



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

# **SÕIDUKI TURVAVARUSTUSE KOMPONENDI PAKKIMISPROTSESSI AUTOMATISEERIMINE**

## **AUTOMATING THE PACKING PROCESS OF VEHICLE SAFETY SYSTEM COMPONENT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Lauri Lillmaa

Üliõpilaskood 183688MATM

Juhendaja: Maarjus Kirs, teadur

# AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

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

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

"25" mai 2020

Autor: .....

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....

/ nimi ja allkiri /

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Lauri Lillmaa (*autori nimi*) (sünnikuupäev:17.11.1994)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Sõiduki turvavarustuse komponendi pakkimisprotsessi automatiseerimine,

(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Maarjus Kirs.

(*juhendaja nimi*)

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

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

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

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

---

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

\_\_\_\_\_ (*allkiri*)

\_\_\_\_\_ (*kuupäev*)

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Lauri Lillmaa, 183688MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18 - Tootearendus ja tootmistehnika, tootmistehnika ja robotika

**Juhendaja(d):** Teadur, Maarjus Kirs, 620 3256

**Konsultant:** Priit Pärna, tehnikajuht

AS Norma, 6500 442, norma@autoliv.com

### Lõputöö teema:

Sõiduki turvavarustuse komponendi pakkimisprotsessi automatiseerimine

Automating the packing process of vehicle safety system component

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Automatiseerimise otstarbekuse analüüs.
2. Võimalike lahenduste analüüs.
3. Lahenduse väljatöötamine, komponentide valik, projekteerimine.

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ettevõtte tutvustus, protsessi kirjeldus, toote kirjeldus, probleemi püstitus.	29.03.2020
2.	Automatiseerimise otstarbekuse analüüs, võimalike lahenduste analüüs, tasuvusarvutused.	12.04.2020
3.	Projekteerimine, komponentide valik, hinnakalkulatsioon.	10.05.2020
4.	Töö vormistamine, trükkimine ja köitmine.	20.05.2020

**Töö keel:** Eesti keel **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "25" mai 2020a

**Üliõpilane:** Lauri Lillmaa ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Maarjus Kirs ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Konsultant:** Priit Pärna ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** Martin Eerme ..... ".....".....201....a  
/allkiri/

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
SISSEJUHATUS .....	8
1 ETTEVÕTTEST .....	9
2 RELSI VALMISTAMISE TEHNOLOOGIA .....	11
2.1 Relsi stantsimine .....	11
2.1.1 Press ja rakis .....	12
2.2 Detailide pesemine .....	14
2.2.1 Detailide pakkimine kasti .....	14
2.3 Isotermiline karastus.....	15
3 RELSI PAKKIMISE AUTOMATISEERIMINE .....	19
3.1 Taustinformatsioon .....	19
3.2 Nõuete loetelu .....	22
3.3 Automatiseerimise otstarbekuse analüüs .....	23
3.3.1 Otsustusülesanne .....	23
3.3.2 Tasuvusarvutus.....	24
4 VÕIMALIKUD ROBOTILE RELSSIDE ETTE ORIENTEERUMISE VIISID.....	25
4.1 Relsside erinevate asendite katsetus pesumasinas .....	25
4.2 Detailide orientatsiooni säilitamine enne pesumasinat .....	27
4.3 Relsside ette orienteerimise võimalused pakkerobotile.....	28
4.3.1 Robotid pakkimispuhvri loomiseks .....	28
4.3.2 Liin pakkimispuhvri loomiseks .....	30
4.4 Võimalike lahenduste hindamine.....	31
5 PAKKEROBOTILE DETAILIDE ETTEANDE LAHENDUS .....	33
5.1 Stantsist tulnud detailide asendi säilitamine pesumasinas .....	33
5.2 Pesumasina järgne konveier koos jaotussüsteemiga .....	36
5.2.1 Konveier .....	36
5.2.2 Relsside jaotussüsteem .....	37
5.3 Pakkeroboti etteandekonveier .....	41
5.3.1 Relsside üksteisest eraldamine.....	42
5.3.2 Relsside küljele keeramine .....	43
5.3.3 Relsside ümber pööramine ja kastiformatsiooni saavutamine .....	44
6 DETAILIDE PAKKIMINE KASTI .....	49
6.1 Automatiseeritud pakkimise asendiplaan.....	49
6.2 Roboti valik.....	50

6.3 Roboti haarats.....	51
6.4 Kastikonveier .....	51
6.4.1 Konveieri mootori valik .....	52
6.5 Hinnakalkulatsioon.....	54
KOKKUVÕTE .....	57
SUMMARY.....	59
GRAAFILINE OSA.....	63
1. RE205.01.00.00 (Roboti etteanne, formaat A2) .....	63
2. RE205.01.03.00 (Jaotussõlm, formaat A2) .....	63
3. RE205.01.03.03 (Lindilt maha tõmbaja, formaat A3).....	63
4. RE205.01.05.01 (Konveieri vahesein, formaat A3) .....	63
5. RE205.01.07.02 (Küljele keeramise silindri ots, formaat A3) .....	63
6. RE205.01.09.02 (Relsside kokku lükkaja, formaat A3).....	63

## **EESSÕNA**

Käesolev magistritöö keskendub AS Norma metallitöötlusosakonnas sõiduki turvavarustuse komponendi pakkimisprotsessi automatiseerimisele. Autor analüüsis töös automatiseerimise otstarbekust, tasuvust, töötas välja automatiseeritud lahenduse üldise kontseptsiooni ja projekteeris roboti etteandesüsteemi.

Magistritööd juhendas Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja tööstustehnika instituudi teadur Maarjus Kirs.

Avaldan tänu Maarjus Kirsile, kellega oli töö kirjutamise aeg võimalik konsulteerida ja Priit Pärnale, ettevõtte poolsele konsultandile. Samuti tänan AS Norma kolleege Luigi Heinmaad, Meigo Maametsa ja Sander Mitendorfi tootmisprotsesside tutvustamise eest.

## SISSEJUHATUS

Ajaga kaasas käiv tootmisettevõtte otsib alatasa viise, kuidas tootmist parendada ja kulusid optimeerida. Aastatega on suur osa tootmisest juba läinud üle automaattootmiseks ja antud tendents on jätkuv. Automatiseerimine võimaldab ettevõttele saavutada märkimisväärse kulude kokkuhoiu, suurendada efektiivsust ja vähendada inimfaktori mõju. Käesolev magistritöö keskendub sõiduki passiivse turvavarustuse komponendi pakkimisprotsessi automatiseerimisele.

Magistritöös kaardistati detaili kogu praegune tootmisahel, alustades lehtmetaili stantsimisest. Sellele järgneb detailide jääkainetest puhtaks pesemine ning kindlas formatsioonis kastidesse pakkimine. Pakkimine tehakse manuaalselt ja see on vajalik saavutamaks järgmises protsessis suurem tootlikus ja stabiilsem protsess. Vaatluse all oleva tootmisahela viimasteks protsessideks on detailide isothermkarastus ja haaveldamine. Kõik loetletud tootmisprotsessid tehakse ettevõtte siseselt.

Automatiseeritud lahendus peab olema võimeline pakkima minutis 40 pesumasinast juhusliku asendiga tulnud detaili. Detailid on keeruka geomeetriaga ja neid tuleb asetada kasti ette antud formatsiooni vältimaks järgneva tootmisprotsessi muudatuste vajadus. Samuti tuleb kasti pakitud kihtide vahele asetada vahepapirid. Kasutatav põrandapind on väga piiratud. Ruumi peab jääma teenindamiseks kõrval asetsevat pressi ja võimalik peab olema kahveltõstukiga tühjendada jäätmekonteinerit. Loodav süsteem peab olema võimeline töötama vähemalt 30 minutit ilma inimese sekkumiseta, võimaldamaks töötamist ka pauside aeg. Nii kaob vajadus eraldi pakkija järele ja süsteemi on võimeline teenindama pressi operaator.

Lõputöös on hinnatud antud protsessi automatiseerimise otstarbekust ja projekti tasuvust. Analüüsitud on võimalikke automatiseeritud pakkimise lahendusi. Detailide asendi muutuse seaduspärasuse kindlaks tegemiseks on tehtud katsetus. Kaalutud on nii mitme robotiga lahendusi, kui ka liin põhimõttel töötava etteandesüsteemi võimalusi.

Töös on kirjeldatud põhjalikult projekteeritud roboti etteandesüsteemi. Kirjeldatud on stantsist tulnud detaili orientatsiooni säilitamine enne ja pärast pesemisprotsessi. Pakkerobotile võtmiseks sobivaks muudetakse detail nelja paralleelse liiniga. Pakkeroboti ülesandeks jääb 16 kaupa sobivas asendis olevad tooted tõsta kasti ja kihtide vahele asetada vahepapirid. Teostatud on roboti valik ja pakutud välja lahenduse asendiplaan. Lisaks on kirjeldatud töös kastide etteandesüsteemi loogika ja arvutatud automatiseerimise maksumus. Projekteerimiseks kasutati Autodesk Inventorit.

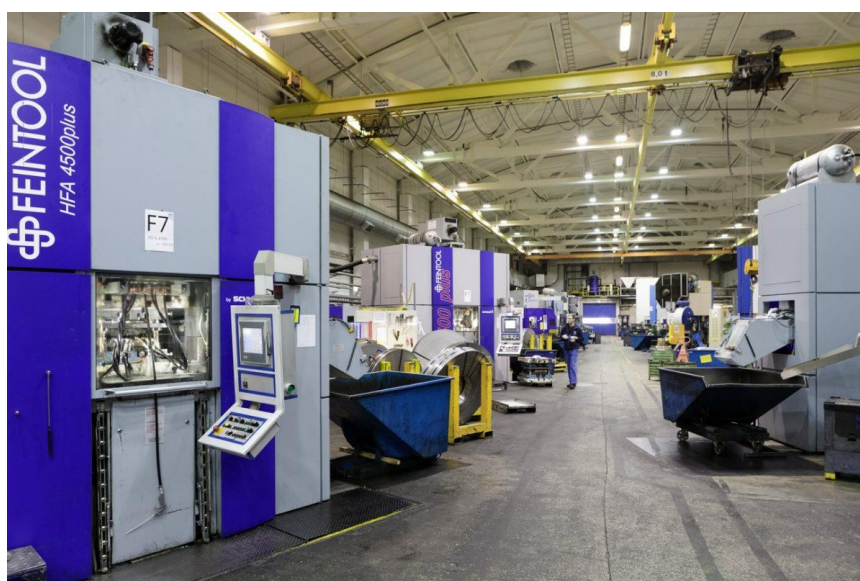


# 1 ETTEVÖTTEST

AS Norma on Tallinnas, Laki tänaval paiknev tootmisettevõte, mis toodab autode turvasüsteemi komponente. Norma kuulub Autolivi korporatsiooni. [1] Autoliv on maailma suurim turvavarustuse tootja ja müüb turvavarustust kõigile maailma suurimatele autotootjatele. Igal aastal päästab Autolivi toodetud turvavarustus rohkem kui 30000 inimest. [2]

AS Normas töötab üle 60 inseneri ja tootekategooriaid on üle 150. [1] Ettevõttes on kuus osakonda ja majasiseselt tehakse kõik tootmiseks vajalikud protsessid – alustades lehtmetsa stantsimisest kuni koostamiseni.

Lehtmetsa stantsimisel kasutatakse tava- ja silelõikestantsimist. Silelõikestantsimine tagab ühtlase lõikepinna, toote tasapinnalisuse ja suurema täpsuse. Kõik silelõikepressid on Feintooli toodang. Tavastantsimiseks kasutatakse Invernizzi, Helmerdingi ning Kaiseri presse. Detailide painutamiseks kasutatakse ka väiksemaid üksikoperatsioonide presse. Metallitööstusosakonnas valmistatakse detaile aastas 8500 tonnist terasest. [1]



Joonis 1.1 AS Norma metallitööstusosakond [1]

Turvasüsteemi komponentide tugevuse tagamiseks osa toodangust karastatakse. Selleks kasutatakse isotermilise karastuse protsessi, mille käigus detailid kuumutatakse ~900°C ja seejärel jahutatakse need sulasoolas. Toode karastamiseks kasutatakse nelja täielikult automatiseeritud liini. Kahele liinile on integreeritud haaveldusseadmed toodangu puhastamiseks. Karastatava toodangu maht on umbes 4000 tonni aastas. [1]

Detailide omaduste parandamiseks kaetakse detaile erinevate pinnakatetega vastavalt neile esitatud nõuetele. Normas kaetakse detaile kahe erineva pinnakattega – tsingi ja nikkel-kroomiga. Väikeseid puist detaile on võimalik katta tsingiga nende korrosioonikindluse suurendamiseks. Nikkel-kroomi liinil tehtud detailid omavad lisaks heale korrosioonikindlusele ka esteetilist välimust. Nikkel-kroomiga kaetakse aastas umbes 50 miljonit detaili. [1]

Plastmassi survevalu osakonnas valmistatakse nii ülevalu kui ka täisplastist detaile. Kokku on ettevõttes 51 survevalupressi, millest ligikaudu pooled on automatiseeritud. Toodangu kvaliteedi tagamiseks on mitmetele vertikaalsetele manuaalpressidele paigaldatud kontrollkaamerad. Peamised kasutatavad materjalid on PA6, PA66, POM, PP, PE, ABS ja PBT. Aastas valatakse plastivaluosakonnas ligikaudu 700 tonni plasti. [1]



Joonis 1.2 Plastivaluosakond [1]

Koostamisvabrikus pannakse teiste osakondade poolt valmistatud komponendid valmis tooteks kokku. Koostatakse kokkupõrkel lukustuvaid keeli, rulle, rihmasid, lukke ja kõrgusregulaatoreid paljudele suurtele autotootjatele. Koostamine liigub järjest automaatkoostamise suunas ja suur osa toodangust tuleb automaatliinidelt. [1]

Tööriistavabrik valmistab kui ka remondib plastmassi survevaluvorme ja metallitööstusosakonnale stantse, lisaks tehakse neid ka teistele tehastele. Sõidukite ohutus- ja turvavarustuse spetsiaaltööriistade sektoris on saavutatud juhtiv roll nii Euroopa kui ka Ameerika turul. Tööriistade valmistamiseks kasutakse CNC-freesimist ja treimist, traat- ja mahterosiooni, koordinaat-, tasa- ja ümarlihvimist, laserkeevitust, CMM-mõõtmist ning termilist töötlust. [1]

## 2 RELSI VALMISTAMISE TEHNOLOOGIA

Relsi tootmine koosneb mitmetest erinevatest tootmisprotsessidest. Esimeseks protsessiks on lehtmetaili stantsimine. Seejärel detailid pestakse ja relsid suunduvad isothermilisse karastusse. Peale karastust relsid hõõveldatakse ja edasi viiakse need värvimisse.

Relss on keeruka geomeetriaga detail. Selles on mitmeid erinevaid avavusi, paindenurkasid. Detaili kabariitmõõdud on 185x22,9x34,8 mm ja mass 150,2 g.

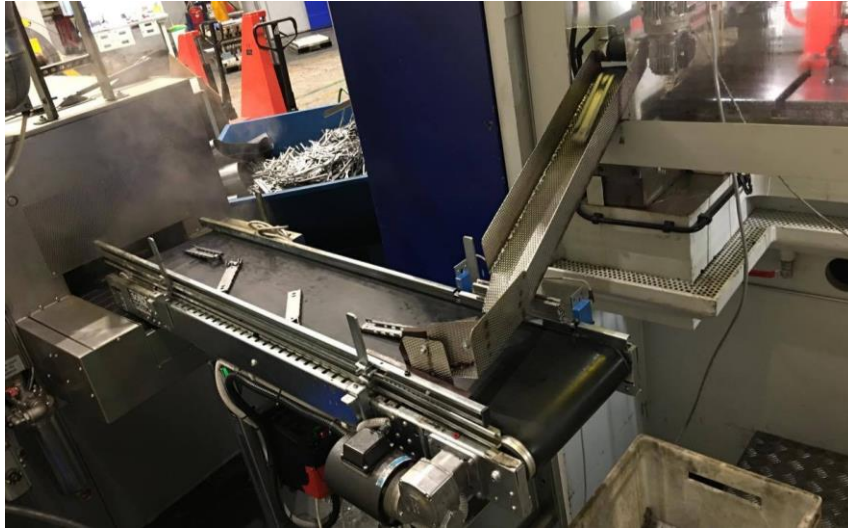


Joonis 2.1 Relss

### 2.1 Relsi stantsimine

Stantsimise protsess algab lehtmetaili lahti kerimisest. Detail stantsitakse 2 mm paksusest, 185 mm laiusest metall-lindist. Ühest lindist saab toota umbes 7000 detaili, seega vahetatakse materjali tavaliselt korra kaheksa tunnises vahetuses. Enne pressile ette söötmist metall-lint sirgestatakse. Seejärel stantsitakse lindi sisse avad ja hakatakse detaili vormima. Stantsimise jäätmed jõuavad magnetkonveieri abil jäätmekonteinerisse. Peale igat materjalivahetust veenduvad pressi operaatorid toodangu kvaliteedis. Mõõdetakse ära nii detaili pinnalaotus kui valmisdetail ja kontrollitakse markeeringuid.

