



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

SURVEVALUPROTSESSI ROBOTISEERIMINE ETTEVÕTTES PROMENS AS

ROBOTIZATION OF THE INJECTION MOULDING PROCESS IN PROMENS AS

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Uku Roosna

Üliõpilaskood: 193110EDTR

Juhendajad: Taavi Kase, insener
Lauri Valdmann, arendusjuht

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.

"....." 202.....

Autor:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 202.....

Juhendaja:

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....."202... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Uku Roosna (sünnikuupäev: 05.12.1999)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Survevaluprotsessi robotiseerimine ettevõttes Promens AS“, mille juhendajad on Lauri Valdmann ja Taavi Kase,

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

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

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

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

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

_____ (allkiri)

_____ (kuupäev)

Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Uku Roosna, 193110EDTR

Õppekava, peeriala: EDTR17/18, Küberfüüsikalised süsteemid

Juhendaja(d): Arendusjuht, Lauri Valdmann, +372 5345 1657

Insener, Taavi Kase, +372 5398 9158

Lõputöö teema:

Survevaluprotsessi robotiseerimine ettevõttes Promens AS

Robotization of the injection moulding process in Promens AS

Lõputöö põhieesmärk:

1. Robotsüsteemi 3D-modelleerimine, programmeerimine ja rakendamine ettevõttes Promens AS.

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.		
2.		
3.		

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: ".....".....202....a

Üliõpilane: Uku Roosna ".....".....202....a
/allkiri/

Juhendaja(d): Lauri Valdmann ".....".....202....a
/allkiri/

Taavi Kase ".....".....202....a
/allkiri/

Konsultant: ".....".....202....a
/allkiri/

Programmijuht: Aime Ruus ".....".....202....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. ÜLEVAADE SURVEVALUPROTSESSIST	9
1.1 Survevalu tehnoloogia	9
1.2 Survevalu robotiseerimine	10
1.3 Valitud lahenduse kirjeldus	12
2. ROBOTSÜSTEEMIS KASUTATAVAD SEADMED	14
2.1 Wittmann Battenfeld lineaarrobot	14
2.2 Muud tööstusrobotid	16
2.3 Robotite abiseadmed	18
3. LAHENDUSKÄIK	20
3.1 Robotsüsteemi 3D-modelleerimine	20
3.2 Epsoni tööstusroboti programmeerimine	29
4. LOODUD ROBOTSÜSTEEMI ANALÜÜS	35
KOKKUVÕTE	37
SUMMARY	39
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	41
LISAD	43

EESSÕNA

Lõputöö teema on sõnastatud autoril koostöös Promens ASi arendusjuhi Lauri Valdmanniga. Töö on koostatud Promens ASi Rõngu tootmishoones, kus koguti ka põhilised algandmed. Algandmete ja konsultatsioonidega abistasid Promens ASi arendusjuht Lauri Valdmann, mehhatroonikainsener Erki Teemant ning mehhatroonik Allan Pastak.

Survevalu, robotiseerimine, tööstusrobotid, rakenduskõrgharidustöö.

SISSEJUHATUS

Tootmisettevõtted peavad tiheda konkurentsi tõttu aina rohkem tegelema oma protsesside optimeerimise ja automatiseerimisega. Nii hoitakse kokku aega ja kulusid, mis võimaldab pakkuda klientidele suuremat väärtust ja paremat hinda. Lisaks on võimalik võidetud aja arvelt tegeleda järgmiste protsesside parendamisega, mis tagab ettevõtte pideva arengu ja kasvu. Käesoleva lõputöö teema kujunes välja aktsiaseltsi Promens vajadusest pakkuda kliendile võimalikult soodsat tootmisteenust, mis kindlustaks allhanke võidu rahvusvaheliste konkurentide ees, kuid oleks seejuures ka ettevõttele endale kasumlik.

Promens AS tegeleb autotööstustele plastikdetailide valmistamisega kasutades selleks survevalu tehnoloogiat. Tootmisprotsess ise on saanud tänu kaasaegsetele survevalumasinatele poolautomaatseks, kuid hangete võitmiseks tuleb siiski leida veel viise toote omahinna alandamiseks. Seda plaanitakse teha tootmisprotsessi täieliku automatiseerimisega kasutades selleks tööstusroboteid. Lahendus luuakse järgides ettevõttes juba varasemalt väljakujunenud robotiseerimise standardeid, mis kiirendab protsessi ning tagab loodava süsteemi sujuva integreerimise tootmisüksusesse.

Ettevõttes on survevalu töökeskuste juures juba kasutusel Wittmann Battenfeld lineaarrobotid ning erinevad muud tööstusrobotid. Nende kõigi programmeerimine toimub tootjate enda pakutavas tarkvaras. Lisaks robotitele kasutatakse mehhaaniliste liikumiste teostamiseks veel elektrilisi ja pneumaatilisi täitureid.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on 3D-modelleerida ja programmeerida survevalumasinat teenindav robotisüsteem, mis tervikuna tagaks täielikult automaatse tootmistsükli. Robotisüsteemis kasutatud robotid ja lisaseadmed on töö autorile ettevõtte poolt määratud. Autori ülesanne on panna seadmed omavahel tööle selliselt, et need täidaks seatud eesmärgi ning võimaldaks lahendust tulevikus ka korrata. Loodava robotisüsteemi rakendamise soovib ettevõtte hoida kokku tööjõuressurssi ning lühendada toote valmimiseks kuluvat aega, mille tulemusena on võimalik pakkuda tellijale konkurentidest madalamat toote omahinda.

Diplomitöö teoreetiliselt osas kirjeldatakse survevalu tehnoloogiat, tuuakse välja võimalused selle protsessi robotiseerimiseks ning antakse ülevaade loodava lahenduse põhimõtetest. Lisaks tutvustatakse töös kasutatavaid tööstusroboteid ning nende abiseadmeid. Diplomitöö praktilises osas kirjeldatakse valitud lahenduse loomist, mis sisaldab endas süsteemi 3D-modelleerimist ning robotiprogrammi koostamist. Samuti

analüüsitakse loodud lahenduse erinevate sõlmede koostööd ning hinnatakse süsteemi efektiivsust.

1. ÜLEVAADE SURVEVALUPROTSESSIST

1.1 Survevalu tehnoloogia

Survevalu tehnoloogia on üks eelistatuim viis plastikdetailide masstootmiseks. Ligikaudu 1/3 kogu maailma plastiktoodangust on töödeldud survevalu meetodit kasutades [1]. Selle eeliseks on võimalus toota minimaalse materjalikuluga täpseid detaile, mis ei vaja hiljem erilist järeltöötlust [2]. Tootmine ise on tihti täielikult automaatne, kus korraldatakse pidevalt ühte ja sama tsüklit [2].

Survevalu protsess koosneb kolmest etapist: vormi täitmine, surve hoidmine ning toote jahtumine. Täitmise ajal surutakse kindla kiirusega täpne kogus sulamaterjali tootele kuju andvasse vormi. Kui vorm on täidetud suureneb selles surve ning materjal hakkab tahenema. Selle tõttu jätkub materjali juurdevool vormi väiksema kiirusega, et kompenseerida kahanemisest tekkinud puudujääk. Järelsurve rõhk on eelnevalt kindlaks määratud ja selle kestvus on sõltuvalt materjalist erinev. Jahtumise etapis materjali enam juurde ei lisata, mis võimaldab selle ajal alustada järgmise täitmise tarbeks materjali ettevalmistamist. Jahtumisaeg sõltub materjali ning toote parameetritest ning see peab olema piisavalt pikk, et toodet oleks võimalik vormist eemaldada. Peale jahtumist vorm avaneb ning toode lükatakse sellest välja. Seejärel vorm jälle suletakse ning alustatakse järgmist tsüklit. [3]

Survevalu protsessi teostavad survevalumasinad, mistõttu on need ühed olulisemad seadmed toote valmimisel. Nende ülesandeks on graanul- või pulbermaterjali sulatamine vajaliku voolavusega sulamassiks, selle valamine survevaluvormi, jahtumisprotsessi juhtimine ning seejärel kvaliteetse toote väljastamine [4]. Survevalumasinad koosnevad neljast suuremast sõlmest: ajam, sissepritesõlm, vormi kinnitussõlm ja juhtimissüsteem [5]. Ajam tagab survevalumasinna liikuvatele komponentidele vajaliku jõu. Mootorijõudu kasutades saavutatakse graanulmaterjali ettenähtud plastifikatsioon, surutakse sulamass vormi, vorm sulgub ja avaneb ning toimub toote välja tõukamine [1]. Sissepritesõlme ülesanneteks on materjali ettevalmistamine vormi valamiseks ning seejärel tekkinud sulamassi surumine vormi [2]. Oluline on, et sissepritte kiirus oleks korratav, sest väiksemgi kõrvalekalle võib langetada lõpptoote kvaliteeti [2]. Vormi kinnitusseade on survevalumasinna tähtsaim sõlm [4]. See koosneb vormi töölaudadest, sulgemisseadmest ja väljatõukesüsteemist [4]. Vorm peab kinnituma vormi töölauda külge kindlalt, et selle sulgemine ja avanemine toimiks sujuvalt ilma tugeva vibratsioonita [4]. Sulgemisseadme ülesanne on hoida vormi tugevalt koos vaatamata valamisest tekkivale survele, tagades seeläbi

defektivaba toote [4]. Väljatõukesüsteem tõukab terasest varrastega toote peale jahtumist ja vormi avanemist seadmest välja [4]. Juhtimissüsteemil on kolm peamist ülesannet: protsessi etappide juhtimine, tsükli ja masina üldiste parameetrite haldamine ning protsessi oleku ning kvaliteedi jälgimine [5]. Juhtseade võtab vastu survealumasina peamiste tööorganite erinevat liiki signaale, töötleb neid ning seejärel väljastab väärtused, mis kirjeldavad mitmesuguseid muutusi survealumasina töös [3]. Seda informatsiooni saavad edukalt ära kasutada survealumasinaga ühendatud protsessi jälgivad või automatiseerivad lisaseadmed [2]. Kuigi valatava toote mõõtmeid, pinnaviimistlust ja mehaanilisi omadusi pole enamasti protsessi ajal võimalik füüsiliselt mõõta, tagab pidev tähtsamate parameetrite jälgimine kvaliteetse tootmise [5]. Samuti peavad kõik kirjeldatud neli survealumasina sõlme olema korrektselt seadistatud ja regulaarselt hooldatud.

1.2 Survevalu robotiseerimine

Survevalu tehnoloogiat kasutatakse peamiselt masstootmiseks, mistõttu on seda protsessi võimalik tõhusalt automatiseerida erinevate tööstusrobotitega, mis suudavad efektiivselt täita pidevalt korduvaid ülesandeid. ISO 8373:2021 standardi järgi on tööstusrobot defineeritud kui automaatselt juhitud, ümberprogrammeeritav mitmeotstarbeline kolmes või enamas teljes liikuv manipulaator, mis võib olla nii kasutuskohta fikseeritud kui mobiilne ning on loodud tööstusautomaatikas kasutamiseks. Kuna tööstusrobotid sooritavad erinevaid tehnilisi operatsioone koostöös muude lisaseadmetega, on eraldi defineeritud ka mõiste robotisüsteem. Eelnimetatud standard käsitleb robotisüsteemi kui tootmismasinat, mis koosneb ühest või mitmest tööstusrobotist, mehaanilise liidese külge kinnituvatest lisaseadmetest ning nende juurde kuuluvatest anduritest ja muudest komponentidest (näiteks masinnägemise süsteem, liimidosaaator, keevitusseade), mis kõik üheskoos suudavad täita neile kavandatud ülesannet. Tööstusroboteid liigitatakse nende mehaanilise struktuuri järgi:

1. lineaarrobotid;
2. SCARA (silindrilises nurkkoordinaadistikus töötav robot) robotid;
3. liigendrobotid;
4. paralleelrobotid;
5. silinderkoordinaatrobotid. [6]

Robotite rakendamine tõstab tootmise efektiivsust, mis tihti võimaldab pakkuda kliendile toodet odavama hinnaga. Nii suudavad ettevõtted olla konkurentsivõimelisemad riikidega, kus on madalad tööjõukulud. Lisaks saavad tootmisettevõtted, kes on ise loonud oma tehased odavama hinnatasemega riikidesse, tuua need tagasi enda kodumaale, lühendades seeläbi tarneahelaid [7]. Robotid tõstavad oma suure täpsuse ja hea korratavusega toodete kvaliteeti, välistades probleemid, mis inimese kaasamisel on seotud väsimuse, tähelepanu hajumise või väga rutiinsete ülesannete täitmisega. Kuna töolistelt võetakse üle ebameeldivad, füüsiliselt rasked või tervist ohustavad ülesanded, siis muutub ka üldine töökeskkond neile meeldivamaks ja turvalisemaks. Robotite kasutuselevõtu peamiseks eeliseks võrreldes muude automatiseerimisviisidega on nende paindlikkus. [8] Suure liikumiskiiruse, hea ulatusega ja lihtsasti ümberprogrammeeritavaid tööstusroboteid on võimalik kasutada erinevates töökeskustes või väga varieeruvate ülesannete täitmisel, mis vähendab spetsiaalsete lahenduste ehitamisele kuluvat aega ja rahalist ressursi.

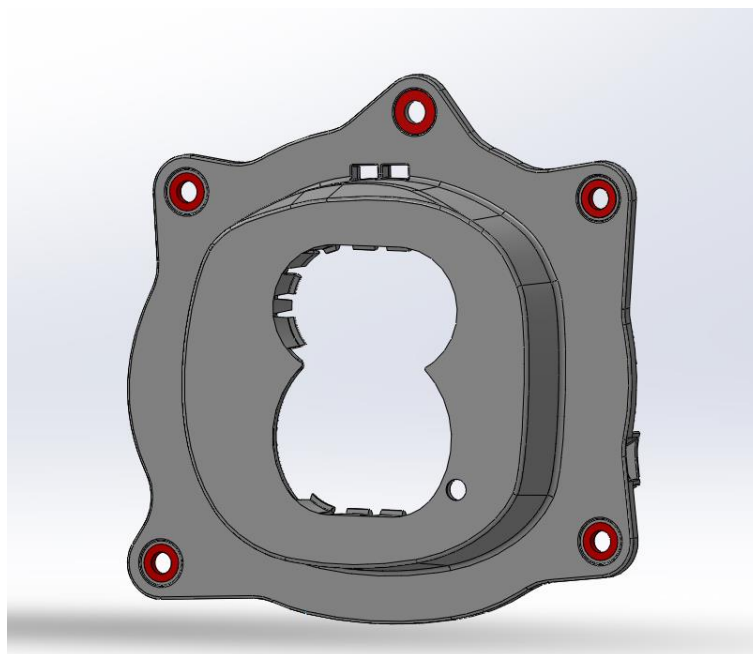
Üks esimesi rakendusi robotsüsteemidele survevalutööstuses oli survevalumasinast toote eemaldamine, mis tagab ühe ja sama toote korduval valmistamisel alati ajaliselt võrdsed tsükliajad. Vormi jahtumis- ja avanemisprotsessid muutuvad ühtlasemaks, mille tulemusena tõuseb toote üldine kvaliteet. [8] Kuna robotite kasutamisel ei ole tarvis toote eemaldamiseks ohutuse eesmärgil survevalumasinat seisata, siis tsükli aeg lüheneb ning tootmisefektiivsus kasvab. Robot saab anda toote üle pakkimiseks või suunata selle edasi järgmiste operatsioonide täitmiseks. Toote eemaldamiseks vormist ja selle edasitoimetamiseks kasutatakse tihti lineaarroboteid, mille eeliseks on nende suur tööulatus ja liikumiskiirus [9].

