



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**SUBSTRAATIDE SÖÖTMISE NING
KVALITEEDIKONTROLI LAHENDUSTE
PROJEKTEERIMINE**

**DESIGN OF SUBSTRATE QUALITY CONTROL AND
FEEDING SOLUTIONS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Tario Raimond Meerbach

Üliõpilaskood 192241MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor

(Tiitellehe pöördel)

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.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Tario Raimond Meerbach (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose
**SUBSTRAATIDE SÖÖTMISE NING KVALITEEDIKONTROLI LAHENDUSTE
PROJEKTEERIMINE,**
(*lõputöö pealkiri*)

mille juhendaja on Toivo Tähemaa,
(*juhendaja nimi*)

- 1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
 3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.
-

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

TALTECH MEHAANIKA JA TÖÖSTUSTEHNIIKA INSTITUUT

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Tario Raimond Meerbach, 192241MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18, Tootearendus ja tootmistehnika

Juhendaja(d): Toivo Tähemaa, kaasprofessor (amet, nimi, telefon)

Lõputöö teema:

(eesti keeles) SUBSTRAATIDE SÖÖTMISE NING KVALITEEDIKONTROLLI LAHENDUSTE PROJEKTEERIMINE

(inglise keeles) DESIGN OF SUBSTRATE QUALITY CONTROL AND FEEDING SOLUTIONS

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Kirjeldada ettesöötmise protsessi etapid
2. Projekteerida lahendused protsessi etappide teostamiseks
3. Leida ning projekteerida lahendused seadme tsükliaja parendamiseks

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Luu ettesöötmise ning kvaliteedikontrolli kontsept	14.10.2021
2.	Teostada detailne CAD mudel	31.12.2021
3.	Valmistada detaili- ning koostejoonised	15.01.2022

Töö keel: **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "....."20.....a

Üliõpilane: "....."20.....a
/allkiri/

Juhendaja: "....."20.....a
/allkiri/

SISUKORD

1.SISSEJUHATUS	6
2.SÖÖTMISJAAMA SÕLMEDE PROJEKTEERIMINE	9
2.1 Substraatide orienteerimine.....	9
2.2 Kvaliteedikontroll.....	10
2.3 Puhverkonveier	14
2.4 Substraadi püstasendisse orienteerimine.....	18
2.5 Substraate peajaama tõstva haaratsi lahendused.....	22
2.6 Peajaama kvaliteedikontrolli sõlm	31
2.7 Ettesöötmise jaama raam.....	35
2.8 Ettesöötmise jaama tsükliaja parendused	36
KOKKUVÕTE.....	38
SUMMARY.....	40
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	42

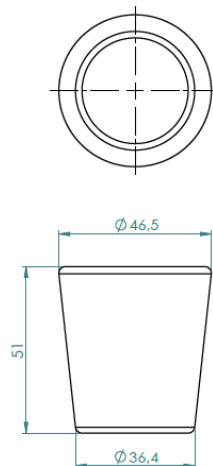
1. SISSEJUHATUS

Järjest suurenev palgasurve ning raskused kvalifitseeritud tööjõu leidmisega innustab tootmisettevõtteid automatiseerima erinevaid tööloike. Hoob OÜ on tootmise automatiseerimise ning masinaehituse ettevõtte, mille juured ulatuvad aastasse 2014. Töö autor on töötanud ettevõttes alates 2019 mehhatroonikainsenerina. Magistritöö praktiline osa valmis tööülesannete täitmise käigus.

Kliendile on varasemalt loodud tootmiseseade, mis vajab töötamiseks kahte operaatorit-substraatide ettesöötjat ning valmis toote pakkijat. Tellimuste suurenedes ei olnud masina tootmisvõimsus piisav ning seetõttu oli kliendil huvi uue seadme vastu. Uue tootmiseseadme puhul sooviti automatiseerida ettesöötmise ning toote pakkimise protsessid. Lisaks uue seadme valmistamisele soovis klient lisada ka eelnevalt loodud masinale automaatse ettesöötmise ning pakkimise lahenduse. Seetõttu peab olema ettesöötmise ja pakkimise lahendus eraldiseisev ülejäänud masinast ning sobitav eelnevalt projekteeritud ning valmistatud masina külge.

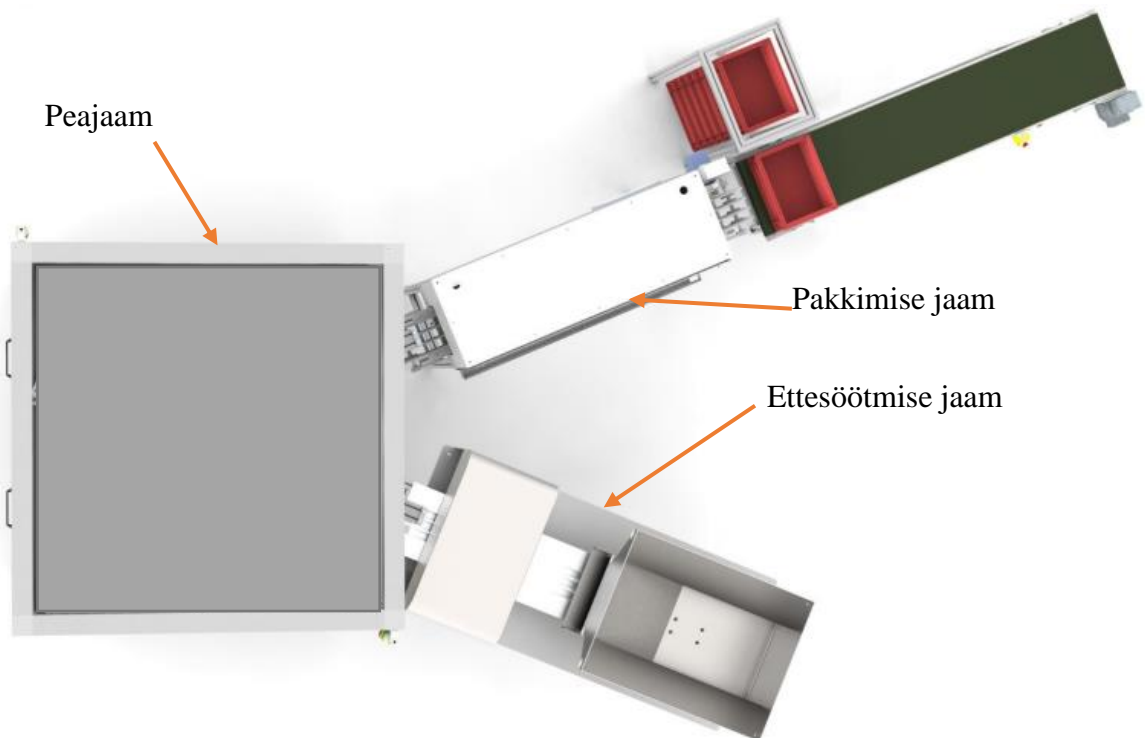
Käesolev magistritöö keskendub täisautomaatse substraatide söötmise ning kvaliteedikontrolli lahenduse arendamisele. Töö eesmärgiks on projekteerida sõlmed, mis võimaldaksid tootmiseseadmel töötada ilma inimese vahetu sekkumiseta. Söötmise jaam peab olema paigaldatav ka varasemalt valmistatud tootmiseseadme külge.

Ettesöödetavaks materjaliks on pressitud turbast substraat, mille kaal on ligikaudu 12 grammi. Substraadi mõõdud kõiguvad mitme millimeetri ulatuses ning esineb ka lagunenuid tükke, mis võivad masina osi ummistada. Mõõdeti substraadi ligikaudsed nominaalmõõtmed (vt Joonis 1).



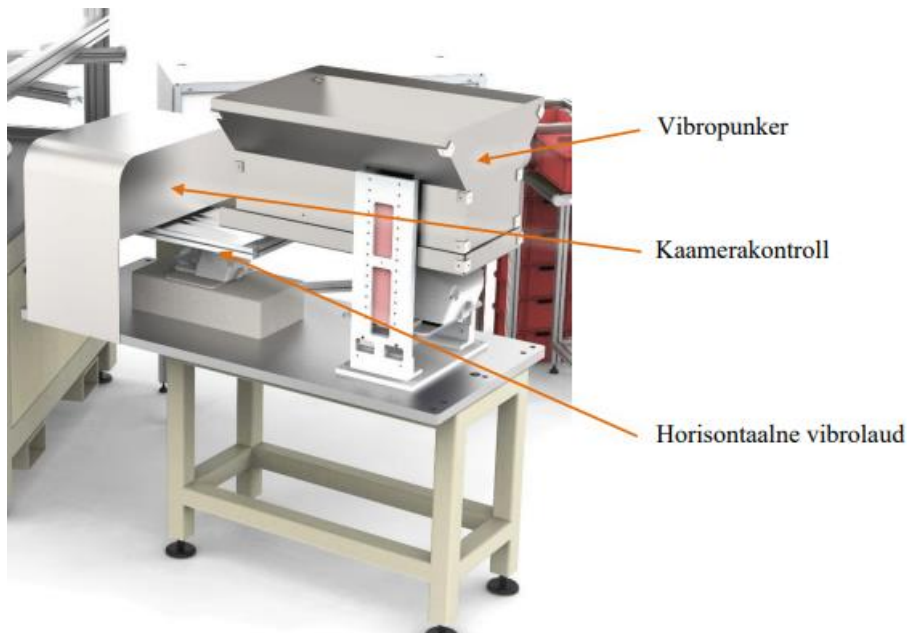
Joonis 1 Substraadi ligikaudsed nominaalmõõtmed

Hinnapakkumise tarbeks oli varasemalt modelleeritud lihtsustatud mudel, kus on näha kogu liini paigutus ning jaamade asukohad (vt Joonis 2).



Joonis 2 Hinnapakkumise lihtsustatud asendiplaan

Hinnapakkumise teostaja mõtles välja ka lihtsustatud ettesöötamise kontsepti (vt Joonis 3). Kastitais substraate valatakse vibropunkrisse. Sõlmest edasi liiguvad substraadid kvaliteedikontrolli sõlme, kus tuvastatakse ning eemaldatakse praagid pooltooted ning seejärel tõstetakse haaratsiga substraadid peajaama. Detailsemad lahendused tuleb välja töötada töö autoril.



Joonis 3 Ettesöötamise jaama mudel hinnapakkumises

Seadme projekteerimiseks kasutatakse CAD tarkvara Solidworks.

