotkäed on tavaliselt kuue teljelised, kus nad on kinnitatud põrandale, seina või valmistatud alusraami külge. Lisades robotsüsteemi seitsmenda telje annab see liikuvuse ka horisontaalselt või vertikaalselt. [15]

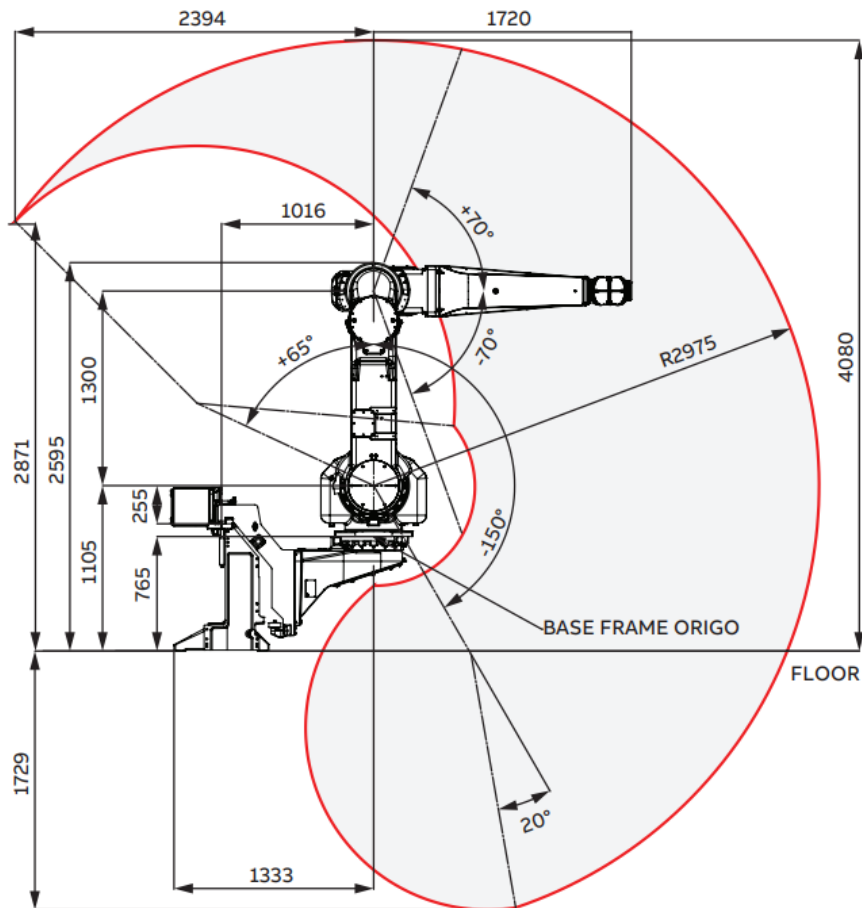


Foto 3. KUKA robot lineaarteljel [16]

Lineaarteljele monteeritud robotid annavad mitmeid eeliseid, näiteks täiendava ulatuse lisamine, kulude minimeerimine, ruumi kokkuhoid, paindlikkuse suurendamine ning täiendava roboti vajadusest hoidumine. Samuti võimaldab antud seadme lisamine ühel robotil teha ära kahe roboti töö, seda juhul kui roboti kiirus seda võimaldab, sest see mõjutab oluliselt roboti tasuvusaega. Lineaartelg integreeritakse roboti süsteemiga ja selle juhtimine käib läbi roboti juhtprogrammi. [15]

Tabel 4. Lineaartelgede võrdlemine [14], [17]

Tootja	KUKA	ABB
Mudel	KL 250-3	IRB 5500-23 clean wall rail
Kandevõime, kg	300	330
Kordus täpsus, mm	$\pm 0,02$	0,30
Paigaldus võimalused	Põrand	Sein, põrand
Kiirus, m/s	1,41	1,4



Joonis 7. ABB robot paigutatud lineaarteljele [14]

4.4 Turva-valguskardin

Robotite kasutuselevõttuga peab kõrgendatud tähelepanu pöörama tööohutusele, sest koos võimega tõsta raskeid asju või kiirete liigutuste tegemisel on alati oht, et inimene saab vigastada. Seega turva-valguskardina peamine funktsioon on kaitsta töötajaid ohu eest. Selles lõputöös käsitletakse kahte tüüpi roboteid, koostööroboteid ja tööstusroboteid.

Koostöörobotil on üldjuhul kaks režiimi, koostöörežiim ja režiim kus robot teeb tööd ilma, et inimene viibiks töötsoonis. Eelmainitud režiimi võimaldamiseks tuleb töötsooni paigaldada turva-valguskardin, mis on ühenduses robotsüsteemi juhtseadmega. Valguskardinal on seadistatud funktsioon, kui laserkiirte ühendus katkeb annab see teate edasi robotsüsteemile. Robotsüsteem reageerib signaalile seadistades robot ümber koostöörežiimile. Funktsioon on eriti oluline tagamaks läheduses töötavate inimeste turvalisuse eriti kui robot käsitseb parasjagu mõnd teravat tööriista või detaili.

Kui turva-valguskardin on ühendatud tööstusrobotiga ning registreeritakse liikumine turvatsoonis jääb robot seisma.

Turva-valguskardinaid on valikus erinevate parameetritega vastavalt EN ISO 13849 standardile. [1]

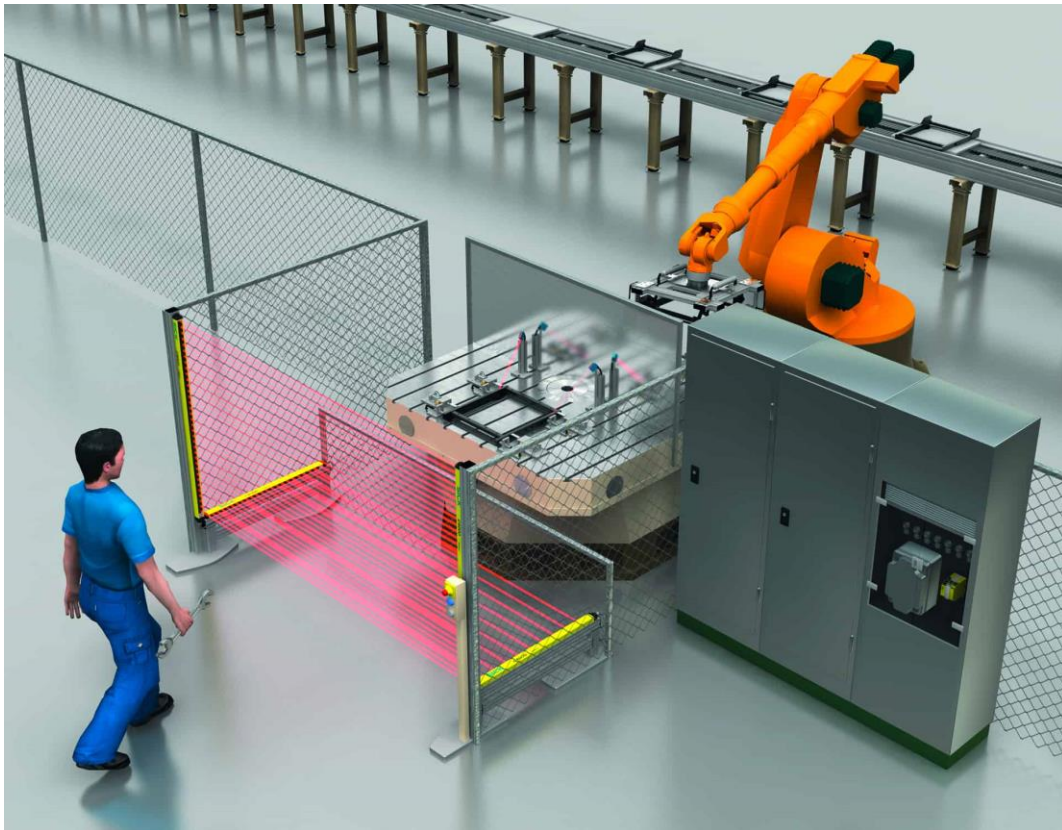


Foto 4. Turva-valguskardinad simuleeritud keskkonnas [18]

5 JAOSKONNA PROJEKTEERIMINE

Roboti valiku tegemiseks tuleb seada kriteeriumid millele lahendus peab vastama. Sobiva lahenduse leidmiseks kirjeldatakse olulisemad osad ja võrreldakse nende kriteeriumitele vastavust, värviliiniga integreerimise võimalusi ja tasuvusaega. Versioonide peamine erinevus on, et kahelt poolt värvimise probleemi on lahendatud kahte moodi. Olulised muutused nende juures on integreeritavuse ja tasuvusaja muutumine vastas suunas.