Lisaks toote eemaldamisele vormist suudavad tööstusrobotid lahendada veel sellele eelnevaid või järgnevaid ülesandeid. Plastdetailidel on tihti kinnitamiseks või juhtmete ühendamiseks küljes erinevatest metallidest valmistatud puksid, muhvid või kontaktid. Mitteplastikust detailide kinnitamiseks tootesse asetatakse komponendid tsükli alguses vormi, kus nende peale valatakse sulamaterjal [2]. Kasutades metalldetailide lisamiseks inimressurssi peab arvestama ajaliselt väga varieeruva tsükli, ebaühtlase toote kvaliteedi, suure praagikoguse ning vormikahjustustega [9]. Varasemalt eelistasid paljud tootjad sellise protsessi automatiseerimiseks kasutada servomootoritel lineaarroboteid, mis võimaldasid tõsta efektiivselt vajalikud detailid ettesöötjalt vormi [9]. Uuema trendina kasutatakse keerukamate detailide puhul selleks näiteks kahte liigendrobotit, kus esimene laob vormi minevad detailid vastavale rakisele valmis ning teine robot tõstab need kõik korraga survevalumasinasse [10]. Kui komponentide ülevaamine pole võimalik, kasutatakse tööstusroboteid veel erinevate

koosteoperatsioonide täitmiseks. Samuti võimaldavad need protsessi käigus või sellele järgnevalt kontrollida toote kvaliteeti.

1.3 Valitud lahenduse kirjeldus

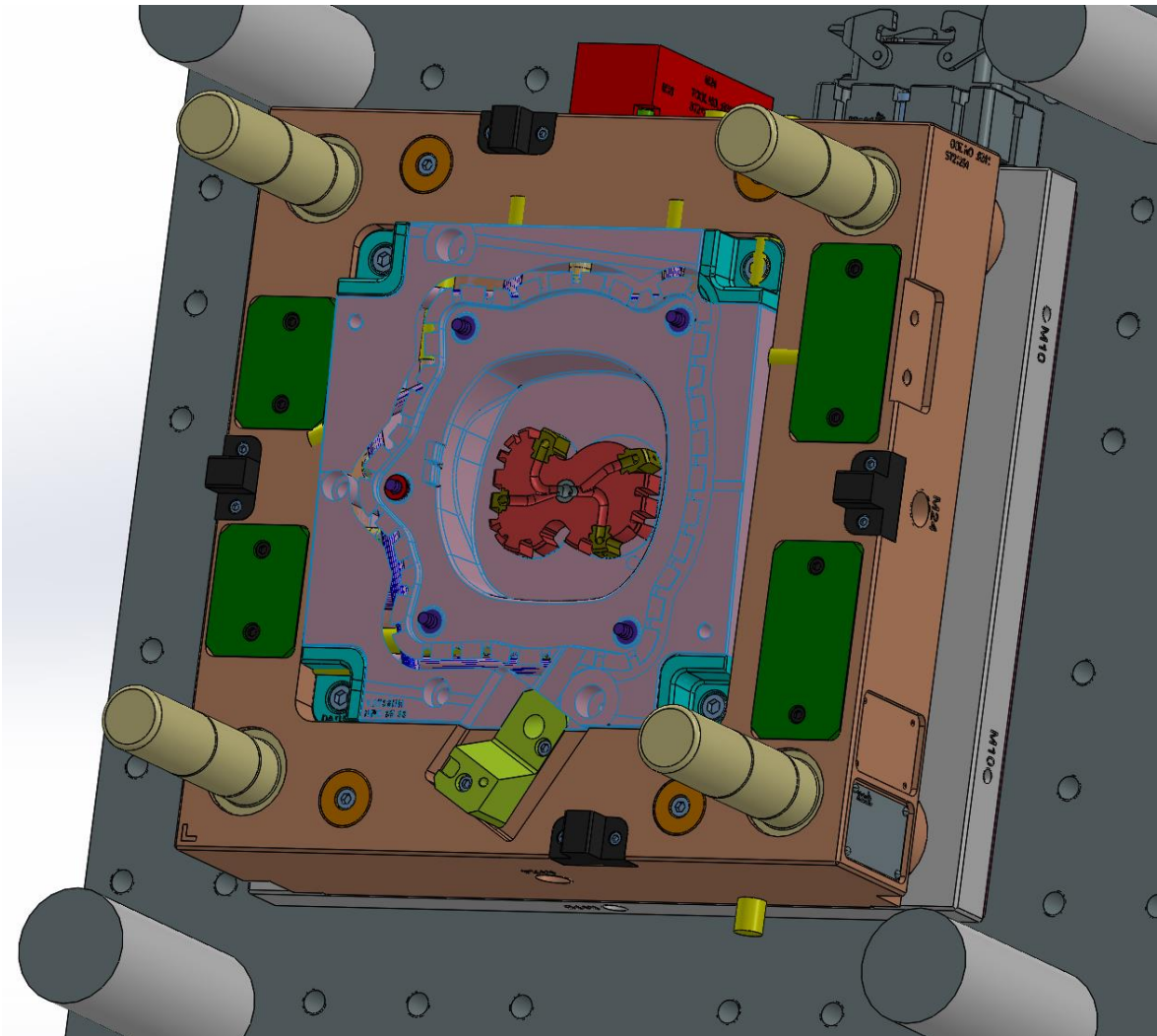
Survevalu töökeskuse robotiseerimisel on tuginetud ettevõttes juba varasemalt loodud lahendustele. Lisaks on arvestatud toodetava toote eripäradega ning projekti eelarvega. Toode, mida robotiseeritud töökeskus valmistama hakkab on elektriauto laadimiseks mõeldud pistikupesa korpus (Sele 1.1). Korpusel on kinnitamiseks viis terasest puksi, mis kõik paiknevad üksteise suhtes erineval tasapinnal ja ebakorrapäraselt. Kokku peab töökeskus valmistama 45 723 sellist toodet.



Sele 1.1 Robotiseeritud töökeskuse poolt toodetava toote mudel

Loodud robotsüsteemi peamiseks ülesandeks on terasest komponentide ettevalmistamine survevaluvormi vastavate tornide otsa. Konkreetse toote puhul kasutatava survevaluvormi liikumatu osa, kuhu puksid asetatakse on kujutatud Selet 1.2. Komponentid valatakse survevalumasinas sulamaterjaliga üle, mille tulemusena kinnituvad need kindlalt plastiku külge. Metallist puksid oleks võimalik lisada ka peale survevalu, kuid selline lahendus eeldaks inimressursi kasutamist ning muudaks kogu tootmisprotsessi pikemaks. Kasutades ülevalamise ettevalmistamiseks roboteid lüheneb tsükliäeg, väheneb valmistamisele kuluvate etappide arv ning võrreldes inimjõu kasutamisega on protsess ohutum. Süsteemi teiseks ülesandeks on toote eemaldamine survevaluvormist ning selle asetamine konveierlindile. Lindilt liigub toode otse

pakkimisse, mis tähendab, et toote eemaldamisel survevalumasinast peab süsteem automaatselt kontrollima, kas kõik metallist komponendid on toote küljes olemas.



Sele 1.2 Vormi pool, kuhu asetatakse teraspuksid

Robotisüsteem tagab täielikult automaatse tootmistsükli, kus toode on kohe peale survevalu valmis pakkimiseks. Nii kaob ära vajadus valmistatavate toodete või neile lisatavate komponentide hilisemaks kvaliteedikontrolliks või eraldi tootmisväliseks hoiustamiseks. Lisaks kasutatakse toote valmistamiseks minimaalselt inimtööjõudu ja hoitakse kokku aega, mis projekti küllaltki suurt tootmismahutu arvestades alandab toote omahinda.

2. ROBOTSÜSTEEMIS KASUTATAVAD SEADMED

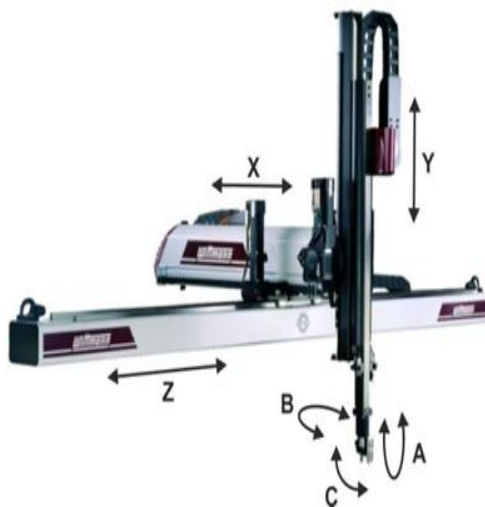
Ettevõttes on erinevate survevalukeskuste juures juba kasutusel nii lineaarrobotid, 6-teljelised liigendrobotid kui ka SCARA robotid. Kui lineaarrobotite puhul eelistatakse ainult ühe kindla tootja roboteid, siis ülejäänud tööstusrobotite puhul sõltub valik peamiselt valmistatava toote eripäradest. Lisaks saab valikul veel määravaks konkreetse projekti eelarve, tootmismaht ning ka robotiga kaasatuleva programmeerimiskeskonna võimalused ja kasutajasõbralikkus. Diplomitöö loomisel kasutatakse juba ettevõttes varasemalt rakendatud roboteid.

2.1 Wittmann Battenfeld lineaarrobot

Survevalumasina vormi avanemisel selle kahe poole vahele jääv ala on sõltuvalt vormist väga varieeruv ning mõne toote puhul küllaltki piiratud. Seetõttu kasutatakse ettevõttes pea kõigi survevalu töökeskuste teenindamiseks Wittmann Battenfeld lineaarroboteid, mis võimaldavad võrreldes teist liiki tööstusrobotitega täita ülesandeid vormipoolte vahel, väga kitsastes oludes. Robot on paigaldatud survevalumasina kohale, võimaldades sellel liikuda toote eemaldamiseks või komponentide lisamiseks nii vormi sisse kui ka täiendavate ülesannete sooritamiseks masinast eemale. Konkreetselt Wittmanni lineaarroboteid eelistatakse kasutajasõbraliku programmeerimiskeskonna tõttu, mis samal ajal võimaldab luua programme ka väga keeruliste operatsioonide täitmiseks [11]. Ainult ühe tootja seadmeid kasutatakse seetõttu, et muuta neid programmeerivate tehnoloogide töö võimalikult lihtsaks ning hoida seeläbi kokku programmide loomisele või koodimuudatuste tegemisele kuluvat aega. Kuna iga lineaarrobot teenindab ainult ühte konkreetset survevalumasinat, vajab see pidevat ümberprogrammeerimist, sest masinat kasutatakse väga erinevate toodete tootmiseks, ja selle vorme vahetatakse regulaarselt.

Lõputöö eesmärgi täitmiseks kasutatakse Wittmann Battenfeld W931 lineaarrobotit, mis on juba varasemalt monteeritud töös käsitletava toote valmistamiseks määratud survevalumasina kohale. Nii kasutatakse ära olemasolevat võimekust vähendades seeläbi projektiga kaasnevaid kulusid. Valitud robotil on kolm peamist telge X, Y, Z, mida kõiki juhitakse servomootoritega. Teljed on valmistatud tugevast alumiinium- või terastalast tagades liikumisel minimaalse vibratsiooni ja läbipaindumise. Lineaarliikumisi teostavad teljed liiguvad hammaslattidel, mis garanteerivad suure täpsuse ja kiiruse ning vajavad minimaalset hooldust. Roboti Y-telje tala allosas asub kinnitussõlm, mille külge on võimalik kinnitada survevalumasina teenindamist

abistavaid tööorganeid. Sellel on omakorda kolm lisatelge A, B ja C, mis võimaldavad paigaldataval tööorganil pöörata end kõikidesse suundadesse (Sele 2.1). [12]



Sele 2.1 Wittmann Battenfeld lineaarroboti teljed [11]

Tabel 2.1 Wittmann Battenfeld W931 tehniline spetsifikatsioon [12]

Z-telje liikumisulatus	2000-6000 mm
Y-telje maksimaalne liikumisulatus	1000-1400 mm
X-telje maksimaalne liikumisulatus	800 mm
Maksimaalne kandekoormus	12 kg
Kasutatav kontrolleri	Sisseehitatud kontrolleri

Wittmanni roboti ülesanneteks diplomitöö eesmärgi täitmisel on komponentide asetamine survealuvormi, toote valmistamisel selle vormist eemaldamine ning sooritatud operatsiooni kvaliteedikontroll. Robotikäpa külge kinnituv tööorgan on loodud majasiseselt vastavalt autori koostatud mudelitele, mis arvestavad valmistatava toote eripärade ning sooritavate operatsioonide iseloomuga. Erinevad liikumised ja haaramised on teostatud kasutades pneumoajameid, mida juhib robotikontroller. Samuti suunatakse sellesse kasutatavate andurite sisendsignaale, mille põhjal jälgitakse pidevalt protsessi kulgu ning võetakse vastu erinevaid otsuseid.

Roboti juhtimisloogika on võimalik programmeerida kasutades Wittmanni enda pakutatavat programmeerimiskeskonda R9, milles programmi koostamine toimub robotiga kaasatuleva juhtpuldi abil. Robotiga liigutakse manuaalselt ülesande täitmiseks vajalikud punktid läbi ja määratakse sisendite ja väljundite loogika. Programm peab suhtlema mehhaaniliste kokkupõrgete vältimiseks nii survealumasina kui ka teiste robotisüsteemi seadmetega. Robotil endal andurid võimalike ohtude otseseks tuvastamiseks puuduvad, mistõttu ennetatakse neid üksnes seadmete hea omavahelise

infovahetusega. Üldiselt kehtib reegel, et enne ühtegi protsessi ei alustata, kui pole saadud lubavat signaali ning erinevate mehaaniliste liikumiste puhul kontrollitakse survevalumasina lõpuanduritega liigutatava komponendi jõudmist etteantud sihtkohta. Robotiprogrammi loomisel on soovituslik järgida juba ettevõttes olemasolevaid standardeid, mis muudab selle hilisema redigeerimise meeskonna teiste tehnikute poolt lihtsamaks.