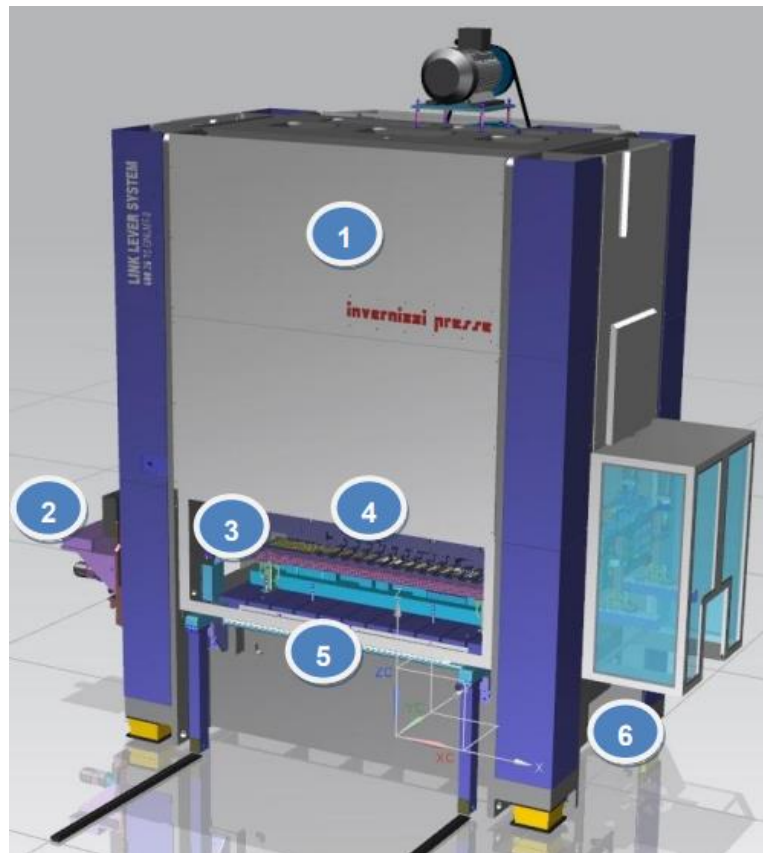
Peale viimast painutusprotsessi tõstetakse detail konveierile. Konveieri lõpus kukub relss renni, mis viib selle järgmisele, suuremale konveierile. Konveier töötab mõlemat pidi – töö alustamisel suunatakse esimesed detailid praagi hulka ja edaspidi juba pesumasinasse. Konveieri kiirus on reguleeritav.



Joonis 2.2 Detailid pesumasinasse

### 2.1.1 Press ja rakis

Relse toodetakse 2017. aasta Invernizzi pressiga. Pressi maksimaalne jõud on 6000 kN ja käik 130-250 mm. Pressi kogukaal on 65000 kg, maksimaalne rakise kaal 5000 kg ja mõõtmed 2600x1500 mm.



Joonis 2.3 Press [3]



Press (1) koosneb lindi etteandest (2), detailide liigutussüsteemist (3), töölauast (4), töölaua pikendusest (rakise alla panemiseks) (5) ja jäätme konveierist (6). [3] Lindi etteandeks ja sirgestamiseks kasutatakse Dimeco seadmeid.

Relsi valmistamiseks on ettevõttes kolm rakist. Iga rakis koosneb 6 moodulist. Esmalt tehakse linti avad ja seejärel hakkab detaili vormimine. Relss valmib 16 sammuga. Kolmanda mooduli lõpus, üheksanda sammuna, lõigatakse relss lindist välja. Edasi tõstetakse detaili järgmistesse pesadesse *transfer* süsteemi abil. Detailide haaratsites on andurid, mis veenduvad et detail on kätte saadud ja kõrvalekallete korral press seiskub. Pressi tsükliäega liiga kiireks ajades tekivad probleemid just detailide haaramisega.



Joonis 2.4 Metall-lint relsi valmistamise kaheksast esimesest sammust

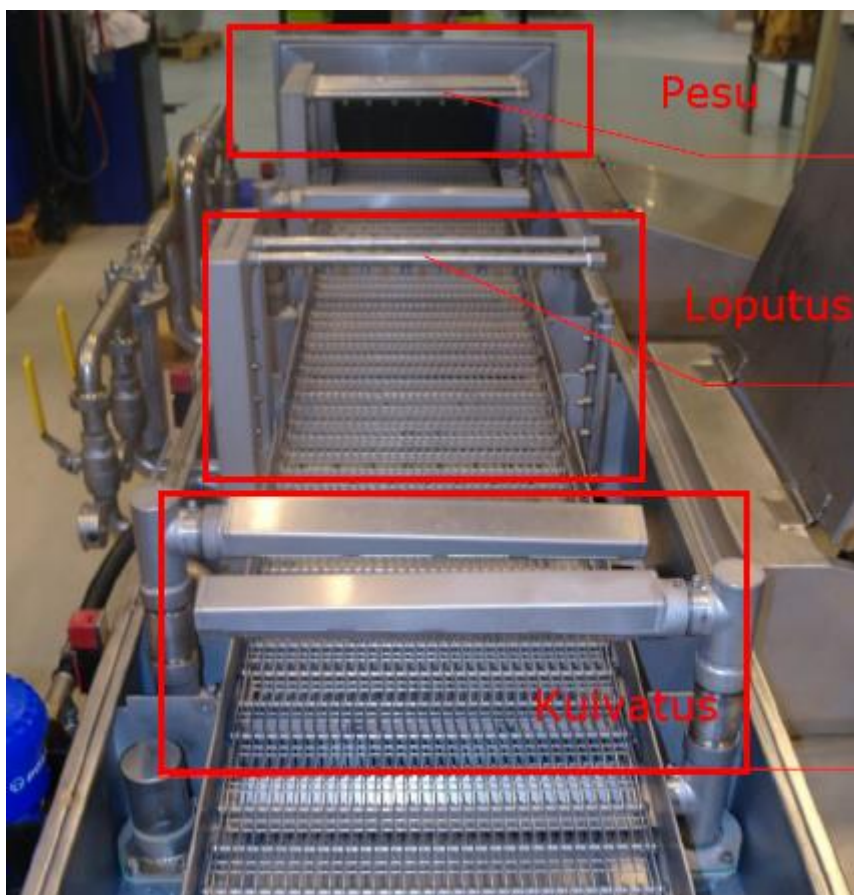
Töölauda saab liigutada pressi alt välja relssidele. Relssidele tõstetakse rakis sildkraana abil. Seejärel liigutakse töölaud pressi tööalasse ja langetatakse ülemine töölaud rakise ligi. Rakise kinnitamiseks töölauda külge kasutatakse hüdraulikat. Pressi kõrvale tuuakse rakis kahveltõstuki abil.



Joonis 2.5 Rakise hüdraulilised kinnitused

## 2.2 Detailide pesemine

Peale stantsimist ja enne karastust tuleb detailid emulsioonist ja jäädetest puhtaks pesta. Detailid liiguvad peale stantsimist renni ja konveieri abil pesumasinasse. Pesumasin on kolme töösooniga – pesu, loputus ja kuivatus. Detailide pesemiseks ja loputamiseks kasutatakse 60°C vett. Detailid kuivatatakse õhujugadega, mille temperatuur on 120°C. Detailid liiguvad läbi pesumasina konveieri abil. Veejoad pesevad detaile kõigist neljast suunast ja seega võib detailide asend muutuda. Lisaks on tsoonide vahel on kummikardinad kuhu võivad relsid takerduda. Seetõttu väljuvad relsid pesumasinast juhusliku orientatsiooniga.



Joonis 2.6 Pesumasin

### 2.2.1 Detailide pakkimine kasti

Pesumasinast liiguvad detailid konveierile, kust operaator need võtab ja kastidesse pakib. Kasti pakitakse 9 kihti relse ja kihtide vahele pannakse vahepapid. Paigutus kasti on oluline. Relsid pannakse kasti seljad koos, 48 relssi veergu, kolme ritta. Enne pakkimist asetatakse kasti servadesse plastikust toed. Need hoiavad ära detailide vajumise vastu kastide serva. Juhul kui detailid oleks kasti seinaga liiga lähedal, ei pruugi järgmises

tööprotsessis robot neid kätte saada ja protsessis esineb tõrge. Detailide toed eemaldatakse peale pakkimise lõpetamist.



Joonis 2.7 Relsid kastis

## 2.3 Isotermiline karastus

Relsid karastatakse 2018. aastal valminud Kohnle liinil. Isotermkarastusega on võimalik saada beiniitstruktuur. Selleks tuleb terasest detaile kuumutusahjus kuumutada austenitseerimis temperatuurile ja jahutada karastusvannis beiniiditekke temperatuurile (230...400°C). Detailide jahutamiseks kasutatakse spetsiaalset sulasoolakeskkonda. Karastussoola madal sulamistemperatuur tagab hea jahutuskiiruse ja madala viskoossuse. Isotermilise karastusega saavutatav struktuur on heade sitkusnäitajatega kõrge tõmbetugevuse juures. [4]

Kastid relssidega transporditakse karastusse kahveltõstuki abil. Detaile täis kast tõstetakse liini etteande konveierile elektrilise kahveltõstukiga. Enne etteandele tõstmist eemaldatakse pool kasti seinast. Tänu sellele saab robot kastist detaile paremini kätte.



Joonis 2.8 Kastid relssidega karastusliini etteandel

Konveier liigutab kasti vahetuse ajal täis kasti optilise andurini. Seejärel surutakse kast pneumosilindri abil vastu konveieri seina. Nii fikseeritakse ära kasti positsioon ja ollakse kindlad, et kast asetseb korrektselt etteandel. Karastusliinile tõstetakse detailid kahe teljelise roboti abil. Võtmis positsiooni koordinaadid on eelnevalt määratud, seega on väga oluline, et kast on iga kord samas positsioonis. Kõrvalekalded kasti mõõtmetes on lubamatud. Terve ühe kihi detailid tõstetakse karastusliinile korraga. Roboti haaratsis on detailide tõstmiseks elektromagnet. Vahepappide eemaldamiseks kasutatakse seda sama robotit, haaratsis on nende tõstmiseks iminapad. Et teada saada kui kõrgelt kastist peab detaile või vahepappi tõstma, on haaratsis juhik. Juhik on vedruga ja detailide vastu minnes liigub see ülesse. Juhiku positsiooni määramiseks on roboti haaratsi peal 3 lähedusandurit. Esimese andurini jõudes vähendab robot kiirust, ja teise andurini jõudes, saab robot signaali detailide tõstmiseks. Relsse tõstetakse lindile umbes iga 2,5 minuti tagant.





Joonis 2.9 Relsid karastusliinil

Detailid liiguvad ahjus teraslindil. Relsid tõstetakse lindile sellises kindlas formatsioonis saavutamaks suurem tootlikkus, detailide ühtlane kuumutamine ja üldiselt stabiilsem protsess. Võrdluses puistes olevate detailidega suureneb liini tootlikkus korrapäraselt asetades 3-4 korda. Detaili keeruka disaini tõttu tekiks puistes detaile lindile pannes ummistusi.

Esmalt liiguvad detailid kuumutusahju. Ahju alguses on tulekardin, mille abil põletatakse ära ahjus kasutatav kaitsegaas. Temperatuur ahjus on 880°C ja selle mõõtmiseks on igas tsoonis termopaar. Kuumutustsoone on ahjul viis ning igas tsoonis on kolm elektrilist küttekeha. Kuumutusala pikkus on 6 m ja lindi laius on 700 mm. Relsid on ahjus 23 min. Ahju lõpus kukuvad detailid lindilt soolavanni.

Soolavanni ja ahju vahel on soolakardin, mis moodustatakse kahe soolajoa kokkusuunamises. Soolakardina eesmärk on eraldada soolavanni ja ahju keskkond, takistades karastussoola pritsimist kuumutustunnelisse. Lisaks suunab soolajuga kukuvad detailid soolavanni põhjas paiknevale konveierile. See tagab soola tsirkuleerimise ja detailide intensiivsema jahutuse soola kukkumisel. [4] Soolavanni temperatuur on 360°C ja detailide sukeldusaeg soolas on 9 minutit. Soolavanni põhjas on lintkonveier, mis transpordib detailid edasi veevanni.

Veevann on detailide puhastamiseks soolast. See on oluline kuna haaveldamiseks peavad detailid olema ideaalselt puhtad. Detailid viiakse veevannist välja, haaveldusse lintkonveieriga. Haaveldamine on vajalik detailide pinna ettevalmistamiseks katmiseks. Protsessi käigus muutub detaili pind karedamaks ja seega sidestub pinnakate detailiga paremini. Peale haaveldust laaditakse detailid kastidesse. Kastide vahetus on

automaatne ja kogus kastis määratakse kaalu järgi. Edasi suunduvad detailid välisettevõtte juurde katmisesse.



Joonis 2.10 Detailide pakkimine peale haaveldust

## **3 RELSI PAKKIMISE AUTOMATISEERIMINE**

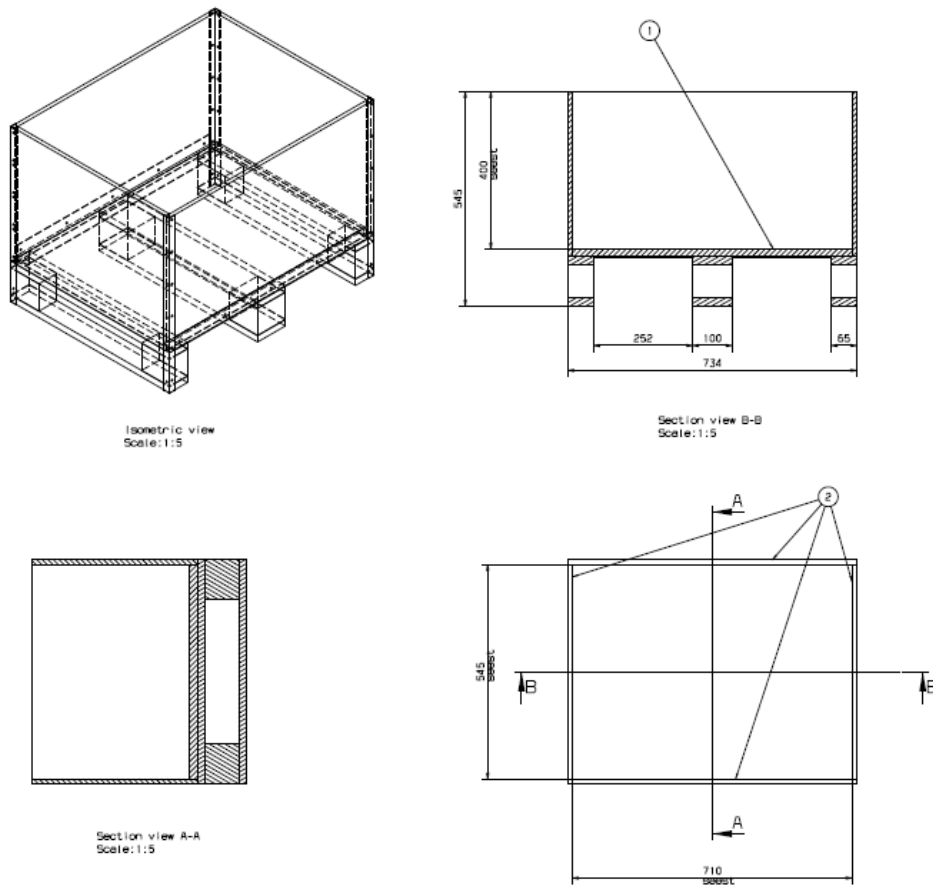
Automatiseerimise eesmärgiks on tootmisprotsessis inimese rutiinse töö asendamine masinatega. Automatiseerimine võib kasvatada tootlikust mitu korda ja seeläbi kasvatada märgatavalt ettevõtte kasumit, kui kaasneb ka toodete müüginõud kasv. Läbi automatiseerimise võib ühe koopia valmistamismaksumus väheneda ja seega toote hind tarbija jaoks alaneda. Toote valmistamise automatiseerimisel toimub lähtematerjalide, -energia ja -info muundamine ning ülekandmine toodetavatesse detailidesse inimese otsese sekkumiseta. [5]

Käesoleva töö eesmärgiks on ära automatiseerida relsside pakkimisprotsess. Järgnevalt on välja toodud projekti teostamiseks vajalik teave ja automatiseerimise otstarbekuse analüüs.

### **3.1 Taustinformatsioon**

Detailid väljuvad pesumasinast juhusliku orientatsiooniga ja kukuvad konveierile. Hetkel võtab need konveierilt ja pakib kasti operaator. Eesmärk on see operatsioon ära automatiseerida. Robot peab olema suuteline pakkima 40 juhusliku orientatsiooniga pesumasinast tulnud detaili minutis. Pesumasinast tulnud detailid on kuumad (~60°C) ja võivad olla kergelt niisked. Pesumasina lindi kõrgus on 960 mm ja laius 400 mm ja konveieri kiirus on reguleeritav. Pesumasinat hooldatakse korra nädalas. Hoolduse aeg on vajalik pääseda ligi mõlemale küljele ning inimene peab mahtuma seal survepesuriga töötama. Pesumasina väljundi läheduses (~0,5 m) on õhuniisuks ja temperatuur pesumasinast tuleva auru tõttu ülejäänud keskkonnast kõrgem. Hoone sees on temperatuur alati +15 ja +40 vahel.

Kast ja relsside paigutus peaks jääma muutumatuks, aga võimalik on pakkuda alternatiivset lahendust praegusele. Sel juhul tuleks pakkuda välja ka järgneva karastusprotsessi muudatused. Kasti sisemõõtmed on 710 x 545 x 400mm. Kasti seinad on 2 mm vineerist ja esimene sein on hetkel kahe osaline. Pool seinast on eemaldatav võimaldamaks operaatoril detaile kasti mugavamalt laduda. Peale automatiseerimist peaks kõik kasti küljed olema terviklikud. Tänu sellele vähendatakse karastusliini etteandesüsteemi tõrkeid. Relsid tuleb laduda kasti seljad koos, 48 tükki veergu, kolme ritta. Relsside kihtide vahele pannakse vahepapid, mõõtmetega 540 x 690 x 4 mm ja oluline on, et nende sile pool oleks üleval. Vahepapp ei tohi olla deformeerunud. Kasti laotakse 9 kihti relsse.