Antud magistritöö eesmärgiks on projekteerida lahendused substraatide ettesöötmise ning kvaliteedikontrolli teostamiseks, mis võimaldaks tootmiseseadmel töötada täisautomaatselt ning operaatori vahetu sekkumiseta. Projekteerimise esimeseks etapiks on püstitada nõuded seadmele ning kirjeldada söötmissjaama operatsioonid, millele keskendub järgnev töö peatükk.

2. SÖÖTMISJAAMA SÕLMEDE PROJEKTEERIMINE

Peajaamas toodetakse tooteid 3 kaupa. Esialgseks uue masina peajaama tsükliajaks ülesande püstitusel valiti 6 sekundit, seega peab ettesöötmine võimaldama sööta ette substraate iga 2 sekundi tagant. Substraadid saavad kliendile pappkastides, igas kastis on ligikaudu 320 substraati. Kuna ettesöötmise jõudlus peab sisaldama ka praaki minevaid substraate, siis sai käsitsi sorteeritud kastitais substraate ning leitud, et ligikaudu 3% substraatidest on praagid (vt Tabel 1).

Tabel 1 Kulunud substraatide arv tunnis

Tööaeg	1 h
Tsükleid	600 tk
Substraate	1800 tk
Substraate praagiga	1854 tk
Praake	54 tk
Substraate	6 kasti
Substraate praagiga	6 kasti

Ettesöötamise kontsepti loomine toimus ajurünnaku vormis suurema tiimina. Kuna antud sõlmede projekteerimine oli töö autori vastutusala, valis töö autor välja pakutud lahendustest optimaalsemad ning alustas nende baasil projekteerimist ning kirjeldas kogu ettesöötamise protsessi operatsioonid (vt Joonis 4).



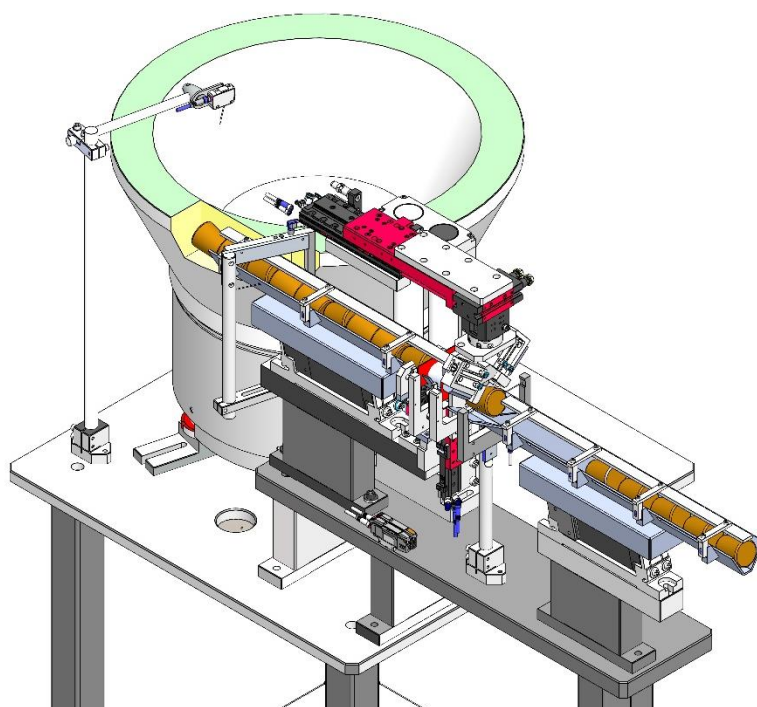
Joonis 4 Ettesöötamise protsessi kirjeldus

2.1 Substraatide orienteerimine

Ettesöötamise lahenduse abil peavad kvaliteetsed substraadid jõudma masina fikstuuri püstises asendis. Kuna pooltooted jõuavad kliendini pappkastidesse suvaliselt laotatuna, on vajalik esimeste operatsioonide käigus substraadid orienteerida kindlasse asendisse, et oleks lihtsam teostada järgnevaid operatsioone, näiteks kvaliteedikontrolli või puhverdamist.

Varasemate projektide käigus on korduvalt kasutatud ettesöötamise lahendustes vibropunkreid. Katsetati, kas oleks võimalik substraate vibropunkri abil ühe kaupa ette anda. Testimiseks kasutati vana vibropunkrit, mis oli tootmisest eemaldatud. Katsetamisest puuduvad pildid, kuid järeldati, et vibratsioon ei lõhu substraate liialt ning tsükli aeg 2 sekundit substraadi kohta võib olla teostatav.

Substraatide orientatsioon vibropunkris liikumisel oleneb spiraali geometriast ja erinevatest piirajatest, mis kausi külge lisatakse. Kuna kvaliteedikontrolli tehakse külgedelt, otsustati, et kausist võiksid substraadid edasi liikuda külili asendis. Kausist võivad pooltooted edasi liikuda kahes asendis, suurema või väiksema diameetriga ots liikumissuunas. Antud asjaolu tõttu on vajalik hilisem substraadi pööramise lahendus. Kuna vibropunkri ning orienteerimise süsteemi loomine vajab palju spetsiifilisi teadmisi ning kogemusi, otsustati süsteem tellida väljastpoolt. Saadeti näidised mitmele tootjale, kuid mitmed keeldusid antud projektiga tegelemast liigse keerukuse ning riskide tõttu. Lõplik kokkulepe saavutati pikaajalise kogemusega ettevõttega, kellega on ka varasemalt koostööd tehtud. Pärast mõningat disainiaega saadeti orienteerimise süsteemi mudel ning videod katsetustest (vt Joonis 5).



Joonis 5 Vibropunkri ning orienteerimise süsteemi mudel

Kokkuvõtvalt tõdeti, et vibropunkri abil on võimalik piisava tsükliajaga substraate ette sööta ning vibratsioon ei kahjusta liialt toodet. Lõplik vibropunker telliti Šveitsi koostööpartnerilt, kelle toodangut on ka varasemate projektide puhul kasutatud. Vastavalt varasemalt loodud skeemile tuleks järgneva operatsioonina teostada kvaliteedikontroll ning praagi eemaldus, millele on pühendatud järgnev peatükk 2.2.

2.2 Kvaliteedikontroll

Varasemal tootmisseadmel vastutas praakide substraatide eraldamise eest masina operaator. Ligikaudse mittesobivate toodete sisalduse leidmiseks sorteeriti kastitais substraate ning leiti, et ligikaudu 3% toodetest on praagid. Mittesobivuse piirid on üsna

hägused ning põhinevad operaatori tunnetusel. Praakideks loetakse suurte mõrade või puuduvate tükkidega substraadid.

Esiolgu idee oli kontrolli teostada masinnägemise kaamera abil. Testimisel selgus, et masinnägemise süsteemidega ei ole hõlpsalt võimalik mittesobivaid tooteid tuvastada. Automaatikainseneri soovitusel valiti kvaliteedikontrolli teostamiseks optiline profiiliandur IFM OPD100 [1] (vt Joonis 6).

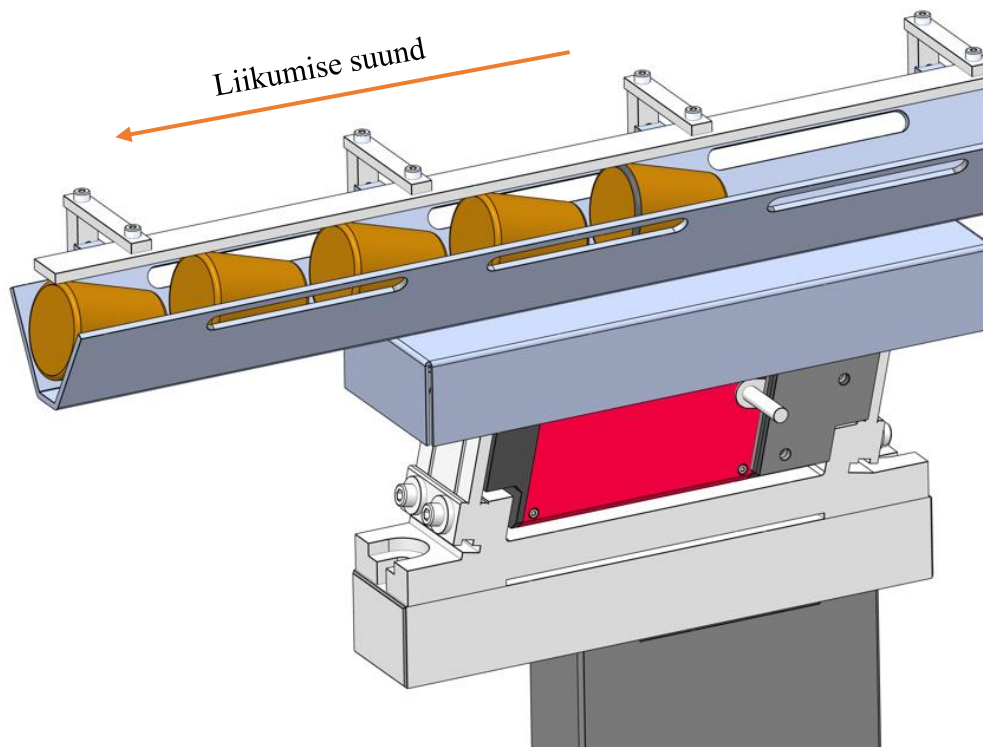


Joonis 6 Profiiliandur OPD 100 [1]

Andurile on võimalik õpetada substraadi külje profiil ning hiljem võrdleb mõõdetud profiili varem õpetatud profiiliga. Sisemise algoritmiga arvutatakse välja protsentuaalne väärtus, mis tähistab kahe profiili samasust. Väärtus edastatakse kontrollile, mis teeb otsuse, kas substraat läbis kvaliteedikontrolli või suunatakse praaki.

Anduri mõõtereioon on kitsas ning seetõttu on vaja teostada mõõtmisi mitmest küljest, et saada usaldusväärsem tulemus. Anduri kaugus peab jääma vahemikku 150-300 mm substraadi pinnast.