2.2 Muud tööstusrobotid

Lisaks survevalumasinate kohal asuvatele Wittmanni lineaarrobotitele kasutatakse nende põhitelgede pööramisfunktsiooni puudumise tõttu ettevõtte survevalu protsesside robotiseerimiseks veel erinevaid teist liiki tööstusroboteid. Lihtsamate protsesside robotiseerimiseks eelistatakse erinevate tootjate 4-teljelisi SCARA roboteid ning keerukamate või suuremat jõudlust vajavate toimingute automatiseerimiseks 6-teljelisi liigendroboteid. Samuti on kasutusel lahendused, kus rakendatakse ühes töökeskuses korraga mõlemat tüüpi roboteid ning ka nende tootjad võivad olla erinevad. Selliste robotite levinumateks ülesanneteks ettevõttes on protsesside kontrollimine, koostamine või komponentide ettevalmistamine.

SCARA ja 6-teljelised robotid paigaldatakse ettevõttes teisaldatavale töölauale, mis on seotud konkreetse toote valmistamisprotsessiga. Seega ei vaja need võrreldes survevalumasina külge jäigalt ühendatute Wittmanni robotitega pidevat ümberprogrammeerimist, mis võimaldab kasutada olenevalt tootest sobivaima tootja robotit. Lauale ehitatud robotisüsteeme hoistatakse eraldi laos ning toote uuesti tootmisplaani võtmise korral ühendatakse see lihtsalt sobiva survevalumasinaga.

Ettevõttes kasutatakse survevalukeskuste protsesside robotiseerimisel ABB, Kuka ja Epsoni tööstusroboteid. Kõigi kolme tootja tootevalikus on olemas nii SCARA kui ka 6-teljelised robotid. Seadmeid pakutakse mitmesuguste tehniliste parameetrite ja mõõtmetega, mis võimaldab robotiseerida väga erinevaid protsesse. Erinevate tootjate robotid erinevad üksteisest peamiselt pakutava lisavarustuse ja programmeerimisviisi poolest. Kõik kolm nimetatud tootjat pakuvad robotite programmeerimiseks enda loodud keskkonda. Programmeerimisvõimalused ja robotile paigaldatav lisavarustus määrab ka, kui keerukaid ülesandeid on võimalik robotiga sooritada. Samas on vähemate võimalustega robotid jällegi hinnaklassi poolest odavamad.

Lõputöös on valitud Wittmanni roboti abistamiseks Epsoni 6-teljeline liigendrobot mudelinimetusega VT6-A901S (Sele 2.2). Ülesandest lähtuvalt ei ole võimalik kasutada

robotisüsteemis ainult lineaarrobotit, sest metallkomponentide suure arvu ja ebakorrapärase paiknemise tõttu tootes on ebaefektiivne ja kulukas üksnes lineaarliikumiste abil neid ettesööteseadmelt haarata. SCARA roboti kasutamist piirab vajadus suure liikumisulatuse järele, mis võimaldaks asetada komponendid robotist endast eemale, et Wittmanni robot saaks need ohutult üle võtta. Liigendroboti eeliseks on selle kompaktne konstruktsioon, mis samal ajal võimaldab töötamist küllaltki suurel alal [13].



Sele 2.2 Epson VT6-A901S [14]

Tabel 2.2 Epson VT6-A901S tehniline spetsifikatsioon [15]

Toide	100-240 VAC
Maksimaalne kandekoormus	6 kg
Maksimaalne liikumisulatus	1000 mm
Telgede arv	6 telge
Positsiooni korratavus	±0,1 mm
Kaal	40 kg
Kasutatav kontrolleri	Sisesehitatud kontrolleri
Sisendid	24
Väljundid	16

Epsoni VT6-A901S kasutamise peamiseks eeliseks näiteks sarnaste parameetritega ABB IRB 1100 ja Kuka KR 6 R700-2 6-teljeliste liigendrobotite ees on ligikaudu poole soodsam hind. Epsoni VT6 seeria robotid on loodud spetsiaalselt suhteliselt lihtsate, kuid pidevalt korduvate ülesannete täitmiseks, mistõttu pakutakse võrreldes ABB ja Kuka robotitega vähem lisafunktsioone ja -varustust. Samas suudab valitud robot aga täita kõiki lõputöös käsitletava töökeskuse automatiseerimiseks vajalikke ülesandeid. Lisaks tuleb robotiga kaasa veel Windowsi operatsioonisüsteemil kasutatav väga

võimalusterohke programmeerimiskeskond Epson RC+, milles programmeerimine toimub keeles SPEL+. Lisaväärtusena on rakenduses võimalik programmi enne robotis käivitamist kokkupõrgete ennetamiseks simuleerida. [15][16][17]

Valitud Epsoni roboti ülesandeks diplomitöö eesmärgi täitmisel on ühe toote valmistamiseks kuluva viie komponendi asetamine spetsiaalsele stendile, kust Wittmanni lineaarroboti külge monteeritud tööorgan saaks need korruga tõsta survealuvormi. Komponentide tõstmiseks ettesöötelt stendile kasutab Epsoni robot pneumaatilist haaratsit. Epsoni robotikontrolleri ülesandeks on juhtida ettesööteseadmeid ning võtta vastu ja anda signaale Wittmanni robotile.

2.3 Robotite abiseadmed

Kuna ettevõttes on survealumasinateni viidud õhutrass, kasutatakse robotisüsteemis erinevate liikumiste teostamiseks lisaks elektrilistele ka pneumaatilisi täitureid. Lõputöös loodud robotisüsteem koosneb kolmest suuremast sõlmest: Wittmanni roboti tööorgan, komponentide ettesöötlemehhanism ja Epsoni roboti tööorgan.

Wittmanni roboti tööorgan koosneb järgmistest täituritest ja anduritest:

1. Gimatic GS-16 pneumaatiline haarats 5 tk;
2. Gimatic AGG19-B pneumaatiline haarats 2 tk;
3. SMC CDQMB40-10 pneumosilinder;
4. silindriandurid;
5. haaratsiaandurid;
6. induktiivandurid.

Ülaltoodud nimekirjas nimetatud induktiivandureid kasutatakse toote valmimisel selle kvaliteedi kontrollimiseks. Täpsemalt kontrollitakse, kas toote vormist eemaldamisel on selle küljes kõik nõutud viis metallist komponenti.

Ettesöötlemehhanism koosneb järgmistest täituritest ja anduritest:

1. RNA SRC-B 250-2 R kausettesööde;
2. RNA SLS 400 lineaarettesööde;
3. RNA ESK 2001 kontrolleri;
4. SMC CD85N10-50-B pneumosilinder;
5. SMC CDUJB6-10DM pneumosilinder;

6. induktiivandurid;
7. silindriandurid.

Nimekirjas nimetatud kausettesööde koosneb kausikujulisest mahutist, mis täidetakse töödeldavate komponentidega ning elektriajamist, mis paneb mahuti vibreerima sundides komponente mahuti põhjast mööda spiraalpinda ülesse liikuma [18]. Pukside kausettesööte juurest robotile ligipääsetavamasse kohta transportimiseks kasutatakse lineaarettesöödet. See koosneb kahest kõrvuti asetsevast ja omavahel lehtvedrudega ühendatud sektsioonist, mis pannakse vibreerima nende vahel paikneva magnetsüsteemi abil. [19] Mõlema ettesööteseadme juhtimiseks kasutatakse selleks loodud eraldi kontrolleri, milles on võimalik määrata vibreerimise amplituud ning lülitada seadmeid vastavalt välistele anduritele nii sisse kui välja. Ettesöötemehhanismis kasutatakse metallist komponentide asukoha tuvastamiseks induktiivandureid.

Epsoni roboti tööorgan koosneb järgmistest komponentidest:

1. SMC CDQMB25-10 pneumosilinder;
2. Gimatic GS-16 pneumaatiline haarats;
3. silindriandur;
4. haaratsiandur.

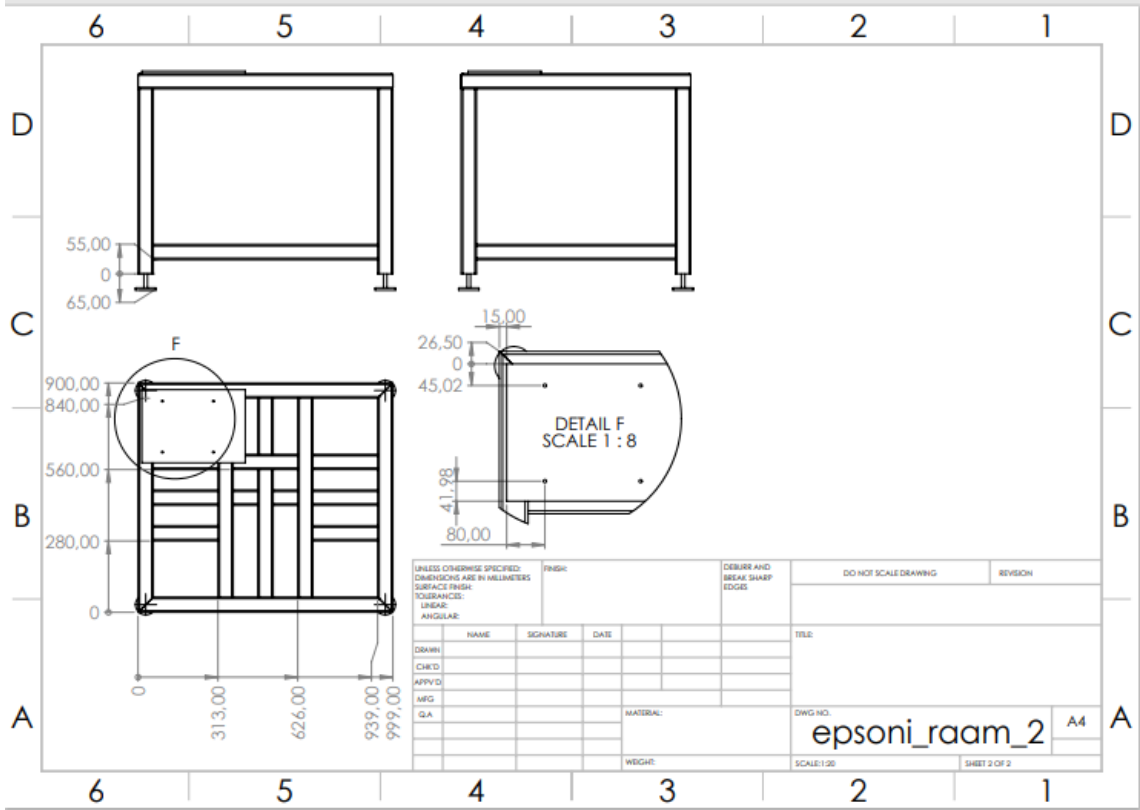
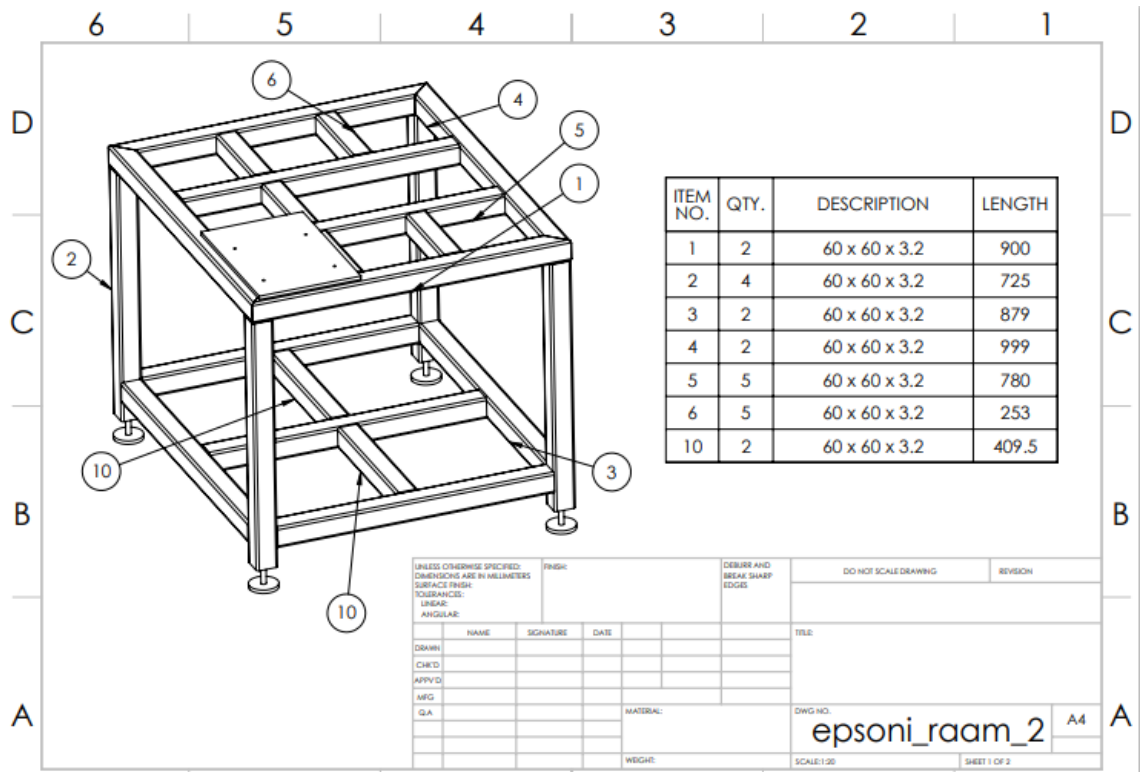
Ülaltoodud nimekirjades nimetatud silindri- ja haaratsiandureid kasutatakse pneumosilindrite ja -haaratsite asendi kontrollimiseks. Pneumotäiturite kolvivarda külge paigaldatakse tehases sisemine püsimagnet. Seepärast on loodud otse ajamite pinnale kinnituvad magnetandurid, mille lähedustundlik lüliti ehk herkokontakt lülitub sisse püsimagnetiga kohakuti olles. Metallist komponentide tuvastamiseks ja nende asukoha määramiseks on sobivaimad induktiivandurid, mis väljastavad signaali kui metallist objekt satub anduri hajumagnetvälja tunnetuspiirkonda, muutes seeläbi pooli induktiivsust. [13]

