



Kristjan Rennit

DETAILI HAARAMISE ABISEADE ROBOTLAHENDUSELE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Robotitehnika eriala

Juhendaja: Kristo Vaher

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Kristjan Rennit,

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendajad Kristo Piksar, Kristo Vaher.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Kristjan Rennit

sünnikuupäev: 28.06.1999

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

DETAILI HAARAMISE ABISEADE ROBOTLAHENDUSELE

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, allkirjastatud digitaalselt.

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS	5
2. ÜLEVAADE PROBLEEMSEST PROTSESSIST	6
2.1 Turul pakutavad lahendused	8
2.1.1 Amada HG-Rm	8
2.1.2 LVD Dyna-Cell	9
2.1.3 Amada ASTRO	9
3. PROJEKTI EELANALÜÜS	11
3.1 Komponentide valik	14
3.1.1 Ümberhaaramisjaama raam	14
3.1.2 Pneumaatilised komponendid	14
4. PROJEKTEERITUD SEADE	16
5. LOODUD LAHENDUSE TESTIMINE	18
5.1 Parendusideed	22
5.2 Tulemuste analüüs ning meetodite võrdlus	23
6. MAJANDUSLIK ANALÜÜS	24
6.1 Ümberhaaramisjaama ehitamise kulud	25
6.2 Tasuvusarvutus	25
KOKKUVÕTE	28
SUMMARY	29
VIIDATUD ALLIKAD	30
LISAD	31
Lisa 1. Loodud ümberhaaramisjaama tehniline joonis	32
Lisa 2. Ümberhaaramisjaama kasutamiseks loodud robotprogramm	33

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida, paigaldada ja integreerida olemasoleva robotlahenduse tarbeks abiseade, mis aitaks muuta detailide ümberhaaramisprotsessi kiiremaks ning roboti programmeerimise seisukohast mugavamaks ja seadistusprotsessi roboti operaatori jaoks lihtsamaks.

Olemasolev robotlahendus koosneb alustest, mille otstarve on toorikuid ning detaile ladustada, nullimislauast, mida hetkel kasutatakse detaili ümberhaaramisjaamana, Amada painutuspingist ning Yaskawa tööstusrobotist. Juhul kui lehtmetaili painutusprotsessi käigus on töödeldavat detaili vaja järgneva painde sooritamiseks või alusele ladustamiseks ümber haarata, toimub vastav protsess selleks mitte ette nähtud nullimislaual. Lõputöö kirjutamise ajendiks oli roboti operaatorina eelmainitud protsessi läbiviimine ning sellest tingitud soov protsessi efektiivsemaks ning ohutumaks muuta.

Lõputöös kasutatakse loodud lahenduse testimiseks üht ettevõttes enimtoodetavat lehtmetaildetaili ning kindlate kriteeriumite põhjal võrreldakse omavahel varasemalt kasutusel olnud ümberhaaramismeetodit nullimislaual ja ümberhaaramist uue abiseadmega.

1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

Inission AB on 1973. aastal loodud Rootsi ettevõte, mis omab Põhjamaades täislahenduste pakkujana juhtivat rolli. Inission on tehastega esindatud nii Rootsis, Norras, Soomes kui Eestis. Ettevõte pakub valdavalt Põhja-Euroopa tööstus klientidele spetsiaalseid arendus- ning tööstusteenuseid kõrgkvaliteetsete konkurentsivõimeliste elektroonika- ning mehaanikatoodete tootmiseks. Inissioni oluliseks eeliseks on kompetentsi ning kogemuste baasi olemasolu kogu toote elutsükli ulatuses. Kliendibaasi moodustavad ettevõtted esindavad valdkondi masinatööstusest elektroonika- ning meditsiinitehnikatööstusteni. Ettevõte omab ISO9001, ISO14001 ja OHSAS18001 kvaliteedistandardite sertifikaate. [1]

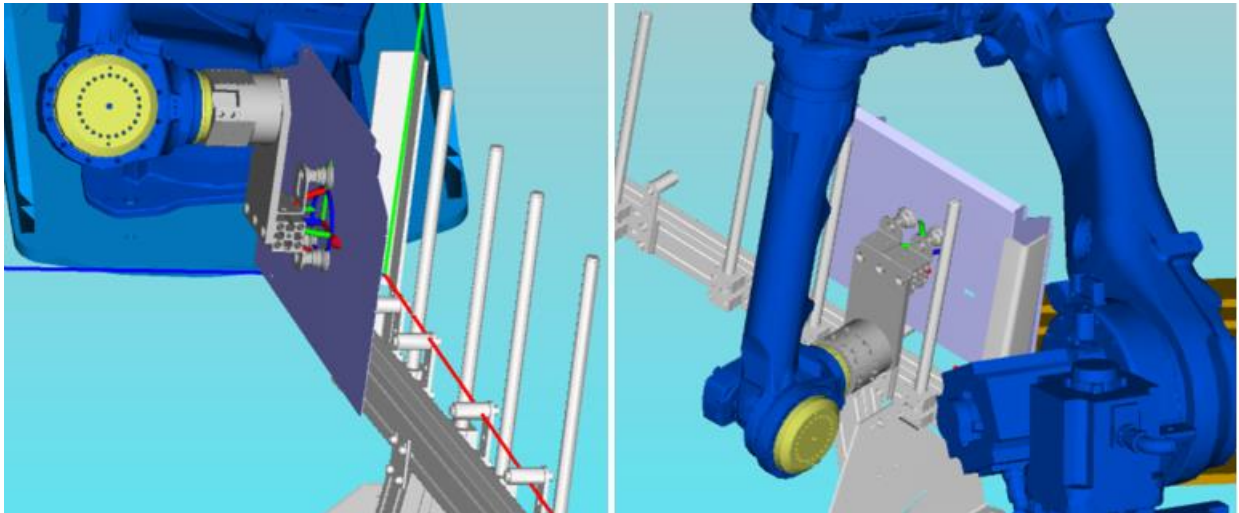
Inission sisenes Inission Tallinn OÜ nime all Eesti turule eelkäija Hyrles OÜ omandamisega. Eestis tegeletakse lepingulise tootjana mehaanika, elektroonika ning elektromehaanika tootmisega, mille hulka kuuluvad trükkplaadid, seadmete osad ning suuremad terviklahendused. Ettevõttel on kaks tootmisüksust: tootmistehas Lagedil ning elektroonikatehas Tallinnas. Inission Tallinn OÜ-s töötab 133 töölisi ning 2023. aasta esimese kvartali käive ulatus pea 8 miljoni euron. [2], [3]

2. ÜLEVAADE PROBLEEMSEST PROTSESSIST

Plaanis oleva ümberhaaramisjaama asemel kasutatakse ettevõttes hetkel detaili ümber haaramiseks nullimislaua. Nullimislaua moodustavad tugivardad ja rullikud, mida mööda haaratud detail allapoole nullimisnurka libiseb. Iga erinev toode nõuab individuaalset varraste asetust, et tagada optimaalne tugi. Probleem seisneb selles, et nullimislaua seadistamisel toote ümberhaaramiseks peab operaator oskama ette arvestada varrastevahelise kauguse, mis tagaks esiteks tootele piisava toe ja teiseks ei häiriks ümberhaarde sooritamisel haaratsit (vt Joonis 1). Kui protsessi jooksul selgub, et kumbki nõue pole täidetud, peab operaator kogu seadistusprotsessi kordama, mis tähendab lisaajakulu. Kuna tööstusrobotit rakendatakse paljude eritüüpi detailide painutamiseks, ei saa nullimislaua seadistust konstantseks jätta ning ühtlasi pole võimalik kuidagi varraste asukohti lauale märkida. Seega on ilmne, et nullimislaua kasutamine mitmeotstarbelise seadmena ei ole optimaalne ning tarvis on luua eraldi punkt või jaam roboti tööalal, kus ümberhaaramist sooritada. Kokkuvõtvalt on nullimislaua detaili ümberhaaramisega seonduvad probleemid järgnevad:

- nullimislaua (ümber)seadistamine nõuab väärtuslikku aega;
- asend varraste vahel, kust robot detaili haarama peab, on ebamugav ning esineb oht detaili, haaratsit või nullimislaua kokkupõrke käigus kahjustada;
- tugivarraste valesti asetamise või asetamata jätmise korral tuleb suure tõenäosusega protsessi korrata;
- kogu protsess sõltub olulisel moel operaatorist;
- proram nullimislaualt detaili ümberhaaramiseks on mahukas ning trajektoor varraste vahelt detailini jõudmiseks ei ole optimaalne;
- robot liigub telgede piirväärtustele väga lähedal.