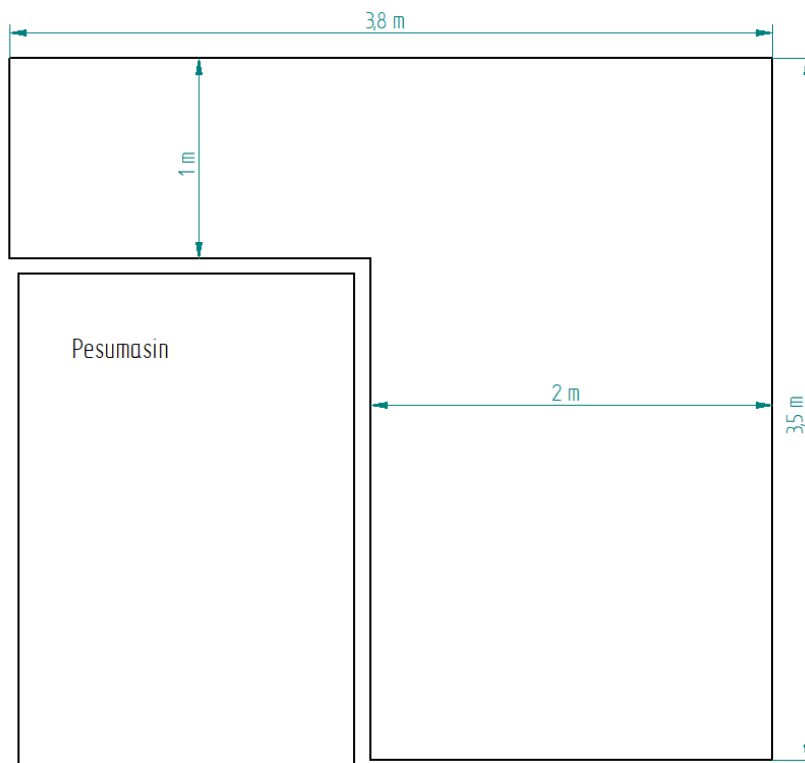
Joonis 3.1 Detailide kast

Jäätmekonteinerit tühjendatakse kahveltõstukiga, seega peab läbipääs sellele olema tagatud. Konteineri mõõtmed on 1,2 x 1,5 x 0,9 m. Jäätmekonteineri asukohta saab vajadusel muuta. Selle asukohast sõltub suuresti kasutada olev ruum.



Joonis 3.2 Jäätmekonteiner ja selle asukoht

Automatiseeritud pakkimise lahendus peaks mahtuma antud pindalale:



Joonis 3.3 Kasutada olev ruum

Operaatori rolliks peaks olema edaspidi tühjade kastide ette andmine ja täis kastide eemaldamine konveierilt. Süsteem peab olema võimeline töötama vähemalt 30 minutit ilma operaatorita. Sellise lahenduse puhul poleks vaja eraldi detailide pakkijat, relsside pakkimisjaama saaks teenindada pressi operaator.

Automatiseeritud liini tööprotsessi võimalik viis:

- Relsi robotile ette orienteerimine
- Relsist haaramine
- Relsi panemine etteande lauale (kaks orientatsiooni varianti)
- 48 tükilise rea kokku kogumine
- Kogu rida tõstetakse korruga kasti (etapi korratakse kolm korda, kuni üks kiht saab täis)
- Relsside kihtide vahele asetatakse vahepapp
- Kui kast saab täis siis toimub kastide vahetus

Relsi robotile ette orienteerimise sammust võib loobuda kui suudetaks ära lahendada pesumasinas relsside ringi lendlemise probleem.



### 3.3 Automatiseerimise otstarbekuse analüüs

Tegemist on masstootmisega, antud detaili toodetakse sadu tuhandeid aastas. Automatiseerimine tehakse just ühele kindlale tootele, kindlale protsessile. Läbi automatiseerimise on võimalik kaotada ära üks ametikoht. Seeläbi on võimalik vähendada tööjõukulu või tööjõudu efektiivsemalt kasutada. Detailide pakkija töö on väga monotoonne, töökoht pole kuigi ergonoomiline ja pakkimine toimub väga mürarikkas keskkonnas. Läbi automatiseerimise tõuseks töö efektiivsus, sest ära jäävad puhke- ja lõunapausid. Lisaks on ettevõttel olemas tehnoloogilised kogemused ja kvalifitseeritud hoolduspersonal. Automatiseerimise otstarbekust hinnatakse tabelotsustusmeetodi abil.

#### 3.3.1 Otsustusülesanne

Otsuse tegemiseks kasutatakse tabelotsustusmeetodi abi. Vasakul olev hinnang (1) on automatiseerimise mõttes halvemal positsioonil kui paremal (5).

Tabel 3.2 Otsustusülesanne

<b>1) Tootekesksed kriteeriumid</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Erinevate toodete hulk (1-suur, 5-väike)					x
Toodetavate detailide kogus (1-väike, 5-suur)					x
Toote kvaliteet (1 – vähetähtis, 5 -tähtis)					x

<b>2) Tehnoloogilised kriteeriumid</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Kasti paigaldamise täpsus (1-vähe tähtis, 5 – tähtis)				x	
Stabiilne tsükkel (1-vähe tähtis, 5 – tähtis)					x
Vajaminev tööjõud (1-suur, 5-väike)			x		

<b>3) Ettevõtte üldised kriteeriumid</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Kvalifitseeritud tööjõud (tehnikameeskond) olemas, (1-puuduvad, 5-väga hästi kvalifitseeritud)				x	
Tarneaeg (1-vähe tähtis, 5-tähtis)					x
Tööohutuse risk hetkel (1-risk puudub, 5-suur risk)			x		

Maksimaalne tulemus tabelotsustusmeetodi abil on 45 punkti. Antud automatiseerimise otstarbekus on 39 punkti ja seega antud protsessi on mõistlik automatiseerida.

### 3.3.2 Tasuvusarvutus

Relssi toodetakse kahe pressiga ja tootmisvajadus on 200000 tk nädalas. Kuna operaator suudab laduda vaid 32 tk/min on pressi kiirus piiratud. Iga päev on vaja relsside pakkimiseks kuus operaatorit.

Kuna press suudab toota 40 detaili minutis, kasvaks efektiivsus 20% võrra. Ehk kahe pressiga saaks toota minutis 16 detaili rohkem. Praegu kulub 200000 detaili valamiseks 17 vahetust. Peale automatiseerimist 14 vahetust, ehk kolm vahetust nädalas vähem. Kuna pressi töötunni hinnaks võime arvata 100€/h ja operaatori palgafondiks 10€/h siis  $(100+10)*24=2640\text{€/nädalas} = 132\ 000\text{€/aastas}$ .

Detailide pakkimiseks on vaja kuus operaatorit päevas. Automatiseeritud pakkimises korral oleks võimalik neist loobuda. Arvestades, et pakkija palgafond on 1200€, on kokkuhoid  $6*1200*12 = 86400\text{€/aastas}$ .

Seega kokkuhoid oleks kahe pressi pakkimine ära automatiseerides 218400€ aastas. Automatiseerides vaid ühe pressi oleks kokkuhoid poole sellest. Projektidelt eeldatakse ettevõttes, et tasuvusaeg oleks alla 2 aasta. Seega peaks automatiseerimise maksumus olema ühe pressi kohta alla 210000€.

Lisa võit oleks võimalik saada sellest, et press saab töötada ka operaatori puhkepauside ja lõuna aeg. Vahetuses tuleks võitu nii üks tund. Selle saavutamiseks peaks puhkepauside ajad veidi nihkesse panema, et vajadusel saaks pressi seisata kõrval oleva pressi operaator või vahetusevanem.

Väga suur rahaline kokkuhoid tuleb juba sellest kui suudetaks toota 32 detaili asemel 40 detaili minutis. Hetkel on pudelikaelaks operaatori ladumiskiirus. Kui suudetaks detailid mõlemal pressil operaatorile paremini ette orienteerida ja operaatori ladumiskiirus kasvaks 40 detailile minutis oleks võit juba ilma robotiseerimiseta 66000€/aastas ühe pressi kohta.







## 4 VÕIMALIKUD ROBOTILE RELSSIDE ETTE ORIENTEERUMISE VIISID



Punktis kaks selgus, et pakkimisprotsess on mõistlik ära automatiseerida. Nõutud on, et pakkida suudetaks vähemalt 40 detaili minutis. Järelikult jääb ühe detaili kasti tõstmiseks 1,5 sekundit, mis on selgelt ebapiisav. Seega relsid tuleb enne pakkerobotile ette söötmist kokku formuleerida nii, et kasti oleks võimalik tõsta mitu toodet korraga. Antud peatükk keskendub võimalike lahenduste analüüsile.

### 4.1 Relsside erinevate asendite katsetus pesumasinas

Relsside asendi muutumise seaduspärasuse määramiseks pesumasinas tehti katsetus. Markeeriti ära viis relssi ja pandi need kuue erineva asendiga pesumasinasse. Katse tulemused on toodud järgnevas tabelis.

Tabel 4.1 Erinevate relsi asendite katsetulemused

Asendi nr	Relsi asend algul	Katse nr	Relsi asend peale pesumasinat
1	Kõrvad üleval, lühike külg ees 	1	Muutumatu
		2	Muutumatu, jõudis eelmisele järgi
		3	Muutumatu
		4	Muutumatu, jõudis eelmisele järgi
		5	Muutumatu
2	Kõrvad üleval, pikk külge ees 	1	Pöördunud 90°, tuli välja teisena
		2	Pöördunud 90°, tuli välja esimesena
		3	Muutumatu
		4	Muutumatu
		5	Jäi kinni, ei tulnudki välja
3	Kõrvad all, lühike ees 	1	Muutumatu
		2	Muutumatu
		3	Muutumatu
		4	Muutumatu
		5	Muutumatu
4	Kõrvad all, pikk ees 	1	Pöördunud 45°
		2	Pöördunud 45°, jõudis eelmisele järgi
		3	Pöördunud 45°
		4	Pöördunud 45°
		5	Pöördunud 45°

5		1	Pöördunud 90° ja kõrvad all
		2	Pöördunud 90° ja kõrvad all
		3	Pöördunud 90° ja kõrvad all
		4	Pöördunud 90° ja kõrvad all, tuli välja kolmandana
		5	Pöördunud 90° ja kõrvad all, tuli välja koos katse 3
6		1	Pöördunud 45° ja kõrvad all
		2	Kõrvad all
		3	Pöördunud 90° ja kõrvad all
		4	Kõrvad üleval, jõudis eelmisele järgi
		5	Kõrvad üleval, jõudis eelmisele järgi

Katsetuse käigus selgus, et vee surve detailide asendit ei muuda. Relsside asendi muutuse põhjuseks on tsoonide vahelised kummikardinad, kuhu detailid võivad takerduda. Saates pesumasinasse relsi lühike külg ees siis asend ei muutu. Asendi 1 puhul küll relsid takerdusid kummikardinasse, aga järgnev detail lükkas eelmise kardinast läbi. Asendi 3 puhul takerdumist ei toimunud kuna relsi kõrvad jäid traatlindi vahele ja lint suutis detailid ise läbi kardinast lükata. See asetus andis parima tulemuse. Asend 5 on samuti lühike külge ees, aga detaili asend siiski muutus ja detail kukkus ümber. Saates relsi pesumasinasse pikk külge ees, siis relss takerdub suurema tõenäosusega kardinasse ja selle asend muutub.



Joonis 4.1 Pesumasinaga tsooni eraldav kardin

## 4.2 Detailide orientatsiooni säilitamine enne pesumasinat

Relsi kindla asendi säilitamine enne pesumasinat ja pesuprotsessi ajal lihtsustab oluliselt protsessi automatiseerimise võimalust. Katsetuse käigus selgus, et kui juhtida pesumasinasse detailid kindlas asendis, lühike külg ees, siis relsi asend pesumasinas ei muutu. Sellises asendis väljuvad relsid ka stantsist. Seega oleks mõistlik enne pesumasinat seda orientatsiooni säilitada. Relsid tulevad pressist alati ühte pidi, kindlate vahedega. Edasi liiguvad need renni abil konveieri lindile ja sellelt juba pesumasina lindile. Hetkel muutub orientatsioon juhuslikuks rennist lindile kukkudes.



Joonis 4.2 Relsid konveeril

Renni tuleks muuta nii, et relsid jääksid lindile kukkudes alati sama asendiga. Renni ümber disainides tuleb kindlasti vältida võimalikke ummistusi kuna muidu jääks press seisma.

Kui tahta pesumasinasse saata detailid mõne teise asendiga, siis tuleks pesumasina linti muuta. Hetkel on pesumasinas sile 40 mm laiune, 10 mm traadist 8 m pikkune lint. Lindile võib lisada ribad, mille abil tekib igale relsile oma pesa ja külgsuunas liikumine oleks takistatud. Ribad saab lisada traatide ühendusvõllide külge. Tänu pesadele lindil saaks relsse pesumasinasse saata ka pikem külg ees ja selle asend ei muutuks. Pesumasina linti ümber disainides tuleb veenduda, et relss sinna kinni ei jääks ja konveieri lõpus kukuks kindlasti lindilt maha.



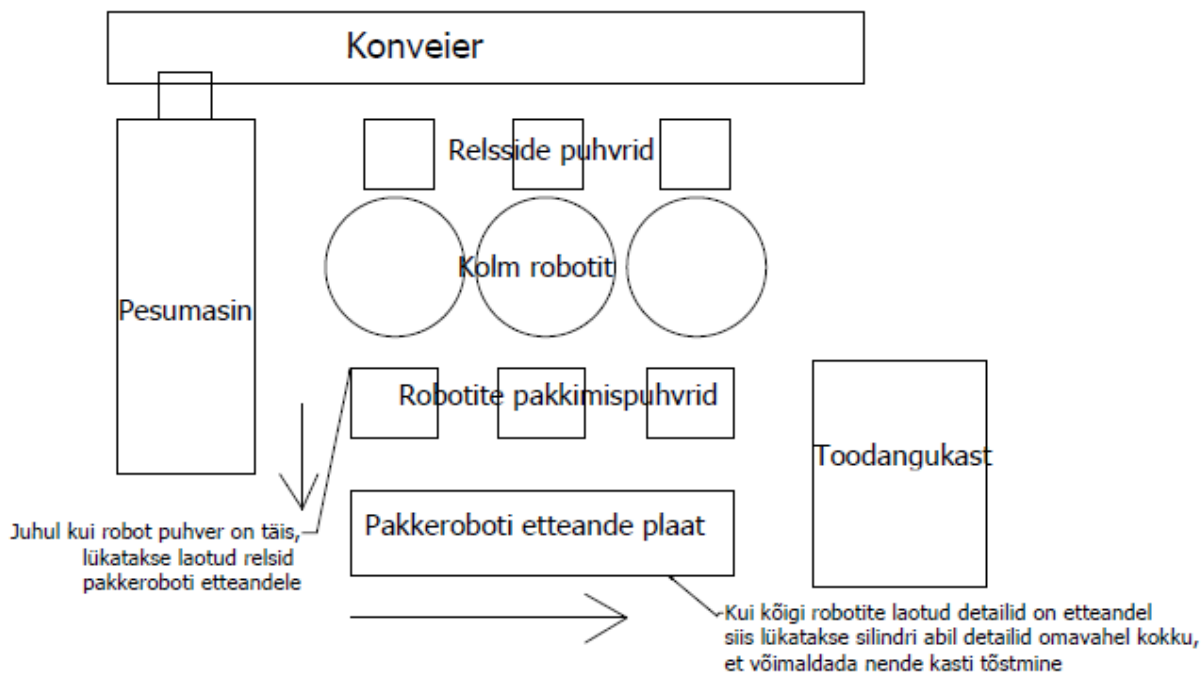
Joonis 4.3 Pesumasina lint

## **4.3 Relsside ette orienteerimise võimalused pakkerobotile**

### **4.3.1 Robotid pakkimispuhvri loomiseks**

Kuna pressi töötsükkel on kiire siis ühe kaupa relsse robotiga kasti tõsta ei ole ajaliselt võimalik. Aja võitmiseks võib kasutada mitut robotit. Kasutades kolme robotit pesumasinast tulnud detailide asetamiseks pakkeroboti etteandele ja pakkerobotit tõstmaks talle ettelaotud veerge kasti, jääks ühe detaili tõstmiseks etteande robotitel 4,5 sekundit. Ühe ette laotud veeru, milles on 48 detaili, tõstmiseks oleks pakkerobotil aega 72 sekundit. Sellistest robotite tsükliagedest peaks juba piisama.

Juhul kui pesumasinast jõuavad relsid alati sama asendiga konveierilindile, siis edasi tuleks suunata detailid iga roboti juures olevasse etteanderoboti puhvrisse. Puhvris paiknevad detailid alati sama asendiga, seega haaramine on robotile lihtne. Robot võtab puhvrist relsi ja laob selle pakkimis puhvrisse täpselt samasuguses formatsioonis nagu relsid kastides asetsevad. Iga robot laob oma puhvrisse 16 detaili. Seejärel lükatakse robotite puhvrites asuvad detailid pakkeroboti etteandele. Kui kõik kolm robotit on oma puhvrid täis saanud ja need on lükatud etteande lauale, siis lükatakse pneumosilindri abil detailid omavahel kokku. Nii moodustub õiges formatsioonis olev relssidest 48 detailine veerg. Pakkerobot tõstab koostatud veeru korruga kasti. Juhul kui 3 veergu on kasti tõstetud, tõstab pakkerobot kasti enne uue kihi ladumist vahepapi.