3. LAHENDUSKÄIK

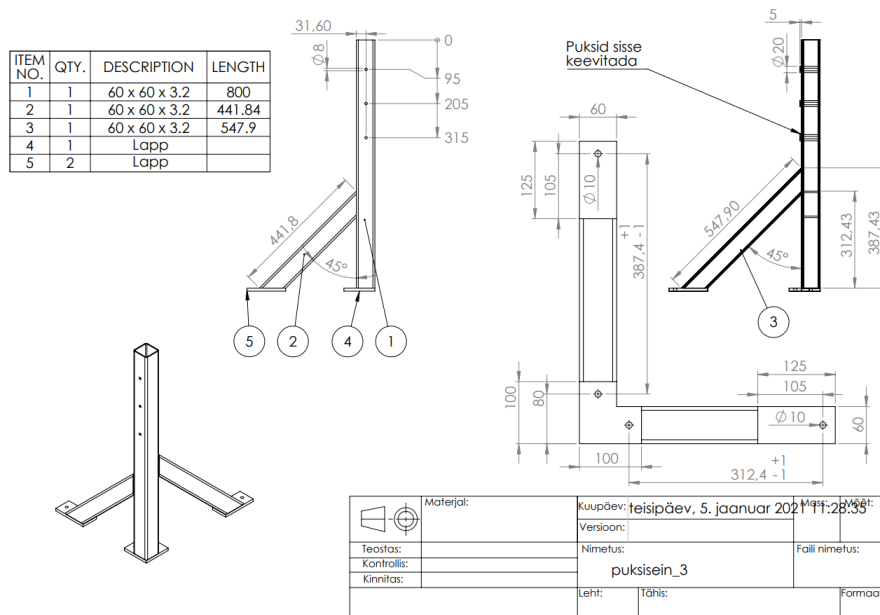
3.1 Robotsüsteemi 3D-modelleerimine

Robotsüsteemi paremaks hoomamiseks, selle loomise lihtsustamiseks ning võimalikuks hilisemaks kordamiseks on see töö autori poolt 3D-modelleeritud. Lisaks oli nii võimalik vaadelda erinevate robotite liikumisulatust ning valida seeläbi neile ning kõigile abiseadmetele sobiv koht töölaual. Mudeli loomiseks kasutas autor SolidWorks programmi, mis on peamine modelleerimiseks kasutatav tarkvara ettevõttes Promens AS. SolidWorks võimaldab luua 3D-mudeleid, nende tehnilisi jooniseid ning erinevate mudelite koostusid. Loodud robotisüsteem on üks suur koost, mis koosneb paljudest väiksematest koostudest, mis omakorda on kokku pandud üksikutest mudelitest. Mudelitele on määratud omavahelised seosed, mis võimaldasid autoril tõepäraselt vaadelda erinevate komponentide liikumisi. Süsteemis kasutatud Epsoni roboti ja erinevate täiturite 3D-mudelid on alla laetud tootjate kodulehtedelt. Peamised modelleeritud sõlmed on teraspukside ettesöotemehhanism ja stend ning Epsoni ja Wittmanni robotite tööorganid. Ettesööde, stend ja Epsoni robot on kõik kinnitatud teisaldatava töölaua külge, mis võimaldab seadeldist vajadusel kasutada erinevate survevalumasinatega. Autori poolt loodud jooniste ning 3D-mudelite põhjal valmistati ettevõtte poolt CNC-pinke ja 3D-printereid kasutades kõik vajalikud lisadetailid erinevate komponentide kinnitamiseks või tehnoloogiliste operatsioonide täitmise lihtsustamiseks.

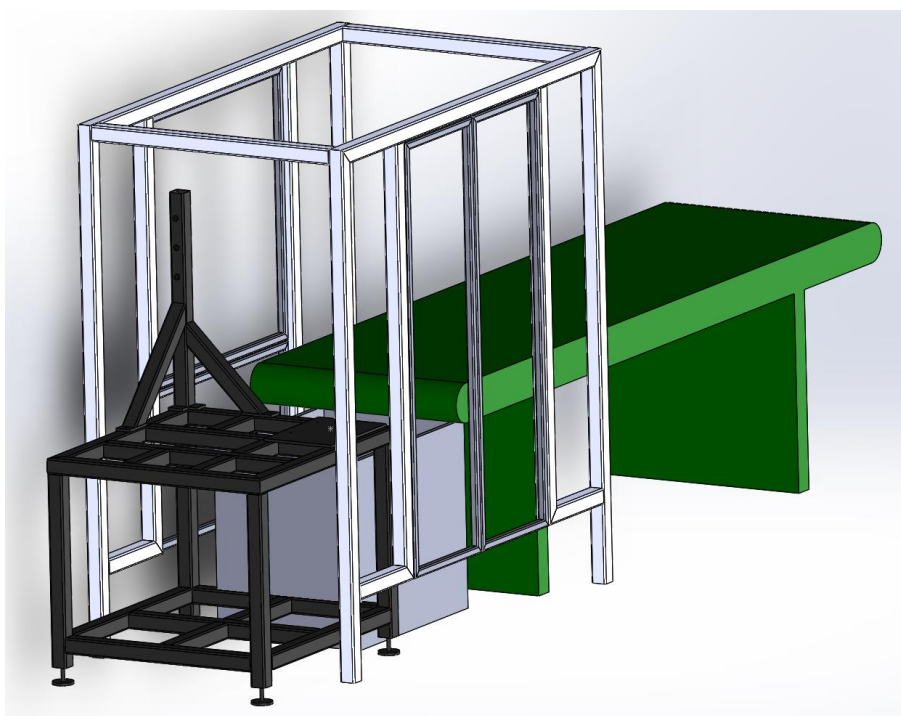
Süsteemi modelleerimist alustas autor töölaua disainimisega. Selleks on paigutatud mudelisse ettevõttes kasutatav roboti turvapuur ning selle juurde kuuluvad tootmiseks vajalikud konveierlint ning praagikast. Nende põhjal valis autor töölaua mõõdud. Töölaua modelleerimiseks kasutas autor SolidWorks programmi 3DSketch tööriista, mille abil on jooni kasutades loodud laua skelett. Seejärel on kasutatud Structural Member funktsiooni, mis annab võimaluse joontest mudeli saamiseks valida sobiliku profiili ristlõige. Antud juhul kasutas autor laua modelleerimiseks 60x60 mm nelikanttoru. Samu võtteid ja materjali kasutades disainis autor poltidega töölaua külge kinnituvat raami, mille külge paigaldatakse stend. Lisaks modelleeris autor töölaua nurka 10 mm läbimõõduga M8 keermetega terasplaadi, millele paigaldatakse Epsoni robot. Autor koostas töölaust ja stendi raamist tehnilised joonised (Sele 3.1 ja 3.2), mille abil vastav osakond ettevõttes keevitas need terasest 60 mm nelikanttorudest kokku. Samuti on raami külge keevitatud Epsoni roboti paigaldamiseks loodud terasplaat. Robotipuur koos töölaua, praagikasti ning konveierlindiga on kujutatud Seel 3.3.



Sele 3.1 Töölaua tootmisjoonis



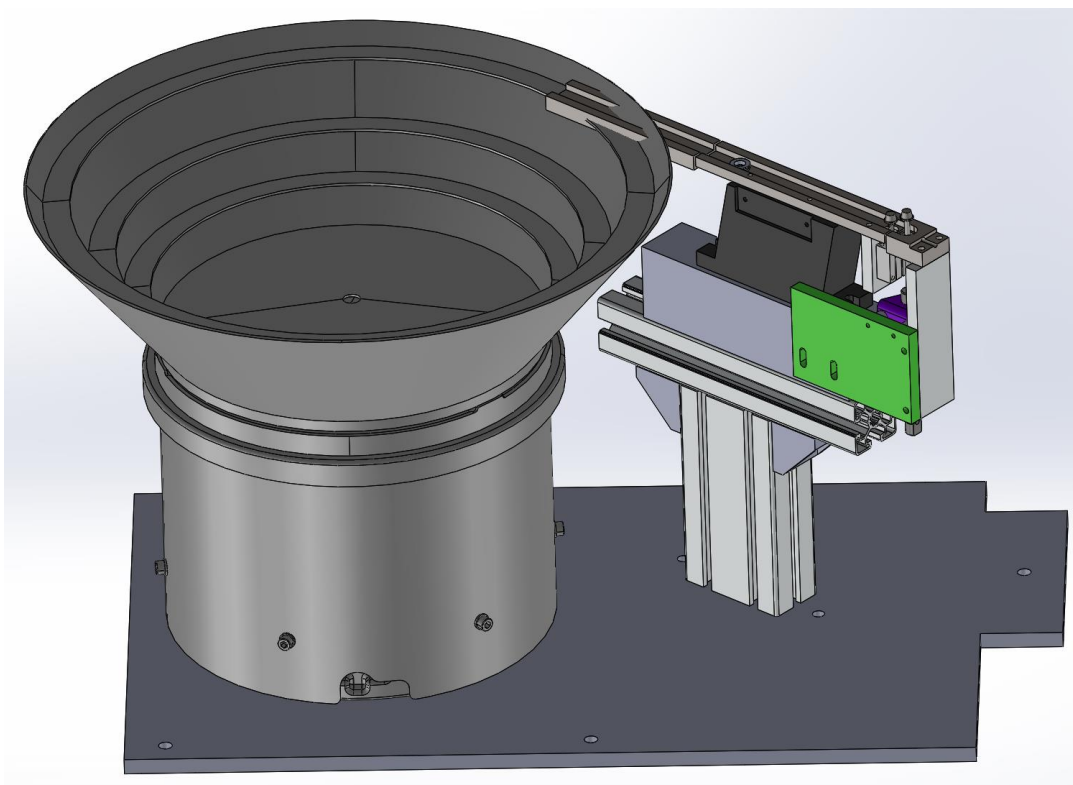
Sele 3.2 Stendi kinnitamiseks loodud raami tootmisjoonis



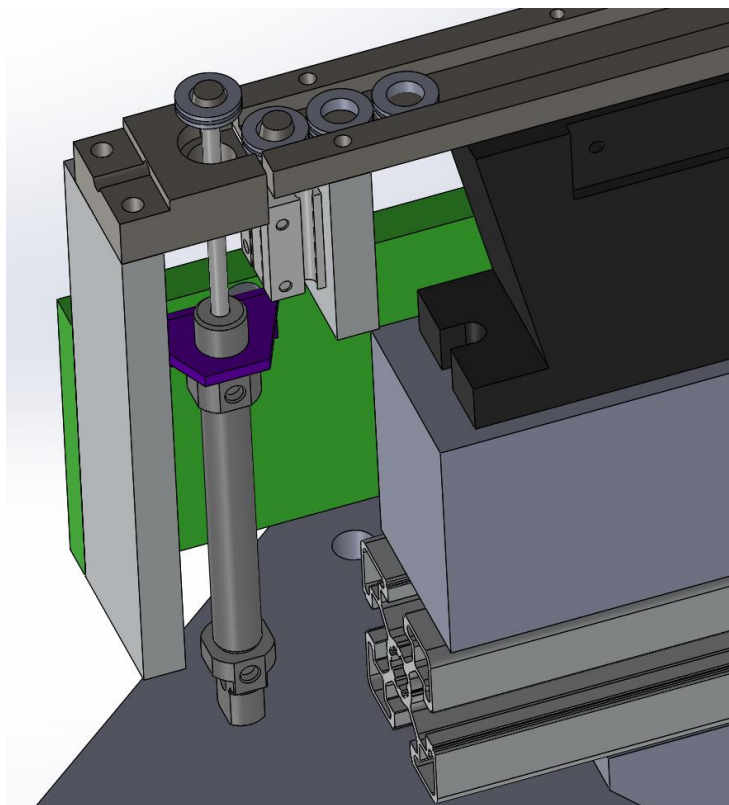
Sele 3.3 Robotipuur, konveierlint, praagikast ja töölaud

Ettesööteseadeldis (Sele 3.4) on vajalik teraspukside transportimiseks Eponi roboti ette. Kogu mehhanism on loodud eraldi alumiiniumplaadile, mis omakorda kinnitub M8 poltidega teisaldatavale töölauale. RNA kausettesöode kinnitub M8 poltidega otse alumiiniumplaadile. Ettesöote kausi ülemise poole külge on modelleeritud terasest kanal, mida mööda liiguvad teraspuksid kausi spiraalteest välja. Samakujulist detaili kasutatakse ka RNA lineaartettesöote küljes. Seade ise kinnitub 45x45 mm

alumiiniumprofiili külge. See profiil kinnitub omakorda 45x90 profiili külge, mis on põhjast kahe M8 poldiga ühendatud alumiiniumplaadiga. Lineaarettesöote vibratsiooni liigest kandumisest otse töölauda modelleeris autor nende vahele hiljem 50 mm läbimõõduga terasklotsi, mis parendas pukside liikumist kanalis. Lineaarettesöote lõpus paikneb sellega mitteühendatud terasest pesa, mis on puksi lõppasukohaks. Pesast läbi on modelleeritud 4 mm ava induktiivanduri jaoks, mis tuvastab puksi jõudmise sihtpunkti. Pesa alla on paigutatud SMC CD85N10-50-B pneumosilinder, mis tõstab puksi robotile haaramiseks ülesse. Ülesande täitmiseks on silindri kolvivarda külge disainitud terasest koonusekujuline tööorgan. Kuna nii lineaar- kui kausettesöode vibreerivad pidevalt ja puksid ise võivad omavahel haakuda, on paigutatud vahetult enne pesa SMC CDUJB6-10DM pneumosilinder, mis hoiab ülejäänud pukse niikaua kinni, kui pesas olevat üles tõstetakse (Sele 3.5). Kusjuures selle silindri kolvivarda külge kinnituv tööorgan on modelleeritud samuti koonusekujuline, mis olles nihkes puksi tsentriavaga eraldab ülesse liikudes kaks järjestikust puksi üksteisest. Et puksid vibreerides terasest kanalist välja ei tuleks, on selle kohale modelleeritud hiljem kate. Kattest läbi suunaga alla kinnitatakse veel üks induktiivandur, mis jälgib kanali täituvust. Mudelis ei kajastu peale kanalikatte veel kokkupanemisfaasis 45x45 mm profiili külge kinnitatud 20x40 mm alumiiniumprofiil, mille külge on paigutatud fotoandur suunaga kausettesöote põhja, mis kontrollib, et selles poleks puksid otsa saanud.