Märkimisväärseks probleemiks on siinkohal ka asjaolu, et nullimislaua universaalse lahendusena rakendades seatakse piirangud robotjaama tootmisvõimekusele, kuna ettevõtte portfoolios on hulganisti detaile, mille tootmisel on antud lahenduse kasutamine võimatu. Eraldiseisva ümberhaaramisseadme lisamine jaama aitaks seega tõsta jaama tootmisvõimet.



Joonis 1 Detaili haaramine nullimislaualt Robosoft simulatsioonikeskkonnas

Eelmainitud protsessi puhul on nullimislaua seadistamiseks kuluvat aega keeruline korrektselt kaardistada, sest see parameeter sõltub suuresti operaatorist ning tema kogemusest. Kui protsessist eraldada ainult konstantsena püsiv osa ehk automaatrežiimis roboti poolt sooritatav ümberhaaramine ning seonduvad liigutused, siis on ajakulu võimalik edukalt kaardistada. Antud juhul kulub robotil nullimislaua detaili ümber haaramiseks 30 sekundit.

Peamised tegurid, mis ajakulu mõjutavad, on

- roboti baasi külge paigaldatud lisateljega vajalikku positsiooni liikumine (lisateljega keeratakse robot tööülesande sooritamiseks vajaliku jaama suunas) – aeglustavaks faktoriks on siinkohal ka lisateljale ohutuse tagamiseks kehtestatud kiiruspiirang;
- suure hulga sihtpunktide läbimine trajektooriga, mis on tingitud ebamugavast tööasendist ning telgede konfiguratsiooniga seotud piirangutest;
- nullimislaua ümbritsev kujuteldav ohutu tsoon, kus on robotile kehtestatud kiiruspiirang, et vältida kokkupõrkeid (mille korral on ideaalis vaja nullimislaua taas kalibreerida).

On ilmne, et kõige mõistlikum lahendus siinkohal oleks lõpetada nullimislaua kasutamine detaili ümber haaramiseks. Selleks on tarvis projekteerida eraldiseisev seade või „jaam“, millele antud ülesanne määrata. Loodav seade peaks olema lihtsasti konfigureeritav ning asuma roboti haardeulatuse seisukohalt mugavamas asukohas.

2.1 Turul pakutavad lahendused

Hetkel ei eksisteeri turul valmiskujul eraldiseisvat lahendust detaili ümber haaramiseks. Tavaliselt on sellise seadme omandamiseks kaks meetodit. Üldjuhul projekteeritakse ümberhaaramisseade sisseostetud inseneribüroo teenusena kliendi spetsiifilisi vajadusi ning toodangu omadusi silmas pidades. Olemasolevad n-ö valmislahendused aga paigaldatakse üldjuhul osana komplektsest robotjaamast (robot koos tööpingi, ümberhaaramisseadme ning muu vajalikuga) ning seadme muutmine on kas teostamatu või tehakse seda lisatasu eest. Eraldiseisvate valmistoodete puudumine on aga põhjendatud, kuna väga raske on luua universaallahendust, mis sobiks erinevatele klientidele ning ühtiks eritüüpi robotjaamade ning toodetavate detailidega. Küll aga on tegu seadmega, mille projekteerimine ja ettevõttesiseselt valmis ehitamine ei ole keeruline.

2.1.1 Amada HG-Rm

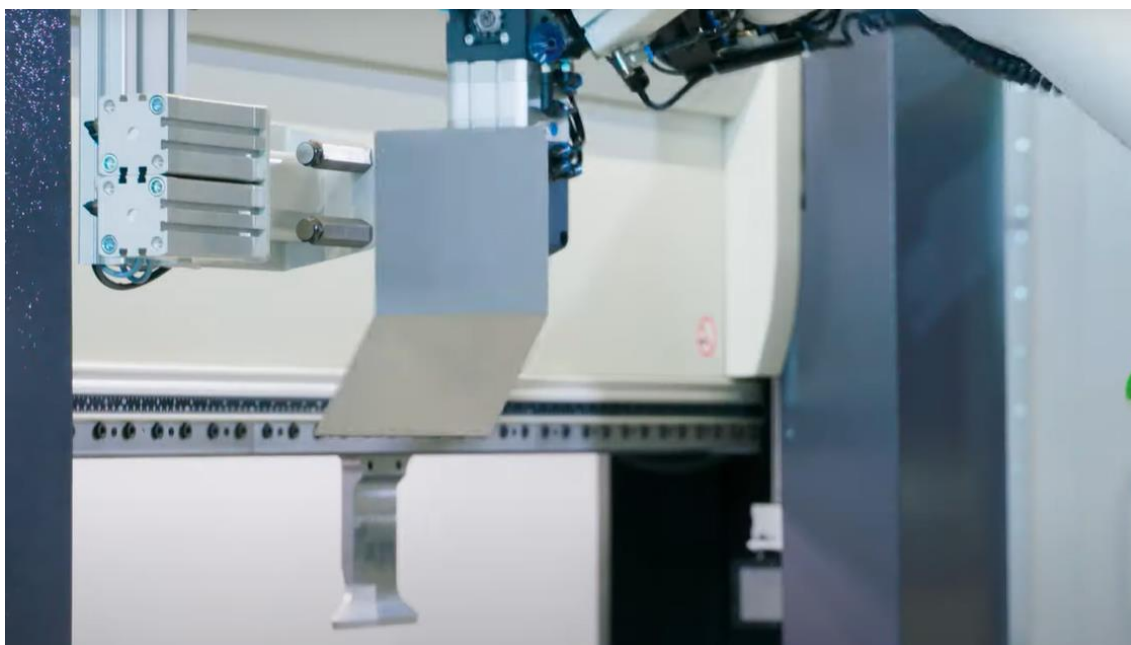
Amada pakub ühe osana automatiseeritud metallipainutuslahendusest HG-Rm pildil olevat haaramispunkti (vt Joonis 2), mis on süsteemi integreeritud. Tegu pole aga eraldiseisva ega eraldi ostetava seadmega. Antud lahenduse puhul on haaramispunkti raam tihedalt iminappadega kaetud ning raami haarade ulatust saab ajami abil muuta, et tugipinda vastavalt haaratava detaili mõõtmetele kas suurendada või vähendada. Haaramispunkte on robotlahenduses kaks: üks profiilide haaramiseks ning teine paneelide haaramiseks. [4] Selline iminappade paigutus töös käsitletava probleemi lahendamiseks aga ei sobi, kuna ettevõtte tooteportfoolios on palju detaile, mis on rohkete avadega kaetud ning universaalse iminappade paigutuse leidmine pole teostatav.



Joonis 2 Amada HG-Rm painutuslahenduse ümberhaaramispunkt

2.1.2 LVD Dyna-Cell

LVD poolt pakutav ümberhaaramispunkt on taaskord osa nende Dyna-Cell automatiseeritud painutuslahendusest. Haaratav detail paigutatakse kahest silindrist koosneva pneumaatilise klambri vahele, mis hoiab surve avaldamise teel detaili kinni kuni robot sellest taas haarab (vt Joonis 3). Antud lahendus sobib võrreldes eelneva lahendusega kasutamiseks detailidega, mille disainis on rohkelt avasid. Konstruktsioon on robustne ning ei nõua kulukate komponentide kasutamist. [5] Sellest lahendusest kujunes oluline inspiratsiooniallikas lõputöö käigus loodava ümberhaaramisjaama projekteerimiseks.