Joonis 4.4 Võimalik asendiplaan robotitega etteandel

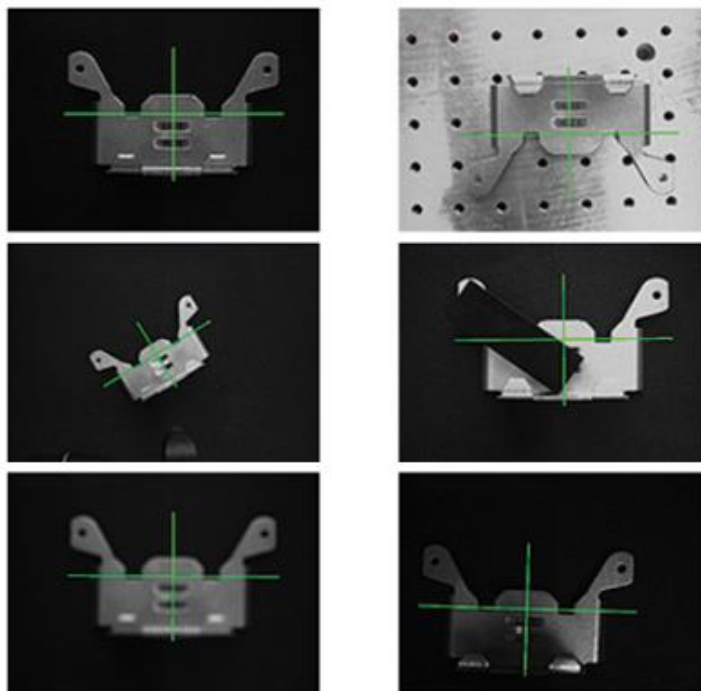
### Masinnägemine detaili orientatsiooni tuvastamiseks

Juhul kui enne pesumasinat ja pesumasinas pole võimalik kindlat asendit detailidele tagada, siis sobib orientatsiooni tuvastamiseks masinnägemise lahendused. Sel juhul toimub protsess sarnaselt nagu eelnevalt kirjutatud kolme roboti abil, aga robot oleks võimeline haarama juhuslikus asendis olevaid detaile. AS Norma kasutab oma kaamerasüsteemides Cognexi kaameraid.

Cognexil on olemas *PatMax® software technology* objektide täpseks tuvastamiseks. Tuvastamine on võimalik isegi kui objekti nurk, suurus või välimus muutub. [6] *PatMax* objekti tuvastamine patenteeriti juba 1997. aastal. See on esimene masinnägemise mustri põhine asukoha määramise tehnoloogia. *PatMax* õpib objekti geomeetria kasutades piirkõvera, mis ei ole seotud pikslivõreaga. Tuvastamiseks otsib tarkvara sarnaseid kujusid pildilt ilma, et tugineks konkreetsetele halltooni tasemetele. Asukoha määramine toimub läbi detaili kuju, mitte halltooni abil. [7] Seega objekti värvus, valgustus ja valgustuse nurk võivad muutuda ja detail on jätkuvalt tuvastatav.

Kaamerasüsteemi saab ühendada PLC-ga *Ethernet* kaabli abil. Cognexi masinägemise tarkvara sisaldab protokolle, mis on vajalikud suhtluseks kõigi levinud PLC-dega, nagu näiteks Siemens, Mitsubishi ja Allen-Bradley. Kaamerasüsteemi tarkvara saadab detaili informatsiooni ja koordinaadid PLC-sse, mis saadab selle edasi otse roboti kontrollerrisse.

Süsteemi ülesse seades peab roboti koordinaatsüsteemi sünkroniseerima masinnägemissüsteemi koordinaatidega. [6]



Joonis 4.5 *PatMax* objektituvastus [7]

### 4.3.2 Liin pakkimispuhvri loomiseks

Detailid võib pakkerobotile sobilikult ette formuleerida ka kasutades selleks eraldi liini. Loodud liini lõpuks tuleb mitu relssi omavahel kokku viia, et robot saaks tõsta mitmeid detaile korraga ja läbi selle tõuseks detailide manipuleerimiseks kasutatav aeg. Võttes eelduseks, et detailid tulevad pesumasinast alati sama asendiga on edasi võimalik hakata nende asendit vastavalt soovile erinevates järjestikku asetsevates tööjaamades muutma. Juhul kui 1,5 sekundit detaili kohta jääb väheseks on võimalik loodavaid liine dubleerida. Nii saab ühe detaili manipuleerimiseks kasutatavat aega suurendada.

Pesumasinast liigub detail renni abil konveierilindile. Lindilt suunatakse detailid asendi muutmise liinidele. Liinid on dubleeritud, võimaldamaks ühe detaili manipuleerimisaega kasvatada. Tööjaamades toimub pneumaatika komponentide abil relsside asendi muutmise robotile tõstmiseks sobivaks. Liini lõpuks paiknevad kaks relssi omavahel sama moodi koos nagu paiknevad need kastis. Seejärel lükatakse õiges asendis detailid roboti etteande lauale. Kokku ei pea formuleerima tervet veergu, robot võib tõsta ühte veergu ka mitu korda. Kui pakkerobot täidab ühte veergu kolm korda, ehk tõstab 16 detaili korraga, siis jääb tsükliajaks 24 sekundit, mis on juba piisav. Iga kihi vahele peab pakkerobot asetama papi.

## 4.4 Võimalike lahenduste hindamine

Võimalike lahenduste hindamiseks kaustatakse hindamismaatriksit. Hindamismaatriks sisaldab erinevaid süsteemilt eeldatavaid kriteeriumeid, mis on lahenduse puhul olulised. Kriteeriumitel on erinev kaal, mis viitavad omaduse tähtsusele. Igat lahendust kriteeriumi suhtes hinnatakse viie punkti skaalal. Suurima punktisumma saanud lahendus teostatakse lõputöö käigus.

Lahendus I: Pressi alt tulnud relsside orientatsioon säilitakse enne pesumasinat rennide abil ja pesumasinast tulevad detailid alati sama asendiga. Peale pesumasinat toimub pakkerobotile relsside etteandmine kolme roboti abil.

Lahendus II: Pressi alt tulnud relsside orientatsioon säilitatakse ja pesumasinast tulevad detailid alati sama asendiga. Pakkerobotile võtmiseks sobivaks formuleeritakse relsid liini abil.

Lahendus III: Relsside orientatsiooni ei muudeta ega säilitata enne pesumasinat. Relsid väljuvad pesumasinast juhuslikus asendis ja nende tuvastamiseks kasutatakse masinnägemise süsteemi. Pakkeroboti jaoks formuleerib relsid kolm etteande robotit.

Lahendus IV: Enne pesumasinat muudetakse relsside orientatsiooni ja pesumasinas nende paigal hoidmiseks muudetakse pesumasina konveierlindi disaini. Pesumasinast tulevad alati sama asendiga detailid ja need pakkerobotile tõstmiseks sobivasse asendisse saamiseks kasutatakse liini.

Tabel 4.2 Hindamismaatriks

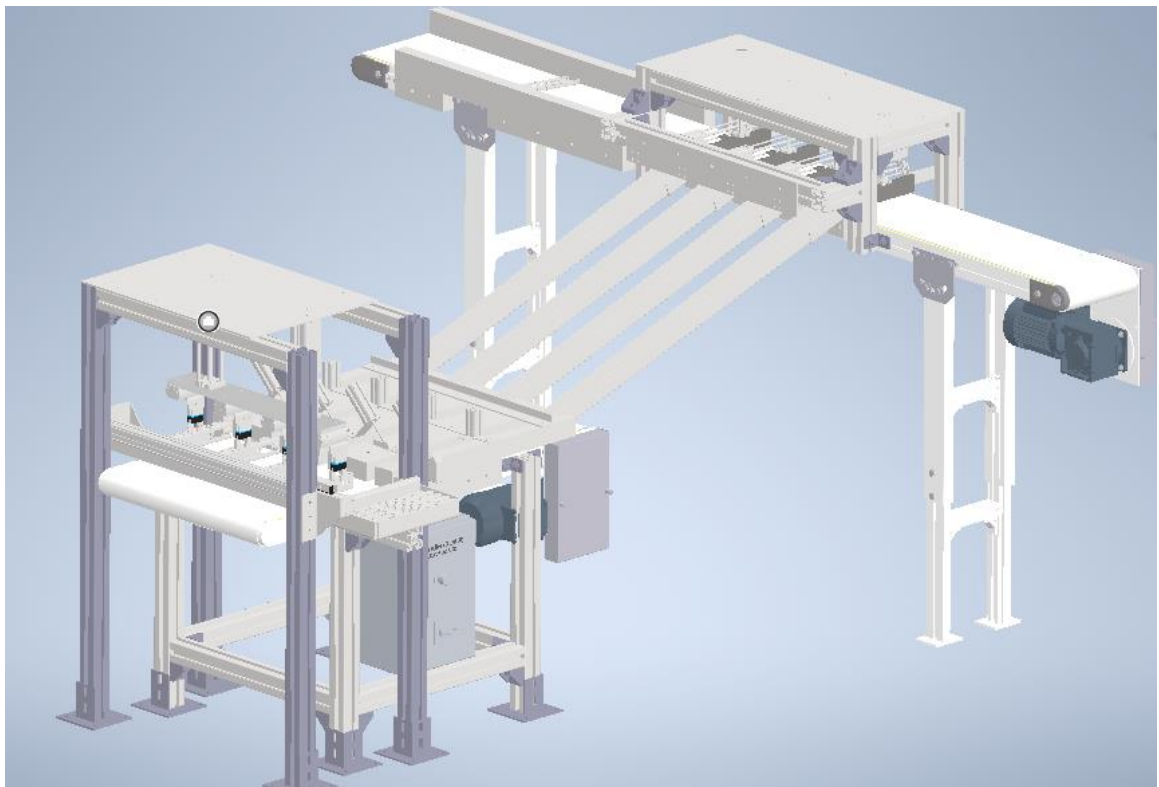
Kriteeriumid	Kaal	Lahendus I	Lahendus II	Lahendus III	Lahendus IV
Maksumus	0,3	$0,3 \times 2 = 0,6$	$0,3 \times 5 = 1,5$	$0,3 \times 1 = 0,3$	$0,3 \times 4 = 1,2$
Teostatavuse lihtsus	0,2	$0,2 \times 5 = 1$	$0,2 \times 4 = 0,8$	$0,2 \times 2 = 0,4$	$0,2 \times 3 = 0,6$
Ruumi vajadus	0,2	$0,2 \times 2 = 0,4$	$0,2 \times 5 = 1$	$0,2 \times 2 = 0,4$	$0,2 \times 5 = 1$
Töökindlus	0,2	$0,2 \times 4 = 0,8$	$0,2 \times 4 = 0,8$	$0,2 \times 2 = 0,4$	$0,2 \times 3 = 0,6$
Hooldusvajadus	0,05	$0,05 \times 3 = 0,15$	$0,05 \times 3 = 0,15$	$0,05 \times 3 = 0,15$	$0,05 \times 3 = 0,15$
Lihtsus kasutajale	0,05	$0,05 \times 2 = 0,1$	$0,05 \times 4 = 0,2$	$0,05 \times 1 = 0,05$	$0,05 \times 3 = 0,15$
Summa	1	3,05	4,45	1,7	3,7

Kaalutud punkthindamise tulemusena selgus, et eelistatuimad on lahendused, kus kasutatakse vaid ühte robotit ja säilitatakse relsside kindel asend. Parima tulemuse sai lahendus II, ehk stantsist tulnud relsi asend tuleb säilitada enne ja peale pesu ning pakkimiseks sobivaks saamiseks tuleks valmistada liin. Töös keskendutakse selle lahenduse realiseerimisele.



## 5 PAKKEROBOTILE DETAILIDE ETTEANDE LAHENDUS

Loodava lahendusena otsustati valmistada hindamismatriksi põhjal parima tulemuse saanud lahendus. Eesmärk on säilitada enne pesumasinat stantsist tulnud relsside asend ja suunata nad alati sellise orientatsiooniga pesumasinasse. Tänu sellele väljuvad detailid pesumasinast alati samasuguse asendiga. Edasi suunatakse detailid liinile, mis formuleerib need kokku pakkerobotile tõstmiseks sobivaks. Võrreldes eelnevas peatükis toodud robotitega etteande lahendusele on teostatav lahendus palju odavam ja vajab vähem ruumi. Käesolev peatükk keskendub loodud lahenduse selgitamisele.



Joonis 5.1 Projekteeritud roboti etteanne

### 5.1 Stantsist tulnud detailide asendi säilitamine pesumasinas

Stantsi *transfer* süsteem asetab relsi stantsimisprotsessi lõpus konveierile. Konveieri lõppu projekteeriti uus 1,5 mm AISI316 CS7 mustriga terasest renn. Materjalina eelistati just seda terast kuna eelmistes projektides on selgunud, et õlised metallidetailid libisevad antud mustriga terasel väga hästi. Renn keerab detailid 90 kraadi pesumasina suunda. Renni kõveruse osa seinad on põhja külge keevitatud, renni alguses ja lõpus

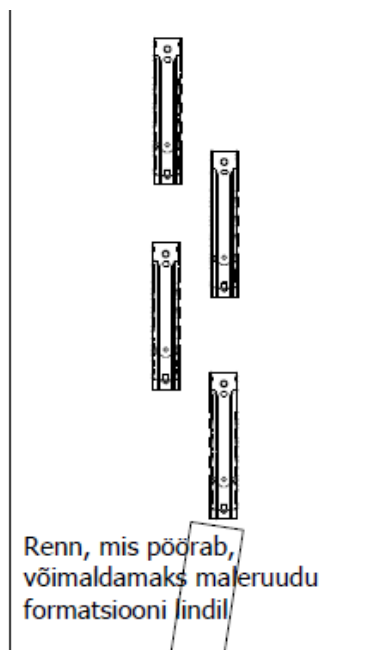
sirgel osal on seinad painutatud 90 kraadi alla. Renn suunab detailid järgmisele konveierile sama asendiga nagu need stantsist välja tulid.



Joonis 5.2 Kahe konveieri vaheline renn

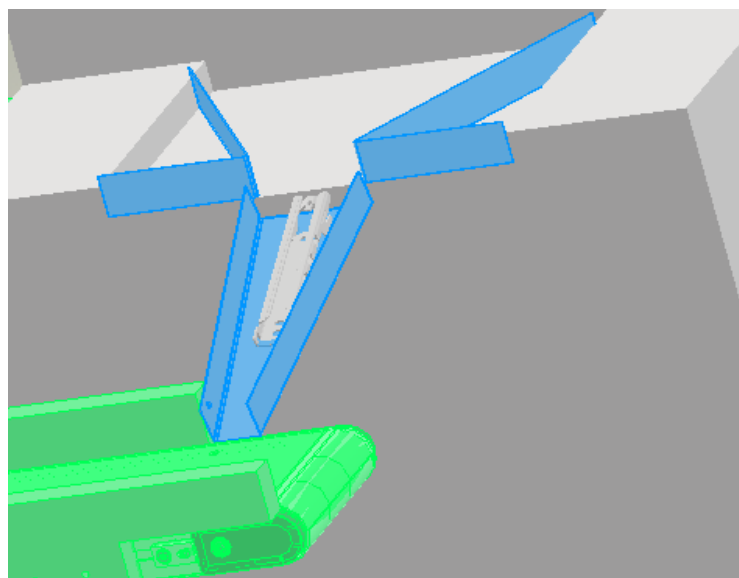
Konveier viib detailid pesumasinasse. Konveieri lõpus on renn, mis väldib kõrgelt pesumasina lindile kukkumise ja seal asendi muutumise. Antud renn muudab oma nurka pneumaatilise pöörd silindri abil. Detailid hakkavad tänu renni väikesele nurga muutusele asetsema pesumasina lindil maleruudu formatsioonis. Kuna pesumasina lint liigub aeglaselt, siis ilma renni asendi muutuseta kukuks detailid üksteise peale ja nende asend võib muutuda.

Pneumaatika komponentide tarnija on ettevõttel Festo. Kõik vajaminevad komponendid on valitud nende kataloogidest. Antud renni nurga muutmiseks sobib pöörd silinder DRRD-10-180-FH-PA. Silindri kinnitamiseks tehakse konveieri külge 45 mm alumiiniumprofiilist raam. Renni algusesse kinnitatakse lähedusandur ja selle anduri signaali peale muudetakse renni nurka. Konveieri suuna muutmiseks, et visata ära esimeste tsüklite toodang, on kasutusel Siemens LOGO! kontrollier. Seda kontrollierit saab ära kasutada, et luua lihtne renni pööramis loogika saavutamaks detailidele soovitud asetus lindil.



Joonis 5.3 Relsid maleruudu formatsioonis pesumasina lindil

Pesumasina väljundisse konveierilindi kohale on projekteeritud kaks detailide suunajat. Suunaja on painutatud 1,5 mm paksusest lehtmetailist. Nende kõrgus on 40 mm ja kinnitatakse need pesumasina korpuse külge keevisliitega. Detailid on tava olukorras lindi keskel ja sel juhul poleks suunajaid vaja. Juhul kui minigi põhjusel on detail liikunud rohkem lindi serva siis juhib suunaja detaili pesumasina lindi lõpus olevasse renni.



Joonis 5.4 Lihtsustatud pesumasina väljundi mudel koos detailide suunajate ja renniga

Renn on painutatud 1,5 mm AISI316 CS7 mustri terasest. Renn on kujult kitsanev, defineerimaks paremini detaili asendit lindile kukkudes. Renni sisendi, pesumasina

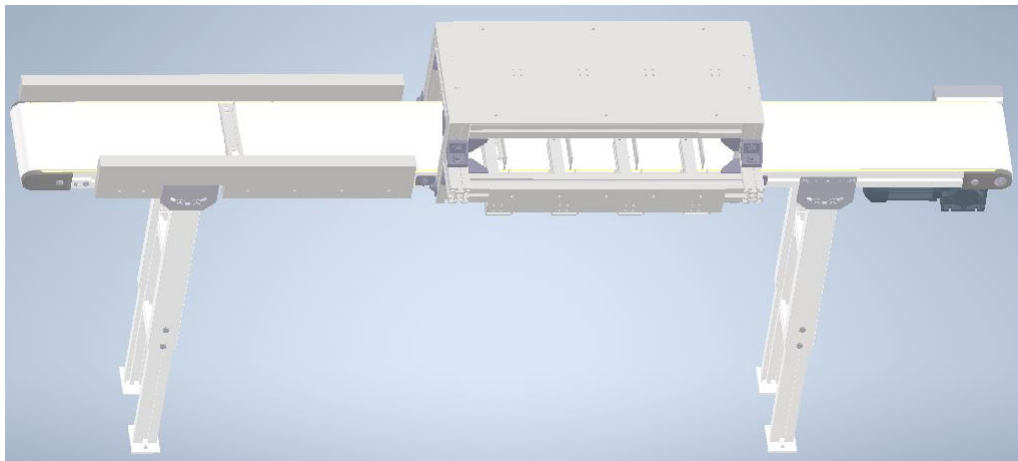
poolse otsa laius on 110 mm ja renni lõpp on 45 mm lai. Loodud renni pikkus on 320 mm ja tänu sellele jõuab detail 970 mm kõrguselt pesumasina lindilt 850 m kõrgusele konveieri lindile. Renn kinnitatakse konveieri seina külge M6 poldiga.