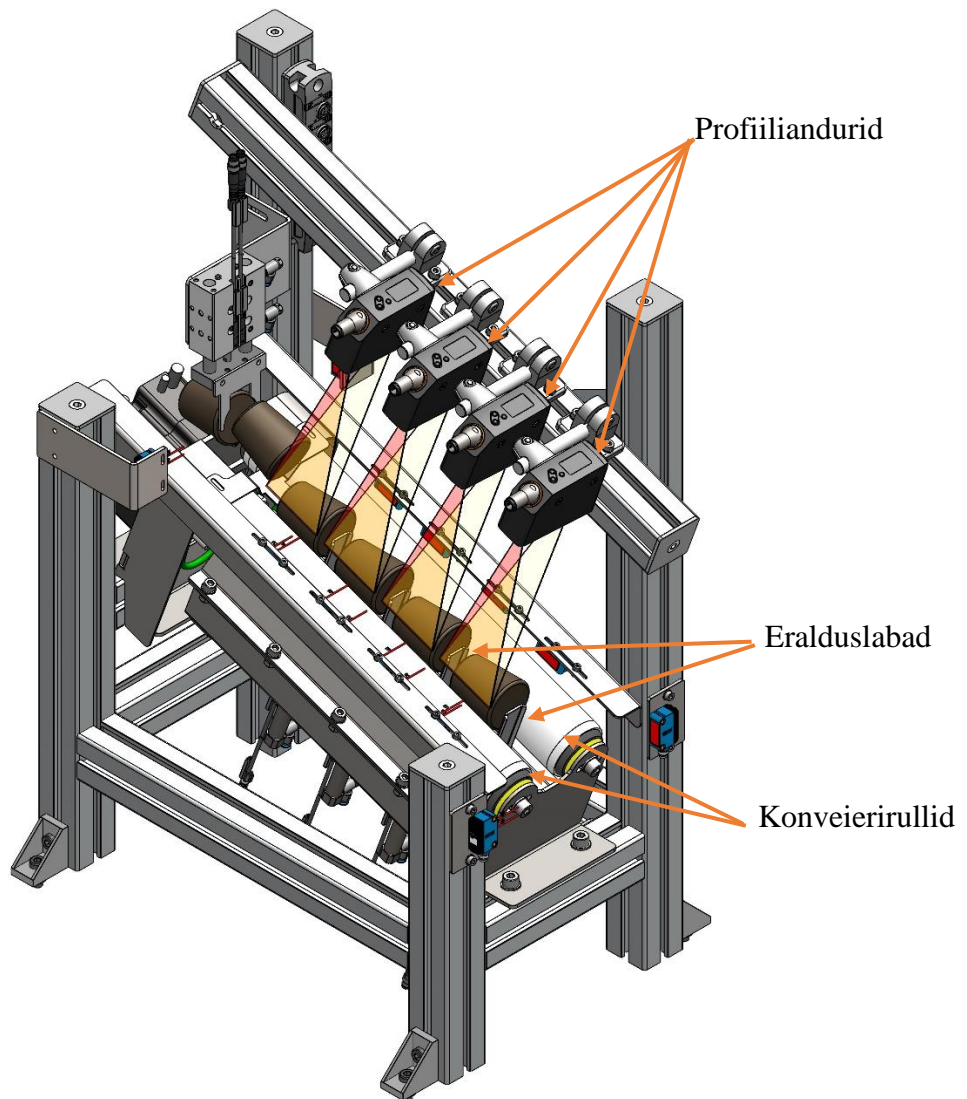
Tarnija poolt toodetud vibropunkrist ja sellele järgnevast substraate orienteerivast mehhanismist liiguvad mööda lineaarset vibrorenni substraadid suurema diameetriga ots ees edasi. Substraadid asetsevad külje peal (vt Joonis 7).



Joonis 7 Substraatide asetus lineaarsel vibrorennil

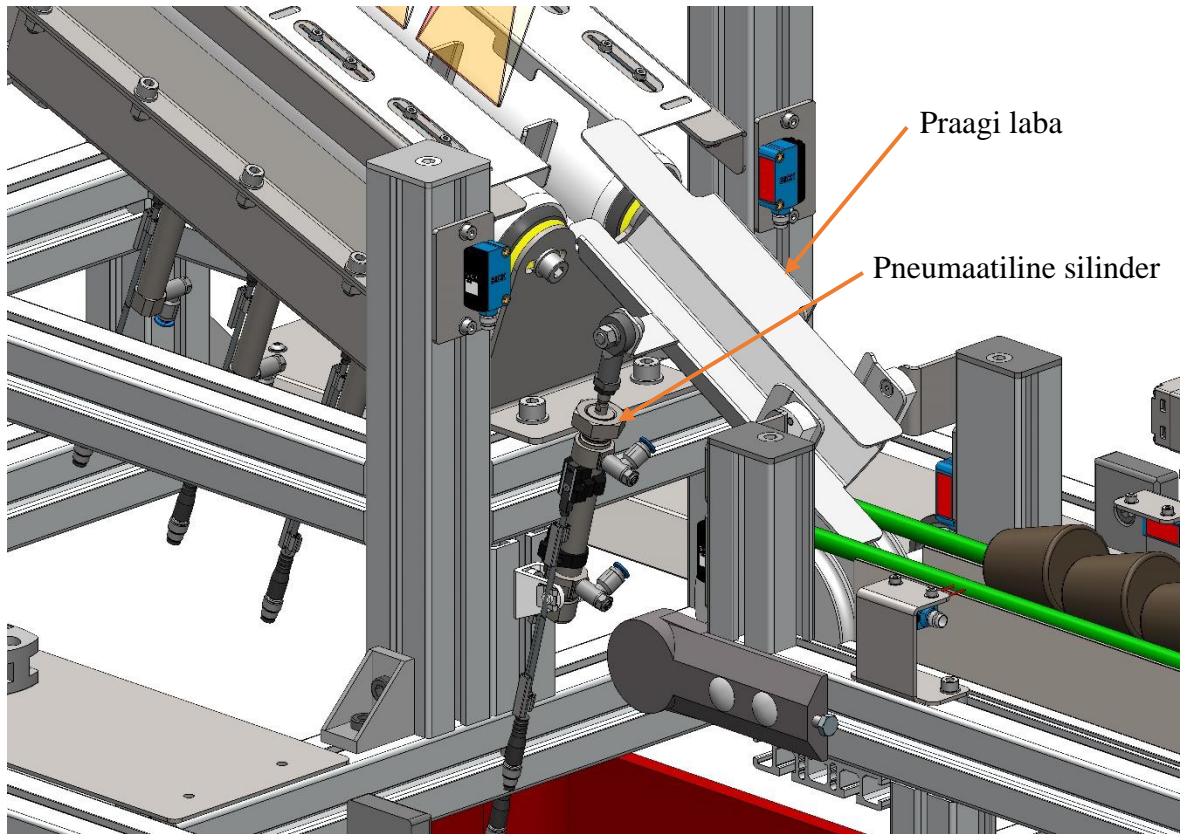
Kontsepti loomise ajal prooviti leida lahendus, kuidas pöörata substraate samal ajal mõõtmisi teostades, et saada ühe anduriga terviklik pilt tootest. Otsustati valida üks lahendus ning disainida ja ehitada prototüüp.

Esimese lahendusena tekkis idee kasutada kahte nurga all olevat konveierirulli, mõlemat rulli käitab oma samm-mootor. Samm-mootorid ning konveierirullid on ühendatud kasutades ümarrihmasid. Rulle eri suundades pöörates libisevad substraadid mööda rulle alla, rulle samas suunas pöörates substraat pöörleb koos rullidega. Pneumaatilise silindri küljes olevad eralduslabad ei lase substraatidel üksteisega kokku puutuda. Kontrolli teostatakse neljal tootel korraga. Profiliandur teostab mõõtmised mitmest küljest ning seejärel liiguvad eralduslabad alla ning substraadid liiguvad järgmise sõlmeni (vt Joonis 8).



Joonis 8 Substraatide pööramise sõlme prototüüp

Praagi eemalduse on võimalik teostada pööramise sõlme ning järgneva sõlme vahel. Projekteeritakse laba, mis on pneumaatilise silindriga liigutatav. Juhul kui on praak (NOK) toode, tõuseb laba üles ning substraat kukub alla praagi kasti. Kvaliteetse (OK) toote puhul on laba alumises asendis ning substraat libiseb järgmise sõlmeni (vt Joonis 9).



Joonis 9 Praagi eemaldamise süsteem toote OK asendis

Katsetuste käigus selgus, et substraatide pööramise sõlm antud lahendusse on liiga aeglane ning selle abil ei ole võimalik piisava tsükliaja tagamine (ligikaudu 11 sekundit 4 substraadi kohta). Enamus aega kulus substraatide rullidele ning rullidelt maha laadimine (ca 4-5 sekundit mõlema operatsiooni kohta). Lahenduse otsimise faasis oleks pidanud kriitilisemalt hindama sõlme tsükliajaga ning kaaluma ka teisi lahendusi põhjalikumalt. Koostöös projektijuhiga võeti vastu otsus, et antud sõlmest loobutakse ning kvaliteedikontrolli teostatakse neljast küljest, ilma toodet pööramata.

Profiliandurid viiakse puhverkonveieri algusesse, kus teostatakse mõõtmise ning praagid substraadid eemaldatakse puhverkonveieri keskosas. Puhverkonveieri projekteerimist käsitletakse järgnevas peatükis.

2.3 Puhverkonveier

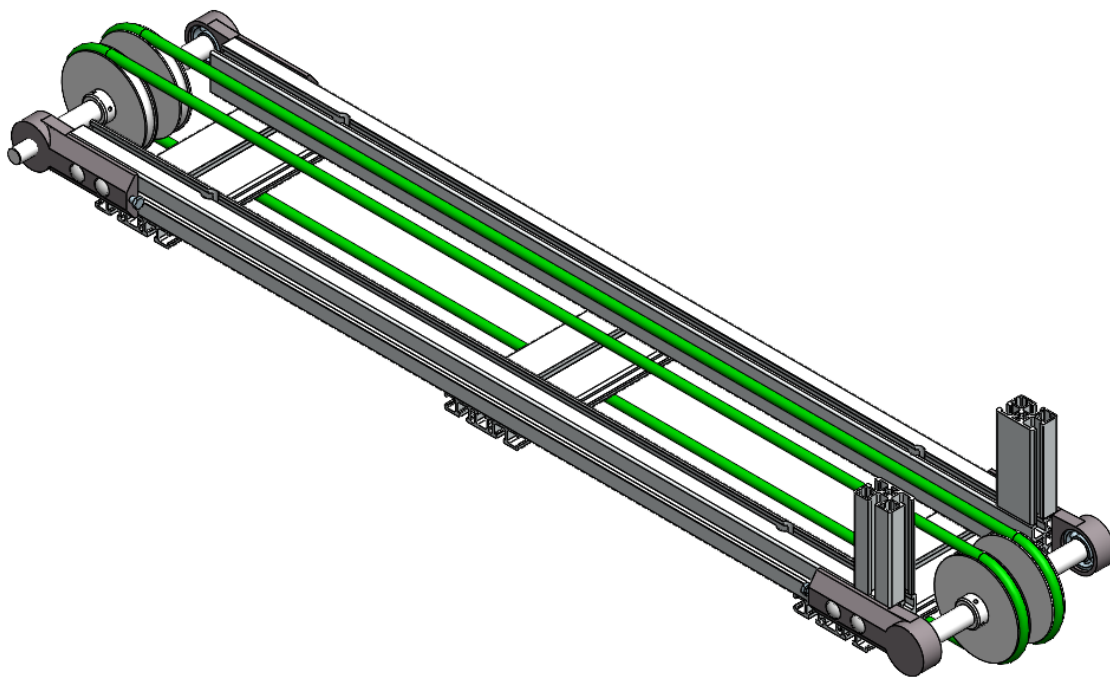
Kvaliteedikontrolli ning substraatide puhverdamise eesmärgil projekteeritakse ümarrihmkonveier. Konveieri algusesse on võimalik lisada profiliandurid, mis teostavad *in-line* kontrolli substraatide kvaliteedi üle. Konveieri keskosas eemaldatakse praaktooded ning sobivad tooted liiguvad mööda konveierit edasi.