Joonis 3 Dyna-Cell pneumaatiline klamber

2.1.3 Amada ASTRO

Ettevõttes on käsitletava robotjaama kõrvalistel tootmisaladel kasutuses Amada ASTRO automatiseeritud metallipainutuslahendus. Painutuspingi külge on integreeritud mehaaniline ümberhaaramispunkt, mis on tihedas kasutuses (vt Joonis 4). Tegu on taaskord lihtsa ning robustse lahendusega, mille tööpõhimõtet saaks edukalt rakendada ka lõputöö käigus loodava lahenduse puhul.



Joonis 4 Amada ASTRO painutuspingi ümberhaaramispunkt

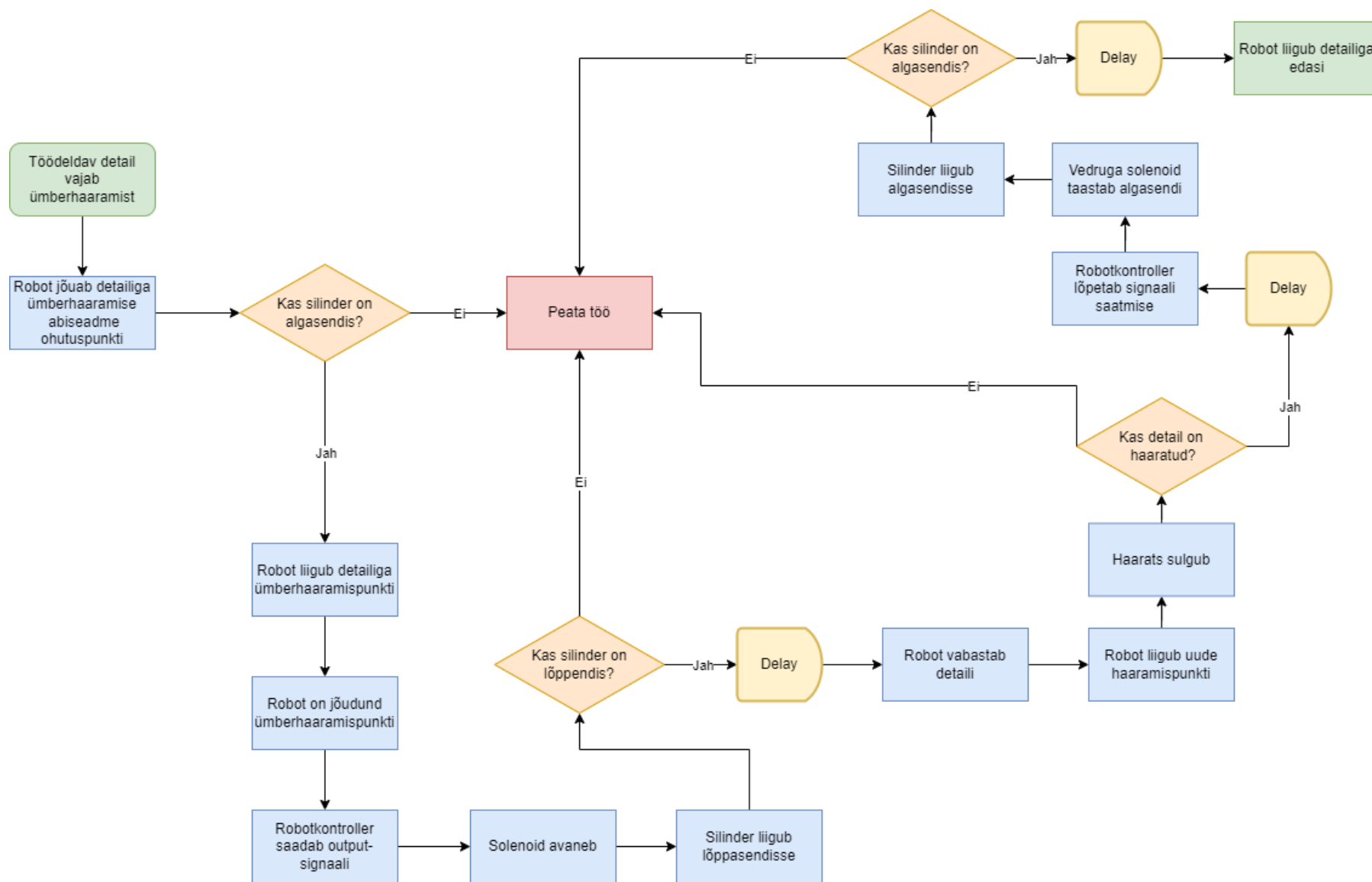
3. PROJEKTI EELANALÜÜS

Komponentide valikul ümberhaaramisseadme projekteerimiseks on lähtutud toodetavate detailide füüsilistest omadustest (eeskätt detaili materjal ja pinnatöötlus) ning samuti nende disainist (nt avade tihedus jne). Kuna ettevõtte tootekataloog on lai, on keeruline luua lahendust, mis sobiks kasutamiseks kõigi detailidega. Toodangu materjalid on järgnevad:

- teras;
- tsingitud teras;
- roostevaba teras;
- plastik;
- alumiinium.

Materjalide loetelust ilmneb tõsiasi, et projekteeritava lahenduse puhul ei ole võimalik rakendada magnethaaratsit, kuna osad materjalid ei ole magnetilised. Üheks võimalikuks haaramisviisiks on rakendada vaakumhaaratsit. Siinkohal on eelisteks haaratava ala suurus ning vaakumi töökindlus. Küll aga ei sobi antud juhul vaakumhaaratsit kasutada, kuna paljud robotjaamas toodetavad detailid on tihedalt avadega kaetud ning universaalset iminappade paigutust leida on võimatu. Seetõttu on tootmisprotsessi nõuetest lähtuvalt kõige mõistlikum rakendada detailide haaramiseks mehaanilist lahendust.

Loodava mehaanilise abiseadme ehitus baseerub nii eelmainitud LVD Dyna-Cell kui Amada ASTRO lahendusel. Haaramise lihtsustatud tööpõhimõte seisneb robotkontrolleri kaudu suruõhu juhtimisel ning detaili fikseerimisel pneumaatilise silindriga. Alloleval voodiagrammil on põhjalikult kujutatud haaramisprotsessi loogika (vt Joonis 5).



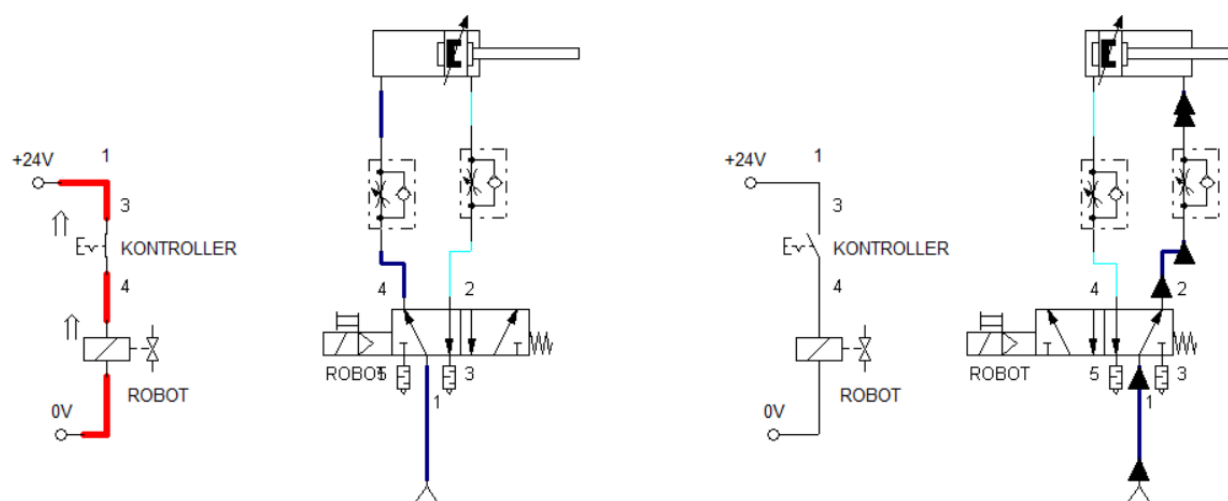
Joonis 5 Ümberhaaramisprotsessi loogika voodiagrammina