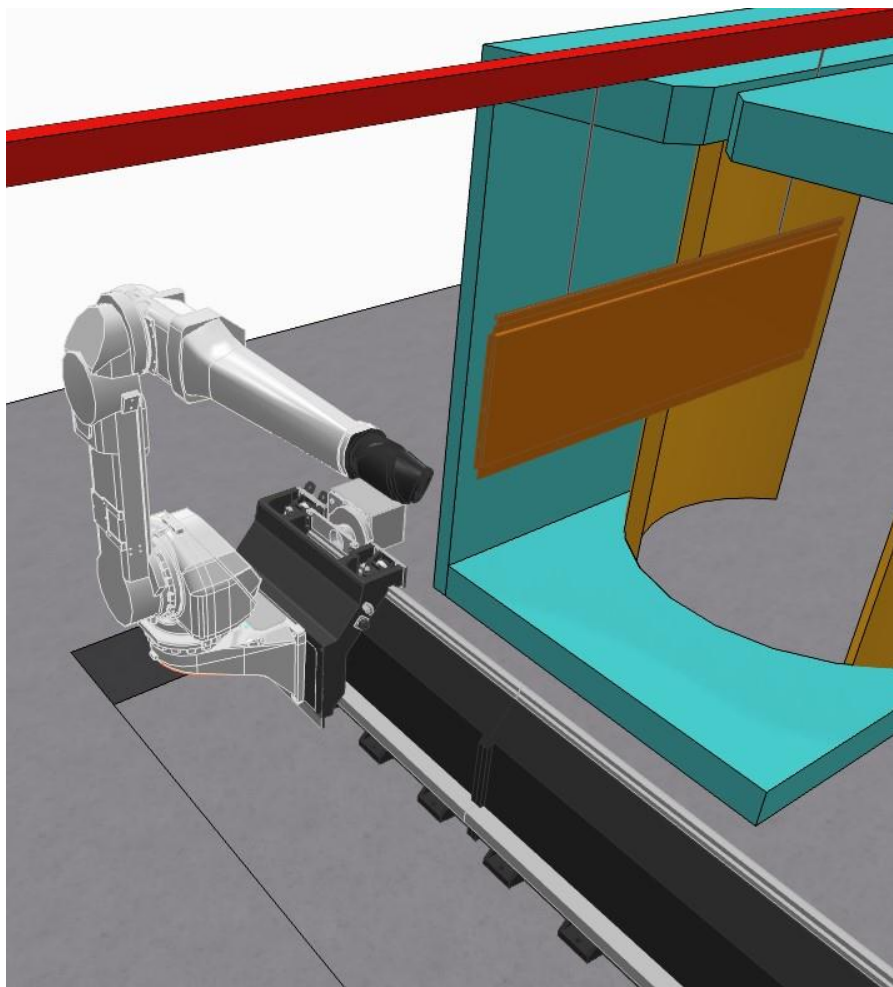
Tabel 5. Kriteeriumite seletus

Kriteeriumi nr	Nimetus	Seletus
1	Mõlemalt poolt liini värvimine	Robotlahendus peab olema võimeline värvima mõlemalt poolt liini.
2	Turvameetmed	Igasugune robotlahendus, mis jaoskonda projekteeritakse peab olema ohutu eelkõige töötajatele, seda eriti kui lõpplahendus saab olema industriaalrobot.
3	Siruulatus ja kõrgus	Roboti jaoskonda integreerimisel tuleb siruulatus ja paigutuslik kõrgus omavahel sünkroniseerida kõikide toodetavate detailidega.
4	Ruumi kasutus	Roboti paigutus peab olema optimaalne ja ruumi säästev, lisaks on värviliinil konstruktiivsed omapärad, mis peavad integreerimise käigus enda kuju säilitama või asendatud saama.
5	Integreerimise inimressurss	Jaoskonna projekteerimisel hoiduda liigsest keerukusest, et asjatut aega ja tööjõudu ei kuluks integreerimisel.

5.1 Lahendus 1

Esimene lahendus kasutab lineaarteljel paiknevat robotit. Üks robot teeb tööd, see tähendab, et tema kiirus peab olema võimalikult suur. Esmalt roboti tüübiks valitakse tööstuslik värvirobot tema kiiruse tõttu. Teiseks tuleb valida robot sobivate parameetritega. Siruulatus peab olema vähemalt üle kahe meetri seega edasi tuleb võrrelda Kuka ja ABB robotit. Mõlemaid on võimalik integreerida lineaarteljele.

Teljele paigutamisel tuleb esmalt selgeks teha kas need hakkavad asetsema värviliini üleval või all. Samuti tuleb jälgida, et paigaldatavale põrandale mõjuv koormus liiga suureks ei lähe. Ruumi mõistes lineaarteljele paigaldamisel tuleb silmas pidada, et see pikas perspektiivis värvija tööd segama ei hakka. Robot hakkab liini erinevatel pooltel värvima seega peab ta kiirelt kahe poole vahel liikuma. Kuna ülemisel värviliini poolel saab konstruktsiooni muuta tehakse kindlaks kas võrreldavad robotid füüsiliselt mahuvad liini alla liikuma.



Joonis 8. Konstruktsiooni lahendus 1 koos detailiga AD0000094769REA (autori joonis)

5.1.1 Roboti ja lineaartelje valik

Roboti valimisel olulised punktid eelmainitud kriteeriumitest on siruulatus, ruumi kasutus, kompaktsus ja kiirus. Siruulatus peab olema selle lahenduse puhul vähemalt 2000 mm, et värvima ulataks kõiki detaile. Lisaks tuleb hoida siruulatus minimaalsena, et robot saaks hõlpsasti manööverdada vastavalt vajadusele maksimaalse kiirusega. Kiirus on oluline, et roboti töö ajal värviliin seisma ei peaks. Järgnevas tabelis on võrreldud antud lahenduse jaoks olulisi omadusi.

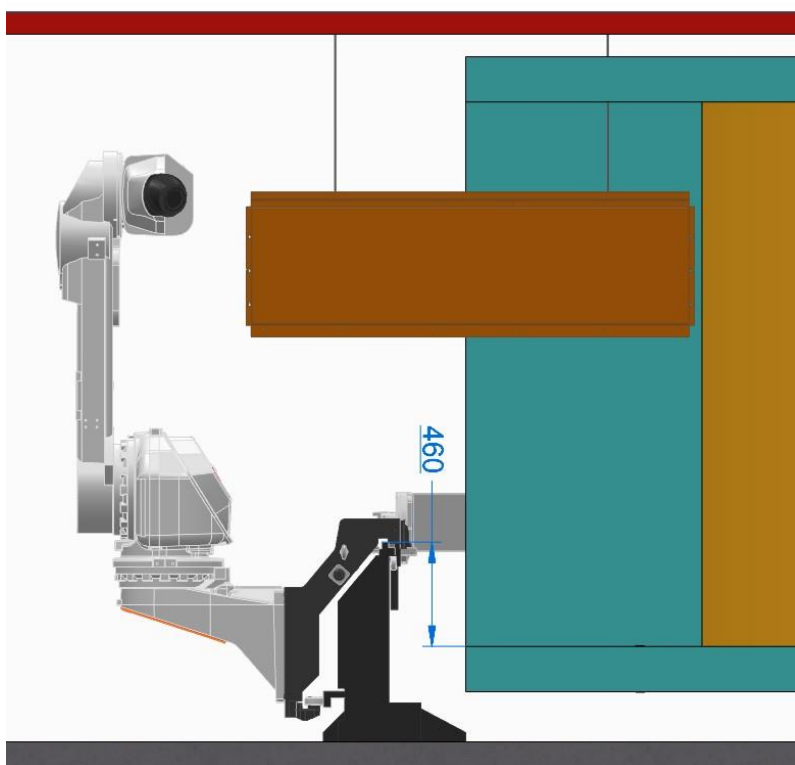
Tabel 6. Robotite võrdlus lahendus ühele

Tootja	Kuka	ABB
Mudel	KR 8 R2100-2 arc HW	IRB 5500-22
Siruulatus, mm	2101	2975
Seadme kaal, kg	260	600
IP klassifikatsioon	65; otsmik 54	66; otsmik 54

Lisaks on ABB robotil plahvatusohu kaitsesüsteem, mis vastab Euroopas ohupiirkonna tsoon ühele ja kahele. Eelneva tabeli võrdluses selgub ka, et Kuka robot on kompaktsem. Lahenduse jaoks valitakse ABB robot.

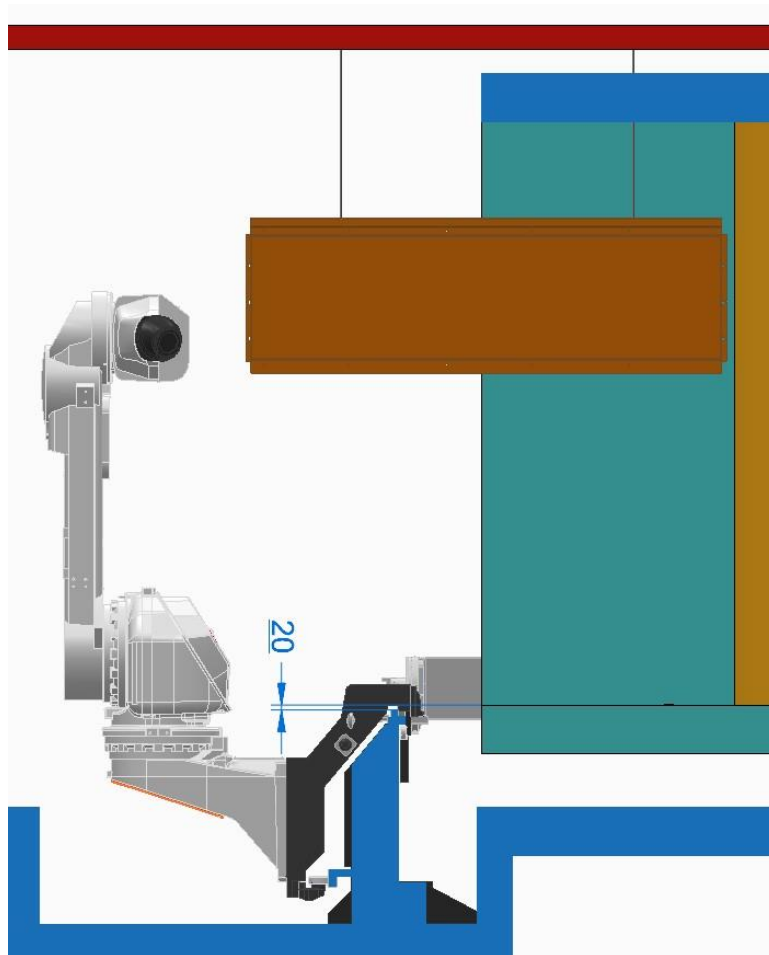
Varasemalt võrreldud Kuka ja ABB kahest lineaarteljest, on seadmed spetsifikatsioonide poolest sarnased (Tabel 4). Lineaartelje valikul lähtutakse roboti valikul tehtud argumendile ning lisaks, et seadmete ühilduvus oleks tagatud.