## 5.2 Pesumasina järgne konveier koos jaotussüsteemiga

### 5.2.1 Konveier

Konveier on genereeritud vastavalt seatud nõuetele mk Technology Groupi *QuickDesigner* tarkvara abil. Antud tarkvara võimaldab vastavalt enda sisestatud andmetele luua sobiv konveier, saada selle 3d mudel ja mugavalt küsida loodule hinnapakkumist. [8] Etteandes kasutatav konveier on 2100 mm pikk, 850 mm kõrge ja 200 mm lai. Konveier on piisavalt pikk, et etteandesüsteemi rikke korral saab panna operaatori konveierlindi lõppu relsse pakkima. Konveieri tugijalad on reguleeritavad ja mootor asub lindi all vasakus servas. Konveierilint on libisemist võimaldavast materjalist, antistaatiline ja sobib toodetele temperatuuridel 0° kuni 70° C. Toiteks vajab konveier 230/400 V vahelduvvoolu. Konveieri kiirus on konstantne, 8 m/min. Arvestades, et relsid tulevad maksimaalselt 1,5 sekundiliste vahedega konveierilindile, jääb kahe relsi vaheks alati vähemalt 200 mm.

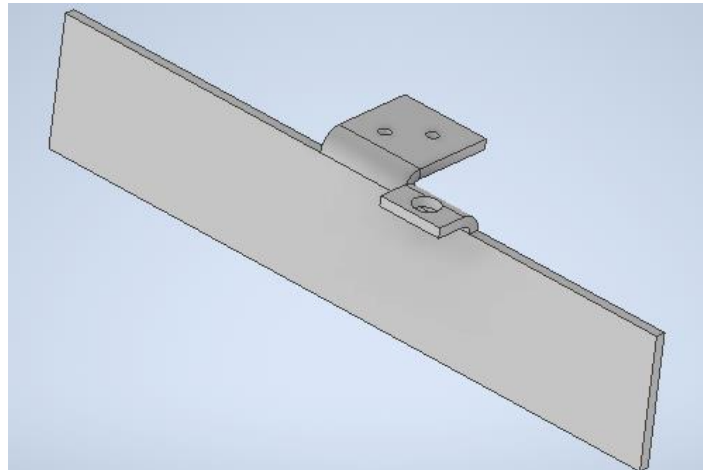
Konveieri alguse servadesse on projekteeritud 30 mm paksused ja lindist mõõdetuna 50 mm kõrgused seinad takistamaks rennist tulnud detailide maha kukkumist. Seinad valmistatakse PE1000st. Polüetüleen 1000 on väga hea kulumiskindlusega, vastupidav löökidele ja heade libisemisomadustega plastik. Seda kasutatakse erinevate liugpindadena, näiteks konveieri juhikud, ketijuhikud. [9] Antud plasti on lihtne hankida ja hea töödelda. Seinad kinnitatakse konveieri külge kasutades profiili soonde käivaid T-mutreid ja M6 polte.



Joonis 5.5 Konveier koos detailide jaotussüsteemiga

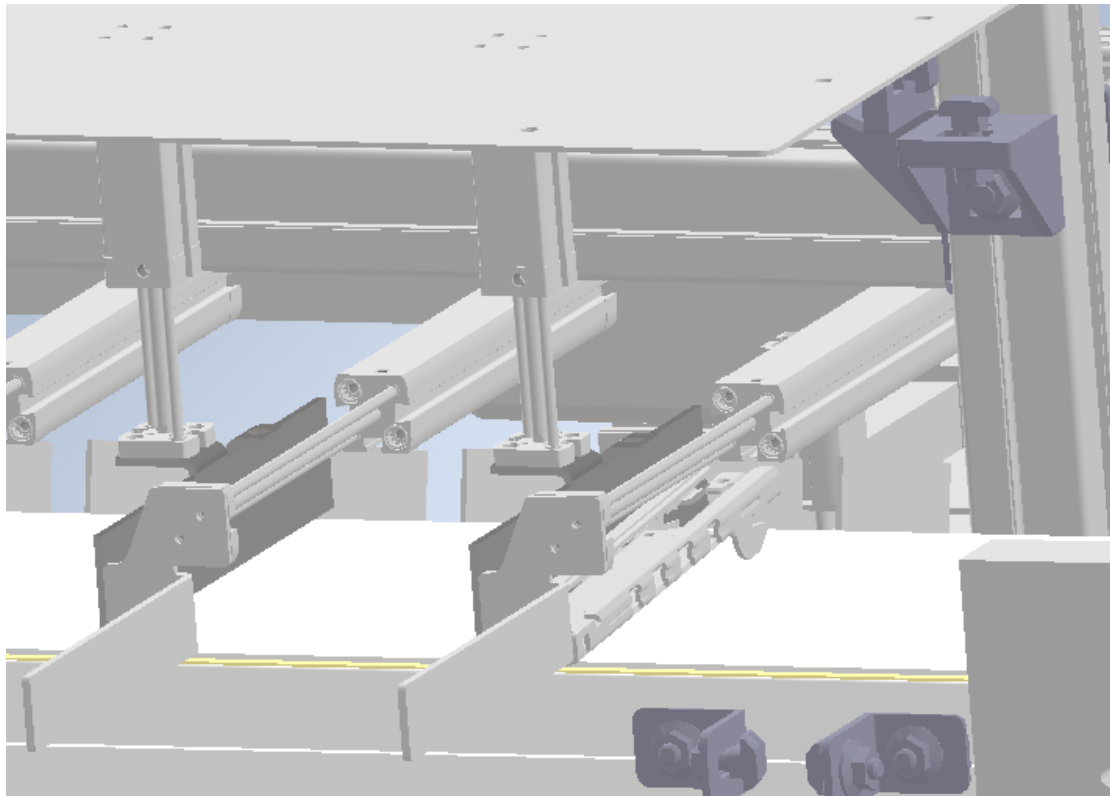
## 5.2.2 Relsside jaotussüsteem

Konveieri lindile jõudnud detailid jaotatakse ära nelja paralleelse liini vahel. Kõik liinid täidavad sama funktsiooni. Neli on neid seetõttu, et võita ühe detaili manipuleerimiseks kasutatavat aega. Lindil on neli detailide stopperit. Stopperid on tehtud 3 mm paksusest roostevabast terasest ja neile on lisaks projekteeritud M8 lähedusanduri kinnitus. Stopper liigub vertikaalselt ülesse/alla. All asendis on konveieri lindi ja stopperi vahel ruumi 2 mm.



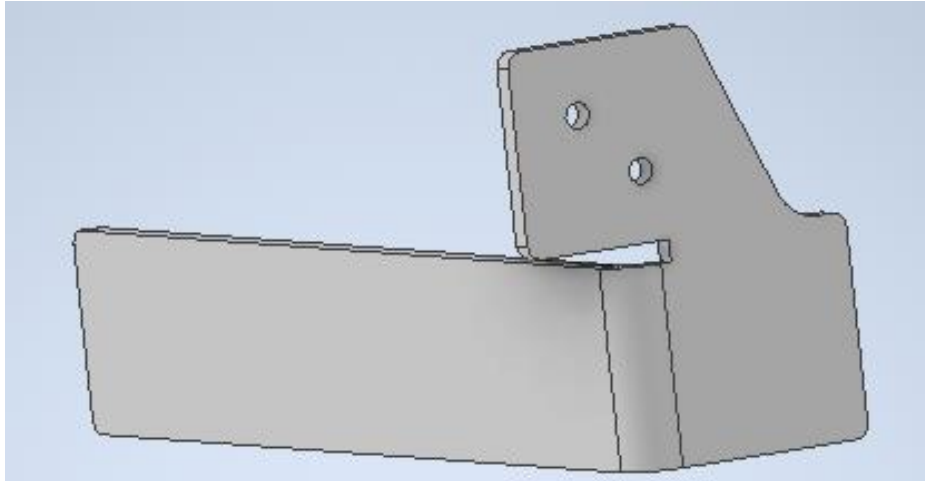
Joonis 5.6 Konveieri lindil olev detailide stopper

Stopperite liigutamiseks on kasutuses Festo ADNGF-12-50-P-A silindrid. Stopper kinnitatakse silindri külge kahe M3 poldiga. Festo ADNGF seeria silindrid on koos juhtsamastega ja seega silindri võll ei pöörle, stopper on alati lindi liikumissuunaga risti. 12 mm diameetriga kolviga silindri kokku liikumise tõmbejõud 6 bari juures on 51 N [10]. Silindri käik on 50 mm, seega antud silinder suudab 214 g kaaluva stopperi ülesse tõsta ja detailid mahuvad ülesse tõstetud stopperi alt läbi. Silindri positsiooni tuvastamiseks on võimalik kinnitada silindrile lähedusandurid. Silindrite kinnitamiseks on ehitatud konveieri külge 45 mm alumiiniumprofiilist raam. Raami peal on 2 mm paksune AISI 316 terasplaat, kuhu on tehtud avad silindrite kinnitamiseks. Iga silinder kinnitatakse plaadi külge nelja M4 poldiga.



Joonis 5.7 Detailide jaotamissüsteem

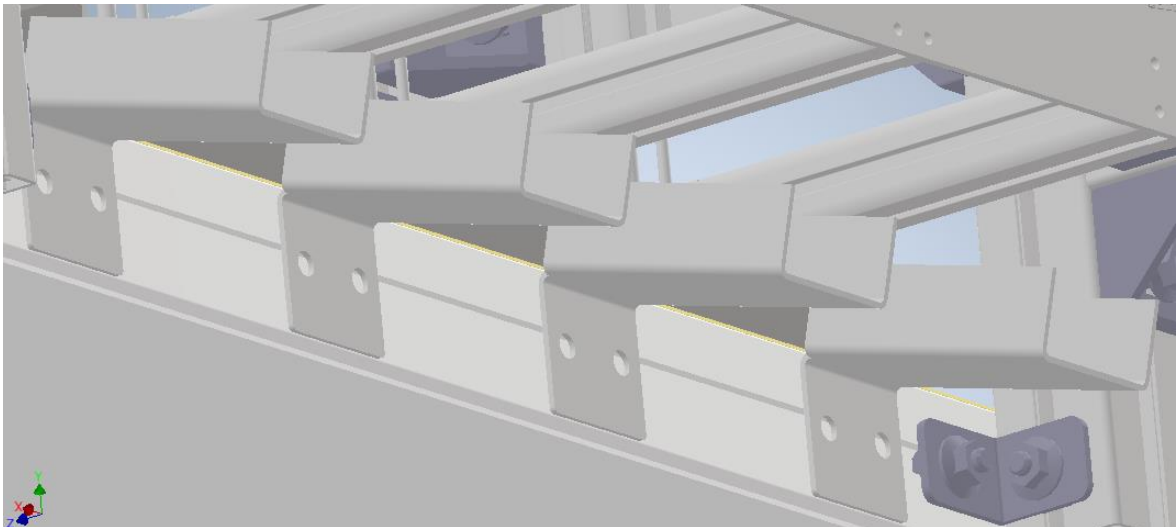
Juhul kui stopperil olev lähedusandur tuvastab detaili olemasolu, lükatakse detail lindilt renni. Lähedusandur asub stopperi keskel. Seega detail võib tulla vastu stopperit ka nurga all, aga detaili maha lükkamine toimub alles siis kui relsi keskosa on vastu stopperit. Detailide maha lükkamiseks on disainitud 3 mm roostevabast terasest lindilt maha lükkaja. Projekteerimisel on silmas peetud, et korraga lükatakse lindilt maha ainult üks relss ja maha lükkaja ei läheks vastu stopperi küljes olevat lähedusandurit. Juhul kui tulevad kaks relssi koos siis lükatakse lindilt maha esimene relss ja teise relsi lindil edasi liikumise takistamiseks on relsside lindilt maha lükkaja L-kujuga. Maha lükkaja liigub horisontaalselt ja selle liigutamiseks on kasutatud Festo ADNGF-12-80-P-A silindrit. Kinnitamiseks on kasutatud kahte M3 polti. Silindri kinnitamiseks on ehitatud 45 mm alumiiniumprofiilist raam ja silinder kinnitatakse 3 mm paksuse terasest kinnitusplaadi külge.



Joonis 5.8 Lindilt maha lükkaja

Töö alustamisel on kõik stoppersilindrid all asendis. Juhul kui esimene relss jõuab esimese stopperini ja lähedusandur saab signaali, siis lükatakse esimene relss lindilt renni. Kui lindilt maha lükkamissilinder on lõppasendis siis tõstetakse ülesse stopper ja lükkamissilinder liigub tagasi algasendis. Järgmisena tulev relss lükatakse samal põhimõttel teise renni, kolmas kolmandasse ja neljandana tulev neljandasse renni. Enne esimest stopperit on lisaks andur, mis loeb detaile. Iga neljanda detaili puhul langetatakse esimene stopper ja detail lükatakse esimesse renni. Kui lükkamissilinder on lõppasendis siis tõstetakse ülesse esimene stopper ja samal ajal langetatakse teine stopper. Lükkamissilinder liigub tagasi algasendisse ja relss saab liikuda teise stopperini. Sama protsess kordub ka kolmanda ja neljanda stopperi puhul. Sellise tööalgoritmiga on tagatud, et jaotumine rennide vahel on võrdne.

Lindilt maha lükatud detailid liiguvad renni abil järgmisele konveierile. Rennide kinnitamiseks on konveieri külge disainitud rennide kinnitused. Kinnitused on painutatud 2 mm paksusest teraslehest ja kinnitatakse konveieri soonde T-mutrite ja M6 poltidega. Rennid toetuvad kinnituse peale ja ei ole seotud poltliitega. See võimaldab vajadusel mugavalt konveierit liigutada.



Joonis 5.9 Rennide kinnitused

Rennid on tehtud 1,5 mm AISI316 CS7 mustriuga terasest. Rennide abil liiguvad relsid 850 mm kõrguselt konveierilt 550 mm kõrgusele konveierile. Rennide jaotussõlme poolsed otsad on 50 mm laiused. See välistab kahe relsi sama aegse renni lükkamise. Renni pikkus on 850 mm ja sellel on avad kinnitamaks seda pakkeroboti etteandekonveieri vaheseinte külge.



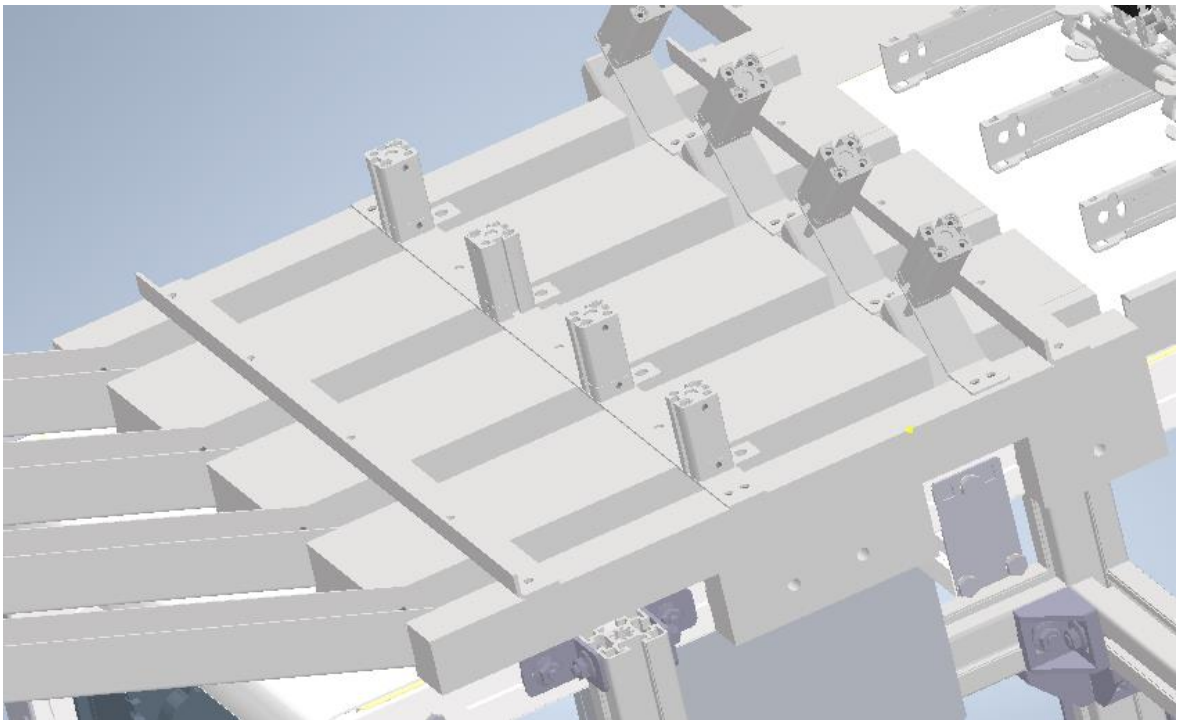
Joonis 5.10 Kahe konveieri vahelised rennid



### 5.3 Pakkeroboti etteandekonveier

Rennide abil jõuavad relsid järgmisel konveierile. Rennid on kinnitatud konveieri vaheseinte külge M6 poltidega. Konveier on taas loodud mk Technology Groupi *QuickDesigner* konveieri koostamise tarkvara abil. Konveieri laius on 470 mm, pikkus 940 mm ja kõrgus 550mm. Konveierile tehti ise 45 mm alumiiniumprofiilist jalad ja need kinnitatakse pööranda külge M12 ankurpoltidega. Konveier kasutab toiteks 230/400 V vahelduvpinget ja konveieri kiirus on muudetav vahemikus 1,4-10 m/s.