Idee kasutada ümarrihma substraadi transpordil pärineb eelmiselt masinalt, kus kasutati sarnast lahendust edukalt. Lint- või kettkonveieri kasutamisel oleks

substraatide puhverdamine keerukam ning oleks vajalik lisada toodete positioneerimiseks lisadetaile ning antud asjaolu tõstaks oluliselt konveieri hinda. Eelneva masina konveieri puhul liikusid tooted kolmes reas kõrvuti, antud lahenduses on vajalik ainult ühes reas toote liikumine. Eelneva sõlme lõppu tuleb konstrueerida stopper, mis laseb konveierile substraate ükshaaval konstantse vahega.

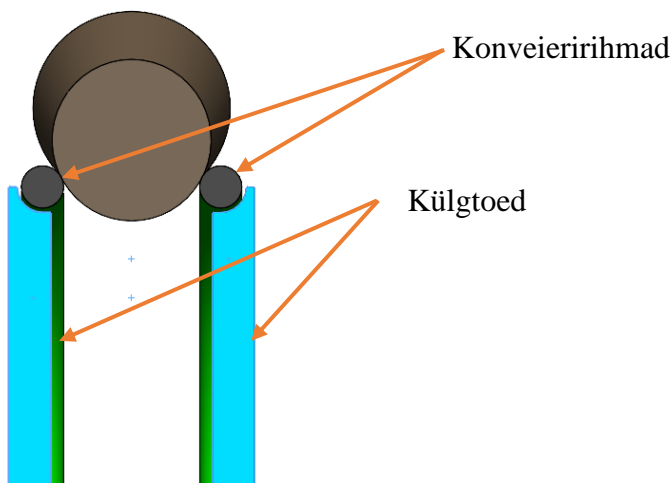
Ümarrihmarattad valitakse Misumi veebipoest kiire tarneaja ning soodsa hinna tõttu. Veebipoes on väga suur valik tooteid ning paljud detailide parameetrid vastavalt vajadustele konfigureeritavad.

Esialgseks konveieri pikkuseks valiti 1000 mm. Konveieri raam konstrueeritakse alumiiniumprofiilist ning võllide laagerdusel kasutatakse standardseid Minitec konveierikomponente. Ümarrihma diameetrigi valitakse 10 mm. Ümarrihm tellitakse umbes 5% lühem kui nominaalne pikkus, et tekitada konveieririhmadele piisav pingsus.



Joonis 10 Ümarrihmkonveier

Vältimaks ümarrihma substraadi raskuse all eemale liikumist ning sellega kaasnevat ohtu, et substraat läbi konveieri kukub, projekteeriti rihmale külgedele toed (vt Joonis 11). Tugede materjaliks valiti HDPE. Toed kinnitatakse konveieri raami külge alumiiniumprofiilide abil mis võimaldab külgtugede reguleerimist.



Joonis 11 Konveieri külgtugede ning rihmade läbilõige

Konveieri jõuallika valikul kaaluti nii samm-mootorit, servomootorit kui ka harjadega alalisvoolumootorit. Valituks osutus samm-mootor, kuna see on soodsam kui servomootor ning täpne juhtimine on lihtsam kui alalisvoolu mootoril. 1 m konveierile mahub maksimaalselt ligikaudu 20 substraati, mille mass kokku on suurusjärgus 240 grammi. Seetõttu on antud konveieri käitamiseks vajalik moment väike ning tuleneb peamiselt kuulaagrite veeretakistusest ning ümarrihma hõõrdumisest.

Kuna masina controlleriks kasutati B&R automationi toodangut, otsustati valida ka sama tootja samm-mootor. Lõplikuks valikuks osutus 80MPF1.250S114-01 [2], mille *stall torque* on 0,8 Nm, kuna see on antud tootja kõige väiksem samm-mootor.

Andmelehest [3] leiti, et momendikõver annab maksimaalseks mootori pöörlemiskiiruseks 1500 1/min. Rihmaratta välisdiameeter on 100 mm, seega konveieririhma joonkiiruseks antud pöörlemiskiirusel leiti valemiga (1):

$$v = \pi * n * \frac{D}{60} = \frac{\pi * 1500 * 0,1}{60} \sim 7,9 \text{ m/s} \quad (1)$$

Samm-mootori maksimaalne pöördemoment pöörlemiskiirusel 0 - 350 1/min on andmelehe põhjal 0,8 Nm, rihma tõmbejõud arvutati valemiga (2)

$$F = \frac{M}{L} = \frac{2 * M}{d} = \frac{2 * 0,8}{0,1} = 16 \text{ N} \quad (2)$$

Töö autori hinnangul on konveieri maksimaalne kiirus antud lahenduses ebaotstarbekalt suur ning mõistlik oleks kasutada aeglustavat reduktorit. Rihma tõmbejõud võiks kiirusel olla piisav, kuid probleeme võib tekkida konveieri madalal kiirusel juhtimisel, kus ühe samm-mootori sammuga liigub konveieririhm liialt.

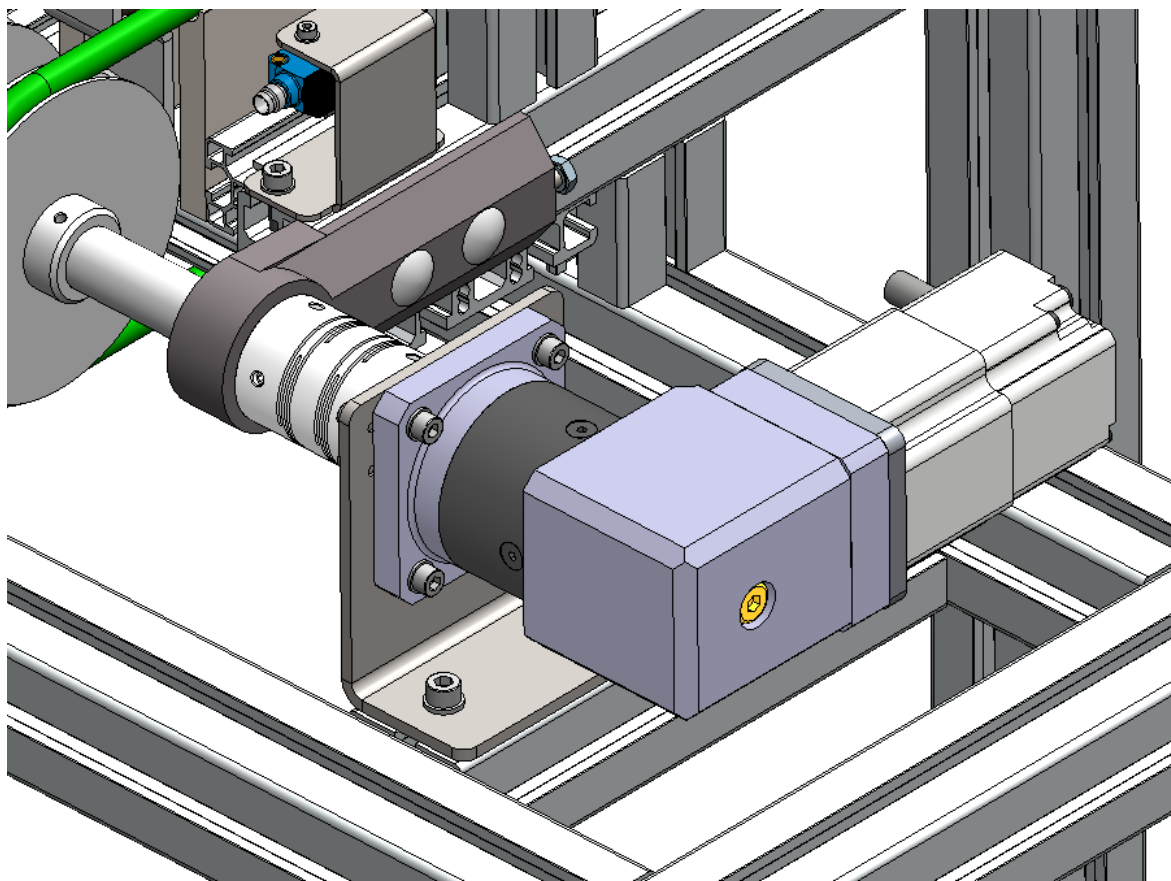
CAD mudelis selgub, et jõuallikas ei mahuks konveierivõlli külge sirge reduktori puhul, kuna mootori korpus ulatuks masina raami gabariitidest välja. Seega valitakse mootori

tootja kataloogist nurkreduktor ülekandearvuga $i = 5$ ning projekteeritakse kinnitused painutatud lehtmetailist. Konveieri vedava võlli ning reduktori ühendamiseks kasutatakse sidurit.