Kuna robotlahenduse ülemine piir hakkab olemasoleva põranda kõrguse vahe järgi detailide gabariitmõõte segama, siis tuleb ka arvestada betoonpõranda allapoole nihutamisega.



Joonis 9. Lahendus 1 lineaartelje ja värvikeskuse kõrguse vahe

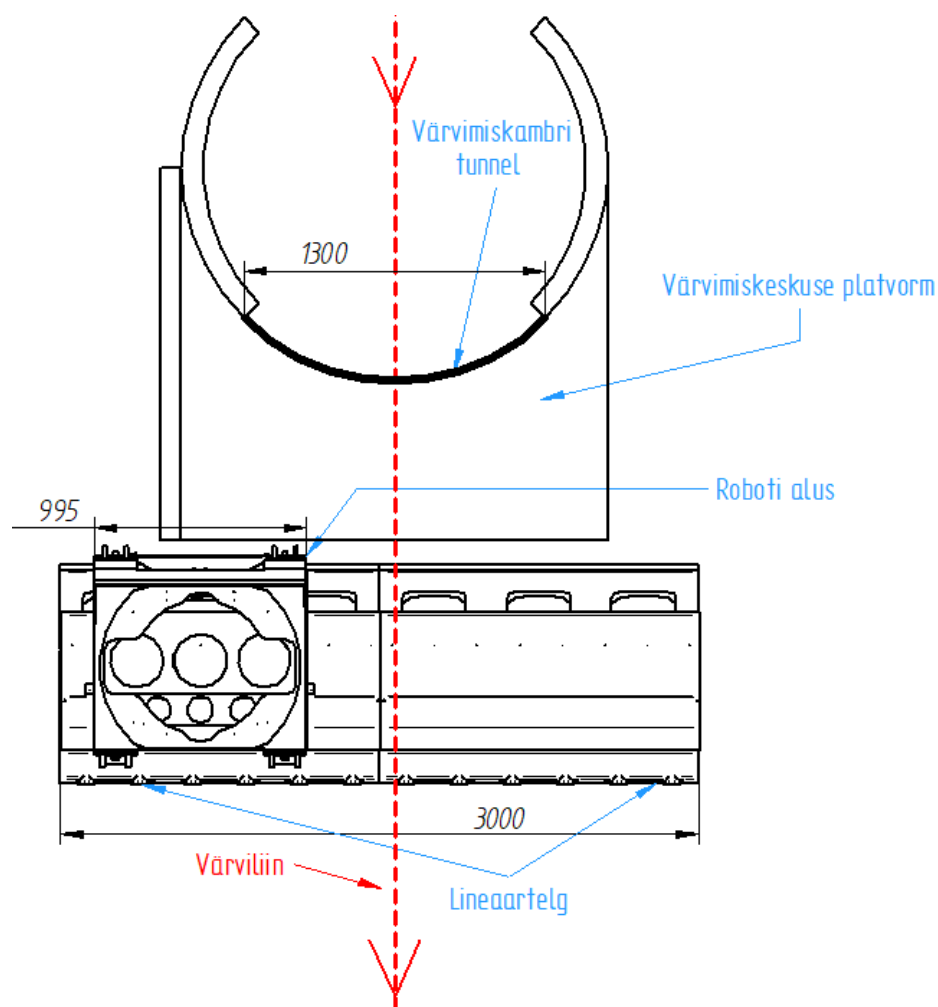
Põranda kõrgust viiakse alla poole pikkuses 3200 mm ja 1500 mm laiuses.



Joonis 10. Lahendus 1 lineaartelje ja värvikeskuse platvormi kõrguse vahe pärast põrandataseme alla viimist

5.1.2 Skeem

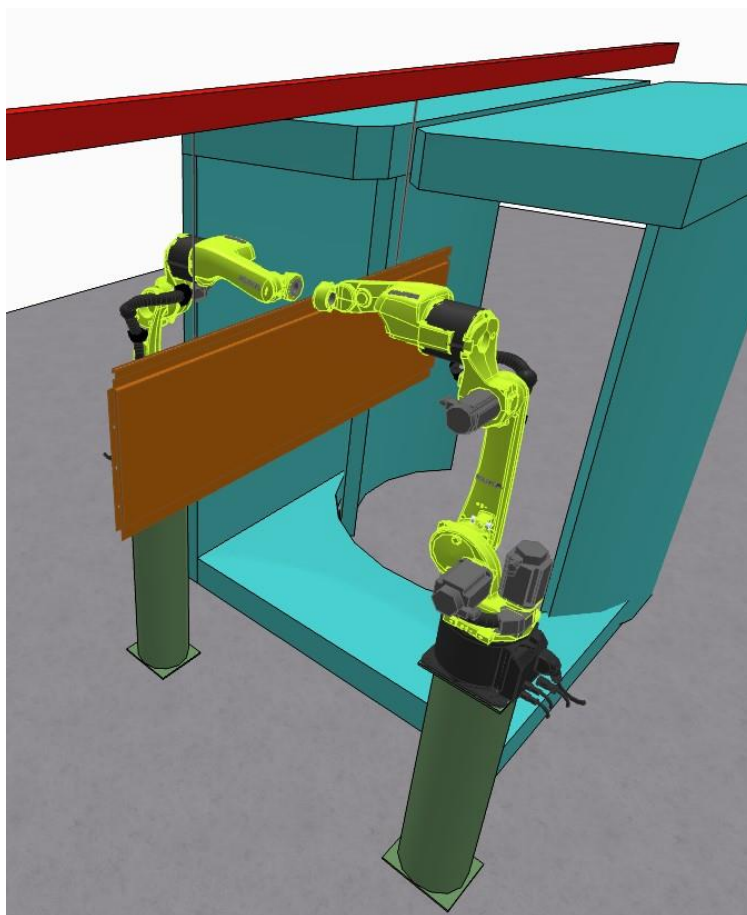
Skeemil on kujutatud robotisüsteemi ja värvimiskeskuse asetust. Robot paigaldatakse alusele, millega robotit liigutatakse vastavalt vajadusele. Värvimiskeskuse platvorm on põrandast 420 mm kõrgusel seega roboti lõplikul asetusel saab robot olla suunatud üles või värviliinist eemale.



Joonis 11. Värvimiskeskus ja lineaartelje paigutus (autori joonis)

5.2 Lahendus 2

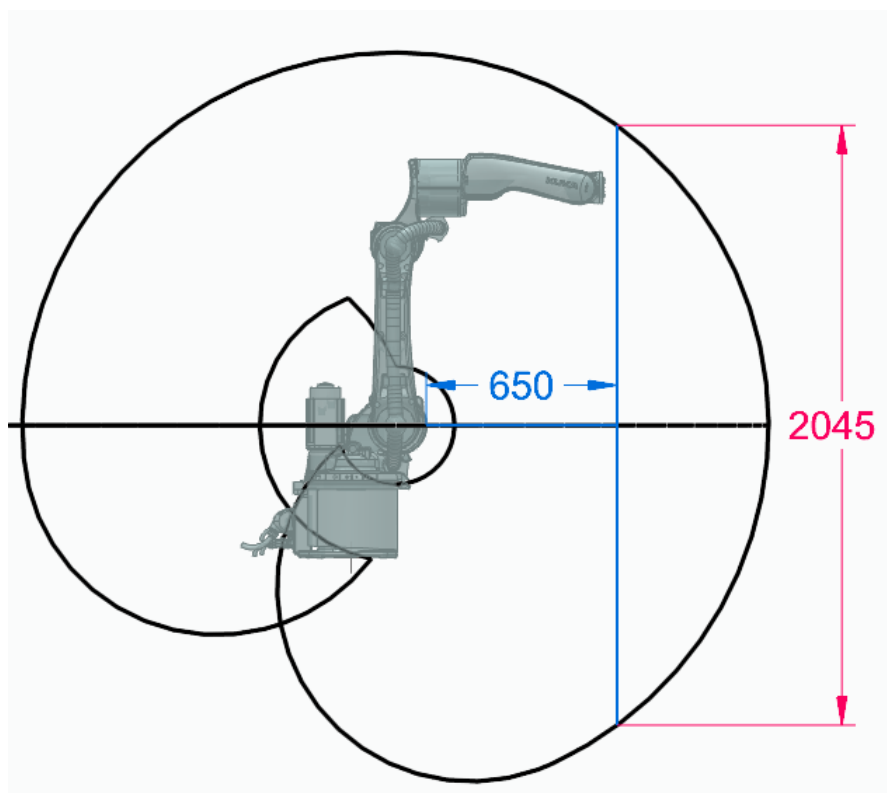
Teine lahendus koosneb kahest robotist kus üks robot asetseb ühel pool ja teine robot teisel pool värviliini. Tööstusrobotite ümber tuleb paigaldada turvaväravad, mis ühtivad ka maksimaalsete värviliini detailide gabariitmõõtmetega. St, et detailidele tuleb vabaks jätta liikumisaken, kust kaudu need kuivatusahju kantakse. Robotite kõrgus tuleb paika seada detailide keskmise kõrguse järgi, et robot saaks tööd teha kiirelt ja efektiivselt. Seda saab teha siruulatuse, telgede pöörlemisvõime ja eelmainitud detailide keskmise kõrguse võrdlemise ja analüüsi abil. Väiksemate kogustega detailid värvib tööline. Nendel puhkudel seisatakse robot, et värvija saaks seespool turvaväravaid tööd teha. Sellest lähtuvalt sätestatakse ruumikasutus võimalikult optimaalselt värvija jaoks, et jääks piisavalt tööruumi.



Joonis 12. Konstruksiooni lahendus 2 koos detailiga AD0000094769REA (autori joonis)

5.2.1 Roboti valik

Selle lahenduse roboti valiku juures tuleb silmas pidada, et kui seadmed paigaldatakse sammaste peale, siis nende siruulatus peab võimaldama värvida kõiki detaile ja ei tohi detailide liikumist liinil takistada. Värviliinile riputatakse detailid konksude abil, mis on minimaalselt 200 mm pikkuses. Lisaks jäävad detailid põrandast ohutusse kaugusse rohkem kui 200 mm. Lisaks on näidatud joonisel 7 värvimiskeskuse tunneli maksimaalne laius 1300 mm. Arvestame, et roboti siruulatus 650 mm seadmest eemal peab hakkab olema vähemalt 2000 mm.