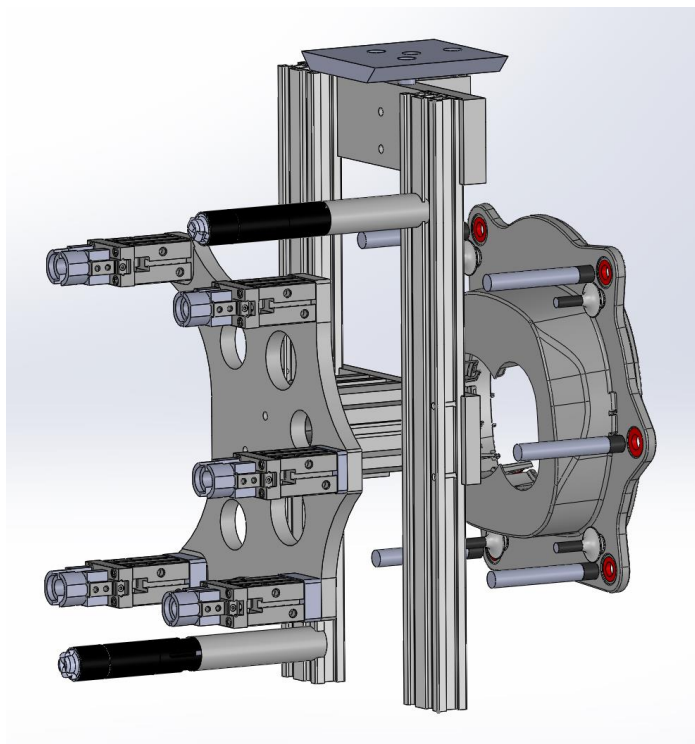
Sele 3.4 Ettesöoteseadeldis pukside transportimiseks Epsoni robotini



Sele 3.5 Puksi tõstmine

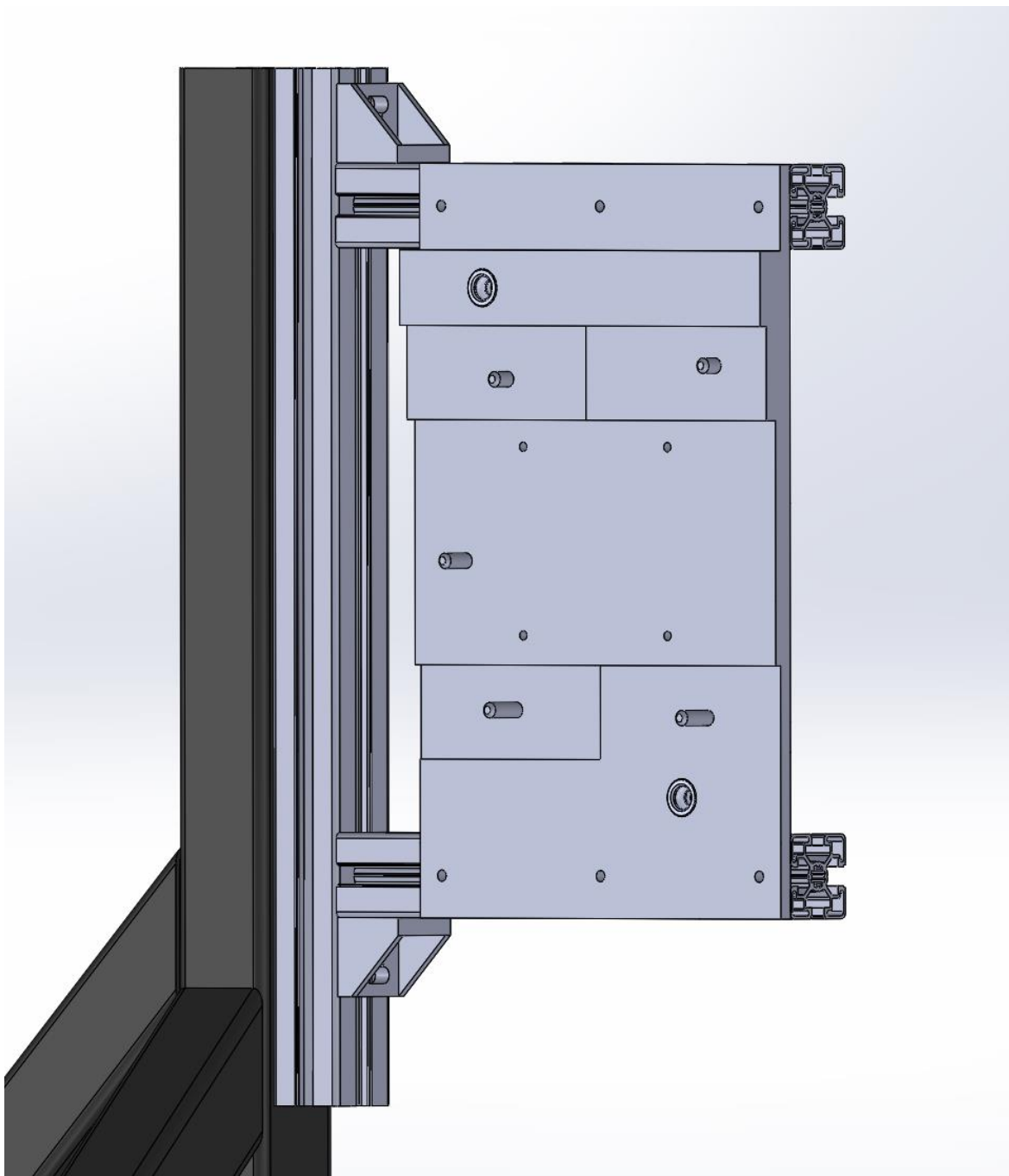
Wittmanni roboti tööorgani (Sele 3.6) modelleerimisel pidi autor arvestama protsessi ja kasutatava roboti eripäradega. Tsükliaja minimaalsena hoidmise vajadusest on roboti tööorgan disainitud selliselt, et selle üks pool asetab kõigepealt teraspuksid vormi esimesse ossa, misjärel tööriista vastaspool eemaldab vormi teisest osast toote ning kontrollib paralleelselt teraspukside olemasolu. Roboti maksimaalsest kandekoormusest tulenevalt on roboti tööorgan disainitud võimalikult kergeks. Vormi piiratud avanemistee tõttu peab roboti tööorgan olema ka mõõtmetelt kompaktne, mis võimaldaks sellel masinas sees liikuda. Samuti mõjutas disaini kalde all olev vormipind, millel paiknevate tornide otsa tuleb robotil teraspuksid asetada. Võimalike kokkupõrgete tuvastamiseks koostas autor lihtsustatud mudelid survevalumasinast ja Wittmanni robotist ning paigutas need SolidWorks koostus robotipuuri kõrvale vastavuses reaalse olukorraga tootmishoones. Roboti tööorgani funktsionaalsed komponendid on loodud kasutades survevaluvormi mudelit. Modelleeritud tööorgan algab alumiiniumplaadist, mis kinnitub otse Wittmanni roboti Y-telje kinnitussõlme külge. Selle plaadi külge on omakorda kinnitatud kõik teised tööorgani osad. Tööorgan koosneb kahest 20x40 mm alumiiniumprofiilist, mis on omavahel ühendatud kahe alumiiniumplaadiga. Alumise plaadi külge kinnitub SMC CDQMB40-10 pneumosilinder. Pneumosilindri külge modelleeris autor spetsiaalse plaadi viie teraspuksi korruga asetamiseks vormi. Plaat on valmistatud alumiiniumist ja selle kaalu alandamiseks on sellesse modelleeritud

ringikujulised avad. Plaadil paiknevad tulenevalt vormipinna kaldest erinevatel kõrgustel viis Gimatic GS-16 haaratsit. Autor modelleeris haaratsitele ka konkreetse teraspuksi haaramiseks sobilikud sõrmed. Sõrmed ei võimalda haaratsil minna teraspuksi edukal haaramisel täielikult kokku. Kui aga mingil põhjusel puksi haaramine ei õnnestunud, siis sõrmed liiguvad lõpuni, millest tulenevalt edastab haaratsiandur signaali Wittmanni robotikontrollerisse. Haaratsite asukohad plaadil sobivad kokku vormis asuvate tornide asukohaga. Läbi alumiiniumprofiilide on tööorgani külge kinnitatud veel kaks Gimatic AGG19-B pneumaatilist haaratsit. Nende abil lukustatakse kogu tööriist pukside haaramisel stendi külge, mis ennetab võimalikke roboti telgede vibratsioonist tekkivaid probleeme. Samamoodi toimitakse ka pukside asetamisel survealuvormi, kus roboti tööorgan lukustab end haaratsite abil vormipinnal paiknevate vastuste külge. Mõlemal juhul surub puksid lõpuni vastu pinda CDQMB40-10 pneumosilinder, mille käik on 10 mm. Alumiiniumprofiilide külge kinnituvad ka viis induktiivandurit, mis on kohakuti tootes paiknevate puksidega ning neli vaakumhaaratsit, mida kasutatakse toote eemaldamiseks vormist. Need lisatakse hiljem katsetamisfaasis, mistõttu on need töö autoril modelleeritud lihtsustatud kujul. 3D-modelleeritud tööorgan pole täielik, vaid võtab kokku selle peamised komponendid, mille järgi on võimalik valmistada kinnitamiseks vajalikud detailid ning kontrollida mudelis erinevate sõlmede kokkusobimist. Roboti tööorgani modelleerimisel kasutatud alumiiniumprofiilid võimaldavad hiljem vastavalt vajadusele lisada või reguleerida andureid, haaratseid ja muid komponente.



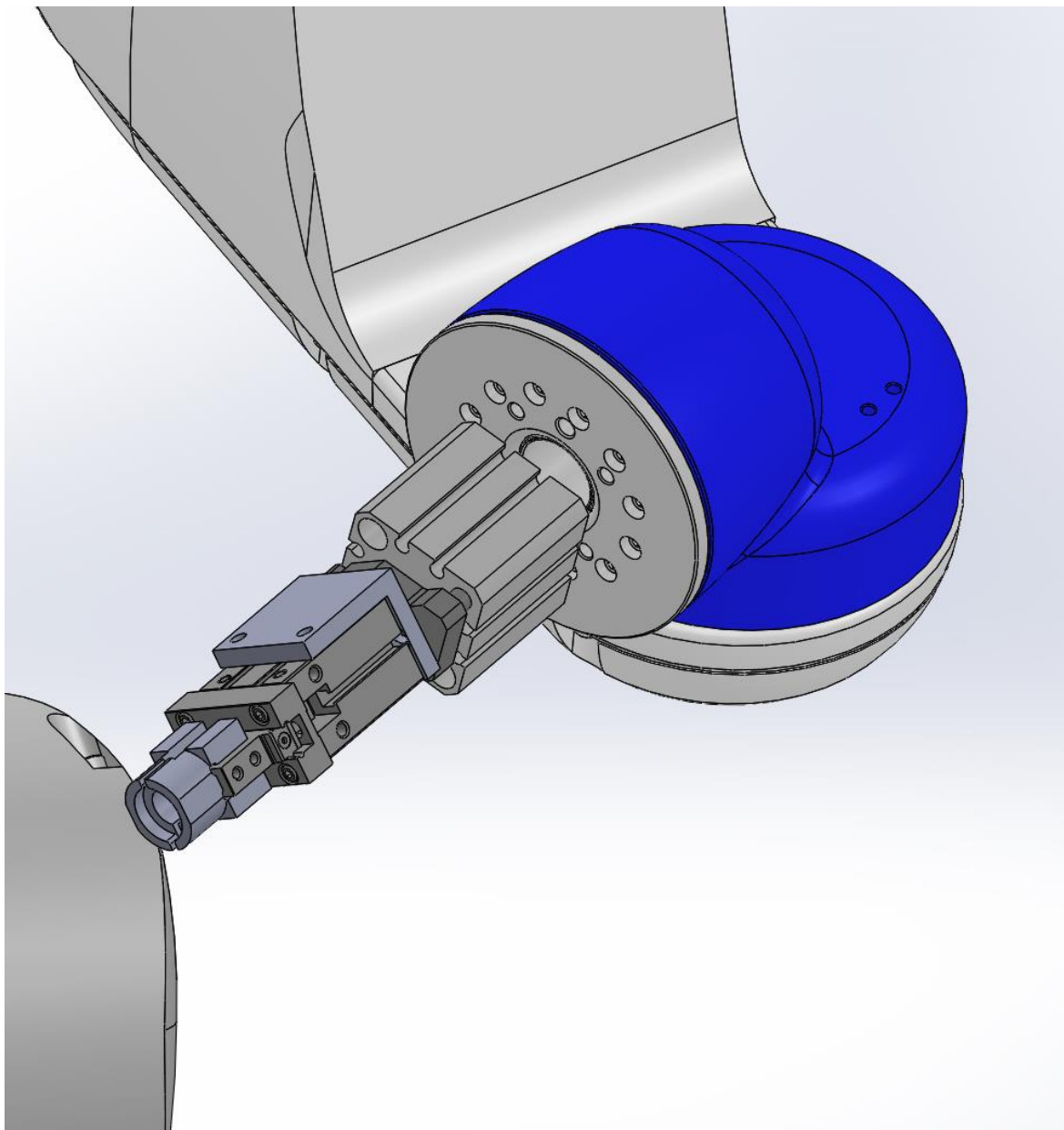
Sele 3.6 Wittmanni roboti tööorgan koos tootega

Stend (Sele 3.7), kuhu Epsoni robot asetab teraspuksid ja kust Wittmanni robot need üles korjab, imiteerib samuti survevaluvormi. See koosneb kahest 10 mm läbimõõduga alumiiniumplaadist, mis on omavahel ühendatud nelja M5 poldiga. Kogu stend kinnitub poltide ja profiilimutritega kahe alumiiniumprofiili külge, mis omakorda kinnituvad kolmanda profiili abil raami külge. Stendil paiknevad erinevatel kõrgustel viis torni, mis on sama läbimõõduga nagu survevaluvormis. Wittmanni roboti tööorgani lukustamiseks stendi külge on sellele paigutatud kaks Gimatic AGG19-B pneumaatilise haaratsi vastust.