Aeglustav reduktor suurendab mootori poolt üle kantavat momenti, seega võllile kantakse pöördemoment 4 Nm , mis tekitab rihmal kadusid mitte arvestades tõmbejõu ligikaudu:

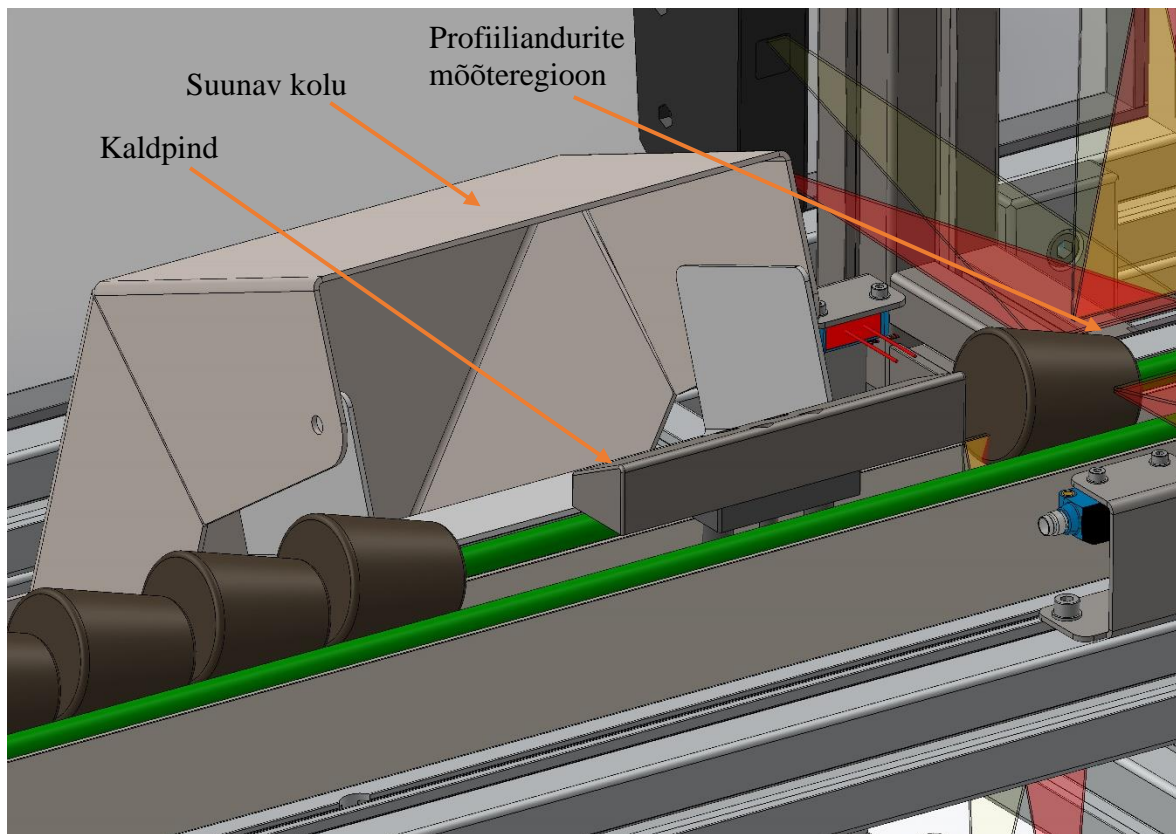
$$F = \frac{M}{L} = \frac{2 \cdot M}{d} = \frac{2 \cdot 4}{0,1} = 80 \text{ N} \quad (3)$$

Arvestades, et maksimaalne substraatide mass konveieril on 240 g , on antud tõmbejõud kindlasti piisav ning valitud mootor ja reduktor sobivad antud lahendusse (vt Joonis 12).



Joonis 12 Konveieri ajami lahendus

Konveierile lisatakse algusesse, lõppu ning keskele optilised *through-beam* andurid tuvastamaks substraatide olemasolu. Praagi eemaldus teostatakse konveieri keskel kasutades juhikutega pneumaatilist silindrit, millele on poltidega kinnitatud 3D prinditud kaldpind. Kaldpinna tõustes kukub praak substraat suunavasse kolusse ning sealt praagi kasti (vt Joonis 13).



Joonis 13 Praagi eemaldamise kaldpind ülemises asendis

Substraatide puhverdamiseks projekteeriti ümarrihmkonveier sarnaselt eelneval masinal kasutusel olnud lahendusele. Konveieri jõuallikaks valiti samm-mootor ning konveieri kiiruse vähendamiseks lisati nurkreduktor mootori ja konveierivõlli vahele. Konveieri alguses on otstarbekas teostada kvaliteedikontroll ning seejärel konveieri keskosas lihtsa pneumaatiliselt liigutatava kaldpind-tõukuri abil praaksubstraadid eemaldada.

Puhverkonveieril liiguvad substraadid külili asendis. Peamasinasse peavad jõudma substraadid aga püstises asendis, suurem diameeter ülespoole, seega on vajalik projekteerida lahendus substraatide pööramiseks. Substraatide püstasendisse orienteerimist käsitleb järgnev peatükk.

2.4 Substraadi püstasendisse orienteerimine

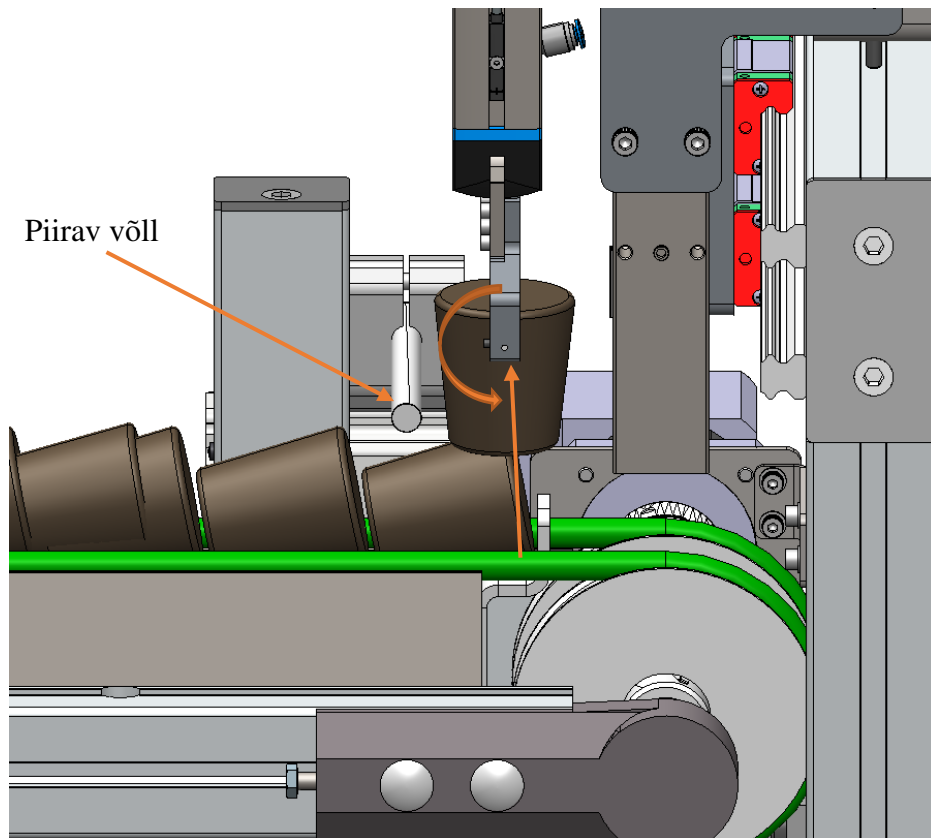
Peamise jaama fikstuuris peavad substraadid asetsema püstises asendis. Kuna konveieril substraatide puhverdamine püstises asendis oli töö autori hinnangul tehniliselt keerukam, siis oli vajalik konveieri lõppu projekteerida lahendus, mis pööraks substraadid püsti ning asetaks vahefikstuuri, millel on 3 pesa. Kui pesa on korrektselt täidetud, siis saab peajaama tõstmise haaratsi abil tõsta kolm substraati korraga

peajaama. Vahefikstuuri kasutamise abil saab ettesöötmise jaama ning masina peajaama tööle panna üksteisest eraldiseisvalt ning selle abil vähendada tsükliaga.

Esiolgu idee substraatide püsti pööramiseks oleks vajanud kogu eelnevalt projekteeritud sõlmede muutmist, et võimaldada substraatide väiksema diameetriga ots liikumissuunal asetsemist. Lahenduses oleks täidetud konveieri otsas vahefikstuur substraatidega- näiteks pneumaatilisel labaga pesa surudes ning seejärel keerab pesa 90 kraadi, et saavutada õige orientatsioon. Kuna vahefikstuuril peab olema 3 pesa, peab vahefikstuur ka lineaarselt 3 asendisse liikuma. Antud lahendus oli töö autori hinnangul liialt keerukas, kuna oli vajalik muuta ka eelnevaid sõlmi.

Mehaaniliselt külgedelt haaramine ning seejärel näiteks pneumoajami või elektriliselt rummu pööramine oli töö autori hinnangul võrdlemisi kulukas lahendus ning ruumipuuduse tõttu keerukas teostada.

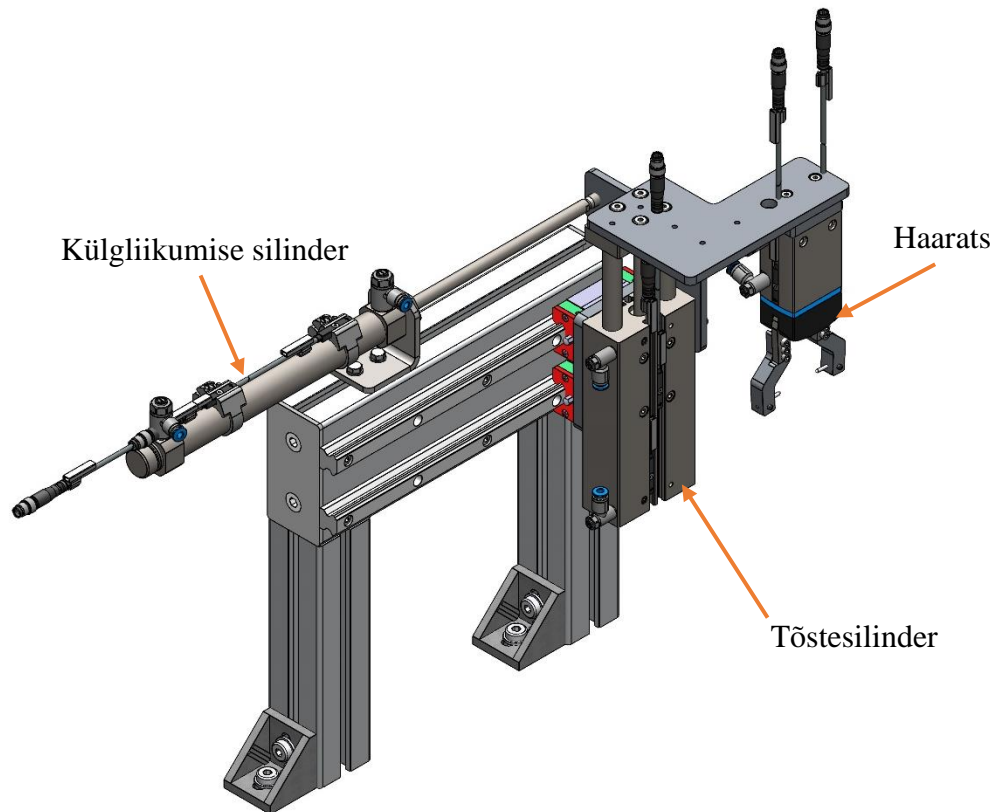
Nõeltega substraatide haaramist käsitleb põhjalikumalt peatükk 2.5, milles käsitletud sõlmed projekteeriti enne substraadi orienteerimise lahendust. Pööramise lahendusi otsides leiti, et mõlemalt küljelt substraati kontsentriliste nõelte otsa surudes on võimalik substraati ümber nõelte telge gravitatsiooni ja piirava sõrme abil üsna hõlpsalt pöörata. Seega projekteeriti lahendus, kus substraati haaratakse nõeltega külgedelt kasutades *angular* tüüpi haaratsit FESTO DHWS-25-A [4] ning seejärel tõstetakse haaratsit koos substraadiga pneumaatilise silindri abil ligikaudu 60 mm võrra ülespoole. Substraat puutub vastu piiravat sõrme ning pöörab vertikaalsesse asendisse (vt Joonis 14).