Joonis 13. Lahendus 2 roboti siruulatus (autori joonis)

Võrdleme antud lahenduse jaoks ABB ja Kuka pakutavaid tööstusroboteid. Fanuci mudeleid võrdlusesse ei tooda enam, sest Fanuci värviroboteid ei ole Euroopas saada. Järgnevas tabelis on välja toodud üksnes vajalikud spetsifikatsioonid.

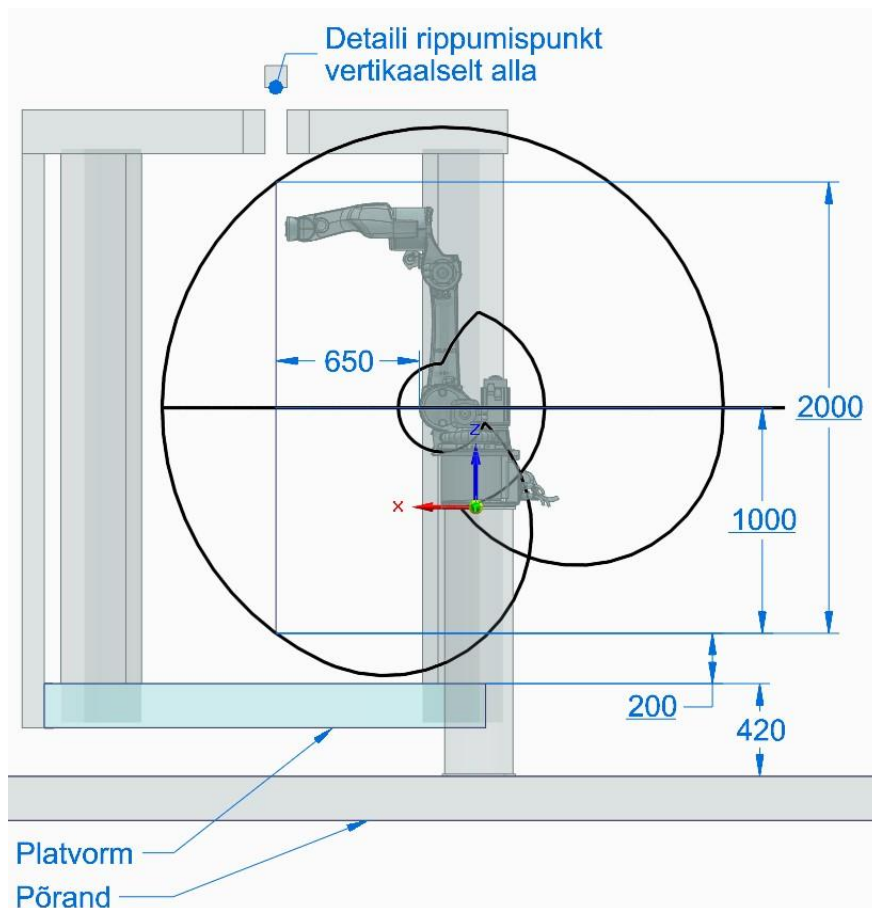
Tabel 7. Robotite võrdlus lahendus kahe jaoks

Tootja	Kuka	ABB
Mudel	KR 8 R1420 arc HW	IRB 52/1.45
Siruulatus, mm	1421	1450
IP klassifikatsioon	54	66, otsmik 54
Energia kulu, W	-	<800
Liidese kiirus, °/s	210-630	180-460

Mõlemal robotil on siruulatus piisav, kuid ABB robotil on IP klassifikatsioon tunduvalt parem. Selle peamine tähtsus on, et roboti kestvus tolmu- ja pulbervärvimis keskkonnas oleks võimalikult hea. Samuti on energia kulu heal tasemel võrreldes tabelis 4 Fanuci ja Universal Robotsi mudelitega. Lahendus kahe jaoks valitakse ABB IRB 52/1.45 robot.

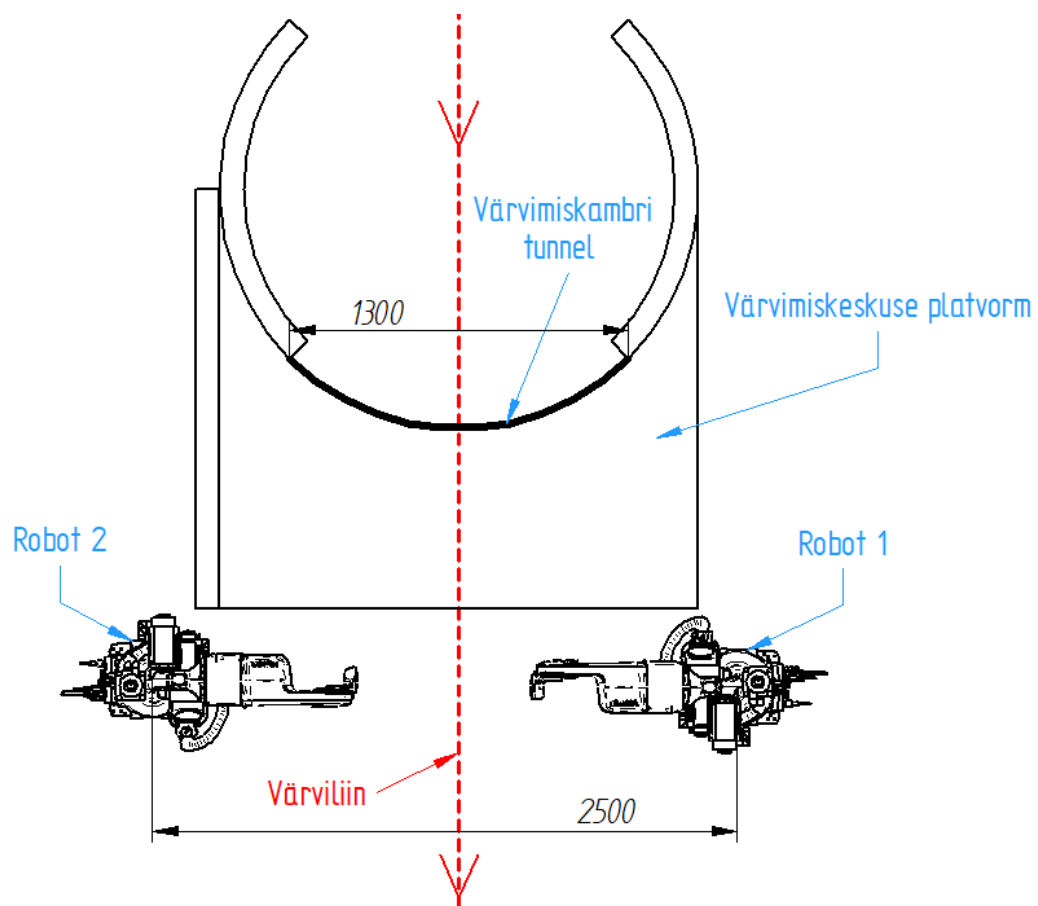
5.2.2 Roboti tugisammas

Robotile konstrueeritakse sobiv tugisammas vastavalt roboti siruulatus ja värviliini kõrgusele. Tugisamba kõrguse konstrueerimisel tuleb arvestada, et kahe roboti vahel tuleb ära jagada kogu detailide riputusala. Joonisel 9 on näha, et roboti keskosa ja põranda vahe on 1620 mm. Seega tugisamba kõrgus hakkab olema 1220 ± 20 mm.



Joonis 14. Tugisamba konstrueerimine (autori joonis)

5.2.3 Skeem



Joonis 15. Lahendus 2 robotite paigutus (autori joonis)

6 MAJANDUSLIK OSA

Majanduslikus osas käsitletakse seadmete hindasid, koguseid ja toodetava detaili sisendandmeid. Lahendusi on kaks seega tuleb võrrelda mõlema lahenduse kulusid ja tasuvusaega.

Seadmete maksumustest tehakse ülevaade, sest neid on vaja tasuvusaja arvutamisel.

Tabel 8. Lahendus 1 seadete ja lisatööde maksumused

Seade	Kogus, tk	Tükki hind, €	Summa, €
Robot (IRB 5500 22)	1	172000	172000
Lineaartelg	1		
Turva-valguskardinad	6	1250	7500
Põranda ava ehitustööd	-	16300	16300
			195800

Tabel 9. Lahendus 2 seadmete maksumused

Seade	Kogus, tk	Tükki hind, €	Summa, €
Robot (mudel)	2	72000	144000
Robotisammas	2	560	1120
Turva-valguskardinad	6	1250	7500
			152620

Tabelis 10 tuuakse suurima mahuga detaili tootmisandmed, sest seda kasutatakse edaspidi tasuvusaja arvutamisel.

Tabel 10. Detaili AD0000094769REA tootmisandmed

Toote kood	Orderi kogus, tk	Värvija orderi aeg, s	Orderi pindala, m ²
AD0000094769REA	30	2376	40,8

Tasuvusaeg arvutatakse edaspidi suuremahulise toote näitel lahendus üks jaoks.

Värvija efektiivne tööaeg:

$$V_{ef} = 8 - 1,5 = 6,5 \text{ h},$$

kus V_{ef} – värvija efektiivne tööaeg, h.

Roboti/robotite efektiivne tööaeg:

$$R_{ef} = 8 - 1 = 7 \text{ h},$$

kus R_{ef} – robotlahenduse efektiivne tööaeg, h.