Sele 3.7 Stend, kuhu Epsoni robot asetab teraspuksid

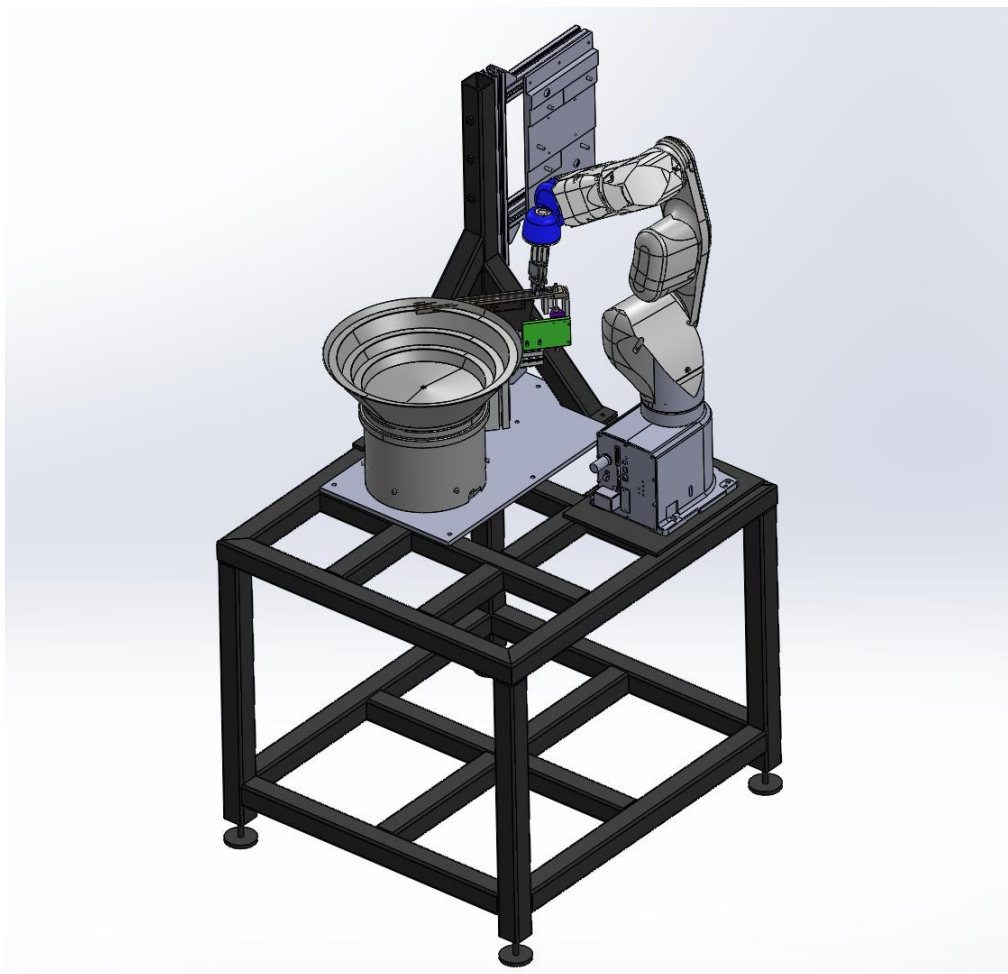
Epsoni roboti tööorgani (Sele 3.8) puhul kinnitub SMC CDQMB25-10 pneumosilinder otse roboti külge. Silindrit kasutatakse mehaaniliste kokkupõrgete tuvastamiseks. Selle külge omakorda kinnitub autori poolt modelleeritud nurga abil Gimatic GS-16 pneumaatiline haarats. Haaratsil kasutatakse puksi haaramiseks eelnevalt kirjeldatud spetsiaalseid sõrmi.



Sele 3.8 Epsoni roboti tööorgan

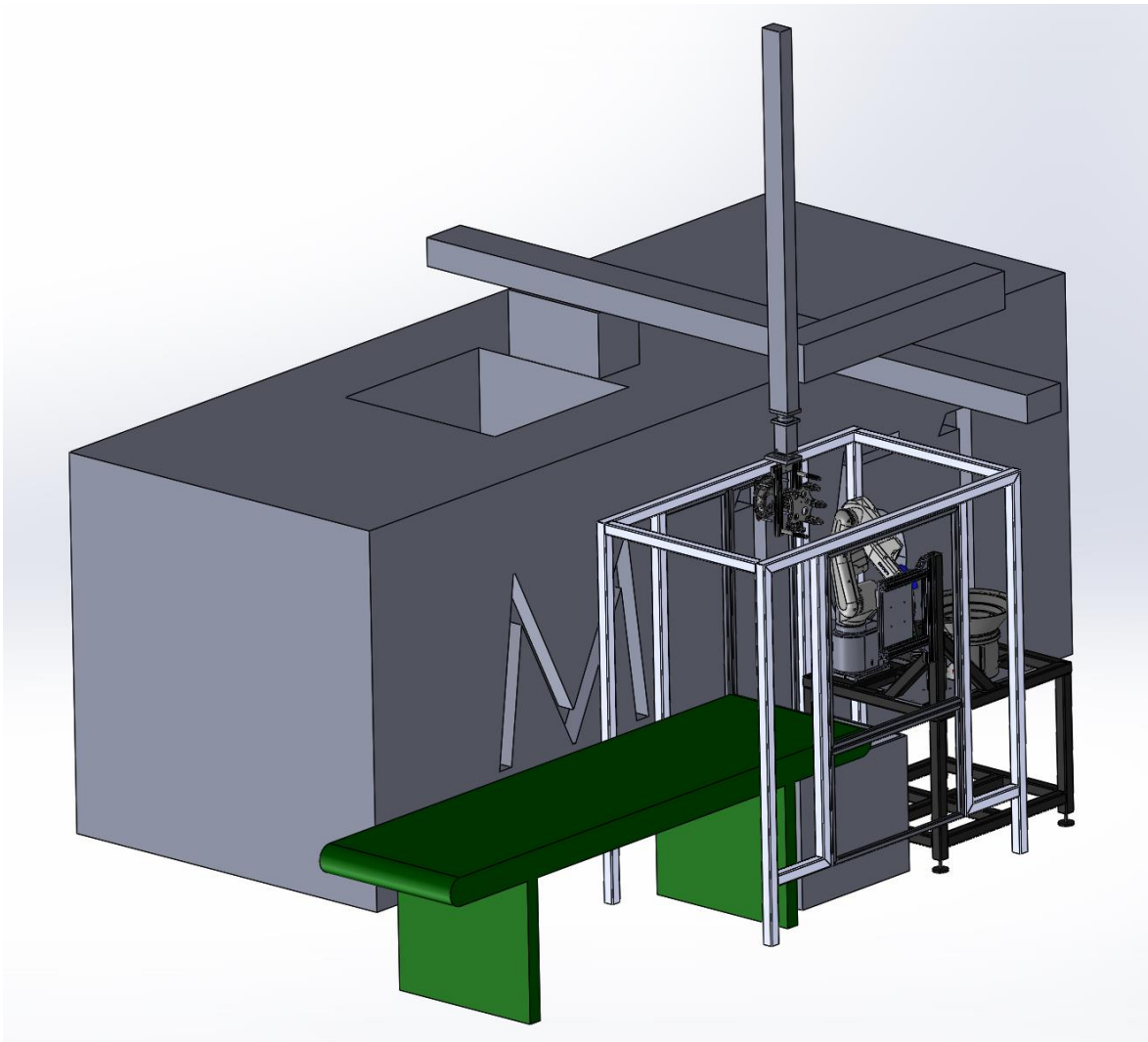
Epsoni robot on paigutatud töölaua nurka nii, et ühele poole sellest jääb ettesöötemehhanism ja teisele poole pukside stand. Stand on paigutatud üle töölaua serva muudest komponentidest kaugemale, mis võimaldab Wittmanni robotil puksid ohutult üle võtta. Ettesöötemehhanismi kausettesööde paikneb töölaual selliselt, et

sellesse on võimalik läbi robotipuuri keevisvõrgu avade komponente vastava lehtriga juurde lisada. Kogu modelleeritud töölaud on kujutatud Selel 3.9.



Sele 3.9 Robotsüsteemi töölaud

Robotisüsteemi 3D-modelleerimisel pidi töö autor lõpliku lahenduse ni joudmiseks pidevalt mudelit korrigeerima ja läbi viima erinevaid katsetusi. Osa detaile, mis mudelis visuaalselt täitsid korrektset oma eesmärki ja sobisid teiste komponentidega kokku, ei olnud peale valmistamist ideaalsed ning vajasis väiksemaid muudatusi. Keerukamate detailide puhul lasi töö autor need enne CNC-freesimist 3D-printida, et katsetada nende toimimist. Nii oli võimalik vältida kallima materjali ja masinaoperaatori aja asjatut kulutamist. Samuti ei suutnud autor arvestada täielikult kõigi vajaminevate kinnituskohade ja detailidega, mistõttu tuli neid süsteemi ehitades jooksvalt juurde lisada. Nii on tegelikku süsteemi käsitsi juurde puuritud avasid näiteks juhtmete ja lineaarettesõite kanalikatete kinnitamiseks, mistõttu ka kanalikatted ise on hiljem eraldi modelleeritud ning valmistatud. Siiski sisaldab kogu 3D-modelleeritud robotisüsteem (Sele 3.10) endas kõiki tähtsamaid funktsionaalseid komponente, mis võimaldab tulevikus lahendust täiendada või korrata.



Sele 3.10 Kogu 3D-modelleeritud robotisüsteem

3.2 Epsoni tööstusroboti programmeerimine

Üldjuhul toimub tööstusrobotite programmeerimine suures osas läbi eraldi juhtpuldi, kuid lõputöös rakendatud Epsoni roboti puhul on selleks kasutatud tavalist Windows 10 operatsioonisüsteemil töötavat sülearvutit. See võimaldas töö autoril koostada osa programmist robotit sisse lülitamata, simuleerides selle liikumist läbi programmeerimiskeskonnas loodud virtuaalkontrolleri. Virtuaalkontrollerisse on kokkupõrgete tuvastamiseks paigutatud loodud robotsüsteemi mudel.

Roboti liikumiste programmeerimiseks defineeritakse punktid, mis sisaldavad endas kõikide telgede koordinaate kas roboti enda koordinaatteljestikus või kasutaja poolt

loodud süsteemis. Kasutaja poolt loodud teljestiku defineerimiseks tuleb panna paika näiteks töölaua järgi nullpunkt ja telgede X, Y, Z suunad. Edasi määratakse liikumiste teostamiseks punktid töölaual. Eraldi koordinaadistiku kasutamine võimaldab tööpinna asukoha muutumise korral roboti suhtes defineerida uuesti selle nullpunkt ja kolm telge, muutmata kõikide punktide enda koordinaate eraldi. Sama loogika kehtib ka roboti küljes kasutatava tööriista puhul, kus eelnevalt defineeritakse tööorgani koordinaadistik ja mõõtmed. Kui kasutatakse mõnda muud tööorganit või selle ehitus muutub, siis muudetakse lihtsalt defineeritud tööriista parameetreid ja punktide enda koordinaadid jäävad samaks. Kuna käesolevas lõputöös on robot ja selle abiseadmed fikseeritud kõik jäigalt töölaua külge ja operatsioonide iseloom ajas ei muutu, kasutatakse liikumiste programmeerimiseks roboti enda koordinaadistikku. Kasutatav tööorgan on aga defineeritud, kuna selle ehitus võib tulevikus muutuda.

Esimesena määras töö autor Epsoni programmeerimiskeskonnas robotsüsteemis kasutatavatele sisenditele ja väljunditele nimed (Sele 3.11), mis lihtsustavad koodi kirjutamist ja muudavad selle loetavamaks.

Input Bit	Label	
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8	BOWL_isEMPTY	fotoandur, mis kontrollib, kas vibrotünnis on pukse
9	FEEDER_isFULL	induktiivandur, mis kontrollib, kas vibrotee kanal on pukse
10	LOCKCYL_isUP	silindriandur, mis kontrollib, kas rivi lukustamise kolvivarras on üleval
11	ROUNDICYL_isUP	silidriandur, mis kontrollib, kas puksi tõstev kolvivarras on üleval
12		
13	BUSH_isEND	induktiivandur, mis kontrollib, kas püks on kanali lõpus
14	GRP_isOUT	silindriandur, mis kontrollib, kas Epsoni silindri kolvivarras on väljas
15	GRP_isCLOSED	haaratsiandur, mis kontrollib kas sõrmed on lõpuni kinni
16	START_ASSY	sisend Wittmanni robotilt, mis käseb Epsonil alustada pükside asetamist stendile
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		

Output Bit	Label	
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7	YELLOW_FLASH	kollane vilkur, mis pannakse vilkuma, kui vibrotünnis on püksid otsas
8	BOWL_FEEDER	käivitab vibrotünni
9	LINEAR_FEEDER	käivitab vibrotee
10	LOCKCYL_UP	surub lukustussilindri kolvivarrada ülesse
11	ROUNDICYL_UP	surub püksi tõstva silindri kolvivarrada ülesse
12	GRP_OUT	surub Epsoni tööriista silindri välja
13	CLOSE_GRP	suleb haaratsi sõrmed
14	ASSY_COMPL_WIT	annab Wittmannile signaali, et püksid on asetatud stendile
15		

Sele 3.11 Epsoni sisendid ja väljundid

Seejärel defineeris töö autor punktid, mida kasutatakse operatsioonide täitmiseks (Sele 3.12). Selleks tuli roboti tööorgan liigutada *jog*-režiimis soovitud asukohta, misjärel on salvestatud selle koordinaadid. Nii on määratud puksi tõstva pneumosilindri kohale punkt „Pick“, kus suletakse haaratsi sõrmed ning punktid „Place 1-5“, mis on tornide tsentrid puksistendil. Töö autor defineeris ka punkti „Start“, kuhu liigutakse alati vahetult enne pukside haaramist. Lisaks on salvestatud tööorgani sujuva liikumistrajektoori tekkimiseks veel punkt „Pre_place“, mis on tööorgani vahepeatus liikudes punktist „Pick“ ükskõik millisesse punkti „Place“ või sealt tagasi. Iga punkt koosneb kolmest koordinaadist, mis kirjeldavad Epsoni roboti telgede X, Y, Z asukohta ja kolmest kraadist, mis kirjeldavad telgede U, V, W asendit.