Joonis 14 Pööramise lahendus

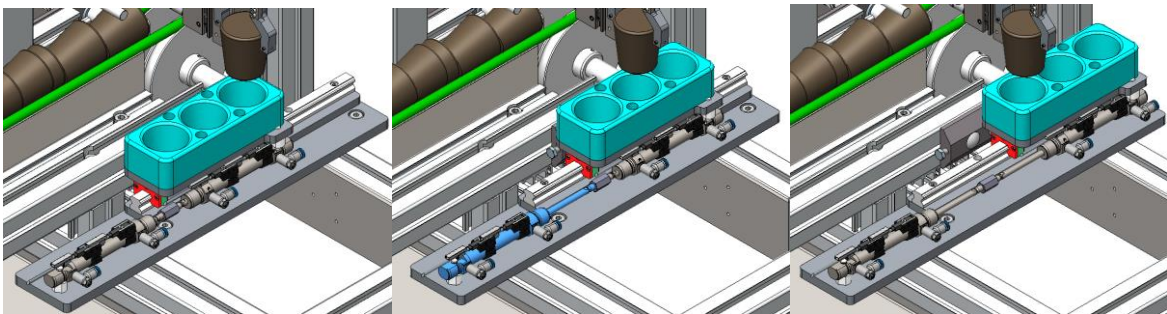
Substraadid asetatakse püstises asendis 3 pesaga fikstuuri, mille pesade tsentrite vahe on 50 mm. Töö autori hinnangul oli kõige otstarbekam lahendus viia substraat haaratsi abil konveieri kõrvale ning liigutada vahefikstuuri, et oleks võimalik täita kõik 3 pesa (vt Joonis 15).

Et hoida tsükliajad minimaalsed, siis valitakse võimalikult lühikese käiguga pneumaatilised silindrid tõstmise ning külgsuunalise liikumise tarbeks. Lineaarjuhikud kinnitatakse lihtsa profiilraami külge. Juhikute ning silindrite ühendamiseks disainitakse adapterplaadid. CAD mudelist mõõdeti vähim võimalik vahefikstuuri kaugus konveieril asuvast substraadist ning seega küljele liikumise silindri käiguks leiti 150 mm ning kolvi diameetriks valiti 20 mm. Tõstmisel kasutatakse juhikuga silindrit käiguga 60 mm ning kolvi diameetriga 16 mm, kuna antud silinder sobib parameetritelt ideaalselt ja on juba masinas kasutuses.



Joonis 15 Püstasendisse orienteerimise sõlm

Vahefikstuur peab võimaldama liikumist 3 positsiooni. Kasutades pneumaatilist standardset silindrit, on keeruline teha mitme vahepunktiga liikumist. Mitmepositsioonilised silindrid on kulukad, seega otsustati kasutada kahte standardset silindrit 50 mm käiguga, mille varred ühendati kasutades M6 jätkumutrit. Mõlemale silindri juhtimiseks kasutatakse eraldi suunaventiili, seega on võimalik 3 asendi saavutamine (vt Joonis 16).

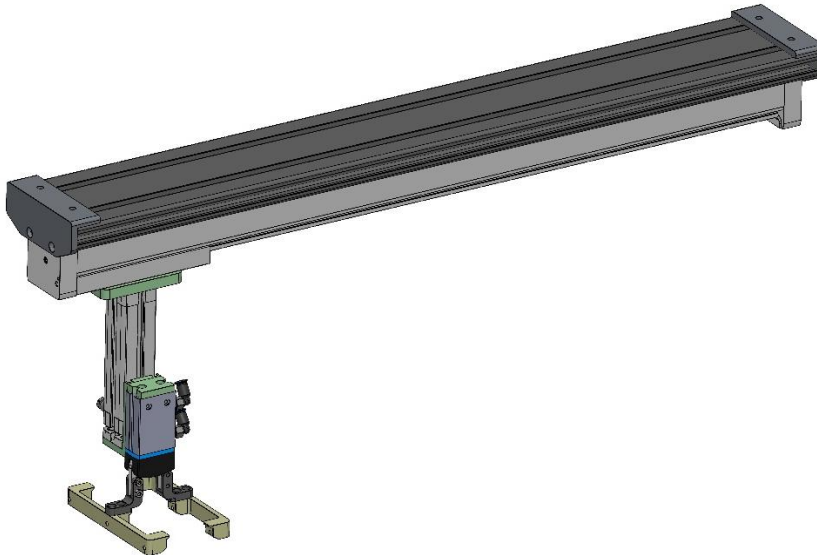


Joonis 16 Vahefikstuuri kolm asendit

Esimesena tõstetsükkel toimub, kui mõlemad pneumaatilised silindrid on lähteasendis (kolvivarred sees). Seejärel liigub pluss-suunaliselt üks silindritest ning saavutatakse asend 2. Kolmanda asendi saavutamiseks teostab pluss-suunalise liikumise ka teine silinder.

2.5 Substraate peajaama tõstva haaratsi lahendused

Varasemalt loodud masina ettesöötmise haaratsil esines puudusi- tööttsükli ajal võisid substraadid haaratsi vahelt välja kukkuda. Samuti oli probleeme vertikaalse pneumaatilise silindri purunemisega teatud tsükliarvu tagant. Kliendi soov oli silinder asendada vastupidavamaga juhikutega silindri vastu.



Joonis 17 Eelmise seadme haaratsi lahendus

Kliendiga arutades pakkus klient välja, et uue masina puhul võiks substraatide tõstmist teostada nõelte abil. Katsetamine näitas, et 2 mm läbimõõduga nõela ligikaudu 30 mm substraati surumine on piisav, et substraati tõsta. Ühe nõela sisse surumise maksimaalseks jõuks oli 8,5 N ning välja tõmbamisel maksimaalne jõud 3,5 N.

Selleks, et tagada kindlamat substraadi haaratsi küljes püsimist, kasutatakse haaratsil 3 nõela ühe toote kohta. Tõstes 3 substraati korraga, on sisse surumiseks vajalik jõud

$$F = 3 * 3 * 8,5 = 76,5 \text{ N} \quad (4)$$

Ning substraadi eemaldamiseks vajalik jõud:

$$F = 3 * 3 * 3,5 = 31,5 \text{ N} \quad (5)$$

Substraadi haaramiseks ning nõelte otsast eemaldamiseks on otstarbekas kasutada pneumaatilist silindrit. Silindri suurus valitakse kasutades Festo andmelehest [5] pärit tabelit (vt Joonis 18). Substraadi sisse nõelte surumiseks tuleb valida vähemalt 16 mm

kolvidiameetriga silinder. Substraadi eemaldamisel piisab 10 mm kolvidiameetriga silindrist.

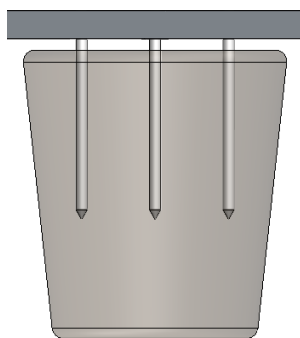
Data sheet

Forces [N]	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Piston diameter	6	10	12	16	20	25	32	40	50	63	80	100
Theoretical force at 0.6 MPa (6 bar, 87 psi), advancing	17	47	68	121	188	295	482	754	1178	1870	3016	4712
Theoretical force at 0.6 MPa (6 bar, 87 psi), retracting	13	40	51	90	141	247	415	686	1057	1750	2827	4418

Joonis 18 Pneumaatilise silindri arendatav jõud 6 Bar juures [5]

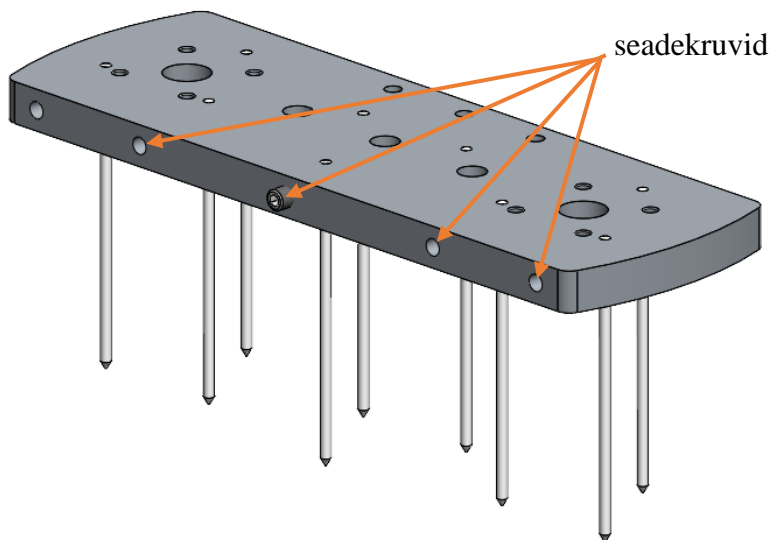
Substraadi kõrgus on ligikaudu 51 mm ning substraat asetseb täies kõrguses fikstuuri sees. Üles tõstetud asendis peaks rakise ning substraadi vahel olema piisav vahe, et substraati horisontaalsel liikumisel mitte lõhkuda. Vertikaalse silindri käiguks valiti 60 mm, mille puhul on üles tõstetud asendis fikstuuri ja substraadi vahel 9 mm. Substraadi eemaldamiseks kasutatava silindri käik peaks olema võrdne nõelte sisse surumise sügavusega.