Värvija poolt värvitav pindala ühe tööpäeva jooksul leitakse järgmiselt (1) [19]:

$$V_{ts} = \frac{V_{ef} * V_{op}}{V_{ot}}, \quad (1)$$

kus V_{ts} – värvija poolt värvitav pindala 8 h jooksul;

V_{ef} – värvija efektiivne tööaeg, s;

V_{op} – värvitav orderi pindala, m²;

V_{ot} – värvija orderi värvimisaeg, s;

$$V_{ts} = \frac{23400 * 40,8}{2376} = 401,8 \text{ m}^2.$$

Värvija poolt värvitav pindala ühe aasta jooksul leitakse järgmiselt (2) [19]:

$$V_{as} = V_{ts} * T_f, \quad (2)$$

kus V_{as} – värvija poolt värvitav pindala aastas, m²;

V_{ts} – värvija poolt värvitav pindala 8 h jooksul, m²;

T_f – 255 – aastane efektiivsete päevade hulk, tk;

$$V_{as} = 401,8 * 255 = 102459 \text{ m}^2.$$

Robotlahenduse orderi värvimisaeg leitakse järgnevalt (3) [19]:

$$R_{op_1} = T_{st_1} * V_{op}, \quad (3)$$

kus R_{op_1} – robotlahenduse orderi värvimisaeg, s;

T_{st_1} – robotlahenduse värvimiskiirus lihtsa struktuuriga detailile, m²/s;

V_{op} – värvitav orderi pindala, m²;

$$R_{op_1} = 0,5 \frac{\text{m}^2}{\text{min}} * 60 * 40,8 = 1224 \text{ s}.$$

Robotlahenduse värvitav pindala ühe tööpäeva jooksul leitakse järgmiselt (4) [19]:

$$R_{ts_1} = \frac{R_{ef} * V_{op}}{R_{op_1}}, \quad (4)$$

kus R_{ts_1} – robotlahenduse värvitav pindala 8 h jooksul, m²;

R_{ef} – robotlahenduse efektiivne tööaeg, h;

V_{op} – värvitav orderi pindala, m²;

R_{op_1} – robotlahenduse orderi värvimisaeg, s;

$$R_{ts_1} = \frac{7 * 60 * 60 * 40,8}{1224} = 840 \text{ m}^2.$$

Robotlahenduse värvitav pindala aasta jooksul leitakse järgmiselt (5) [19]:

$$R_{as_1} = R_{ts_1} * T_f, \quad (5)$$

kus R_{as_1} – robotlahenduse poolt värvitav pindala aastas, m²;

R_{ts_1} – robotlahenduse poolt värvitav pindala 8 h jooksul, m²;

T_f – 255 – aastane efektiivsete päevade hulk, tk;

$$R_{as_1} = 840 * 255 = 214200 \text{ m}^2.$$

Efektiivsuse tõus (6) [19]:

$$E_{t1} = \frac{R_{as_1}}{V_{as}} * 100, \quad (6)$$

kus E_{t1} – efektiivsuse tõus, %;

R_{as_1} – robotlahenduse poolt värvitav pindala aastas, m²;

V_{as} – värvija poolt värvitav pindala aastas, m²;

$$E_{t1} = \frac{214200}{102459} * 100 = 209 \text{ \%}.$$

Aastane tööjõukulu ettevõttele (7) [19]:

$$A_t = O_{ku} * 12, \quad (7)$$

kus A_t – aastane tööjõukulu ettevõttele, €;

O_{ku} – igakuine palgafond operaatori kohta, €;

$$A_t = 1459 * 12 = 17508 \text{ €}.$$

Aastane kulu roboti elektrienergiale (8) [19]:

$$R_{at} = R_{kt} * R_{ef} * T_f * E_h, \quad (8)$$

kus R_{at} – robotlahenduse aastane tarbimine, €;

R_{kt} – 2,5 – kõikide robotlahenduse seadmete keskmine voolutarbimine kokku, kW;

R_{ef} – robotlahenduse efektiivne tööaeg, h;

T_f – 255 – aastane efektiivsete päevade hulk, tk;

E_h – 0,091 – keskmine elektrienergia hind 2023 aastal, €/kWh;

$$R_{at} = 2,5 * 7 * 255 * 0,091 = 406 \text{ €}.$$

Aastane ettevõtte kokkuhoid robotlahenduse rakendamisest (9) [19]:

$$A_{k_1} = \frac{A_t * E_{t_1}}{100} - R_{at}, \quad (9)$$

kus A_{k_1} – aastane kokkuhoid, €;

A_t – aastane tööjõukulu, €;

E_{t_1} – efektiivsuse tõus, %;

R_{at} – robotlahenduse aastane tarbimine, €;

$$A_{k1} = \frac{17508 * 209}{100} - 406 = 36185,72 \text{ €}.$$

Robotlahenduse kiireim võimalik tasuvusaeg (10) [19]:

$$T_{max_1} = \frac{R_{max_1}}{A_{k_1}}, \quad (10)$$

kus T_{max_1} – kiireim tasuvusaeg, a;

R_{max_1} – robotlahenduse maksumus, €;

A_{k_1} – aastane kokkuhoid, €;

$$T_{max_1} = \frac{195800}{36185,72} = 5,41 \text{ a}.$$

Robotlahenduse tasuvusaeg riskiteguriga (11) [19]:

$$T_{a_1} = T_{max_1} * R_{risk}, \quad (11)$$

kus T_{a_1} – tasuvusaeg, a;

T_{max_1} – kiireim tasuvusaeg, a;

R_{risk} – 2 = riskitegur;

$$T_{a_1} = 5,41 * 2 = 10,82 \text{ a}.$$

Arvutustest selgub, et esimese lahenduse tasuvusaeg on värvimise efektiivsuse tõus 109% ja seadmete tasuvusaeg riskiteguriga 10,82 aastat.

Järgnevalt leitakse tasuvusaeg lahendus kahele.

Robotlahenduse orderi värvimisaeg leitakse järgnevalt (12) [19]:

$$R_{op_2} = T_{st_2} * V_{op}, \quad (12)$$

kus R_{op_2} – robotlahenduse orderi värvimisaeg, s;

T_{st_2} – robotlahenduse värvimiskiirus lihtsa struktuuriga detailile, m²/s;

V_{op} – värvitav orderi pindala, m²;

$$R_{op_2} = 0,25 \frac{m^2}{\min} * 60 * 40,8 = 612 \text{ s}.$$

Robotlahenduse värvitav pindala ühe tööpäeva jooksul leitakse järgmiselt (13) [19]:

$$R_{ts_2} = \frac{R_{ef} * V_{op}}{R_{op_2}}, \quad (13)$$

kus R_{ts_2} – robotlahenduse värvitav pindala 8 h jooksul, m²;

R_{ef} – robotlahenduse efektiivne tööaeg, h;

V_{op} – värvitav orderi pindala, m²;

R_{op_2} – robotlahenduse orderi värvimisaeg, s;

$$R_{ts_2} = \frac{7 * 60 * 60 * 40,8}{612} = 1680 \text{ m}^2.$$

Robotlahenduse värvitav pindala aasta jooksul leitakse järgmiselt (14) [19]:

$$R_{as_2} = R_{ts_2} * T_f, \quad (14)$$

kus R_{as_2} – robotlahenduse poolt värvitav pindala aastas, m²;

R_{ts_2} – robotlahenduse poolt värvitav pindala 8 h jooksul, m²;

T_f – 255 – aastane efektiivsete päevade hulk, tk;

$$R_{as_2} = 1680 * 255 = 428400 \text{ m}^2.$$

Efektiivsuse tõus (15) [19]:

$$E_{t_2} = \frac{R_{as_2}}{V_{as}} * 100, \quad (15)$$

kus E_{t_2} – efektiivsuse tõus, %;

R_{as_2} – robotlahenduse poolt värvitav pindala aastas, m²;

V_{as} – värvija poolt värvitav pindala aastas, m²;

$$E_{t_2} = \frac{428400}{102459} * 100 = 418 \text{ \%}.$$

Aastane ettevõtte kokkuhoid robotlahenduse rakendamisest (16) [19]:

$$A_{k_2} = \frac{A_t * E_{t_2}}{100} - R_{at}, \quad (16)$$

kus A_{k_2} – aastane kokkuhoid, €;

A_t – aastane tööjõukulu, €;

E_{t_2} – efektiivsuse tõus, %;

R_{at} – robotlahenduse aastane tarbimine, €;

$$A_{k_2} = \frac{17508 * 418}{100} - 406 \approx 72777 \text{ €}.$$

Robotlahenduse kiireim võimalik tasuvusaeg (17) [19]:

$$T_{max_2} = \frac{R_{max_2}}{A_{k_2}}, \quad (17)$$

kus T_{max_2} – kiireim tasuvusaeg, a;

R_{max_2} – robotlahenduse maksumus, €;

A_{k_2} – aastane kokkuhoid, €;

$$T_{max_2} = \frac{152620}{72777} = 2,09 \approx 2,1 \text{ a}.$$

Robotlahenduse tasuvusaeg riskiteguriga (18) [19]:

$$T_{a_2} = T_{max_2} * R_{risk}, \quad (18)$$

kus T_{a_2} – tasuvusaeg, a;

T_{max_2} – kiireim tasuvusaeg, a;

R_{risk} – 2 = riskitegur;

$$T_{a_2} = 2,1 * 2 = 4,2 \text{ a.}$$

Arvutustest selgub, et teise lahenduse tasuvusaeg on värvimise efektiivsuse tõus 318% ja seadmete tasuvusaeg riskiteguriga 4,2 aastat.

Tabel 11. Majandus osa kokkuvõte

Lahenduse number	Efektiivsuse tõus, %	Tasuvusaeg, a
1	109	10,82
2	318	4,2

KOKKUVÕTE

Antud töös uuriti ettevõtte AQ Components Kodara OÜ värviliini tootmisparameetreid, mis tehnoloogiaid kasutatakse erinevates värvimise töötappides ja kui efektiivne on värviliin. Analüüsiti hetkel toodetavate detailide mahu ja kuju eelistusi ühe aasta jooksul toodetavate detailide hulgast.