Voodiagrammist lähtuvalt ning sealse loogika saavutamiseks kujunes projekteeritava lahenduse teostamiseks vajaminevate komponentide nimekiri järgnevalt (vt Tabel 1):

Tabel 1 Vajalike komponentide nimekiri koos otstarbe kirjeldusega

Komponent	Otstarve
Kahetoimeline pneumaatiline silinder	Ümberhaaratava detaili fikseerimine ümberhaaramispunktis
Kaks lähestumisandurit	Silindri asendi määramine ja seeläbi kokkupõrkeriski likvideerimine; üks andur määrab siseasendi ja teine välisasendi
Elektriline 5/2 jaoti	Suruõhu juhtimine silindrisse
Drossel	Suruõhu surve reguleerimine ning seeläbi silindri liikumise aeglustamine
Summutid	Süsteemist väljuva suruõhu poolt tekitatud müra summutamine

Pneumaatikasüsteemide simulatsiooniprogrammis FluidSIM on alloleva skeemi kohaselt simuleeritud eelmainitud komponente rakendades süsteemi tööloogika (vt Joonis 6).



Joonis 6 Pneumaatiline skeem FluidSIM simulatsiooniprogrammis

3.1 Komponentide valik

Komponentide valikul oli oluliseks suuniseks ettevõtte poolt seatud reegel, et pneumaatilised komponendid on vaja tarnida kindlatelt tootjatelt nagu näiteks SMC, FESTO, Hydroscand jt sarnased tuntud brandid. Kuigi projekti tarbeks polnud kindlat eelarvet määratud, oli siiski soov hoida komponentidega seotud kulud nii madalad kui võimalik.

3.1.1 Ümberhaaramisjaama raam

Raami ehitamise osas langes valik Minitec alumiiniumprofiilile. Alumiiniumprofiili kasutamise oluliseks eeliseks on selle paindlikkus ehk vajadusel saab loodud konstruktsiooni muuta ning profiilist millegi ehitamine ei nõua eritüüpi tööriistu ega töövõtteid. Ühtlasi on alumiiniumprofiilid populaarsed ning seetõttu laialdaselt saadaval. Ettevõttes on hetkeseisuga mitmeid Minitec profiilist valmistatud lahendusi, mis on demonstreerinud vastupidavust ning rakendusala varieeruvust. Kuigi alumiiniumprofiil on üldjuhul kulukas, ei ole selle tellimine projekteeritava lahenduse tarbeks vajalik, kuna piisav kogus ning vastavad kinnitustahendid on ettevõttel varuna juba olemas.

3.1.2 Pneumaatilised komponendid

Ümberhaaratava detaili fikseerimiseks kasutatakse jaamas kahetoimelist pneumosilindrit. Silindri valikul kehtisid kaks nõuet: silindri kolvivarre käik pidi olema vähemalt 30 mm ning töö rõhk 6 baari. Valitud komponendiks osutus FESTO ISO silinder DSBC-32-50-PPVA-N3 (vt Joonis 7). Kolvivarre otspunktis on M10 1,25 keere, mida kasutati kummiamordi fikseerimiseks. Amordi kasutamise eesmärk oli vältida haaratava lehtmetaili kahjustamist silindri poolt avaldatava survega. Silindri olulisemad tööparameetrid on esitatud allolevas tabelis (vt Tabel 2). Antud juhul pole silindri kohta käivate tugevusarvutuste tegemine vajalik, kuna komponenti kasutatakse ainult detaili fikseerimiseks.

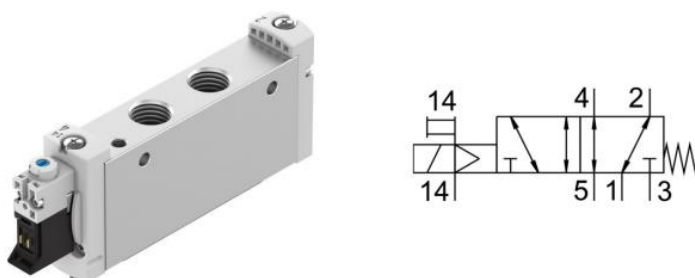


Joonis 7 FESTO ISO silinder DSBC-32-50-PPVA-N3

Tabel 2 Silindri parameetrid

Parameeter	Väärtus
Käik	50 mm
Kolvi läbimõõt	32 mm
Töörežiim	Kahetoimeline
Töörõhk	0.6 bar – 12 bar

Eelmainitud silindri juhtimiseks kasutatakse loodavas lahenduses Motoman DX200 robotkontrolleris vastavat I/O-signaali. Kuna kontrolleri digitaalne väljundsignaal (DO) on 24VDC, valiti suruõhu juhtimiseks 5/2 jaoturiga elektriline solenoid. Komponendivalik langes FESTO VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 solenoidklapile (vt Joonis 8).



Joonis 8 FESTO VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3 solenoidklapp

Allolevas tabelis on esitatud elektrilise solenoidi olulisemad parameetrid (vt Tabel 3).

Tabel 3 Solenoidi parameetrid

Parameeter	Väärtus
Käivitamise tüüp	Elektriline
Tööpinge	24 VDC
Töörõhk	0.9 bar – 10 bar

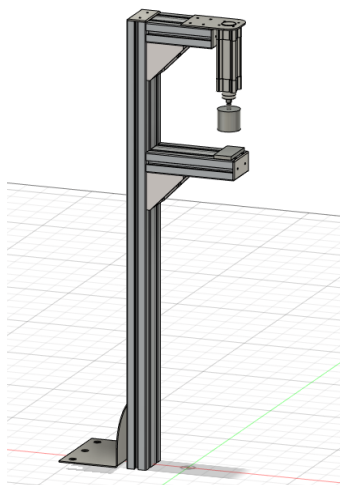
Ümberhaaramisjaama pneumaatilise süsteemi koostamiseks telliti FESTOst lisaseadmetena muuhulgas drosselid, summutid ning lähestumisandurid.

4. PROJEKTEERITUD SEADE

Ümberhaaramisjaama projekteerimisel lähtuti suurima ümberhaaramist vajavast robotjaamas toodetava lehtmetaildetaili parameetritest (detaili mõõtmed, geomeetria ning mass). Antud detaili mõõtmed on 400 x 385 mm ning mass 1,8 kg. Detail on nii X- kui Y-telje suhtes sümmeetriline ning selle raskuskese paikneb geomeetria keskpunktis.

Kuna tootepargis esineb hulganisti tooteid, mille geomeetria on tihedalt avadega kaetud ning mille materjal võib olla mittemagnetiline, valiti detailide haaramismeetodiks mehaaniline haaramine. Ümberhaaratav detail surutakse haaramispunktis kahetoimelise pneumosilindriga vastu kummiga kaetud tugipinda. Silindri kolvivarre otsa on kinnitatud kummipinnaga amort detaili kahjustamise vältimiseks. Silindri juhtimiseks kasutatakse 5/2 jaotiga elektrilist solenoidi ning silindri asendi jälgimiseks lähestumisandureid. Silindri kiiruse korrigeerimiseks ning süsteemist väljuva suruõhu poolt tekitatud müra vähendamiseks on kasutusel ka drosselid ning summutid. Ümberhaaramisjaam on põranda külge kinnitatud metallist toega.