Robot: 1, MNP01, VT6-A901S Local: 0 Tool: 1

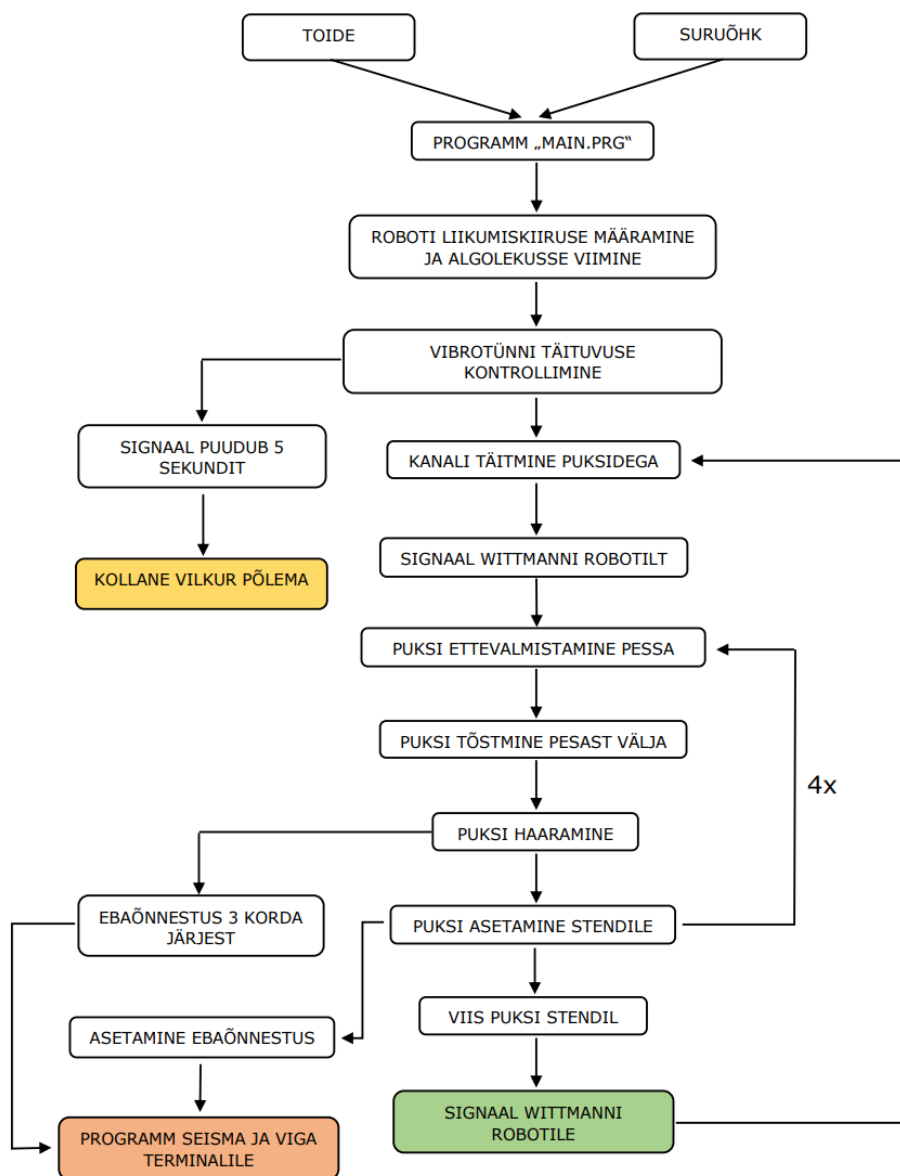
Control Panel Point File: robot1.pts

	Number	Label	X	Y	Z	U	V	W
Points	0							
Hands	1	start	-422.804	63.000	400.000	45.001	-0.357	179.518
	2	pick	-422.804	63.000	346.492	45.001	-0.357	179.518
Arch	3	place1	-674.830	374.511	625.803	90.000	0.000	-90.000
	4	place2	-673.830	518.411	631.773	90.000	0.000	-90.000
Locals	5	place3	-681.000	339.282	528.624	90.000	0.000	-90.000
	6	place4	-685.000	369.133	448.586	90.000	0.000	-90.000
Tools	7	place5	-684.000	501.713	443.256	90.000	0.000	-90.000
Pallets	8	current_place						
Boxes	9	pre_place	-544.263	325.552	492.303	45.849	9.173	-132.184
	10							
Planes	11							
	12							
Weight	13							
	14							
Inertia	15							
	16							
XYZ Limits	17							
	18							
Range	19							
	20							
Home Config								

Sele 3.12 Epsoni punktid

Programmide kirjutamist alustas töö autor kahe alamprogrammi kirjutamisest. Nendeks on programmid „Speed.prg“ (Lisa 1) ja „Reference.prg“ (Lisa 2), millest esimeses defineeritakse Epsoni roboti liikumiskiirused ja teises viiakse terve töölaua pneumo- ja elektriajamid sobivasse algolekusse. Epsoni tööorgani pneumosilindri kolvivarras surutakse selles alamprogrammis välja, misjärel võetakse sellelt õhk kohe uuesti järelt ära. Nii on võimalik hiljem pukside stendile asetamise etapis kontrollida, kas Wittmanni robot sai kõik puksid stendilt võetud ja ennetada võimalikust ebaõnnestumisest tekkivaid probleeme. „Reference.prg“ alamprogramm liigutab lisaks Epsoni tööorgani töö alustamise algpunkti „Start“. Robotit hoiab töös põhiprogramm „Main.prg“ (Lisa 3),

kuhu on koondatud kõik alamprogrammid ja funktsioonid. Põhiprogrammi tööd illustreeriv skeem on kujutatud Seel 3.13.



Sele 3.13 Epsoni robotiprogrammi ülesehitust kirjeldav skeem

Põhiprogrammi alguses kutsutakse alamprogrammidest välja funktsioonid „normal_power_mode” ja „goReference”, mis määravad roboti liikumiskiiruse ja viivad tööorgani ning muud täiturid algolekusse. Lisaks on programmi alguses märgitud ära, millist eelnevalt defineeritud tööriista kasutatakse.

Esimesena käivitatakse taustal töötav funktsioon „control_bowl_level”, mis kontrollib kausettesöote töötamise ajal, et pukse tuvastava fotoanduri signaal ei kaoks ära kauemaks kui viis sekundit. Kui signaali viie sekundi jooksul ei teki, siis lülitatakse sisse

kollast vilkurit juhtiv väljund, mis annab tehnoloogile märku, et kaussi oleks vaja pukse juurde lisada.

Edasi koosneb programm lõpmatust tsüklist. Tsükli alguses käivitatakse lineaarettesööde ja oodatakse, et kanali keskel paiknevalt induktiivandurilt tulev signaal ei katkeks ühe sekundi jooksul. Kui katkeb, siis lülitatakse sisse ka kausettesööde. Programmiga minnakse edasi alles siis kui signaal muutub pidevaks. Nii veendutakse, et ühe toote jaoks kuluvad viis puksi oleksid alati tsükli alustades kiiresti saadaval.

Järgmisena lülitatakse kausettesööde välja ja käivitatakse taustal töötav funktsioon „Preparing”. See hoiab lineaarettesöödet nii kaua töös, kui puks jõuab kanali lõpus paiknevasse pessa. Puksi jõudmise lõppasukohta tuvastab pesa sisse paigutatud induktiivandur. Kui puks on jõudnud kanali lõppu, siis lükatakse enne kanalit paikneva pneumosilindri kolvivarras ülesse, mis lahutab kanalis paikneva puksi sellele järgnevatest ja peatab pukside edasiliikumise. Lineaarettesööde peatatakse ja funktsioon ise läheb pausile. Nüüd oodatakse programmis sisendit Wittmanni robotilt, mis lubaks alustada pukside ettevalmistamist stendile.

Signaali tekkimise korral veendutakse veelkord, et puks oleks ettevalmistatud, misjärel tõstetakse see pneumosilindrit kasutades kanalist välja suunaga ülesse. Seejärel käivitub funktsioon „Picking”, mille käigus liigub roboti tööorgan punkti „Pick”, peale mida surutakse haaratsi sõrmed kokku. Kui haaratsiandur tuvastab, et sõrmed liikusid lõpuni, siis puksi haaramine ei olnud edukas. Programmi on kirjutatud selle lahendamiseks eraldi veahaldur, mis probleemi tekkimisel proovib puksi maksimaalselt kaks korda veel haarata. Kui ka siis ebaõnnestutakse, kuvatakse operaatorile vastav teada ja programm peatub. Kui puksi haaramine oli aga edukas, siis alustatakse järgmise puksi ettevalmistamist ja sellega paralleelselt kutsutakse välja funktsioon „Placing”. Funktsioon saab põhiprogrammi *for*-tsüklist sisendiks numbri, millise torni otsa viiest puks tuleb asetada. Roboti tööorganiga liigutakse punktist „Place” soovitud punktile stendil ja proovitakse puks asetada vastava torni otsa. Kui Epsoni roboti tööorgani pneumosilindri, millelt võeti programmi alguses surve maha, silindriandur tuvastab, et selle kolb liikus puksi asetades sissepoole, siis programm peatatakse. Nii tuvastatakse olukorrad, kus stendile on eelmisest korrast puks maha jäänud või robot ei saa lihtsalt tornile piisavalt täpselt pihta. Puksi haaramist ja asetamist sooritatakse kokku viis korda, misjärel suundub Epsoni robot tagasi punkti „Start”, kus antakse Wittmanni robotile signaal pukside stendile asetamise lõppemisest.

Lõputöös loodud programm pole täielik, sest ei sisalda endas turvanõuetest tekkivaid erijuhte. Näiteks seiskub robotiprogramm hetkel roboti algseadetest tulenevalt kõikidel juhtudel, kui robotipuuri turvaväravad tehakse töö ajal lahti. Samas võib olla vajalik aga mingisuguste funktsioonide jooksutamine lahtiste turvavärvatega, et programmeerida Wittmanni robotit või jälgida üldiselt robotite tööd. Lisaks on kasulik disainida tulevikus Epsoni roboti programmeerimiskeskkonnas tehnoloogidele enim kasutatavate käskudega kasutajaliides, mille abil oleks võimalik kiiresti teha programmis lihtsamaid muudatusi või testida erinevate funktsioonide töötamist. Siiski täidab loodud programm kõiki Epsoni robotile eelnevalt seatuid eesmärke.

4. LOODUD ROBOTSÜSTEEMI ANALÜÜS

Lõputöö tulemusena 3D-modelleeriti ja programmeeriti toimiv robotisüsteem konkreetse survevalu detaili tootmisprotsessi automatiseerimiseks. Loodud mudelite põhjal valmistati ja komplekteeriti vastavate osakondade poolt ettevõttes Promens AS kogu robotisüsteem. Epsoni robotiga ülesannete sooritamiseks koostas lõputöö autor robotiprogrammi, mis juhib kogu pukside ettevalmistusprotsessi alates kanali täitmisest, lõpetades viie puksi eduka asetamisega stendile. Töö autor viis valminud lahenduse peal läbi kontrollteste uurimaks selle käitumist erinevatel juhtudel.

Robotsüsteemi töö algab selle vooluvõrku ühendamiselega. Lisaks peab seadmetele olema tagatud suruõhk. Epsoni robot liigub alguspunkti ja viib algolekusse pneumatilised ning elektrilised täiturid. Seejärel käivituvad kauss- ja lineaarettesööde, mis omavahelises koostöös täidavad kanali puksidega. Kui kanalis on piisavalt pukse ja esimene puks on jõudnud kanali lõppu vastavasse pessa, siis elektrilised täiturid seisatakse. Võimalikult sujuva etteande tagamiseks tuli töö autoril valida vastaval kontrolleril sobiv vibreerimise amplituud.

Edasi peatab pneumosilindri kolvivarras ülesse tõustes pukside edasiliikumise kanalis, misjärel tõstab pesa all paiknev pneumosilinder puksi Epsoni robotile haaramiseks üles. Ettesöötemehhanismi ülesannete täitmise korratavust kontrollis töö autor katsetusega, kus kaussettesööde täideti kahetuhande puksiga ja Epsoni robot tõstis neid pneumosilindri kolvivarda koonuse otsast eraldi kasti. Testi viidi läbi seni, kuni kõik puksid olid jõudnud ettesöötest kasti. Testi käigus reguleeris töö autor veel vibreerimise amplituudi ja kinnitas lõpuks tugevalt sobivaimas asendis kõik reguleeritavad kinnitusdetailid.

Kui ettesöötemehhanismi toimivus oli kontrollitud, katsetati Epsoni roboti tööorganiga pukside tõstmist puksistendile. Testi läbiviimist alustati väga aeglase telgede liikumiskiirustega, veendumaks salvestatud punktide koordinaatide täpsuses ja liikumistrajektoori ohutuses. Samuti kontrollis töö autor olukordi, kus puksi asetamisel stendile oli eelmisest korrast see juba seal ees või kui puks peaks kanalist ülesse tõstmisel vastava kolvivarda koonuse otsast mingil põhjusel ära kukkuma. Mõlemas situatsioonis toimis robotiprogramm korrektselt, kus esimesel juhul liikus tööorgan stendist kaugemale ja kuvas ebaõnnestumisest vastava teate terminalile. Kanalist puksi mitte kättesaamise korral prooviti Epsoni tööorganiga seda kahel korral veel haarata ning kui see lõpuks õnnestus, asetati puks stendile. Kui aga haaramine ebaõnnestus ka kolmandal korral, siis programm seiskus ja terminali kuvati vastav teade.

Viimaks testis töö autor kogu süsteemi toimimist Epsoni roboti maksimaalse liikumiskiirusega. Lõpliku testi käigus enam vigu ei esinenud ja pukside Wittmanni roboti jaoks stendile ettevalmistamine toimus kiiremini, kui võtab aega ühe toote survevalutsükkel.

Wittmanni roboti tööorgan 3D-modelleeriti arvestades sellele seatuid tehnilisi nõudeid ja sellega sooritatavate operatsioonide iseloomu. Kuna lõputöösse ei mahtunud ajaliselt Wittmanni robotile robotiprogrammi kirjutamine, ei ole automaatsüklis loodud tööorganit katsetatud. Samas veendus töö autor, et tööorgani kaal mahub roboti lubatud kandekoormuse piiridesse ning et robot suudab tööriista kõikidesse nõutud asenditesse pöörata. Kuna Wittmanni tööorgani haaratsitel kasutati pukside haaramiseks samu sõrmi, mis Epsoni robotil, võib viimase edukatest testidest järeldada, et ka Wittmanni robotiga pukside haaramine õnnestub. Pukside asetamist vormi ja sellest toote eemaldamist testitakse tulevikus, kui vorm saabub tehasesse. Tänu tööriista modelleerimisel kasutatud alumiiniumprofiilidele on võimalik vastavalt vajadusele kontrollandurite ja vaakumhaaratsite asukohti reguleerida.