Tehti uuring, et mis võimalused on robotiseerimiseks tänapäevases tootmiskeskkonnas ja mida saaks olemasolevas värvikeskuses rakendada. Võrreldi robotite tüüpe ja erinevate tootjate pakutavaid värviroboteid. Lisaks võrreldi pakutavaid lineaartelje võimalusi. Leiti, et roboti tüübi parameetrite järgi tuleb kasutada tööstusrobotit.

Pakuti välja kaks lahendust värvikeskuse robotiseerimiseks. Seati tähelepanu alla olulised faktorid lahenduse efektiivseks toimimiseks. Seejärel võrreldi seadmete parameetreid, projekteeriti lisadetail või muudeti paigalduskeskkonna tingimusi. Tuginedes eelnevale valiti sobivad seadmete tüübid.

Majanduslikult arutati kahele lahendusele efektiivsuse tõus ja riskiteguriga tasuvusaeg. Ettevõttele on oluline, et tasuvusaeg oleks võimalikult madal seega valiti kahe lahenduse vahel teine lahendus, sest selle efektiivsuse tõus oli 209% võrra parem ja riskiteguriga tasuvusaeg 6,62 aasta võrra lühem.

SUMMARY

The present thesis examined the production parameters of the coating line at AQ Components Kodara OÜ, focusing on the technologies applied in various painting stages and assessing the efficiency of the coating line. Analysis was conducted on the preferences for volume and shape of currently produced details from the array of details manufactured over the course of one year.

A thesis was conducted to explore the possibilities for automation in modern manufacturing environments and potential applications within the existing coating center. Comparison was made between types of robots and the coating robot options available from various manufacturers. Additionally, the capabilities of linear axes were compared. It was determined that, based on the parameters of the robot type, an industrial robot must be utilized.

Two solutions for automating the coating center were proposed. Attention was directed towards key factors for the effective operation of each solution. Subsequently, equipment parameters were compared, additional details were designed, or installation environment conditions were modified. Based on the foregoing, suitable types of equipment were selected.

Economically, the efficiency improvement and the payback period considering risk factors were calculated for both solutions. It is essential for the company that the payback period is as low as possible, hence the second solution was chosen between the two, as its efficiency improvement was 209% superior and its payback period considering risk factors was 6.62 years shorter.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] J. Tann, „MANIPULAATORI RAKENDAMINE TOOTMISÜKSUSESSE“, Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2018.
- [2] O. Kaldre, „VÄRVILIINIDE TOOTMISEFEKTIIVSUSE HINDAMINE ETTEVÕTTE ETS NORD AS NÄITEL“, Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2020.
- [3] S. Strandberg, „PULBERVÄRVILIINI KONSTRUEERIMINE“, Tallinna Tehnikakõrgkool, Tallinn, 2017.
- [4] „AQ Components Kodara OÜ“, Aqgroup. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.aqgroup.com/en/aqcomponentskodara/aq-components-kodara-ou>
- [5] „Pulbervärv jäljendab metallpinnal puitu, marmorit ja graniiti“, aripaev. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.aripaev.ee/uudised/2006/01/17/pulbervarv-jaljendab-metallpinnal-puitu-marmorit-ja-graniiti>
- [6] „Metalltoodete töötlemiseks kaalu pulbervärvimist“, aripaev. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.aripaev.ee/uudised/1998/08/25/metalltoodete-tootlemiseks-kaalu-pulbervarvimist>
- [7] „How to order an overhead conveyor for powder coating line?“, linkedin. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.linkedin.com/pulse/how-order-overhead-conveyor-powder-coating-line-daniel-an>
- [8] „What is a cobot?“, wiredworkers. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.wiredworkers.io/blog/the-differences-between-industrial-robots-and-collaborative-robots/>
- [9] „What is an industrial robot?“, wiredworkers. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.wiredworkers.io/blog/the-differences-between-industrial-robots-and-collaborative-robots/>
- [10] „GoFa™ CRB 15000“, new.abb. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/collaborative-robots/crb-15000>
- [11] „UR20“, Universal-robots. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.universal-robots.com/products/ur20-robot/>
- [12] „KR CYBERTECH nano ARC“, Kuka. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/industrial-robots/kr-cybertech-nano-arc>

- [13] „P-1000iA Paint Robot“, Fanucamerica. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.fanucamerica.com/products/robots/series/paint/p-1000ia-paint-robot>
- [14] „IRB 5500-22/23“, new.abb. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://new.abb.com/products/robotics/robots/paint-robots/irb-5500-22>
- [15] „Robots And Automation What Is A 7th Axis?“, ethosautomation. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://ethosautomation.com/general/robots-and-automation-what-is-a-7th-axis/>
- [16] „KUKA KR210 R2700 Linear 6 Axis Industrial Robot For Welding / Palletizing“, shgongboshi. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.shgongboshi.com/sale-34557005-kuka-kr210-r2700-linear-6-axis-industrial-robot-for-welding-palletizing.html>
- [17] „KUKA linear unit KL 100“, Kuka. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/robot-periphery/linear-units/kl-100>
- [18] „A guide to safety light curtains“, Theengineer. Vaadatud: 18. aprill 2024. [Online]. Available at: <https://www.theengineer.co.uk/content/product/a-guide-to-safety-light-curtains/>
- [19] P. Kulu, *Mehaanikainseneri käsiraamat*. Tallinn: Tallinna Tehnikaülikool, 2021.