Jaama konstruktsioon on esitatud alloleval joonisel (vt Joonis 9) ning tehniline joonis esimeses lisas (vt Lisa 1. Loodud ümberhaaramisjaama joonis)



Joonis 9 Ümberhaaramisjaama konstruktsioon

Konstrueeritud seadme kabariitmõõtmed on 1000 x 200 mm ilma põrandakinnitust arvestamata ning seadme mass koos vajalike lisatarvikutega on 9,8 kg. Silindri poolt avaldatava survega on võimalik fikseerida kuni 5 kg massiga lehtmetaildetaile.

5. LOODUD LAHENDUSE TESTIMINE

Ümberhaaramisjaama konstruktsiooni testiti kahel erineval moel. Esimese testi käigus paigutati töödeldav lehtmetaildetail haaramispunkti manuaalselt. Antud testi eesmärgiks oli hinnata, kuidas testdetail jaamas asetsema hakkab, milline punkt on detaili geomeetria lähtuvalt haaramiseks optimaalsem (ehk kas detaili ja jaama mõõtmetest lähtuvalt on võimalik haaramispunktina kasutada detaili raskuskeset) ning kas haaramispunktile silindri poolt avaldatav survejõud ületab muud detailile mõjuvad jõud (siinhulgas raskusjõud ning detaili käsitsi liigutamine). Testi edukaks läbimiseks tuli täita järgnevad kriteeriumid:

- silindri sulgumisel ei tohi detail võnkuma ega vibreerima hakata, kuna võnkumine mõjutab robotiga detaili haaramise asukohta;
- silindri kummist osa peab haaratava detailiga olema tihedas kontaktis kogu kummi tasapinna ulatuses;
- testdetaili ning silindri Z-telje vaheline nurk ei tohi ületada 100° (ideaalselt 90°), kuna detail võib vastasel juhul silindri haardest välja kukkuda või silindrit kahjustada või võib liigne paine haaratavat detaili ennast deformeerida;
- silindri poolt avaldatav surve peab olema piisav, et hoida haardes olev detail pisemate välisjõudude avaldumise korral liikumatuna (nt juhuslik kontakt robothaaratsi pinnaga, detaili puudutamine operaatori poolt jne);
- silindri poolt avaldatav surve ei tohi detaili deformeerida ega jätta detaili pinnale jälgi.

Testi sooritamiseks rakendati lehtmetaildetaili mõõtmetega 400 x 385 mm ning massiga umbes 1,8 kg. Antud detailivaliku ajendiks oli tõsiasi, et tegu on suurima robotjaamas käsitletava detailiga mis vajab ümberhaaramist ning ümberhaaramisjaama konstruktsiooni võimekust ning versatiilsust on mõistlik hinnata antud detaili haaramise edukusest lähtudes. Haaramispunkti valikule seadsid piirangud nii haaramisjaama kui detaili enda geomeetria – täpselt raskuskeskmest haaramine polnud jaama sügavuse tõttu võimalik.

Käsitsi ümberhaaramisjaama paigutamise ning silindri sulgumise järgselt püsis detail liikumatuna, kuid silindri surve tõttu tekkis õrn vibratsioon. Silindri kummist osa ei olnud detaili pinnaga täielikus kontaktis ning surve avaldus väikese nurga all. Probleem lahenes hiljem, kui haaramisjaama alumist tugipunkti liigutati mööda jaama vertikaaltelge umbes 5 mm võrra ülespoole. Seetõttu võib vibratsiooni ning ebapiisavat survet põhjendada silindri käigu ulatusega ehk jaama alumine tugipunkt oli esmase kooste käigus paigutatud liialt madalale. Kuna konstruktsioon on valmistatud alumiiniumprofiilist, oli vajaliku muudatuse läbiviimine lihtne.

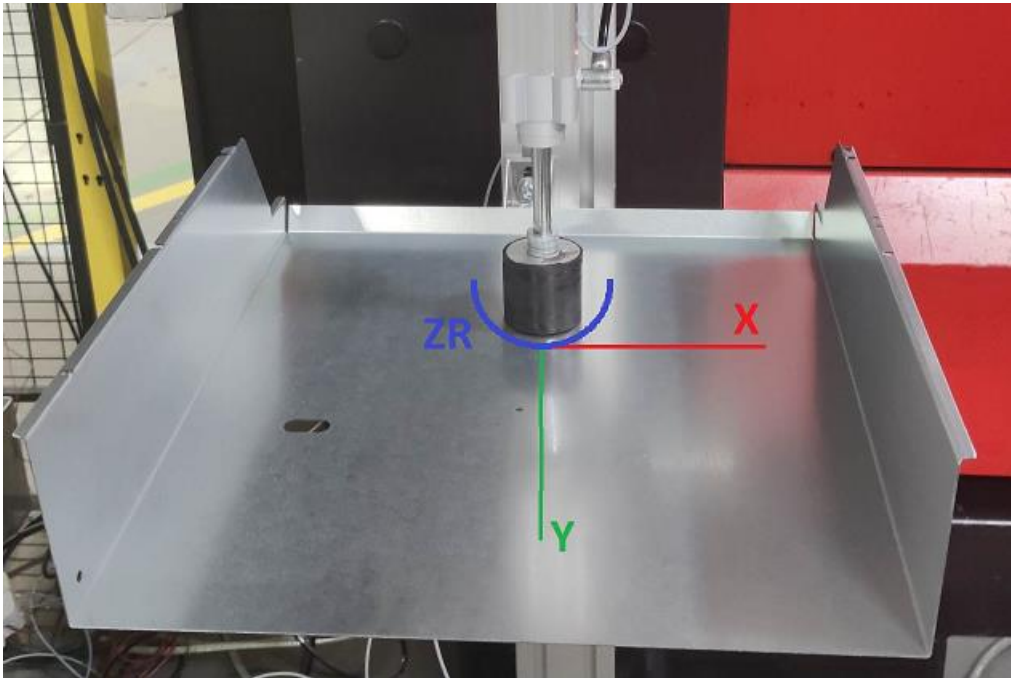


Joonis 10 Kaldenurk detaili pinna ja silindri Z-telje vahel

Detaili pinna ning silindri vertikaaltelje vaheline kaldenurk oli umbes 95° (vt Joonis 10), kuna eelnevalt mainitud põhjustel polnud raskuskeskmest haaramine võimalik. Antud probleemi lahendamiseks on tarvis konstruktsiooni järgmises versioonis pikendada jaama horisontaalhaarasid ning seeläbi muuta jaam „sügavamaks“, et ka suuremõõtmeliste detailide haaramise korral oleks võimaldatud surve avaldamine detaili raskuskeskmesse.

Välistele jõududele vastupidavuse testimisel kasutati järelteste tegemiseks füüsilist hinnangut. Õrnemate puudutuste korral, mis võivad reaalelulises tootmissituatsioonis haardes olevale detailile mõjuda, jäi testdetail surve all liikumatuks ning silmaga nähtavat nihet telgede suhtes ei tekkinud. Järgnevalt hakati detailile tõmbamise ning lükkamise näol avaldama üha rohkem jõudu, et leida punkt, millal mõne telje suhtes tekib arvestatav nihe. Kui detaili mõjutati käsitsi X- või Y-telje

suunaliselt (vt Joonis 11), oli nihke tekkimiseks tarvis rakendada pea kogu keharaskust. Tõmmete ning lükete käigus deformeerus silindri kummist osa ning detaili vabastamise korral taastas kumm oma algse kuju ning seeläbi ka detail oma algse asendi. Detaili keeramine ümber Z-telje nõudis oluliselt väiksema jõu rakendamist, mis võib olla tingitud jõudude erisuunalisusest ning nurga all mõju avaldamisest. Tõmmete ning lükete käigus avaldati detailile jõudu ainult tasapinnaliselt, kuna



Joonis 11 Haardes oleva detaili manuaalse mõjutamise suunad

sellisel moel on juhuslik jaama haardest väljumine kõige tõenäolisem. Ühtlasi oleks testdetaili keeramine ümber X- või Y-telje detaili moonutanud.