Võimalike järgmiste süsteemide 3D-modelleerimisel tuleks töö autoril arvestada rohkem vajadusega paigutada kasutatavate täiturite õhuvoolikud ja elektrijuhtmed selliselt, et need ei saaks kergesti vigastada, mistõttu tuleks neile luua rohkem erinevaid kinnituskohi. Samuti ei pruugi süsteemi kokkupanemisel kõik detailid omavahel ideaalselt kokku sobida, mille ennetamiseks on võimalik 3D-modelleerimisel luua neile mingisugune reguleerimisvõimalus.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli 3D-modelleerida ja programmeerida survevalumasinat teenindav robotsüsteem, mis automatiseeriks konkreetse survevalu detaili tootmisprotsessi. Robotsüsteemi loomise vajadus ettevõttes Promens AS tulenes tarvidusest pakkuda kliendile võimalikult madalat toote omahinda, mis võimaldaks võita konkurentide ees vastava hanke.

Lõputöö teoreetilises osas on antud lühiülevaade survevalu protsessist ning toodud välja peamised võimalused selle robotiseerimiseks. Samuti selgitatakse robotiseerimise eeliseid ning kirjeldatakse loodava robotsüsteemi olemust üldiselt. Töö teoreetilise osa teises pooles tutvustatakse ettevõttes Promens AS kasutatavaid tööstusroboteid ning põhjendatakse loodud robotsüsteemis rakendatud robotite valimist. Lisaks tuuakse välja robotsüsteemis kasutatud lisaseadmed ja andurid ning kirjeldatakse nende tööpõhimõtet.

Lõputöö empiirilise osa esimeses pooles antakse etappide lõikes ülevaade robotsüsteemi 3D-modelleerimisest SolidWorks modelleerimistarkvaras. Lisaks tuuakse välja peamised kasutatud võtted erinevate detailide modelleerimisel ning kirjeldatakse nende funktsiooni konkreetsete ülesannete täitmisel. Empiirilise osa teine pool võtab kokku Epsoni 6-teljelise liigendroboti programmeerimise. Selles on kirjeldatud konkreetse roboti programmeerimispõhimõtet ja antud ülevaade kasutatud sisenditest, väljunditest ning salvestatud punktidest. Samuti tutvustatakse erinevate funktsioonide ülesandeid ning võetakse kokku põhiprogrammi töö tervikuna.

Töö tulemusena 3D-modelleeriti terviklik robotsüsteem, mis sisaldab endas peamiste sõlmedena kahe tööstusroboti tööorganeid, ettesöötemehhanismi ja pukside stendi. Loodud SolidWorks koostu paigutati kasutatud robotid, nende lisaseadmed, robotipuur, konveierlint ja praagikast. Samuti koostas töö autor nii Epsoni roboti töölauda kui ka muude detailide jaoks nende valmistamiseks vajalikud tootmisjoonised, mis koos robotsüsteemi mudeliga muutsid ettevõttes võimalikuks selle reaalse loomise. Lisaks on töö tulemusena valminud Epsoni robotiprogramm, mis täidab kõiki sellele töö alguses seatuid eesmärke.

Lõputöö eesmärk täideti edukalt. See vastab püstitatud ülesandele ning ettevõtte poolt soovitud tulemusele. Lisaks on loodud lahendus kooskõlas ettevõttes varasemalt rakendatud robotiseerimise meetoditega. Robotsüsteemi edasiarendus jätkub

Wittmanni robotiprogrammi loomisega, misjärel on võimalik kogu robotsüsteemi survealukeskuses testida. Peale edukat testimist võetakse see ettevõttes kasutusse.

SUMMARY

The aim of the final thesis was to 3D model and program a robotic system for an injection moulding machine tending which would automate the production process of a specific part. The topic was formed by the wish of Promens AS to offer the customer the lowest possible product price, which would enable to win the production procurement over competitors.

The theoretical part of the final thesis presents a brief overview of the injection moulding process and its main robotization possibilities. It also explains the advantages of robotization and describes the general nature of the robot system being created. The second half of the theoretical part of the work introduces industrial robots which are used in Promens AS and justifies the selection of robots for the created robot system. Furthermore, it describes the working principle of the additional devices and sensors used in a robot system.

The first half of the empirical part of the final thesis gives an overview of the 3D modelling process of the robotic system in SolidWorks software. Also, it explains different 3D modelling techniques used for designing specific components and describes their applications for various tasks. The second half of the empirical part summarizes the programming process of Epson's 6-axis articulated robot. It describes the programming principle of a specific robot and gives an overview of the inputs, outputs, and points. The section also introduces the concrete tasks of the various functions and summarizes the work of the main program as a whole.

As a result of the work, a complete robot system was 3D modelled, which includes the tools of two industrial robots, a feed mechanism, and a stand for bushings as the main sections. All the robots used in the robot system, their additional devices, the robot cage, the conveyor belt and the scrap box were placed in the created SolidWorks assembly. The author of the work also prepared production drawings for the table of the Epson robot as well as other parts necessary for the robot system, which, together with the 3D model of the robot system, made its physical creation possible in the company. In addition, as a result of the work, the Epson robot program has been completed, which fulfils all the goals set for it at the beginning of the work.

The aim of the final thesis was achieved. It meets the set task and the result expected by the company. In addition, the created solution is in accordance with the robotization methods previously implemented in the company. Further development of the robot system continues with the creation of Wittmann's robot program, after which it is

possible to test the entire robot system in the injection moulding workshop. If the testing is successful, it is possible to start automated production using the created solution.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] M. G. R. D.V. Rosato, *Injection Molding Handbook*, 3rd ed. Springer Science & Business Media, 2012.
- [2] V. Goodship, Arburg (Firm), and Rapra Technology Limited, *Practical Guide to Injection Moulding Edited by Vanessa Goodship*. iSmithers Rapra Publishing, 2004.
- [3] H. Zhou, *Computer Modeling for Injection Molding: Simulation, Optimization, and Control*. John Wiley & Sons, 2012.
- [4] H. Fu *et al.*, "Overview of Injection Molding Technology for Processing Polymers and Their Composites," *ES Mater. Manuf.*, pp. 3–23, 2020.
- [5] S.-J. L. Musa Rasim Kamal, Avraam I. Isayev, *Injection Molding: Technology and Fundamentals*. Hanser, 2009.
- [6] "ISO 8373:2021(en), Robotics — Vocabulary." [Online] <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8373:ed-3:v1:en>. Kasutatud 27.09.2022.
- [7] International Federation of Robotics, "The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs," *Position. Pap. by Int. Fed. Robot.*, no. April, pp. 1–14, 2017.
- [8] Mike Wilson, *Implementation of Robot Systems: An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing*, vol. 7, no. 1. Butterworth-Heinemann, 2015.
- [9] J. M. Mallon IV, *Advances in Automation for Plastics Injection Moulding (Rapra Review Report 133)*, vol. 12[1] J. M, no. 1. iSmithers Rapra Publishing, 2001.
- [10] H. Gaub, "Digital integration - Flexibly automated plastics processing," *Kunststoffe Int.*, vol. 105, no. 10, pp. 22–27, 2015.
- [11] P. Põldver, "Wittmani vanemat tüüpi servorobotid. Kasutaja juhend." p. 218, 2012.
- [12] Wittmann Group. Robots and Automation Systems. [Online] https://www.wittmann-group.com/sites/default/files/2022-09/cnc-robots_english_2022-09_lowres_11.pdf. Kasutatud 08.10.2022.

- [13] P. Kulu and E. Hendre, *Mehaanikainseneri käsiraamat*, 2nd ed. Tallinna Tehnikaülikooli Kirjastus, 2015.
- [14] Seiko Epson. Epson ProSix VT6-A901S. [www] https://www.epson.co.uk/en_GB/products/robots/6-axis-vt-series/epson-prosix-vt6-a901s/p/28146. Kasutatud 12.10.2022.
- [15] Seiko Epson. Epson ProSix VT6 series. [Online] https://epsonemear.a.bigcontent.io/v1/static/a12193-brochure-lores-en-int-prosix_vt6_series. Kasutatud 12.10.2022.
- [16] ABB Robotics. IRB 1100 tehnilised parameetrid. [Online] https://library.e.abb.com/public/bdf0b25a165f40c4984d770bf110994b/IRB1100_datasheet.pdf. Kasutatud 13.10.2022.
- [17] KUKA Robotics. KR 6 R700-2 tehnilised parameetrid. [Online] https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/6b77eecacfe542d3b736af377562ecaa/0000290000_en.pdf. Kasutatud 13.10.2022.
- [18] RNA Automation. Bowl Feeders. [www] <https://www.rnaautomation.com/products/feeding-and-handling/bowl-feeders/>. Kasutatud 19.10.2022.
- [19] RNA Automation. Linear Feeders. [www] <https://www.rnaautomation.com/products/feeding-and-handling/linear-feeders/>. Kasutatud 19.10.2022.

LISAD

Lisa 1 Epsoni roboti alamprogramm „speed.prg“

```
≡ speed.prg ×
C: > Users > HP > Downloads > ≡ speed.prg
1  Function slow_power_mode
2      Motor On
3      Power Low
4      Speed 20
5      Accel 20, 20
6      SpeedS 200
7      AccelS 200, 200
8  Fend
9  Function normal_power_mode
10     Motor On
11     Power High
12     Speed 100
13     Accel 100, 100
14     SpeedS 1000
15     AccelS 2000, 2000
16  Fend
17
18
```

Lisa 2 Epsoni roboti alamprogramm „reference.prg“

☰ reference.prg ✕

C: > Users > HP > Downloads > ☰ reference.prg

```
1  Function goReference
2  Call slow_power_mode
3  AutoLJM On
4  Tool 1
5  Off BOWL_FEEDER
6  Off LINEAR_FEEDER
7  Off CLOSE_GRP
8  On GRP_OUT
9  Wait 0.5
10 Off GRP_OUT
11 Off LOCKCYL_UP
12 Off ROUND CYL_UP
13 Go pre_place
14 Go start
15 Fend
16
17
18
19
```

Lisa 3 Epsoni roboti põhiprogramm „Main.prg“

```
≡ Main.prg ×
C: > Users > HP > Downloads > ≡ Main.prg
1  Function main
2      ' silindrid ja gripperid algasendisse ja robot algpunkti
3      Call goReference
4      ' m22ra roboti kiirus
5      Call normal_power_mode
6      AutoLJM On
7      Tool 1
8      ' kontrollib pidevalt tynni taset
9      Xqt control_bowl_level
10     ' yks tsykkel koosneb 5 puksi panekust seinale
11     OnErr GoTo eHandler
12     Integer retry
13     Do
14         MemOff BUSH_PREPARED
15         On LINEAR_FEEDER
16         Wait 0.2
17         Wait Sw(FEEDER_isFULL) = Off, 1
18         ' kui rivi pole t2is siis tynn k2ima
19         If TW = False Then
20             On BOWL_FEEDER
21             ' kui rivi t2is, siis puks on ettevalmistatud ja tynn l2heb seisma
22         Else
23             Off BOWL_FEEDER
24             Integer counter
25             Xqt preparing
26             Wait Sw(START_ASSY)
27             For counter = 1 To 5
28                 retry = 0
29                 Wait MemSw(BUSH_PREPARED) = On
30                 On ROUND CYL_UP
31                 Wait Sw(ROUND CYL_isUP) = On
32                 Call picking
33                 MemOff BUSH_PREPARED
34                 If counter <> 5 Then
35                     Resume preparing
36                 Else
37                     Off ROUND CYL_UP
38                     Wait 0.1
39                     Off LOCK CYL_UP
40                     Quit preparing
41                 EndIf
42             Call placing(counter)
```

```

Main.prg x
C:\Users\HP\Downloads> Main.prg
42         Call placing(counter)
43     Next counter
44     On ASSY_COMPL_WIT
45     Wait 2
46     Off ASSY_COMPL_WIT
47     EndIf
48     Loop
49     ' Kui Epson ei saa puksi k2tte proovitakse kaks korda veel
50     eHandler:
51         If Err = 8000 Then
52             retry = retry + 1
53             If retry < 3 Then
54                 MemOff BUSH_PREPARED
55                 Resume preparing
56                 Wait MemSw(BUSH_PREPARED) = On
57                 On ROUND CYL_UP
58                 Wait Sw(ROUND CYL_isUP) = On
59                 EResume
60             Else
61                 Print "Ei saanud 2x j2rjest puksi k2tte"
62             EndIf
63         ' Kui tekib error placing funktsioonis, siis kuvatakse teade, et stendil on puks juba ees
64     Else
65         Print "Puksistendil puks juba ees!"
66     EndIf
67 Fend
68 Function control_bowl_level
69     Do
70         If Oport(BOWL_FEEDER) Then
71             Wait Sw(BOWL_isEMPTY) = On, 5
72             If TW = False Then
73                 Off YELLOW_FLASH
74                 ' kui 5 sekundit pukse pole, siis kollane vilkur p6lema
75             Else
76                 On YELLOW_FLASH
77             EndIf
78         EndIf
79         Wait 1
80     Loop
81 Fend
82 ' puksi taustal ettevalmistamine
83 Function preparing

```

```
≡ Main.prg X
C: > Users > HP > Downloads > ≡ Main.prg
83 Function preparing
84 Do
85     Off ROUND CYL_UP
86     Wait 0.1
87     Off LOCK CYL_UP
88     On LINEAR_FEEDER
89     Wait Sw(BUSH_isEND)
90     On LOCK CYL_UP
91     Off LINEAR_FEEDER
92     MemOn BUSH_PREPARED
93     Halt preparing
94 Wait 0.1
95 Loop
96 Fend
97 ' puksi v6tmise funktsioon
98 Function picking
99     #define ER_PICK_FAIL 8000
100     Go pick +Z(30)
101     Move pick
102     Wait 0.2
103     On CLOSE_GRP
104     Wait 0.5
105     Move pick +Z(30)
106     If Sw(GRP_isCLOSED) Then
107         Off CLOSE_GRP
108         Error ER_PICK_FAIL
109         Wait 1
110     EndIf
111 Fend
112 ' puksi seinale paneku funktsioon
113 Function placing(no As Byte)
114     #define ER_PLACE_FAIL 8001
115     Select no
116     Case 1
117         current_place = place1
118     Case 2
119         current_place = place2
120     Case 3
121         current_place = place3
122     Case 4
123         current_place = place4
```

```
≡ Main.prg X
C: > Users > HP > Downloads > ≡ Main.prg
123         current_place = place4
124     Case 5
125         current_place = place5
126     Send
127     Go pre_place CP
128     Go current_place +X(50)
129     Move current_place
130 ' Kui silinder l2heb sisse, siis stendil juba puks ees
131     If Sw(GRP_isOUT) = Off Then
132         Move current_place +X(60)
133         Error ER_PLACE_FAIL
134     EndIf
135     Wait 0.2
136     Off CLOSE_GRP
137     Wait 0.2
138     Move current_place +X(60)
139     Go pre_place CP
140     Go start
141 Fend
142
143
```