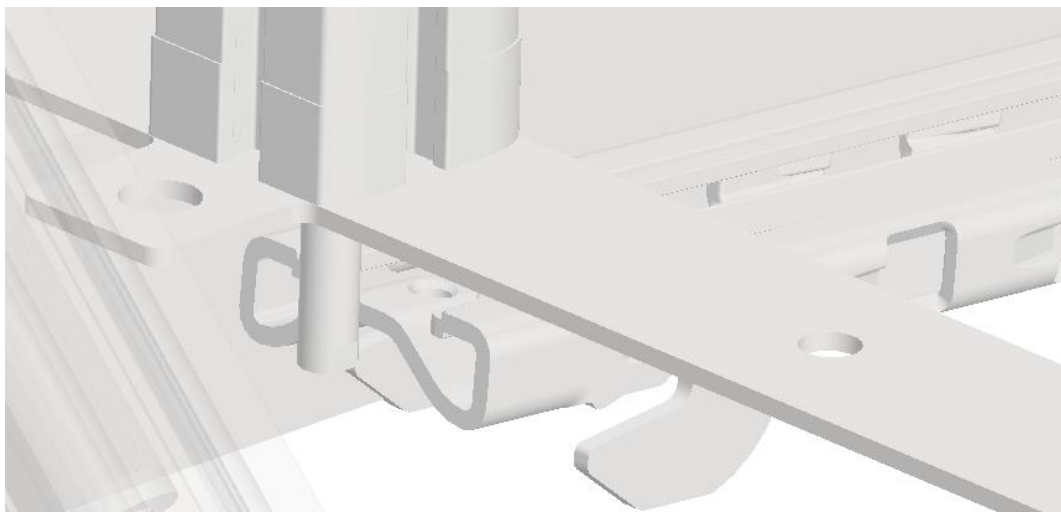
Konveierile on projekteeritud 30 mm paksused ja lindist 40 mm kõrgemad PE1000st küljeseinad. Küljeseinad kinnitatakse konveieri külge selle profiilisoonde T-mutrite ja M6 poltide abil. Küljeseintesse on tehtud süvendid arvestades konveieri jalgade asendit ja keermetatud avad kinnitamaks renne, pneumosilindreid. Relsside teede vahel on samast materjalist vaheseinad, mis on 100 mm laiad ja 40 mm kõrged. Nii jääb relsi liikumiskoridori laiuks 40 mm. Vaheseinad on konveieri lindist 2 mm õhus, et mitte kulutada linti. Vaheseinad on kinnitatud kahe ühendustalaga, mis toetuvad küljeseintele. Ühendustalad on valmistatud 3 mm paksusest roostevabast terasest ja üks külg on painutatud 90° ülesse vältimaks kinnituse läbipainet.



Joonis 5.11 Konveieri seinad

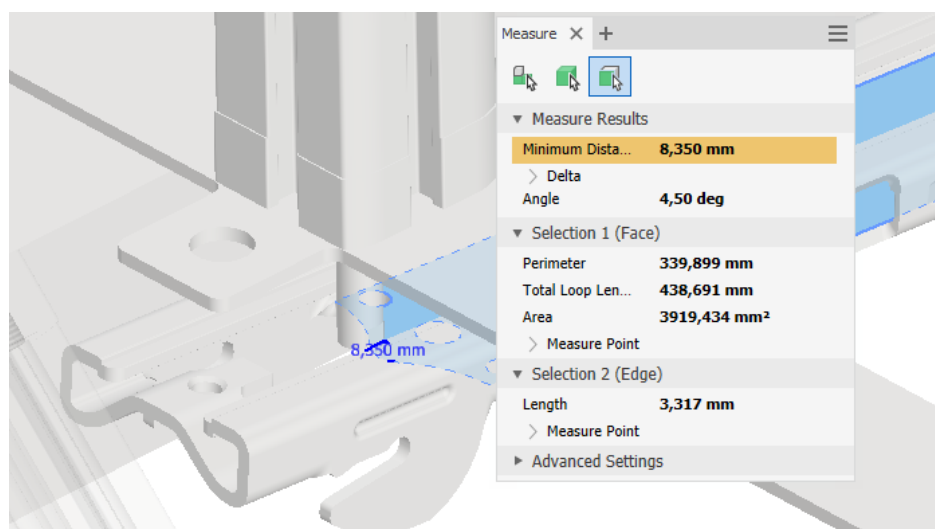
### 5.3.1 Relsside üksteisest eraldamine

Relss jõudnud rennilt konveierile jõuab esmalt stoppersilindrini. Festo ADN-12-20-I-P-A silinder, mille käigupikkus on täpselt valitud, on pandud raja keskele. Normaalses olekus on silindrivars väljas ja detaili kinni peatamiseks kasutatakse ära selle geometria. Relsi ees osa on kõrgem ja detail takerdub sellega silindri varre taha.



Joonis 5.12 Detaili kinni peatamine

Juhul kui vaja detail edasi lasta, siis liigutatakse silindri kolb ülesse ja vars tõmbub silindri sisse. Silindri kinnitus on tehtud 2 mm terasest ja selle külge on tehtud ka M8 lähedusanduri kinnitus. Silinder on kinnitatud kinnituse külge nelja M4 poldiga. Juhul kui kinnituse küljes olev andur annab signaali, siis on teada, et relsi kõrgem osa on silindri alt läbi ja silindri võib taas alla lasta, takistamaks järgmiste detailide peale tulemist. Sel hetkel silindrit alla lastes ei takistata hetkel liikumises olevat detaili vaid sellest järgmist.



Joonis 5.13 Relsi tagumine osa mahub välja lükatud silindri varre alt läbi

Detailide kinni peatamine on vajalik, et detailid ei liiguks üksteisele selga ja järgmises operatsioonis oleks võimalik relss küljele keerata. Mitut üksteisega koos olevat toodet ei oleks võimalik järgmises protsessis käidelda.

### 5.3.2 Relsside küljele keeramine

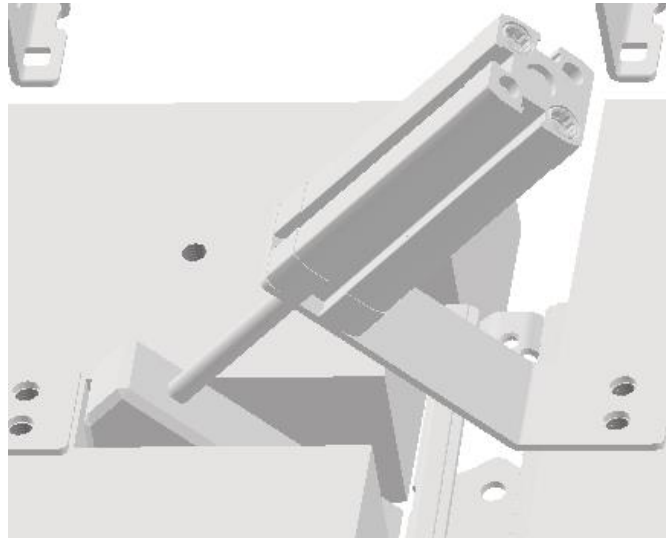
Silindri alt läbi lastud relss takerdub piiraja taha. Selle eesmärgiks on lasta läbi ainult küljel olevad relsid. Piiraja on tehtud PE1000st ja kinnitatakse vaheseinte külge kahe M6 poltiga. Tänu piirajale jääb relsi tee laiuseks 25 mm. Relsid keeratakse küljele alles siis kui järgmises protsessis on vajadus selle järgi. Seega küljele keeramise jaama kasutatakse ka detailide pidurdamiseks ja liikumiste ajastamiseks. Relsside silindriga küljele keeramise võimaluse katsetamiseks valmistati prototüüp.



Joonis 5.14 Relsi küljele keeramise jaama prototüüp

Prototüübiga veenduti, et silindriga on võimalik relssi ümber pöörata. Silinder peab olema relsi suhtes  $45^\circ$  nurga all ja silindri varre külge käiv ümberpööraja peab olema varrega risti. Nende teadmiste põhjal projekteeriti relsside küljele keeramise jaam liinil. Silindriks valiti Festo ADN-12-50-A-P-A. Antud seeria silindrid on väiksed, kompaktsed ja nende kinnitamisviis oli antud operatsiooni täitmiseks parim. Silindri kinnitus on tehtud 2 mm teraseset ja kinnitatakse vaheseinte külge kahe M6 poldiga. Silinder kinnitatakse kinnituse külge nelja M4 poldiga. Silindri varre otsas on M5 väliskeere, mille otsa keeratakse alumiiniumist disainitud silindri võlli ots. Silindri käigupikkust valides ja kinnitust disainides veenduti, et välja lükatud silinder ei läheks vastu konveierlinti ja oleks täies ulatuses vaheseinas olevas taskus, vältimaks detailide takerdumist selle taha. Kuna antud silindri võll saab pöörelda siis disainitud silindriots tehti piisavalt suur,

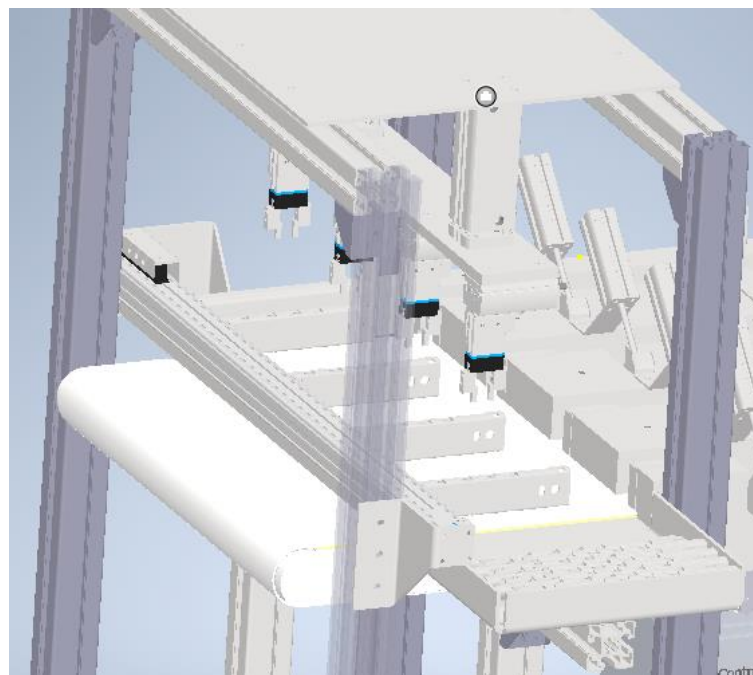
et see ei tuleks vaheseina sees olevast taskust täies ulatuses välja kui detaili küljele keeratakse.



Joonis 5.15 Projekteeritud relsside küljele keeraja

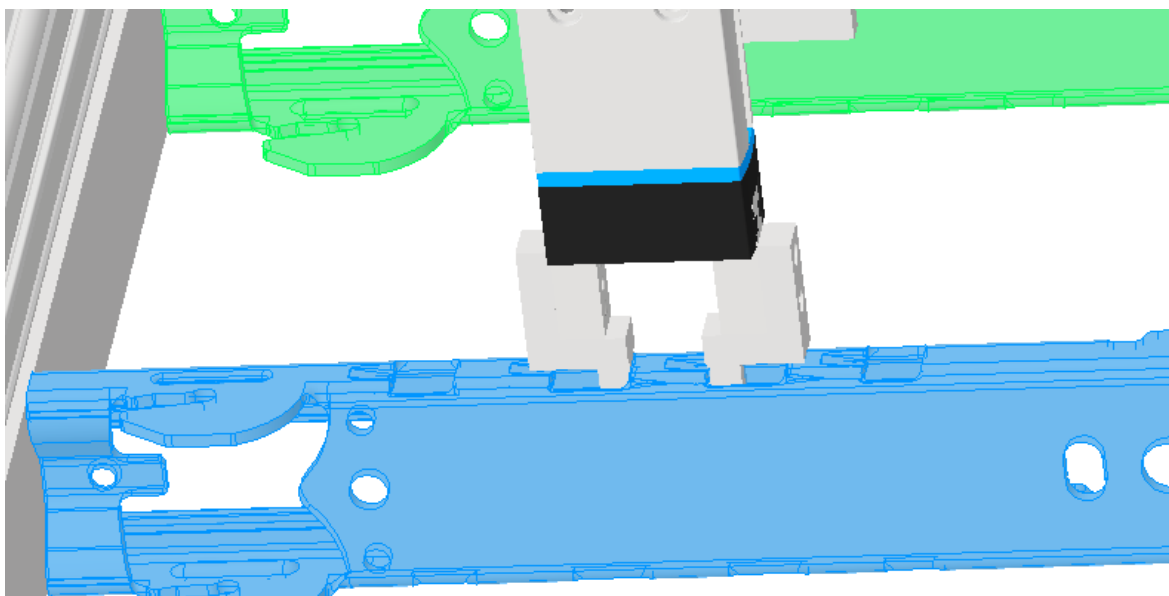
### 5.3.3 Relsside ümber pööramine ja kastiformatsiooni saavutamine

Juhul kui kõigi nelja küljele keeramise silindri juures on relss ja järgmises protsessis on vajadus nende järgi, keeratakse neli relssi korruga küljele. Konveierilint viib relsid järgmisesse jaama, kus tõstetakse relsid kokku kasti formatsiooni.



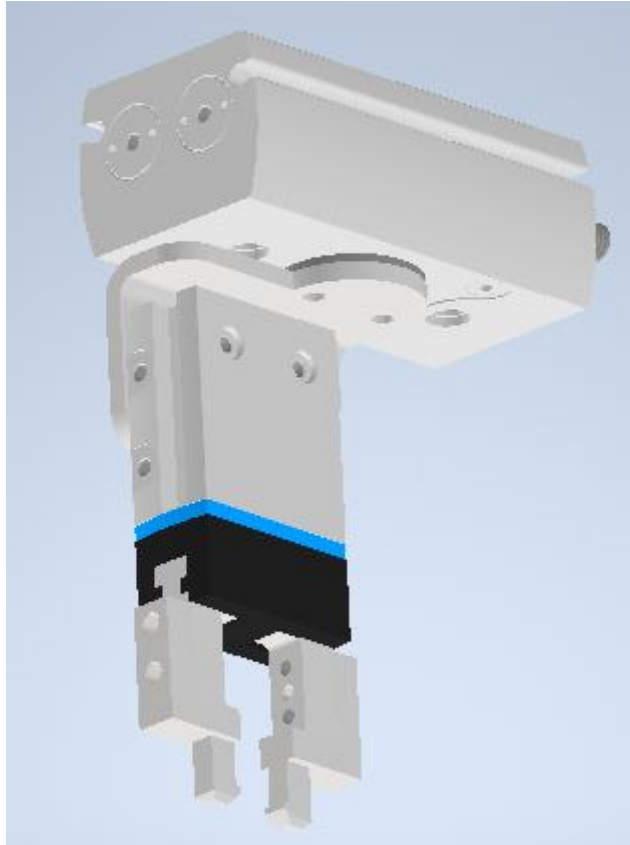
Joonis 5.16 Relsside kokku tõstmise jaam

Jaamas on relsside haaramiseks neli DHPS-10-A haaratsit. Haaratsil on kaks paralleelselt liikuvat käppa, mille kummagi käik on 3 mm. Käppade asukoha tuvastamiseks saab haaratsile kinnitada lähedusandurid. Haarats kaalub 67 grammi suudab vertikaalsuunas hoida detaili jõuga 60 N. [11] Kuna relss kaalub 150,2 grammi, on antud haarats tõstmiseks sobiv. Haaratsi käppade külge projekteeriti tööriistaterasest relsside haaramiseks sõrmed. Relsse tõstetakse küljel asuvast kahest keskmisest avast. Sõrmede otstes on millimeetri kõrgune aste takistamaks relsside sõrmede vahelt ära libisemist. Sõrmed kinnitatakse haaratsi käppade külge kahe M3 poldiga. Üks haaratsi sõrm kaalub 10g.



Joonis 5.17 Relssi haaramine

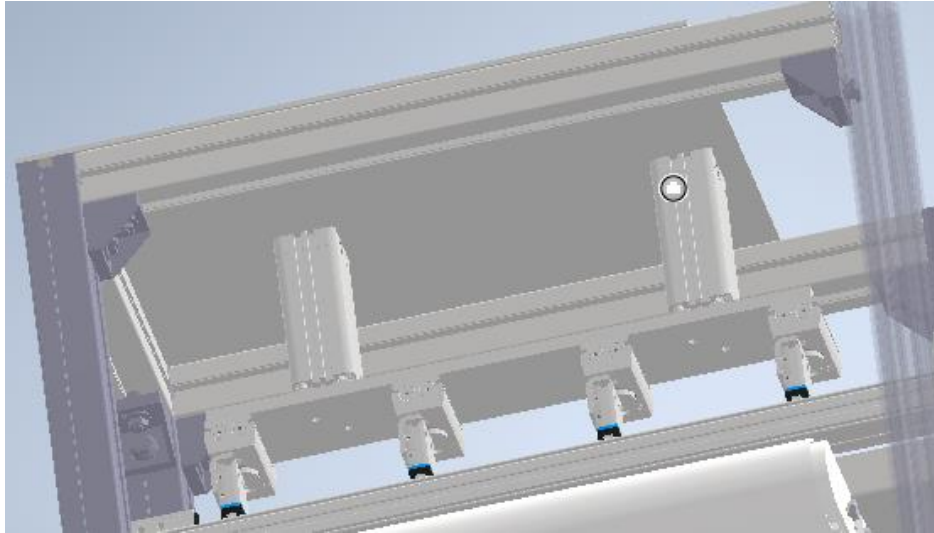
Relsside pööramiseks on kasutuses Festo DRRD-10-180-FH-PA pöördsilinder. Antud seeria silindrid on töökindlad ja väga täpsed oma lõpupositsioonides. Silindrit on võimalik mitmel erineval moel kinnitada ja pöördnurk on muudetav 0 kuni 180°. Silinder kaalub 245 grammi ja maksimaalne väändemoment on 0,4 Nm. [12] Haarats on kinnitatud pöördsilindri külge 3 mm paksusest teraslehest painutatud kinnituse abil, mis kaalub 50 grammi. Kinnitamiseks on kasutatud M3 polte. Haarats ei asu silindri pöördeplaadi keskel vaid tsentrist eemal. Tänu sellele on võimalik peale ühe relsi pööramist kaks relssi omavahel selga pidi kokku panna.