Kolm tõstmiseks vajalikku nõela asetsevad võrdkülgse kolmnurga tippudes. Katseliselt leiti sobivaks kolmnurga ümberringjoone diameetriks 30 mm. CAD mudeli järgi nõelte sügavusel 30 mm on nõelte otsad substraadi külgedest piisaval kaugusel, et neid mitte läbistada (vt Joonis 19).



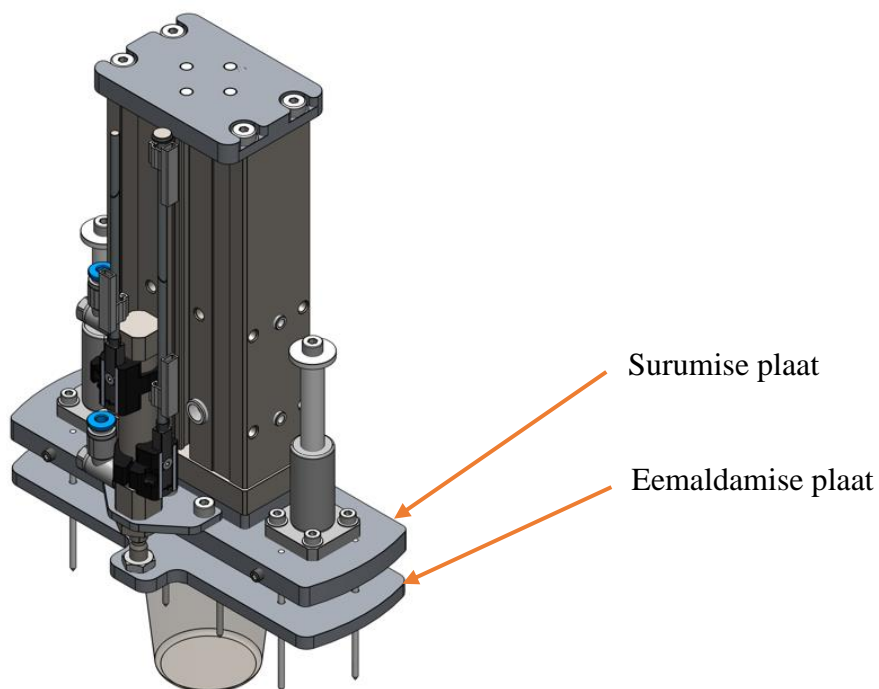
Joonis 19 Nõelad sügavusel 30 mm substraadis

Nõelte fikseerimiseks suruva plaadi külge kasutatakse DIN 913 M4 seadekruvisid (vt Joonis 20). Suruv plaat kinnitub poltidega vertikaalse FESTO DFM seeria silindri külge, mille käik on 60 mm ning kolvi läbimõõt 16 mm [6].



Joonis 20 Nõelad plaadi külge fikseerituna

Substraadi eemaldamiseks kasutatakse eraldi plaati. Eemaldamise plaat kinnitatakse suruva plaadi külge läbi lineaarlaagrite, et võimaldada lineaarset liikumist suruva plaadi suhtes. Võlliks valiti ümarjuhik INA W08 diameetriga 8 mm tootjalt Schaeffler, mida on töö autor ka varasemalt edukalt kasutanud. Eemaldamise plaati liigutatakse samuti pneumaatilise silindri abil. Kuna eemaldamise plaadil on juba juhikud siis kasutatakse standardset ümarsilindrit Festo DSNU seeriast käiguga 30 mm ning kolvi diameetriga 12 mm [7].



Joonis 21 Sisse- ning väljatõstmise haaratsi lahendus

Peajaama sees kasutatakse pöördlauda 16 fikstuuriga, seega on kahe rakise vaheline nurk

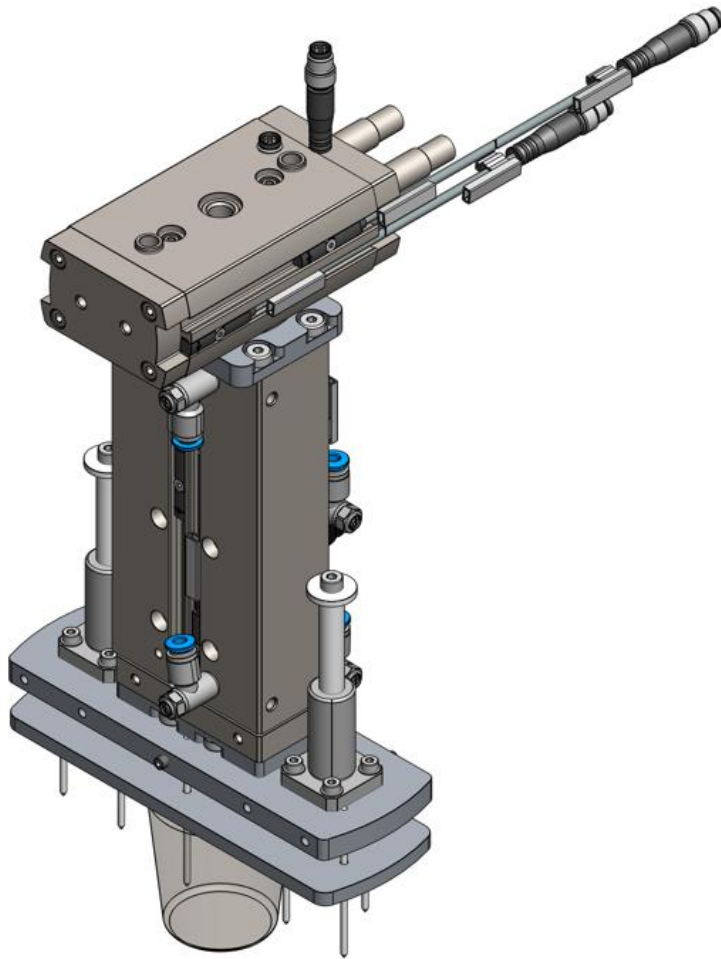
$$360^{\circ}/16 = 22,5^{\circ} \quad (6)$$

Projekteerimise edenedes selgus, et piisava ruumi tekitamiseks, tuleb ettesöötmise ja pakkimise sõlmede positsioonide vahele pöördlaua jätta üks vaba fikstuuriga positsioon. Ruumi optimaalsema kasutuse mõttes oleks otstarbekas asetada ettesöötmise ning pakkimise jaamad kõrvuti omavahel paralleelselt.

Sõlmede paralleelseks muutmise eelduseks on, et sisse- ja väljatõstmise haarats saavad substraate pöörata ümber haaratsi kesktelje.

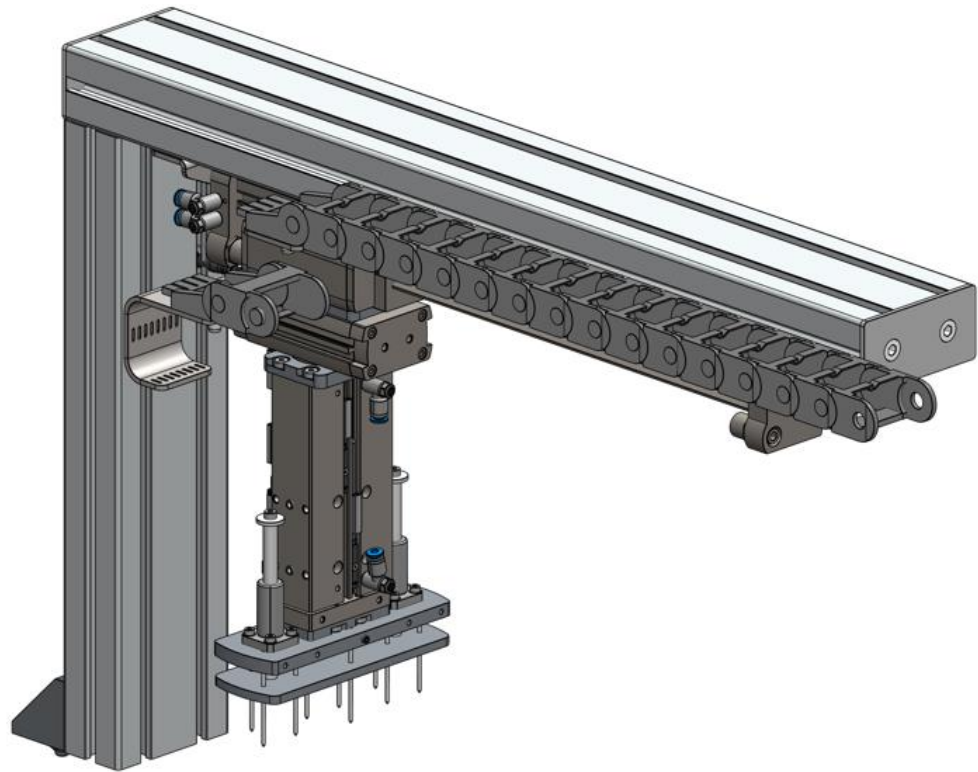
Haaratsi pööramiseks valiti Festo DRRD 16 pneumaatiline pöördsilinder, mille pöörlemisnurka on võimalik reguleerida vahemikus $43...200^{\circ}$ [8]. Väljatõstmise haaratsil on vaja pöörata $22,5$ kraadi, seda on võimalik teostada pöörates vastupidises suunas, st $180^{\circ}-22,5^{\circ}=157,5^{\circ}$. Sissetõstmise haaratsi puhul tuleb pöörata haaratsit $90^{\circ} - 22,5^{\circ} = 67,5^{\circ}$, kuna vahefikstuur on paralleelne söötmise jaamaga.

Pöördsilindri kinnitamiseks vertikaalse tõstesilindri külge projekteeritakse adapterplaat (vt Joonis 22).



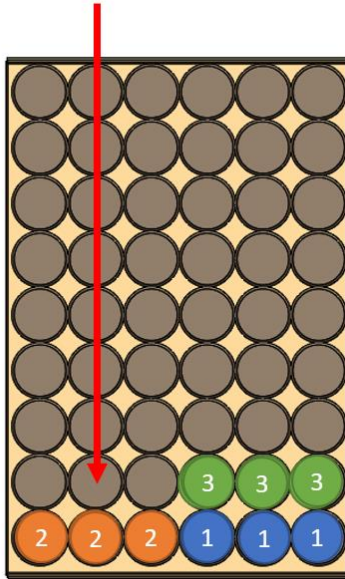
Joonis 22 Sisse- ning väljatõstmise haarats koos pöörsilindriga

Sissetõstmise haaratsi puhul on horisontaalse liikumise algus- ja lõpp-punkt samas asukohas, seega on otstarbekas kasutada pneumaatilist lahendust. Eelneva masina puhul kasutati sisse tõstmisel Festo DGC seeria pneumaatilist telge [9] pika aja vältel suuremate probleemideta, seega valiti kindlustundega sama seeria telg ka antud lahendusse. Pneumaatilise telje ning pöörsilindri vahele disainitakse adapterplaat. Kaabelduse ning pneumovoolikute vedamiseks lisatakse energiakett tootjalt Iigus. Pneumaatilise telje kinnitamiseks põhiseadme külge konstrueeriti Minitec 45x90UL alumiiniumprofiilist raam. Pneumaatiline telg kinnitub raami külge lehtmetailist painutatud kinnitustega. Haarats kinnitub peamasina ülemise kinnitusraami ning pöördlaua keskosa külge kasutades Minitec 45GD kinnitusnurki ning lehtmetailist kinnitusi (vt Joonis 23).