Pärast testdetaili ümberhaaramisjaama haardest vabastamist viidi läbi detaili visuaalne kontroll. Silmnähtavaid kahjustusi või detaili pinna moondumist ei tuvastatud.

Teise testi käigus paigutati testdetail ümberhaaramisjaama ning eemaldati jaamast tööstusrobotiga Yaskawa MH50 II-35. Antud testi kriteeriumid olid järgnevad:

- sisendid ning väljundid töötavad korrektselt;
- robot reageerib I/O-väärtustele õigeaegselt;
- ümberhaaramise sooritamise käigus ei teki olukorda, kus robot saavutab mõne liigestelje limiidi või kus tekib telgede singulaarsus;
- roboti haaratsi poolt tekitatav vaakum korrigeerib edukalt testdetaili kaldenurga.

Testi sooritamiseks järgib robot ümberhaaramisjaama tarbeks kirjutatud programmikoodi (vt Lisa 2. Ümberhaaramisjaama kasutamiseks loodud robotprogramm). Esmalt liigub robot koos

painutuspingist võetud detailiga esmalt maksimumkiirusel ohutusse positsiooni. Seejärel kontrollitakse vastava sisendi abil, kas ümberhaaramisjaama silinder on avatud (ülemises) asendis. Korrektses asendis korral liigub robot koos detailiga aeglaselt asetuspunkti ning sisestab detaili jaama haarade vahele nii, et detailile määratud haardepunkt paikneks täpselt silindri kummist osa all (vt Joonis 12). Seejärel annab robot kontrollile sisendi ümberhaaramisjaama solenoidi asendi muutmiseks, et silinder liiguks haaramispositsiooni (alumise asend). Kui jaam on saatnud kontrollisse sisendi haaramisasendi saavutamisest, katkestab robot pärast 1-sekundilist viivitust vaakumi ning eemaldub jaamast. Robot liigub jaamast ohutus kauguses ümberhaaramisasendisse ning ligineb taas madalal kiirusel jaamale. Kui haaratsi iminapad saavutavad detaili pinnaga kontakti, käivitub vaakum, mis korrigeerib tõmbejõuga detaili kaldenurga (vt Joonis 12). Solenoid saab sisendi



Joonis 12 Detaili ümberhaaramisjaama sisestamine ning sealt eemaldamine

algasendi taastamiseks ning silinder vabastab detaili ja annab robotile sisendi ülemise asendi saavutamisest. Ühesekundisele viivitusele järgnevalt eemaldub robot koos detailiga jaamast ning liigub enne järgmist töösooritust tagasi ohutusse positsiooni.

Testi käigus ei esinenud I/O-signaali töös tõrkeid ning signaalid saadeti korrektselt. Robot reageeris viivituste abil signaalidele õigeaegselt ning roboti, kontrolleri ja ümberhaaramisjaama vahelises suhtluses probleeme ei täheldatud.

Testdetaili asetamisel ümberhaaramisjaama ilmnes probleem, mispuhul asetuspunktis paiknes roboti viies liiges oma limiidile ülimalt lähedal ning teistsuguse geomeetriaga detaili asetamisel võib nõutav positsioon olla saavutamatu. Probleemi likvideerimiseks on tarvis jaama tugiposti pikendada ning haaramispunkt umbes 30 cm võrra kõrgemale paigutada. Antud muudatuse teostamise korral on detaili asetuspunkti viimine roboti jaoks mugavam, kuna viies liiges saavutab suurema vabaduse.

Detaili jaamast haaramisel probleeme ei ilmnenud ning sooritatud liikumised olid roboti jaoks mugavad. Liigestelgede singulaarsust testi käigus ei esinenud.

Robothaaratsi poolt tekitatav vaakum oli antud testi käigus piisavalt tugev, et haaramispositsioonis likvideerida testdetaili pinna ning silindri Z-telje vaheline kaldenurk ning detail nakkus iminappadega edukalt.

5.1 Parendusideed

Üheks oluliseks probleemiks, mida loodud ümberhaaramisjaama rakendamisega lahendada ei suudetud, oli roboti lisateljega liikumine detaili jaama asetamise ajal. Kuna ümberhaaramispunkti paigutus robotjaamas ei olnud roboti haardeulatuse seisukohast optimaalne, rakendas robot liigutuste sooritamise käigus lisatelge, et haardeulatust suurendada. Nagu eelnevalt mainitud, on lisateljele ohutuse tagamiseks kehtestatud kiiruspiirang, mis mõjutas lahenduse testimise käigus mõõdetud ajakulu negatiivselt. Üks potentsiaalne meetod probleemi lahendamiseks oleks ümberhaaramispunkti põranda suhtes kõrgemale paigutamine ehk konstruktsiooni umbes 30 cm jagu pikemaks muutmine.

Loodud konstruktsiooni edasi arendamiseks võib suurendada jaama versatiilsust ka teist tüüpi haaramisvõimaluste lisamisega (nt vaakumhaaratsi, magnethaaratsi või mingisuguse kombinatsiooni lisamine tugipostile toetuvale lisahaarale), mis omakora tõstab tootepargi suurendamise läbi robotjaama tootmisvõimekust.

Samuti on ümberhaaramispunkti hetkeline paigutus robotjaamas ajutine. Asukoht jaamas oleva painutuspingi vahetus läheduses valiti simulatsioonikeskkonnas valmiskujul eksisteeriva põrandakinnituse asukoha tõttu. Ka põrandakinnituse konstruktsiooni on tarvis muuta, kuna jaama tugipunkt ei püsinud ümberhaaramise vältel ideaalselt stabiilsena. Tulevikus on oluline



Joonis 13 Signaalide lahtrid juhtpuldil paneelil

ümberhaaramisjaama asukoha valikul lähtuda roboti haardeulatusest ning kokkupõrkeriski vähendamisest.

Üheks võimalikuks parendusmeetmeks on ka algelise kasutajaliidese loomine, et hõlbustada roboti operaatori jaoks ümberhaaramisjaama kasutamist ning seadistamist. Silindri asendi jälgimiseks on paigaldatud kaks lähestumisandurit, mis annavad ohutuse tagamiseks robotile sisendi silindri paiknemise kohta. Juhul kui ümberhaaramisjaama töös ilmneb mingisugune probleem ning silindri asendit on vaja manuaalselt muuta, saab seda hetkeseisuga teha juhtpuldi paneeli kaudu, kus on signaalide jaoks vastavad lahtrid (vt Joonis 13). Andurite aktiivsest olekust annavad aimu ka juhtpuldil olevad indikaatortuled. Küll aga võib juhtpuldi käsitlemine olla mõne operaatori jaoks keeruline ning paneelil esitatud info on piiratud, mistõttu võib tulevikus integreerida jaama algelise ning lihtsa kasutajaliidese, et muuta I/O-signaalide muutmine mugavamaks ning arusaadavamaks.

5.2 Tulemuste analüüs ning meetodite võrdlus

Nagu eelnevalt mainitud, selgus testide sooritamise käigus, et loodud ümberhaaramisjaam vastab esitatud kriteeriumitele ning olulisi probleeme jaama rakendamisel ei ilmnenud. Olulisim erinevus jaama ning nullimislaua kasutamisel detaili ümberhaaramiseks seisneb protsessi sooritamise ajakulus. Nullimislaua kasutamisel kulus käsitletava detaili ümberhaaramiseks 30 sekundit. Uue meetodiga aga sooritatakse protsess 22 sekundiga ehk 8 sekundit kiiremini. Seega suudeti protsessi kiirendada pea 30% võrra. Ajavõidule aitas kaasa ka tõsiasi, et ümberhaaramisjaam asus painutuspingile lähemal kui nullimislaud ning seetõttu kulus roboti vahepealsete liigutuste sooritamiseks vähem aega.