Joonis 5.18 Haaratsi koost

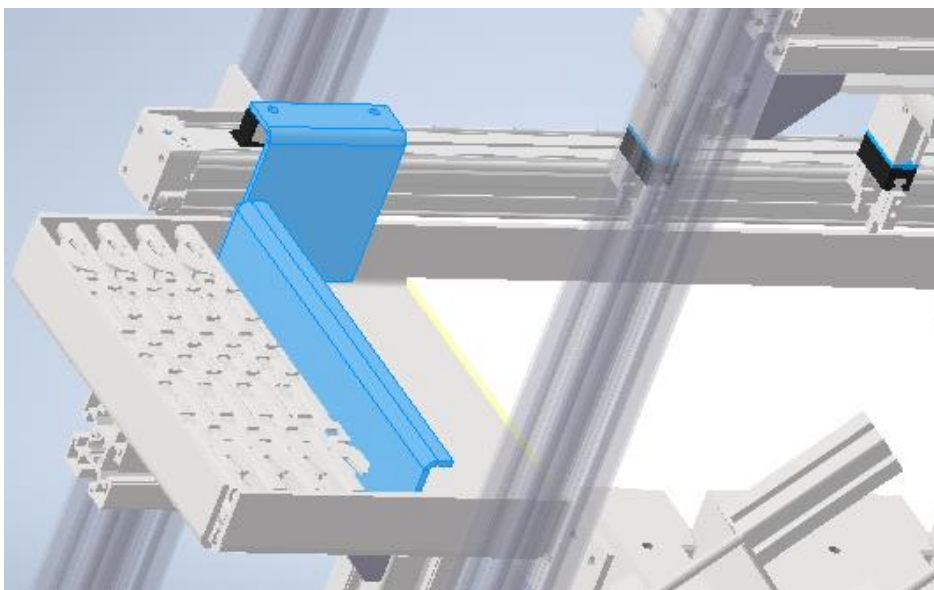
Pööramismehhanismid on kinnitatud 10 mm paksuse alumiinium plaadi külge M4 poltidega. Plaat kaalub 893 grammi. Plaadiga on kõik neli relsside ümber pöörajat omavahel seotud. Haaratsite ülesse alla liigutamiseks on kasutatakse pneumosilindreid. Silindrid peavad jaksama ülesse tõsta kogu detailide relsside ümber pööramise süsteemi. Tõstetava osa mass on 3010 grammi. Antud süsteemi sobib tõstma Festo ADNGF-20-80-P-A silinder. Tegu on juhikutega silindriga, mille teoreetiline jõud tagasiliikumisel 6 bari juures on 141 N. [13] Tänu juhikutele talub antud silinder külgsuunalisi jõudusid paremini kui tavapärased silindrid. Käigupikkus 80 mm on piisav, et ülesse tõstetuna ei jää haaratsid järgnevatele protsessidele ette. Silindrite kinnitamiseks on ehitatud 45 mm alumiiniumprofiilist raam, mille peal on 3 mm paksune terasplaat silindrite kinnitamiseks. silindrid kinnituvad plaadi külge M5 poltidega ja plaat profiilidest raami külge M6 poltide ja T-mutritega.





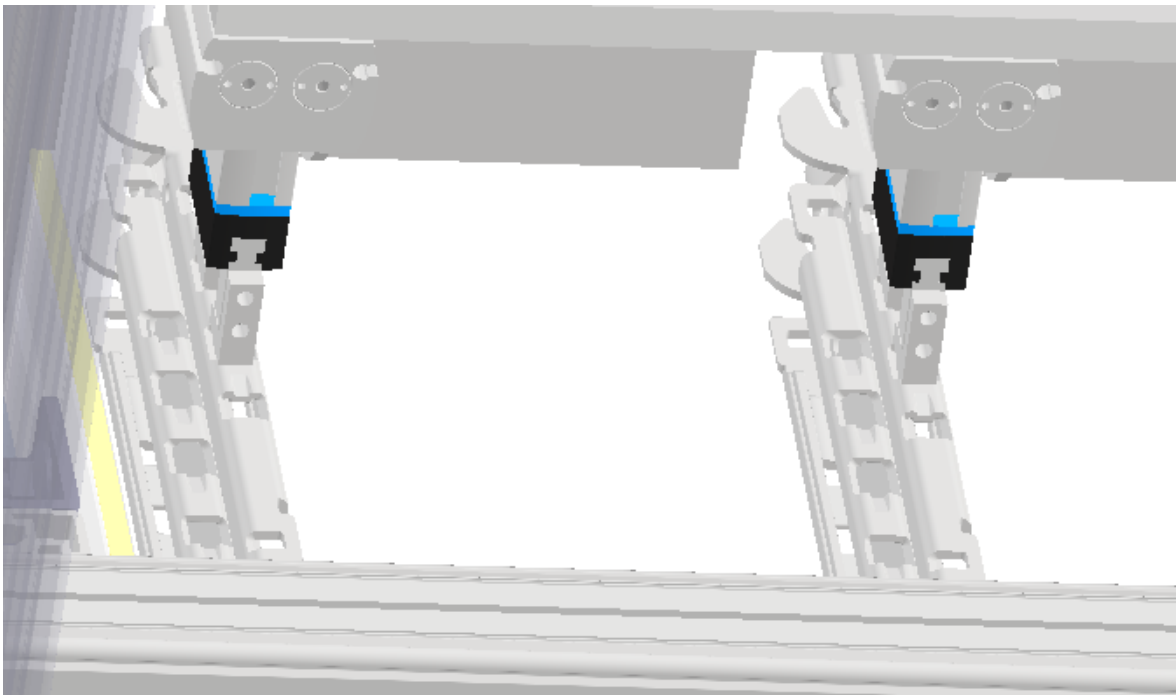
Joonis 5.19 Haaratsite vertikaalsuunas liigutamise silindrid

Robotile võtmiseks sobivaks muutmiseks peab relsid omavahel kokku lükkama. Selleks on kasutatud Festo pneumaatilist telge DGC-K-18-200-PPV-A-GK ja sinna külge projekteeritud detailide kokku lükkajat. Antud telg talub kelgu suunas risti väänet 11 Nm, teistest suundadest oluliselt vähem [14]. Relsside kokku lükkajat disainides on seda silmas peetud. Telg on kinnitatud ühest otsast alumiiniumprofiilist raami külge ja teisest otsast konveieri jala külge 3 mm terasest painutatud kinnitustega. Kokku lükkaja on tehtud 3 mm paksusest roostevabast terasest ja kinnitatakse kelgu külge kahe M5 poldiga. Kokku lükkaja lükkamiskülje üks serv on painutatud 90 kraadi alla, tagamaks suurema jäikuse. Etteandelaud on painutatud 4 mm roostevabast terasest. Roostevaba terast kasutatakse kuna etteande laualt tõstab robot detailid elektromagnetiga ja roostevaba teras ei magnetiseeru.



Joonis 5.20 Roboti etteandele kokku lükatud detailid

Antud jaama tööprotsess on järgmine. Juhul kui iga relsside küljele keeramise silindri juures on relss, keeratakse need korraga küljele. Seejärel viib konveier relsid tagaseina vastu. Kui kõik relsid on kohal võtmispositsioonis, siis liigutatakse haaratsid silindrite abil alla ja toimub relsside haaramine kahest keskmisest avast. Seejärel tõstetakse haaratsid ülesse. Kui haaratsid on üleval asendis ja eelmises relsside küljele keeramis jaamas on neli relssi valmis, keeratakse relsid eelmises jaamas küljele. Haaratud relsse hakatakse samal ajal kahe kaupa, üle ühe ümber pöörama. Koos ei saa kõiki pöörata, sest relsid läheksid omavahel kokku. Juhul kui kõik relsid on ümber pööratud ja uued relsid on jõudnud tagaseina vastu, lastakse haaratsid alla. Sel hetkel on saavutatud joonisel 5.21 nähtav relsside asetus.



Joonis 5.21 Relsid omavahel koos

Seejärel haaratsid avanevad ja pöörämissüsteem tõstetakse ülesse, pöörsilindrid keeratakse algasendisse. Juhul kui silindrid on ülesse jõudnud, lükkab detailide kokku lükkamise telg detailid roboti etteande lauale neli kokku pandud relsi paari kokku ja saavutatakse joonisel 5.20 nähtav olukord. Järgmiseks liigutatakse telg tagasi ja korratakse kirjeldatud protsess ühe korra veel. Peale järgmist telje kokku lükkamist on etteandelaua kokku 16 kasti formatsioonis olevat relssi ja robot tõstab need kasti.



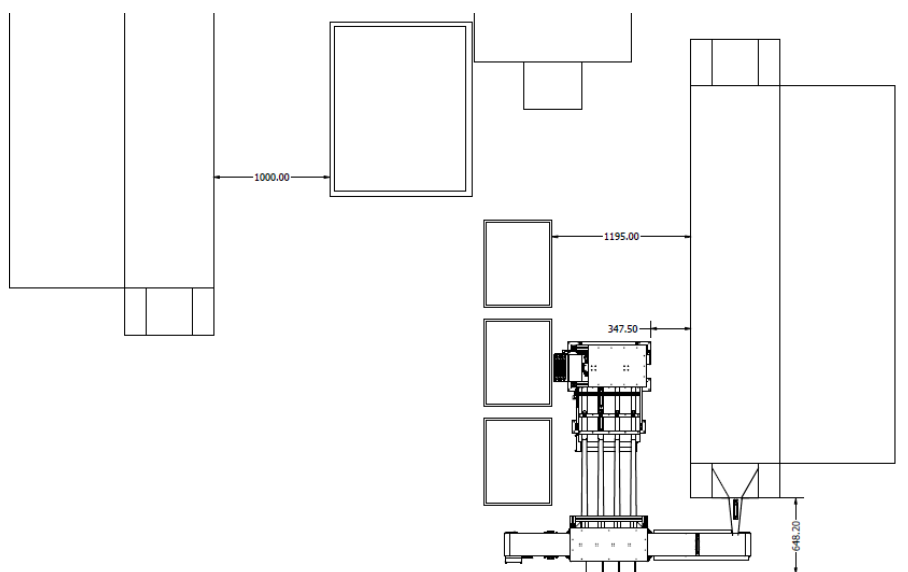
## 6 DETAILIDE PAKKIMINE KASTI

Etteandesüsteem formuleeris 16 relssi oma vahel kokku täpselt sellisesse asendisse nagu need paiknevad kastis. Käesolev peatükk keskendub relsside kasti tõstmise protsessile ja selle jaoks vajaminevate komponentide valikule. Käesolevas töös kastide etteannet ja roboti haaratsit valmis ei projekteerita vaid kirjeldatakse võimalikku lahendust.

### 6.1 Automatiseeritud pakkimise asendi plaan

Loodud lahendus tehti võimalikult kompaktselt, sest automatiseerimiseks kasutatav vaba ala oli väga piiratud. Joonisel 6.1 on paremal kujutatud pesumasin. Pesumasinast kukuvad detailid esimesele konveierile. Konveieri küljes asuva jaotussüsteemi osad asuvad pesumasinast maksimaalselt 649 mm kaugusel. Pesumasina hooldamiseks on jäätud mõlemale küljele ruumi. Pesumasina küljest kuni toodangukastini on ruumi 1195 mm. Kõige kitsamas kohas on pesumasina ja etteande vahel ruumi 348 mm. Pesumasina vasakule küljele ligi saamiseks tuleks eest ära tõsta pressi nurgas asetsev jäätmekonteiner. Jäätmekonteineri ja teise pressi pesumasina vahe on üks meeter. Jäätmekonteineri ette on jäätud piisavalt ruumi, et võimaldada selle tühjendamist kahveltõstukiga.

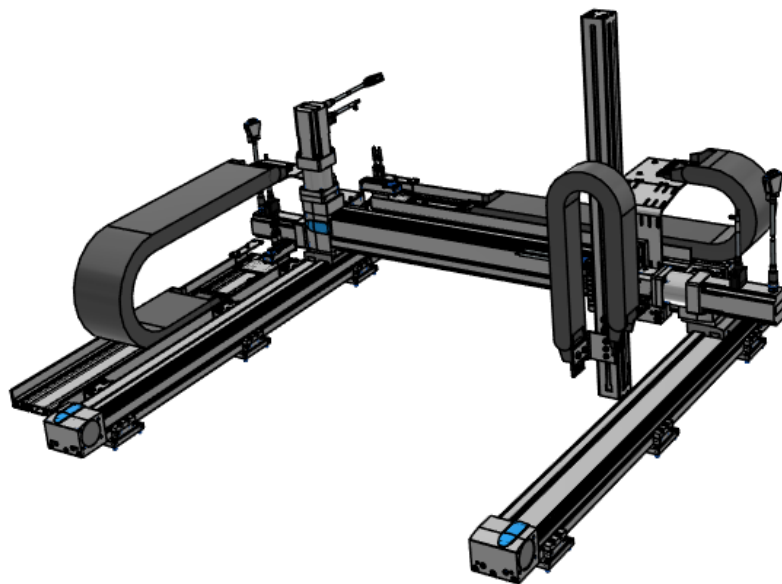
Etteande kõrval asetseb pakkekonveier, mis mahutab kolm kasti. Pressi poolsele konveieri otsa tõstetakse tõstukiga tühi kast, robot täidab keskmist kasti ja kolmandas kastis on juba laotud detailid. Sahtel vahepappidega asetseb tühja kasti konveieri kohal.



Joonis 6.1 Automatiseeritud pakkimise asend

## 6.2 Roboti valik

Robotina sobib kasutada kolme teljelist karteesian tüüpi robotit. Vajadus rohkemate telgede jaoks puudub kuna eelnevalt on relssidele juba vajalik asend saavutatud ja pakkerobot peab tõstma relsid vaid etteandepaadilt kasti ning asetama kihtide vahele vahepappe. Robot peab olema võimeline liikuma alal 1500 x 850 x 800 mm. Robot tõstab korraga 16 relssi kogumassiga 2,4 kg. Arvestades haaratsi massiks 7,5 kg siis roboti kandevõime peaks olema vähemalt 10 kg. Pakkeroboti tsükli aeg on 24 sekundit, millest liikumisele kulub maksimaalselt pool. Antud parameetrite põhjal saab Festo kodulehel olevas telgede dimensioneerimise keskkonnas luua käesoleva automatiseerimisprojekti jaoks sobilikud teljed.



Joonis 6.2 Dimensioneeritud Festo karteesian tüüpi robot [15]

Kõigi kolme telje liigutamiseks kasutatakse servoajameid ja hammasrihm ülekannet. Liigutuste korratavuse täpsus on 0,11 mm, mis on antud projekti jaoks piisav. Mootorite kontrollitena kasutatakse Festo CMMP-AS-M3 kontrollereid. Toiteks vajab robot 230 V vahelduvvoolu.

Nii robotile kui ka kogu roboti ja kastide etteandesüsteemile tuleb ehitada ümber turvaaed, kasutada turvakardinaid või sensoreid, tagamaks inimeste ohutus. Turvaaeda disainides tuleks aluseks võtta kehtiv tööstusrobotite ohutusnõuete standard.

## 6.3 Roboti haarats

Robot peab olema suuteline tõstma korraga 16 relssi etteandelaualt kasti ja laotud relsside kihtide vahele asetama vahepapi. Detailide tõstmiseks sobib kasutada elektromagnetit ja vahepappe saab tõsta iminappadega. Nõuetele vastava tehnoloogiaga haarats on valmistatud juba karastusliinile, mida on kirjeldatud peatükis 2.3. Ainus erinevus on selles, et karastusliin etteande robot tõstab korraga terve kihi relsse, käesoleva töö automatiseerimisprojektiis on vaja tõsta korraga 1/9 sellest kogusest. Roboti haarats ostetakse ostutootena ettevõtte karastusliini tarnijalt. Tarnijale antakse ette nõutud haaratsi mõõtmed ja kinnitused robotile. Relsside ja vahepappide tõstmise tehnoloogia jääb samaks.

## 6.4 Kastikonveier

Toodangukastide etteanne koosneb kolmest lühikesest konveierist. Esimene neist on tühjade kastide jaoks, teine on detailide laadimispositsioon ja kolmas on täis laotud kastide jaoks. Arvestades, et kasti pannakse 1296 detaili ja tsükli aeg on 1,5 sekundit, kulub ühe kasti täitmiseks 32,4 minutit. Kui eelnevalt tühjendada valmis pakitud kasti konveier ja panna lindile lisaks täitmispositsioonis olevale kastile konveierile ka tühi kast, suudab loodud automatiseeritud pakkimissüsteem töötada ilma operaatore sekkumiseta tund ja neli minutit.

Kastide etteanne tehakse sarnane punktis 2.3 kirjeldatud karastusliini etteande süsteemile. Lisaks projekteeritakse tühja kasti konveieri kohale sahtel, kuhu asetatakse kihtide vahepapid. Konveierid on ostutooted, andurid, piirdeseinad ja stopperid projekteeritakse sinna külge ise. Täis laotud kast koos relssidega kaalub 210 kg, seega konveier peab olema suuteline seda massi liigutama. Konveierid on madalad, 400 mm kõrgused ja linnid laiusega 600 mm.

Esimesele neist, kõige pressi poolsemale tõstetakse tühi kast. Kasti vahetuse aeg hakkavad nii esimene kui teine konveier tööle. Kasti liigutatakse kuni see jõuab teise konveieri lõpus olevate stoppersilindriteni. Seejärel mõlemad konveierid peatatakse ja kast surutakse silindri abil vastu konveieri seina. Nii fikseeritakse ära kasti asend ja ollakse kindlad, et kast paikneb relsse pakkides alati samas asendis. Kasti vahetuse aeg vabastatakse kast. Tagasi algpositsiooni liiguvad nii silinder, mille abil suruti kast vastu konveieri seina kui ka konveierite vahelised stoppersilindrid. Seejärel pannakse kõik kolm konveierit tööle. Täis kast jõuab kolmandale konveierile ja tühi kast teisele konveierile, pakkimispositsioonile.