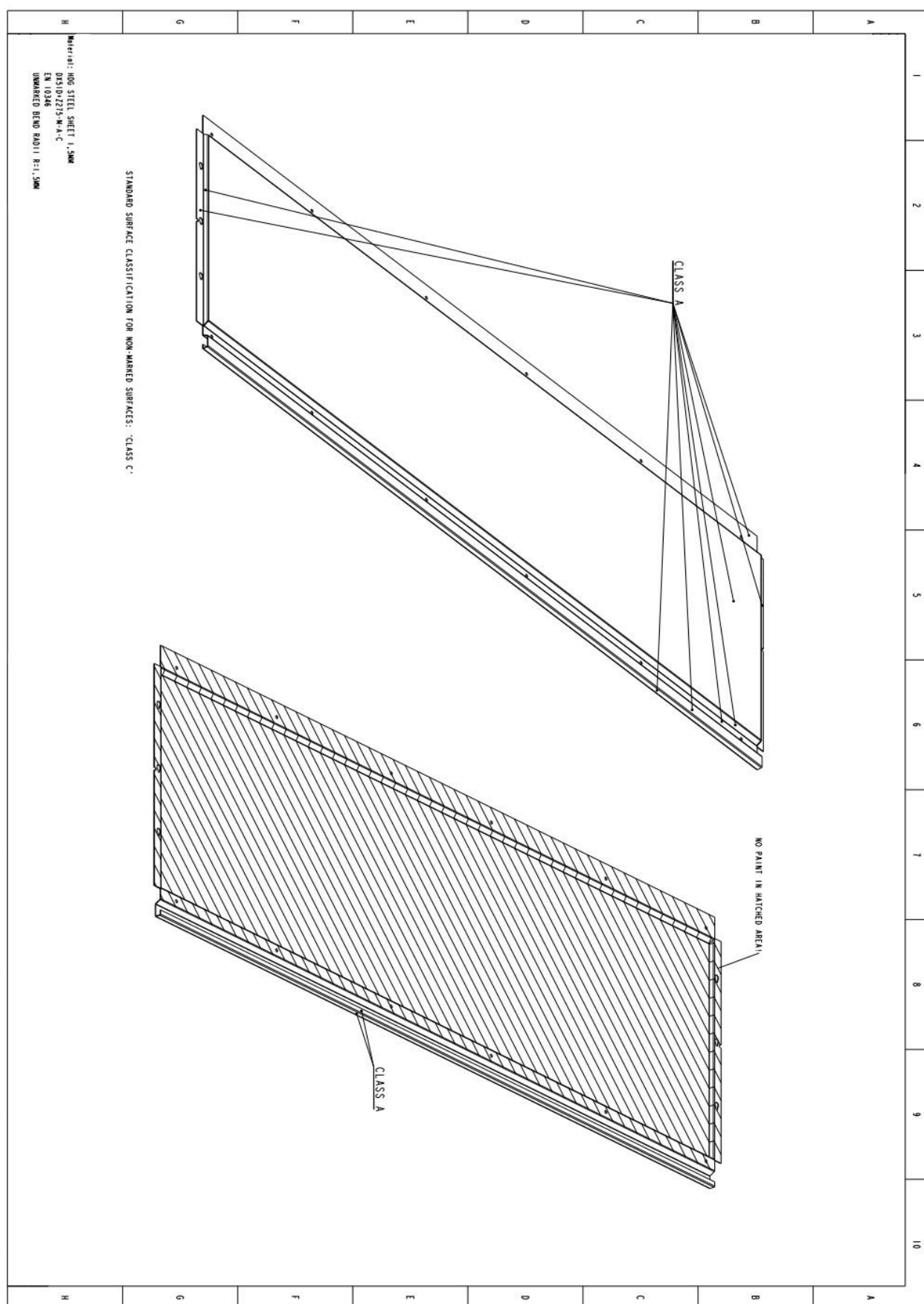
LISAD

Lisa 1. Ettevõtte robotiseerimiseks sobilikud detailid ühe aasta jooksul

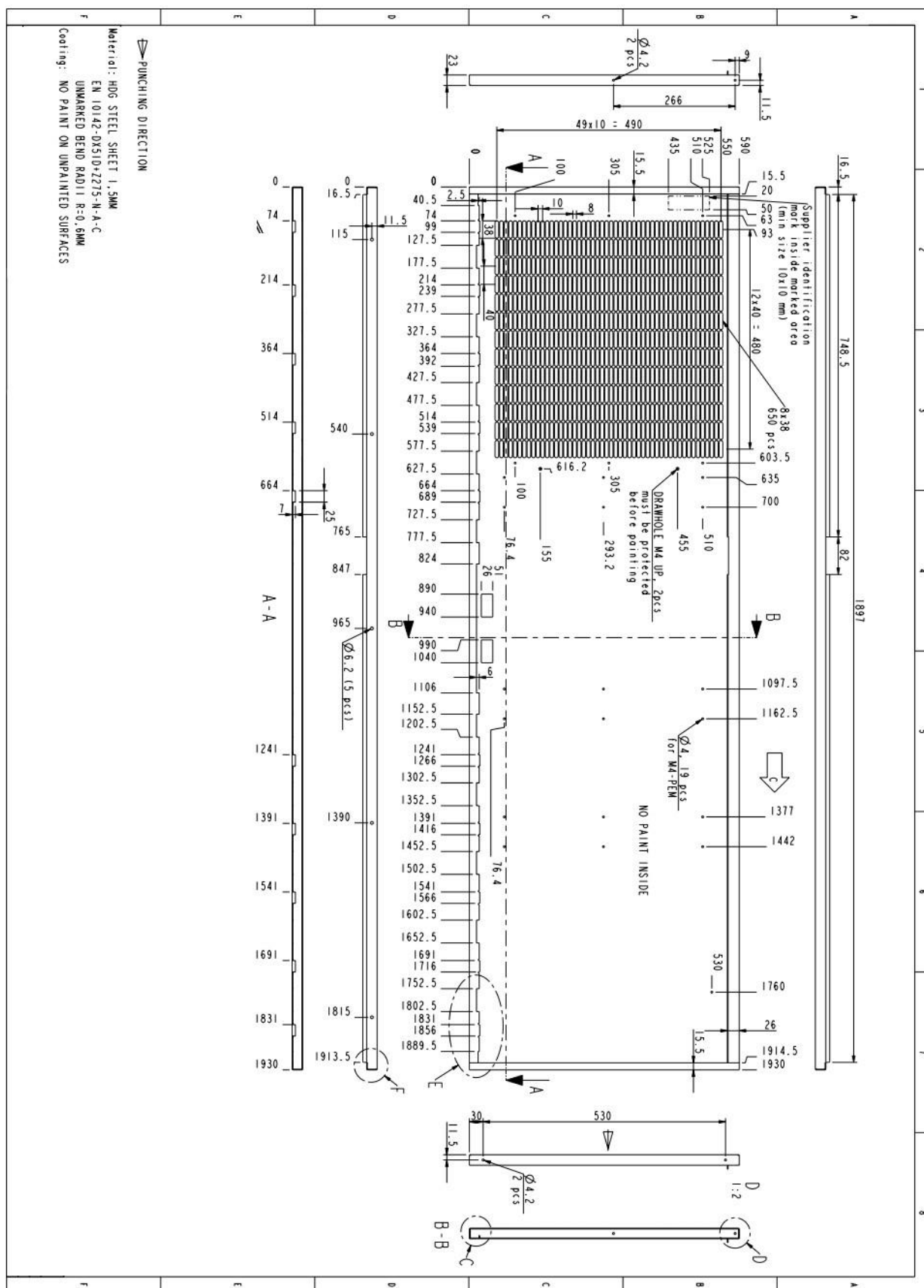
Toote kood	Toote nimetus	Värvitav pindala ühe aasta jooksul, m ²	Kogus orderi kohta, tk	Orderi aeg, t	Orderi pindala, m ²	Kogus, tk
AD0000094769REA	END PLATE (BLACK)	28364,16	30.00	0.66	40,8	20856
AD50000002851REB	DOOR KIT	2358,24	10.00	0.47	13,6	5202
AD50000033399RBA	PCB room cover R11	2249,8	490.00	1.72	171,5	393
AD0000009198RDB	DOOR KIT	1981,76	10.00	0.47	17,6	3378
1009208RBA	Wall sheet	1897,2	42.00	3.42	117,18	485
1009312RBA	Wall sheet	1858,14	1.00	3.42	2,79	19980
1009329RAA	Stiffener plate	1091,5	99.00	0.60	36,63	893
1009071RCA	Air duct	976,8	34.00	1.16	74,8	391
1009230RAA	Wall sheet	965,34	21.00	3.42	58,59	494
1009378RAA	Rack TR exhaust duct	961,88	20.00	0.48	27,8	1038
AD50000000988RKB	DOOR KIT	909,86	10.00	0.47	9,7	2814
AD50000001297REB	Door kit	764,66	10.00	0.47	15,57	1473
1009094RCA	Interface plane assy	649,74	21.00	0.52	30,87	63
1009157RBA	Air duct	520,8	20.00	1.16	42	372
1009377RAA	Rack TR exhaust duct	481,12	44.00	0.48	54,56	26
AD0000134584RDA	Cover of control unit	475,2	108.00	0.46	12,96	1100
AL1009227RAA	Rack wall sheet	449,28	21.00	1.29	43,68	308
1009206RBA	Wall sheet	442,32	43.00	3.42	98,04	135
AL1009205RBA	Rack wall sheet assy	432,64	20.00	1.3	41,6	312
1009228RAA	Wall sheet	420,48	44.00	3.42	96,36	13
AL1009309RBA	Rack wall sheet assy	398,72	23.00	1.3	51,52	23
1009310RBA	Wall sheet	383,52	44.00	3.42	89,76	128
1009135RCA	Interface plane assy	372	20.00	0.52	30	372
AD68242975RCA	Front cover assembly	356,72	39.00	0.68	19,76	541
AL1009155RCA	Rack air duct	289	18.00	0.96	30,6	283

Toote kood	Toote nimetus	Värvitav pindala ühe aasta jooksul, m²	Kogus orderi kohta, tk	Orderi aeg, t	Orderi pindala, m²	Kogus, tk
1009392RAA	Lift arm top	281,6	160.00	0.32	17,6	480
1009070RCA	Air duct	261,36	44.00	1.16	56,76	13
1009393RAA	Lift arm top	256	160.00	0.32	12,8	600
1009156RCA	Air duct	253,44	44.00	1.16	58,08	130
1009134RCA	Interface plane assy	232,32	45.00	0.52	54,45	128
1009093RCA	1009093-C-AT	228,92	43.00	0.80	50,74	135
AL1009133RCA	RACK interface	208,32	21.00	0.82	26,04	240
AL_PLI-2108RHA	138-111181-48	200	25.00	1.50	50	120
AL6520605RAA	Upper cover	188,6	48.00	0.14	19,68	287
1008982RCA	Rack louvre	187,72	125.00	0.13	2,5	2252
VOK2-A1S8S1RC10	Velje keeviskoost	185,6	295.00	3.19	92,8	60
AL6920340	Painted product	183,6	24.00	0.39	12,24	450
AC999003-AEA-RCA	-AEA END SHIELD	163,91151	4.00	0.27	1,237068	3975
1008738RCA	Fan grill	135,24	185.00	0.24	25,9	156
AL6902910RDA	FND-1117 EnclosurePL1,5 450x166x137	109,2	30.00	0.44	12,6	260
AD50000003759RCB	DOOR KIT	108,8	10.00	0.47	13,6	240
AD50000031789RAA	Cover of control unit	105,36	84.00	0.46	10,08	313
AL6903085RAA	FND-1113 Load bearing enclosure	102	20.00	0.67	3	1020
1009207RBA	Wall sheet	99,6	20.00	3.42	49,8	60
AC999003-AEA-RCA	-AEA END SHIELD					558
ACLF1746-U-RFA	U-END SHIELD SIZE 2					528