Detaili jaama paigutamine ning jaamast eemaldamine oli roboti seisukohast märgatavalt mugavam kui nullimislaua puhul ning üleliigseid telgede ümber keerlemisi vajaliku asendi saavutamiseks oli oluliselt vähem. Ümberhaaramisjaama kasutamine on mugavam ka operaatori jaoks, kuna jaam ei nõua iga toote jaoks ümberseadistamist. Seega võib eelmainitu põhjal lugeda püstitaud eesmärgi sooritatuks.

6. MAJANDUSLIK ANALÜÜS

Majanduslikus osas arvutatakse, kui palju läks ümberhaaramisjaama konstrueerimine maksma ning milline on selle (majanduslik) mõju ettevõttele. Järgnevas majanduslikus analüüsis ei ole eraldi arvestatud töötunni hinda seadme koostamisel, kuna projektiga tegeleti töövälisel ajal. Küll aga on allolevas tabelis esitatud ümberhaaramisjaama ehitamisel eri protsessidele kulunud umbkaudne aeg (vt Tabel 4).

Tabel 4 Jaama konstrueerimisele kulunud aeg etappide kaupa

Tegevus	Ajakulu, h
Tööloogika loomine	4
Komponentide otsimine	4
3D-mudeli loomine	3
Simulatsiooni koostamine ja programmi kirjutamine	4
Konstruktsiooni ehitamine	2
Robotjaamas kaabeldamine ja suruõhu montaaž	3
Sisendite ja väljundite testimine	0,5
Kokku	20,5

6.1 Ümberhaaramisjaama ehitamise kulud

Allolevas tabelis on esitatud nimekiri jaama ehitamiseks tellitud komponentidest (BOM) koos iga komponendi kogusega ning ostuhinnaga. Andmete põhjal on arvutatud ümberhaaramisjaama maksumus (vt Tabel 5).

Tabel 5 Komponentide nimekiri ning maksumus (BOM)

Komponent	Kogus, tk	Koguhind, €
5/2 solenoid VUVG-L18-M52-MZT-G14-1P3	1	68,07
Silinder DSBC-32-50-PPVA-N3	1	106,34
Lähestumisandur SME-8M-DS-24V-K-2,5-OE	2	51,13
Drossel GRLA-1/8-QS-6-D	2	26,37
Pilootõhu liitmik QSM-M5-6	1	2,27
Summuti AMTE-M-LH-G14	2	5,99
Ühenduskaabel 5m NEBV-H1G2-KN-5	1	6,73
Elektriline liidesplaat VAVE-L1-1VH2-LP	1	5,14
Kummist matt RND 455-00576	1	7,98
Kummiamort TT15367	1	12,72
Kogumaksumus, €		292,74

6.2 Tasuvusarvutus

Tasuvusarvutuse koostamisel on lähtutud ainult ühest kaardistatud tootmisajaga lehtmetaildetailist. Ettevõttes kasutatava ERP-süsteemi andmete kohaselt on antud detaili keskmise tootepartii maht 400 toodet ning käsitletavas robotjaamas toodetakse antud partiid vähemalt kord nädalas. Ühe toote

valmistamise aeg, mis sisaldab muuhulgas detaili ümberhaaramist nullimislaua, on 3 minutit ja 15 sekundit.

Tsükliaja (ümberhaaramiseks kuluva aja) muutus:

$$T_m = T_e - T_p$$

Kus T_m on tsükliaja muutus, s

T_e on tsükliage enne, s

T_p on tsükliage pärast, s

$$T_m = 30 - 22 = 8 \text{ s}$$

Efektiivsuse tõus:

$$E_t = \frac{T_m}{T_e} \cdot 100$$

Kus E_t on efektiivsuse tõus, %

T_m on tsükliaja muutus, s

T_e on tsükliage enne, s

$$E_t = \frac{8}{30} \cdot 100 = 26.67\%$$

Keskmise partii endine tootmisaeg:

$$T_{pv} = (T_{\ddot{u}} \cdot \text{keskmine partii}) \div 60$$

Kus T_{pv} on partii tootmisaeg enne, h

$T_{\ddot{u}}$ on ühe toote valmistamise aeg enne, min

$$T_{pv} = (3,25 \cdot 400) \div 60 = 21,67 \text{ h}$$

Keskmise partii uus tootmisaeg:

$$T_{pu} = (((T_{\ddot{u}} - T_m) \cdot \text{keskmine partii}) \div 60) \div 60$$

Kus T_{pu} on partii uus tootmisaeg, h

$T_{\ddot{u}}$ on ühe toote valmistamise aeg enne, s

T_m on tsükliaja muutus, s

$$T_{pu} = (((195 - 8) \cdot 400) \div 60) \div 60 = 20.78 \text{ h}$$

Keskmise partii tootmisaegade vahe:

$$T_{av} = T_{pv} - T_{pu}$$

Kus T_{av} on tootmisaegade vahe, h

T_{pv} on partii tootmisaeg enne, h

T_{pu} on partii uus tootmisaeg, h

$$T_{av} = 21,67 - 20,78 = 0,89 \text{ h}$$

Uut ümberhaaramisjaama rakendades on ümberhaaramise sooritamiseks kuluv tsükliage eelneva meetodiga võrreldes 8 sekundit kiirem. Seetõttu on robotjaam võimeline tootma keskmise partii eelneva tootmisajaga võrreldes peaaegu tund aega kiiremini. Teades, et antud tööjaama tunnihind on 27 €, on võimalik leida loodud seadme tasuvusaeg.

Seadme tasuvusaeg:

$$tasuvusaeg = \frac{\text{seadme ehitamise hind}}{T_{av} \cdot \text{jaama tunnihind}}$$

Kus T_{av} on tootmisaegade vahe, h

$$tasuvusaeg = \frac{292,74}{0,89 \cdot 27} \approx 13 \text{ partiid}$$

Seega katab loodud ümberhaaramisjaam ehitusega seotud kulud umbes 13 partii jooksul.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli projekteerida ning valmis ehitada detailide ümberhaaramise abiseade, mis kujutaks endast efektiivsemat alternatiivi nullimislaua haaramise sooritamiseks. Kuna valmiskujul eraldiseisvaid lahendusi turul saadaval ei ole, tuli seade valmistada ettevõttesiseselt. Kuigi analoogsete lahenduste puhul on mitmeid meetodeid detaili fikseerimiseks (nt vaakumi või magnetseadme abil), valiti toodetavate detailide parameetritest lähtuvalt jaamas rakendatavaks fikseerimismeetodiks kahetoimeline kummiamordiga varustatud pneumosilinder. Silindri juhtimine vajalikesse asenditesse toimub elektrilise solenoidi ning lähestumisandurite abil.

Loodud lahenduse testimiseks paigaldati käsitletav detail haaramispunkti nii manuaalselt kui robotiga. Mehaaniliste mõjutuste korral detail silindri haardes ei liikunud. Automaatse testi käigus selgus, et jaama kasutamine muudab ümberhaaramisprotsessi roboti jaoks oluliselt mugavamaks, kuna liigutusi ei sooritata enam liigeste piirväärtuste lähedal. Ümberhaaramisjaama rakendamine lihtsustab ka roboti operaatori tööd, kuna erinevalt nullimislauast ei ole jaama tarvis eri tüüpi detailide jaoks ümberseadistada.

Olulisimaks erinevuseks kahe ümberhaaramismeetodi vahel oli protsessile kuluv aeg. Kui nullimislaua kulus haaramise sooritamiseks 30 sekundit, siis jaama rakendades sooritati detaili ümberhaaramine 22 sekundiga ehk ajaline võit oli 8 sekundit. Protsessi efektiivsuse tõus oli seega pea 30%.