### 6.4.1 Konveieri mootori valik

Konveieri mootorina sobib kasutada vahelduvvoolu mootoreid ja selle valikuks on vaja teostada arvutused. Mootori valik tehakse vajaliku pöörlemiskiiruse, väändemomendi ja inertsimomendi järgi [16].

Andmed:

Koormus:	$m = 210 \text{ kg}$
Hõõrdetegur:	$\mu = 0,3$
Võlli diameeter:	$D_p = 100 \text{ mm} = 0,1 \text{ m}$
Võlli pikkus:	$L_p = 600 \text{ mm} = 0,6 \text{ m}$
Võlli tihedus (roosevaba teras 304) $\rho = 8000 \text{ kg/m}^3$	
Võllide arv:	$n_v = 2 \text{ tk}$
Konveieri kiirus:	$v = 100 \text{ mm/s} = 6 \text{ m/min}$
Kiiruse saavutamise aeg:	$t = 3 \text{ s}$
Konveieri nurk:	$\alpha = 0^\circ$
Ajami kasutegur:	$\eta = 80\%$

#### Võlli pöörlemissagedus

Esmalt leitakse võlli pöörlemissagedus

$$v = \pi * d * n \Rightarrow n = \frac{v}{\pi * d}, \quad (6.1)$$

Kus:  $n$  – pöörlemissagedus, rpm (1/min)

$$n = \frac{6}{\pi * 0,1} = 19,1 \text{ rpm}$$

#### Inertsimoment

Järgmiseks leitakse inertsimomendid, esmalt mootori.

$$J_m = m * \left(\frac{D_p}{2}\right)^2 \quad (6.2)$$

Kus:  $J_m$  – mootori inertsimoment,  $\text{kg} * \text{m}^2$

$$J_m = 210 * \left(\frac{0,1}{2}\right)^2 = 0,525 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Seejärel leitakse konveieri võllide inertsimoment.

$$J_{Dp} = \frac{\pi}{32} * \rho * L_p * D_p^4 * n_v \quad (6.3)$$

Kus:  $J_{Dp}$  – võllide inertsimoment,  $\text{kg} * \text{m}^2$

$$J_{Dp} = \frac{\pi}{32} * 8000 * 0,6 * 0,1^4 * 2 = 0,094 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Viimaks arvutatakse konveieri inertsmoment.

$$J_L = J_m + J_{Dp} \quad (6.4)$$

Kus:  $J_L$  – konveieri inertsmoment,  $\text{kg} * \text{m}^2$

$$J_L = 0,525 + 0,094 = 0,619 \text{ kg} * \text{m}^2$$

### Väändemoment

Esmalt leitakse kiirenduse väändemoment.

$$T_a = J_L * \frac{n}{9,55 * t} \quad (6.5)$$

Kus:  $T_a$  – kiirenduse väändemoment, Nm

$$T_a = 0,619 * \frac{19,1}{9,55 * 3} = 0,413 \text{ Nm}$$

Seejärel tuleb arvutada võllile mõjuv jõud.

$$F = m * g * \mu \quad (6.6)$$

Kus:  $F$  – mõjuv jõud, N

$g$  – raskuskiirendus,  $9,8 \text{ m/s}^2$

$$F = 210 * 9,8 * 0,3 = 617,4 \text{ N}$$

Järgmiseks leitakse koormuse väändemoment.

$$T_L = \frac{F * D_p}{2 * \eta * 0,01} \quad (6.7)$$

Kus:  $T_L$  – koormuse väändemoment, Nm

$$T_L = \frac{617,4 * 0,1}{2 * 0,8} = 38,58 \text{ Nm}$$

Seega mootorilt nõutav väändemoment on:

$$T = T_a + T_L \quad (6.8)$$

Kus:  $T$  – mootorilt nõutav väändemoment, Nm

$$T = 0,413 + 38,59 = 39 \text{ Nm}$$

### **Mootori valik**

Mootori valik tehti Oriental Motorsi konfiguraatori abil. Sinna sisestati nõutud pöörelemisadegus ja väändemoment.

Sobilik mootor oli ühe faasiline 90W 230V vahelduvvoolu mootor 5IK90UC-90A. Antud mootori nominaalne väändemoment on 40 Nm ja pöörlemisagedus 20 rpm [17].



Joonis 6.3 Oriental Motors 5IK90UC-90A [17]

## **6.5 Hinnakalkulatsioon**

Hinnakalkulatsioon on tehtud kahes osas. Esimeses tabelis on roboti etteande maksumus ja teises tabelis on toodud prognoositav roboti ja kogu muu perifeeria maksumus. Etteande projekteerimise käigus disainiti ise 26 erinevat detaili. Hinnakalkulatsioonis pole kõiki detaile rida reallt välja toodud vaid on grupeeritud materjali järgi.

Tabel 6.1 Etteandesüsteemi maksumus

Komponent	Materjal	Kogus	Tükihind	Kokku
Konveier GUF-P AC/2100/200		1	1485	1485
Konveier GUF-P AC/940/470		1	1918	1918
Festo ADN-12-20-I-P-A		4	13,34	53,36
Festo DRRD-10-180-FH-PA		4	87,07	348,28
Festo DHPS-10-A		4	109,07	436,28
Festo DGC-K-18-600-PPV-A-GK		1	120,04	120,04
Festo ADNGF-20-80-P-A		2	34,83	69,66
Festo ADNGF-12-50-P-A		4	29,16	116,64
Festo ADNGF-12-150-P-A		4	33,33	133,32
Festo ADN-12-50-A-P-A		4	18,25	73
Festo liitmikud, andurid				1000
Lähedusandurid				1000
Rennid	1,5 mm AISI316 CS7	7		1100
Etteande laud+tagasein	4 mm roostevaba teras	1		300
Kinnitused	3 mm roostevaba teras	19		800
Kinnitused	2 mm roostevaba teras	10		400
Haaratsi sõrm	Tööriistateras	8	30	240
Keeramissilindri varre ots	Alumiinium 6061	4	50	200
Pöördsilindrite kinnitusplaat	10 mm alumiinium 6061	1	70	70
Konveierite detailide juhikud	PE1000	11		400
Strut profile 45X45 6070MM		3	80	240
Bracket set, set N10		17	17,11	290,87
Gusset 45X45		41	1,8	73,8
Cap cover gusset 45X45		41	1,01	41,4
CAP COVER 45X45		20	1,18	23,6
T-NUT 10 M6		100	0,41	41
T-NUT 10 M8		100	0,41	41
Base plate, steel 45x45		6	19,54	117,24
Poldid, mutrid				100
Kokku				11232

Tabel 6.2 Ülejäänud perifeeria prognoositav maksumus

<b>Komponent</b>	<b>Kokku</b>
Festo teljed ja mootorite kontrollid	11500
Kastikonveierid	9000
Haarats	8000
Elektrikilp	6000
Roboti raam, turvaaed, kinnitused	7000
Pneumaatika komponendid	4000
Andurid	2000
Kokku	47500

Kogu automatiseerimise eeldatav maksumus on 58800 eurot. Kuna automatiseeritud lahendusega saavutatav rahaline võit ühe pressi kohta aastas on 109200 eurot, on projekti tasuvusaeg kõigest seitse kuud.



## KOKKUVÕTE

Käesoleva magistritöö eesmärgiks oli automatiseerida lehtmetailist stantsitud keeruka geomeetriaga detaili pakkimisprotsess. Lahenduses säilitatakse stantsist tulnud detaili asend enne ja pärast pesumasinat ja pakkerobotile tõstmiseks sobivaks formuleeritakse detailid liini põhimõttel töötava etteandesüsteemiga.

Magistritöö koosneb kuuest põhiosast. Esimeses peatükis on tutvustatud AS Normat ja selle tegevusvaldkonda. Kirjeldatud on ettevõtte tootmisprotsesse.

Teises peatükis kaardistatakse ühe kindla detaili maja sisene tootmisahel. Kirjeldatud on stantsimise, detailide pesemise ja pakkimise, isothermkarastuse ja haaveldamise protsesse. Tutvustatud on seadmeid ja tootmise tähtsamaid aspekte.

Kolmandas peatükis püstitatakse relsside automaatse pakkimissüsteemi ülesanne ja esitatakse süsteemile nõuded. Analüüsitakse pakkimise automatiseerimise otstarbekust ja teostatakse tasuvusarvutused. Analüüsist selgus, et protsess on mõistlik ära automatiseerida. Tegu on masstootmisega, kus toodetakse sadu tuhandeid detaile aastas ja automatiseerimine tehakse vaid ühele kindlale detailile. Automatiseerimisega on võimalik kaotada ära üks ametikoht ning võimalik rahaline võit on suur.

Neljandas peatükis analüüsiti võimalike lahendusi. Katsetust tehes selgus, et vee surve pesumasinas ei paiska detail ringi vaid detailid takerduvad tsoonide vahelistesse kardinatesse. Juhtides relsid pesumasinasse sama asendiga nagu need tulevad stantsist, säilib asend ka peale pesumasinat. Probleeme tekitas kiire tsükliäeg. Ainult ühe robotiga, ühe kaupa pole võimalik detaile pakkida, sest ühe detaili tõstmiseks jääks kõigest 1,5 sekundit. Võimalusena kaaluti nii mitme roboti lahendust kui ka liini loomist, mis formuleeriks mitu toodet omavahel kokku, et pakkerobot saaks tõsta kasti korraga mitmeid relsse. Lahenduste hindamiseks ja otsustamiseks kasutati hindamismaatriksit.

Viiendas peatükis kirjeldati loodud etteandesüsteemi. Stantsist tulnud relsside asend säilitatakse rennide abil nii enne kui pärast pesu. Seejärel toimub detailide jaotamine nelja paralleelse liini vahel, et võita ühe detaili manipuleerimiseks kasutatavat aega. Liini lõpuks on omavahel kokku pandud kasti formatsioonis 16 relssi, mis on robotile tõstmiseks sobilikud. Robot täidab ühte veergu kolm korda ehk pakkeroboti tsükliajaks jääb vähemalt 24 sekundit, mis on enam kui piisav.

Kuuendas, viimases peatükis keskendutakse ülejäänud automaatikasüsteemi osadele. Pakutakse välja asendiplaan ja valitakse antud projekti jaoks sobiv robot. Kirjeldatakse kastide etteandesüsteemi ja haaratsi kriteeriume. Viimaks arvutatakse välja projekti maksumus.

Magistritöö täitis oma eesmärgi. Välja töötati realselt teostatav automaatne pakkimislahendus, mille prognoositav tasuvusaeg on kõigest 7 kuud. Valmis projekteeriti roboti etteanne ja valiti robot. Samuti kirjeldati kastikonveieri tööpõhimõtet ja nõudeid haaratsile. Automatiseerimisprojekti lõpetamiseks tuleks valida kastikonveierid ja projekteerida sellele silindrite ning andurite kinnitused. Lisaks tuleb disainida turvaaed ja valida elektroonikakomponendi. Lõputöö käigus omandasin palju uusi praktilisi teadmisi automaatikaliini disainimisest ja lähen tulevastele projektidele vastu märksa suurema kogemustepagasiga.

## SUMMARY

The purpose of this master's thesis was to automate the packing process of vehicle safety system component. Automating was very challenging due the sheet metal part complex geometry. To get parts suitable for robot, firstly the parts orientation was maintained through washing process. To achieve the box formation, a line feeding unit was used.

The thesis consists of six main sections. The first chapter is an overview of AS Norma. In this chapter the company's field of activity and manufacturing processes are described.

The focus of the second chapter relies on the manufacturing process of the sheet metal part. The stamping, washing, packing, tempering and shot blasting processes are described. The chapter gives an overview of machines and explains the important aspects of manufacturing process.

In the third chapter the technical tasks and requirements for automated packing system is raised. The analysis showed that for one specific detail in the mass production it is reasonable to automate the packing process. Hundreds of thousands parts are produced per year, and with automation cycle time and process costs are reduced.

In the fourth chapter possible methods for automation are analysed. During the test it turned out that the water pressure does not change the part orientation. The parts can get stuck to the curtains which are between the washing zones. When directing the part coming from the tool with the same orientation into the washing machine, the position of the part would not change inside the machine. A problem was caused by the fast cycle time. With only one robot, it is not possible to pack all the details. The cycle time 1,5 seconds is not enough to grab the detail and put it into the box one by one. As solution, the use of several robots or the automated line is considered. The goal is to formulate several products together so that the packing robot can lift several rails at a time. An evaluation matrix was used to evaluate the possible solutions and to make the decision.

The fifth chapter gives an overview about designed robot feeding system. The orientation of the rails coming from the machine is maintained with chutes both before and after washing process. The parts are then divided between four parallel lines to gain time to manipulate each part. At the end of the line, 16 rails are assembled in a

box formation. This way they are suitable for the packing robot to lift them up and pack into the box. The robot needs to fill the column three times. The cycle time of the packing robot will be at least 24 seconds.

The final chapter focuses on the remaining parts of the automated system. The automation layout is proposed and suitable robot for this project is selected. The criteria of the box feed system and gripper and possible further developments are described. In the end of the chapter, the cost of the project is presented.

In conclusion, this master's thesis fulfilled the stated goals. During the study, a realistically feasible automatic packaging system was developed. The project estimated payback period is only seven months. The feeding system of the robot was designed and the robot was selected. The working principle of the box conveyor and the requirements for the gripper are described in the thesis. To complete the automation project, box conveyors should be selected and mounts for sensors and cylinder should be designed. In addition, a safety fence must be designed and the electronic components should be selected. The practical knowledge of a process automation that was acquired during this project can be engaged into next projects.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] AS Norma, „AS Norma,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.norma.ee/>. [Kasutatud 10 4 2020].
- [2] Autoliv Inc, „Autoliv,“ 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.autoliv.com/about-us>. [Kasutatud 10 04 2020].
- [3] PESCATÉ, Invernizzi presse, „Main operating and maintenance instruction manual“.
- [4] K. Jaason, „ISOTERMKARASTUSE REŽIIMIDE VÄLJATÖÖTAMISE ALUSED,“ Tallinn, 2010.
- [5] M. Sarkans, „Automatiseerimine, tööstusrobotika ja andmete monitooring – näited VKE-de põhjal,“ %1 *Ressursitõhususe infoseminaride seeria „Fookuses on tootmisefektiivsus!“*, Rakvere, 2018.
- [6] Cognex Corporation, „VISION-GUIDED ROBOT AUTOMATES MACHINING PROCESS,“ Cognex, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cognex.com/applications/customer-stories/automotive/vision-guided-robot-automates-machining-process>. [Kasutatud 14 04 2020].
- [7] Cognex Corporation, „PATMAX OBJECT LOCATION,“ Cognex, 2020. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.cognex.com/products/machine-vision/vision-software/vision-tools/pattern-matching/patmax-object-location>. [Kasutatud 04 14 2020].
- [8] mk Technology Group, „QuickDesigner, the Conveyor Technology Configurator,“ Maschinenbau Kitz GmbH, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mk-group.com/en/service/tools-and-configurators/quickdesigner.html>. [Kasutatud 22 04 2020].
- [9] Temat Eesti OÜ, „PE(POLÜETÜLEEN),“ Temat Eesti OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <https://temat.ee/pepoluetuleen/>. [Kasutatud 01 05 2020].
- [10] Festo, „Compact cylinders ADNGF, standard port pattern,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.festo.com/cat/xdki/data/doc\\_engb/PDF/EN/ADNGF\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/xdki/data/doc_engb/PDF/EN/ADNGF_EN.PDF). [Kasutatud 22 04 2020].
- [11] Festo, „Parallel gripper DHPS,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_engb/PDF/EN/DHPS\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_engb/PDF/EN/DHPS_EN.PDF). [Kasutatud 02 05 2020].
- [12] Festo, „Twin-piston semi-rotary drives DRRD,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/media/pim/127/D15000100122127.PDF>. [Kasutatud 2 05 2020].
- [13] Festo, „Compact cylinders ADNGF, standard port pattern,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.festo.com/cat/xdki/data/doc\\_engb/PDF/EN/ADNGF\\_EN.PDF](https://www.festo.com/cat/xdki/data/doc_engb/PDF/EN/ADNGF_EN.PDF). [Kasutatud 10 05 2020].
- [14] Festo, „Linear drives DGC-K,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.festo.com/cat/en-gb\\_gb/data/doc\\_ENUS/PDF/US/DGC-K\\_ENUS.PDF](https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_ENUS/PDF/US/DGC-K_ENUS.PDF). [Kasutatud 10 05 2020].
- [15] Festo, „3D gantries,“ [Võrgumaterjal]. Available: [https://www.festo.com/cat/et\\_ee/products\\_YXCR](https://www.festo.com/cat/et_ee/products_YXCR). [Kasutatud 15 05 2020].
- [16] Oriental Motor USA Corp, „AC Motors Selection flow,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.orientalmotor.com/support/selectionTips.pdf>. [Kasutatud 15 05 2020].
- [17] Oriental Motor USA Corp, „5IK90UC-90A, 90 W (1/8 HP) Induction Gear Motor,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://catalog.orientalmotor.com/item/ac-motors->

gearmotors-/90w-kii-single-phase-ac-motors/5ik90uc-90a. [Kasutatud 15 05 2020].

## **GRAAFILINE OSA**

- 1. RE205.01.00.00 (Roboti etteanne, formaat A2)**
- 2. RE205.01.03.00 (Jaotussõlm, formaat A2)**
- 3. RE205.01.03.03 (Lindilt maha tõmbaja, formaat A3)**
- 4. RE205.01.05.01 (Konveieri vahesein, formaat A3)**
- 5. RE205.01.07.02 (Küljele keeramise silindri ots, formaat A3)**
- 6. RE205.01.09.02 (Relsside kokku lükkaja, formaat A3)**