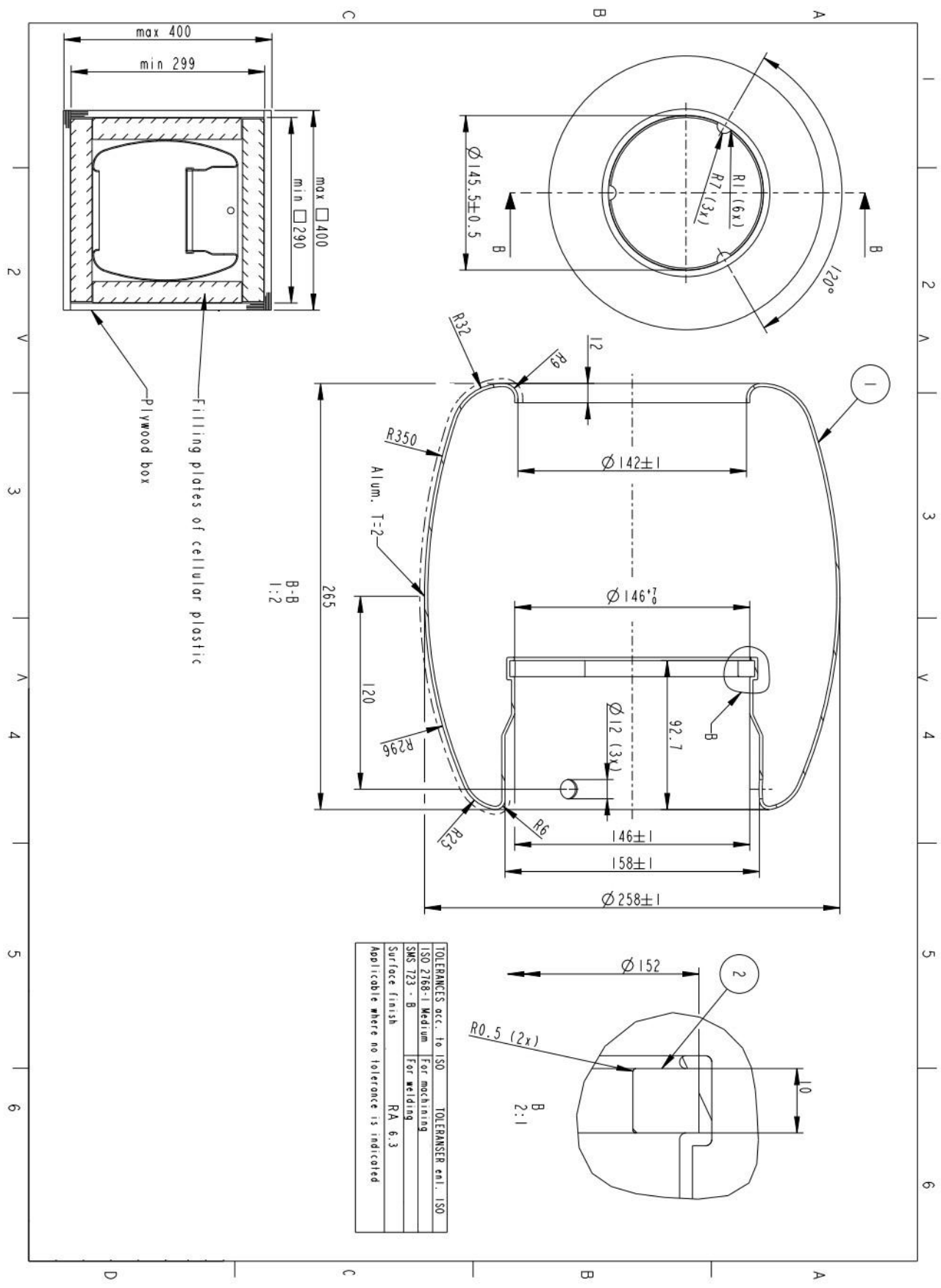
Lisa 2. Toote AD0000094769REA joonis

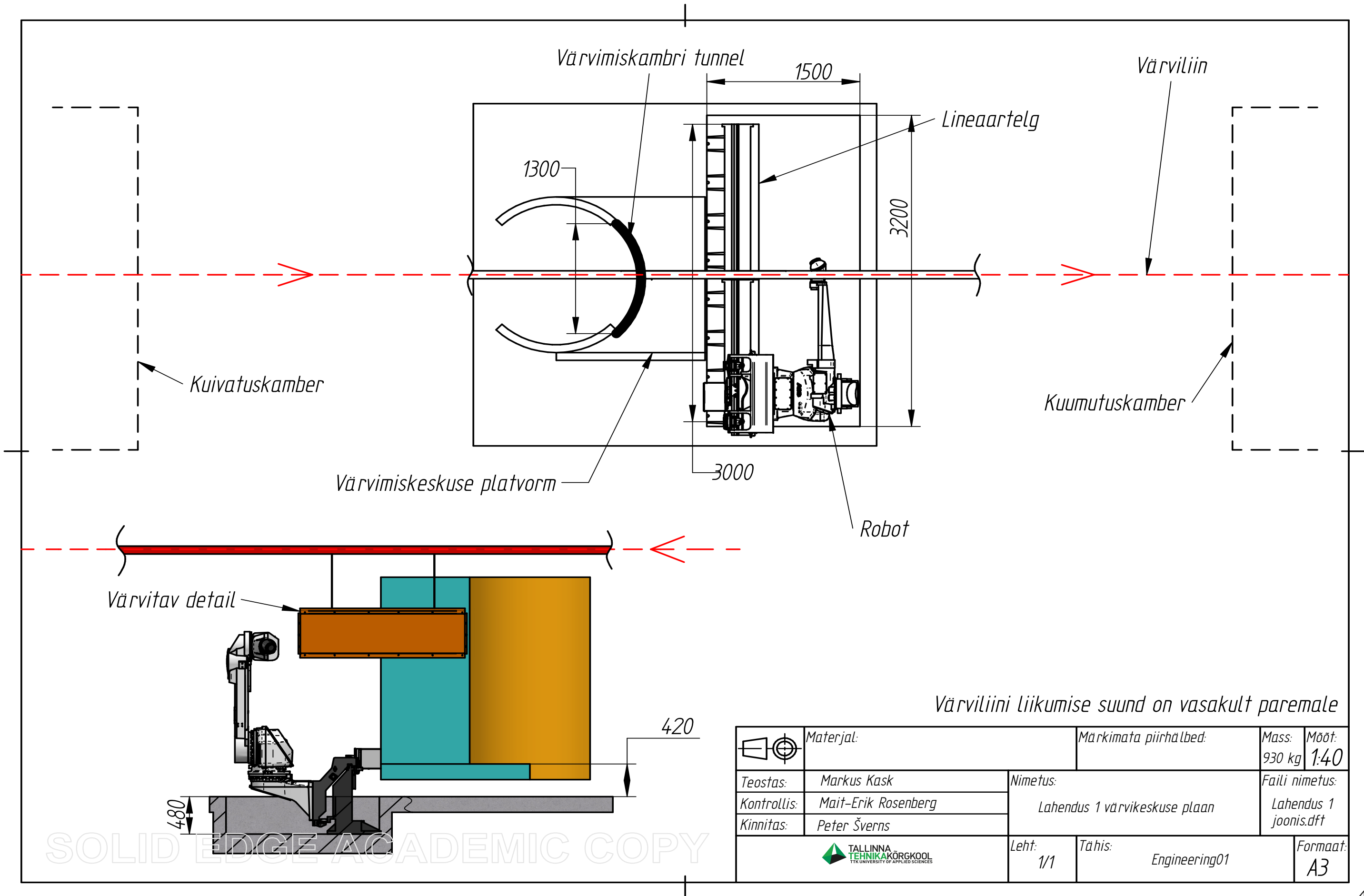


Lisa 3. Toote AD5000002851REB joonis

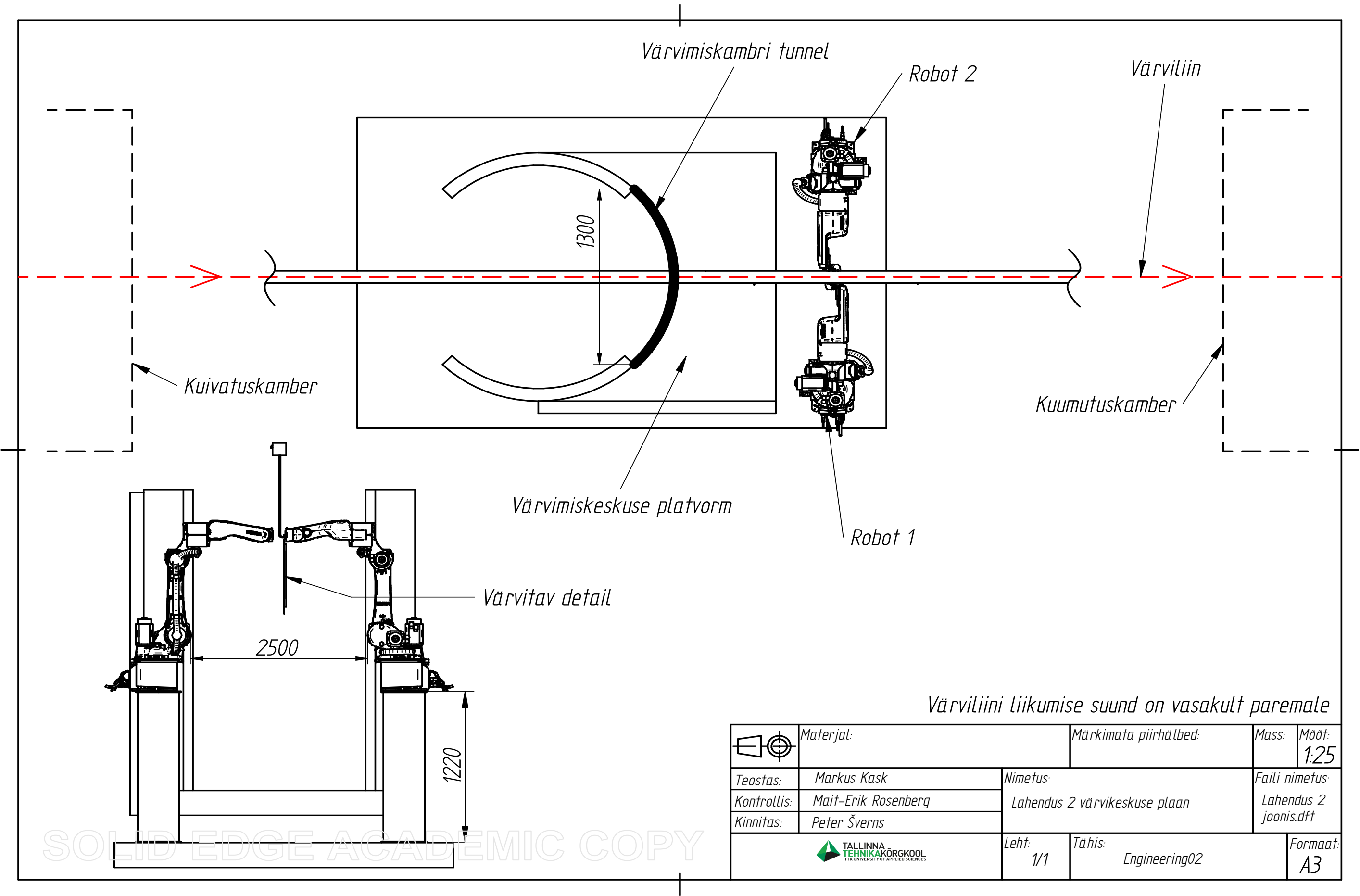


Lisa 4. Toote AC999003-AEA-RCA joonis





	Materjal:	Märkimata piirhálbed:	Mass: 930 kg	Mõõt: 1:40
Teostas:	Markus Kask	Nimetus:	Lahendus 1 värvikeskuse plaan	
Kontrollis:	Mait-Erik Rosenberg			
Kinnitas:	Peter Šverns			Faili nimetus: Lahendus 1 joonis.dft
		Leht: 1/1	Tähis: Engineering01	Formaat: A3



	Materjal:	Märkimata piirhálbed:	Mass:	Mööd: 1:25
Teostas:	Markus Kask	Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis:	Mait-Erik Rosenberg	Lahendus 2 värvikeskuse plaan	Lahendus 2	
Kinnitas:	Peter Šverns		joonis.dft	
		Leht: 1/1	Tähis: Engineering02	Formaat: A3