Eelmainitud arvesse võttes võib järeldada, et lõputööle püstitatud eesmärk sai edukalt täidetud.

Antud lõputööd võib kasutada lähtematerjalina sarnaste ümberhaaramisseadmete projekteerimisel või kasutada baasina juba loodud lahenduse edasi arendamiseks ning parendamiseks.

SUMMARY

The aim of this thesis was to design and build a gripping aid for handling parts, which would act as a more effective alternative for performing re-gripping on a zeroing table. Since there are no ready-made standalone solutions available on the market, the device had to be manufactured internally within the company. Although analogous methods utilise several different methods for fixing a detail in place (such as vacuum or magnetic solutions), in this instance, a two-way pneumatic cylinder equipped with a rubber shock absorber was chosen as the preferred fixing method. This preference was due to the parameters of the produced parts. The cylinder is controlled by an electric solenoid and proximity sensors in order to move the cylinder piston into necessary positions.

To test the created solution, the considered part was installed both manually and with the robot at the gripping point. When subjected to mechanical impacts, the part did not move in the cylinder's grip. During the automated test, it was found that the use of the station significantly improves the gripping process for the robot, as movements are no longer performed near joint limits. The implementation of the gripping station also simplifies the operator's work with the robot, as unlike the zeroing table, there is no need to reconfigure the station for different types of parts.

The main difference between the two gripping methods was the time required for the process. While it took 30 seconds to perform the re-grip on the zeroing table, using the new gripping device the process was completed in 22 seconds, resulting in a time saving of 8 seconds. Thus, the efficiency of the process increased by almost 30%.

Taking the above into account, it can be concluded that the objective set for the thesis was successfully achieved.

This thesis can be used as a starting point for designing similar gripping devices or as a basis for further development and improvement of the existing solution.

VIIDATUD ALLIKAD

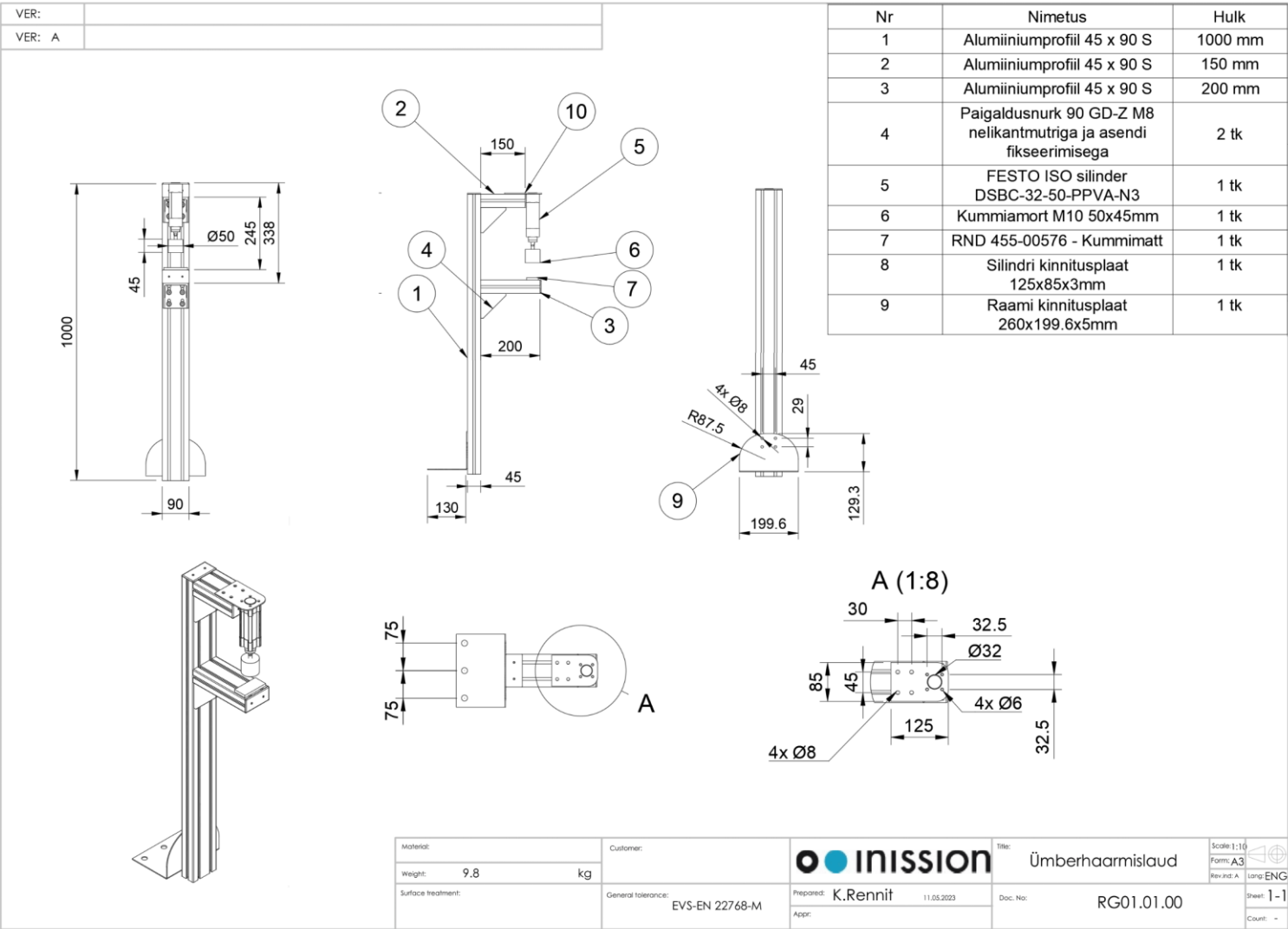
- [1] Inission, „About Inission“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.inission.com/en/about-inission/> [Kasutatud 28.04.2023].
- [2] Eesti Masinatööstuse Liit, „Inission Tallinn OÜ“, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.emliit.ee/et_EE/members/inission-tallinn-ou-38 [Kasutatud 28.04.2023].
- [3] Inforegister, „Inission Tallinn OÜ“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.inforegister.ee/11716730-INISSION-TALLINN-OU> [Kasutatud 28.04.2023].
- [4] Amada, „HG-Rm“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.amada.eu/uk-en/products/sheet-metal-machines-and-automation/press-brakes/automated-bending-machines/hg-rm/> [Kasutatud 30.03.2023].
- [5] LVD, „Dyna-Cell“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.lvdgroup.com/en/press-brakes/robotised-press-brakes/dyna-cell> [Kasutatud 30.03.2023].

LISAD

Lisa 1. Loodud ümberhaaramisjaama tehniline joonis

Lisa 2. Ümberhaaramisjaama kasutamiseks loodud robotprogramm

Lisa 1. Loodud ümberhaaramisjaama joonis



Lisa 2. Ümberhaaramisjaama kasutamiseks loodud robotprogramm

'SET WORK SPEED 2

SPEED VJ=2.0 V=20.0 VR=3.6

WAIT IN#(10)=ON

MOVL C000061

MOVL C000062

CALL JOB:RETAKE ARGF1

WAIT IN#(11)=ON

TIMER T=0.50

CALL JOB:SUCTION-OFF-ALL

'SET WORK SPEED 10

SPEED VJ=10.0 V=100.0 VR=18.0

MOVL C000065

'SET WORK SPEED 100

SPEED VJ=100.0 V=1000.0 VR=180.0

MOVL C000066

MOVL C000067

MOVJ C000005

MOVL C000068

'SET WORK SPEED 2

SPEED VJ=2.0 V=20.0 VR=3.6

MOVL C000069

MOVL C000070

'SUCTION/GRIPPER/MAGNET ON

CALL JOB:SUCTION-ON-ALL

CALL JOB:SUCTION-OK-ALL

CALL JOB:RETAKE ARGF0

WAIT IN#(10)=ON

TIMER T=0.5

MOVL C000074