Joonis 23 Sissetõstmise haaratsi lõplik koost

Kliendi tootmisprotsessist tulenevalt on väljatõstmise haaratsi puhul vaja substraatidega täita pappkast, milles on 54 pesa asetusega 6x9 (vt Joonis 24). Kuna masin toodab tooteid kolme kaupa, siis on vaja kasti asetada substraadid kahes reas. See tingib olukorra, kus haarats peab saama liikuda kahes suunas: edasi-tagasi ning vasakule-paremale.



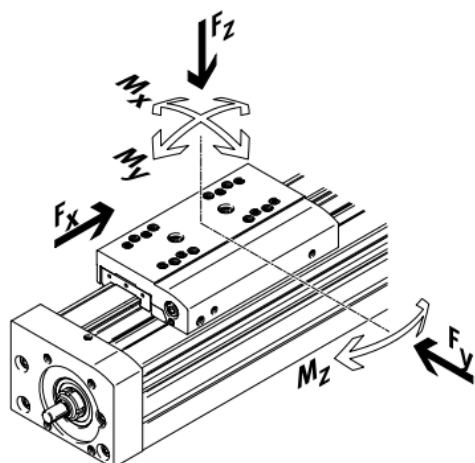
Joonis 24 Kuivatuskasti täitmise skeem

Haaratsi vasakule-paremale liikumise algus- ja lõpp-punkt on alati samas asukohas ning on otstarbekas kasutada pneumaatilist lahendust. Kuna substraatide tsentrite vahe fikstuuris on 50 mm, siis sobib ristliikumist teostava pneumaatilise telje käiguks $3 \times 50 = 150$ mm. Kasutatakse sama Festo DGC seeria telge [9], mis sisse tõstva haaratsi puhul.

Edasi-tagasi liikumise korral on lõpp-punkt pidevas muutuses ning pneumaatilise telje juhtimine oleks ebaotstarbekalt keeruline. Valituks osutuks servomootoriga juhitud telg. Festo tootesarjast on saadaval nii hammasrihmülekanedega kui ka kruviülekanedega servotelgi. Valituks osutub hammasrihmülekanedega telg suurema maksimaalse kiiruse saavutamiseks. Telje suuruse valikul teostati teljele mõjuva maksimaalse momendi arvutus võttes aluseks, et haaratsi ristliikumise käik on 150 mm ning haaratsi vertikaalsilinder surub maksimaalse jõuga 121 N.

$$M = F * l = 0,15 * 121 = 18,2 \text{ Nm} \quad (7)$$

Coordinate system



Joonis 25 Festo EGC telje andmelehe kuvatõmmis [10]

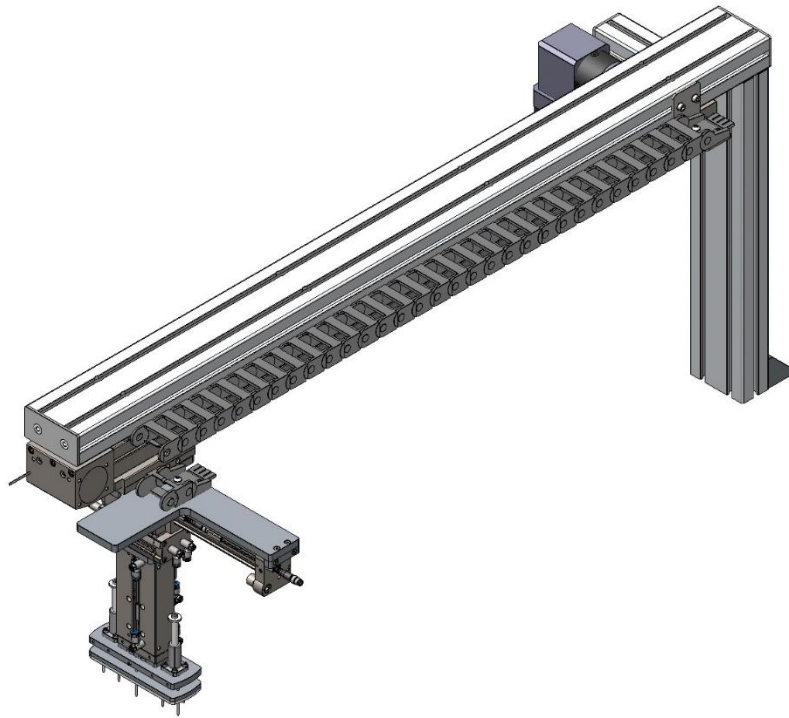
Design	Size	Working stroke [mm]	Speed [m/s]	Repetition accuracy [mm]	Feed force [N]	Guide characteristics				
						Forces and torques				
						Fy [N]	Fz [N]	Mx [Nm]	My [Nm]	Mz [Nm]
Recirculating ball bearing guide										
	50	50 ... 1900	3	±0.08	50	650	650	3.5	10	10
	70	50 ... 5000	5	±0.08	100	1850	1850	16	132	132
	80	50 ... 8500	5	±0.08	350	3050	3050	36	228	228
	120	50 ... 8500	5	±0.08	800	6890	6890	144	680	680
	185	50 ... 8500	5	±0.1	2500	15200	15200	529	1820	1820

Joonis 26 Festo EGC andmelehe kuvatõmmis [10]

Valides Mx veerust esimese piisava telje (vt Joonis 25 ja Joonis 26), osutub valituks EGC 80 seeria telg. CAD mudelist mõõtes saab esialgseks telje käigupikkuseks valida 800 mm.

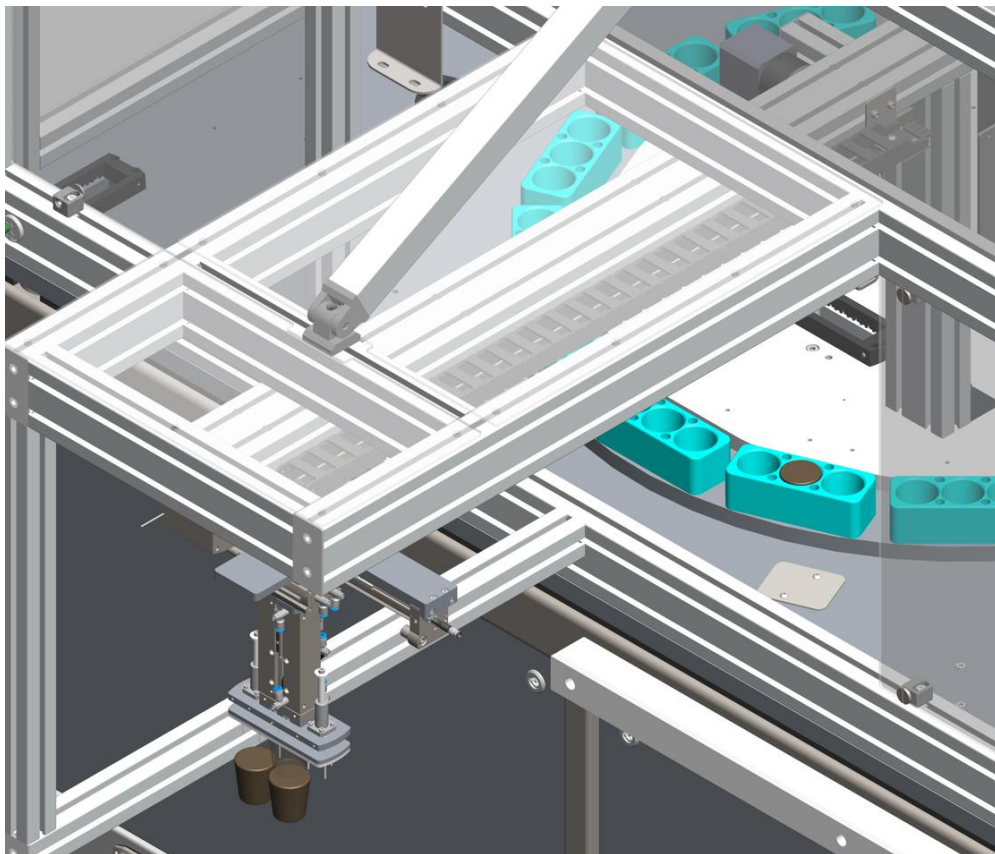
Servomootori valik tehti B&R Automationi toodete seast koostöös tootjapoolse müügiinseneriga. Kuna servomootori otse telje külge ühendamine ei olnud ruumipuuduse tõttu võimalik, siis lisati telje ning mootori vahele nurkreduktor. Festo tootesarjas on olemas vastavad adapterid nurkreduktori ja telje ühendamiseks ning ei ole vaja disainida vaheplaate.

Sarnaselt sisse tõstva haaratsiga lisatakse energiakettkett ning profiilraam seadme külge kinnitamiseks. Pneumaatilise telje ning servotelje omavaheliseks kinnitamiseks konstrueeritakse adapterplaat (vt Joonis 27).



Joonis 27 Väljatõstmise haarats

Väljatõstmise haaratsi koost kinnitub peamasina ülemise raami ning pöördlaua keskmise osa külge Minitec 45GD nurkadega (vt Joonis 28).



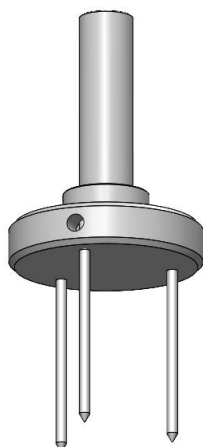
Joonis 28 Väljatõstmise haarats peamasina küljes

2.6 Peajaama kvaliteedikontrolli sõlm

Tootmisprotsessist tulenevalt võib juhtuda olukord, kus tootmise käigus substraat puruneb. Kliendi huvi oli masina peajaama integreerida kvaliteedikontrolli sõlm, mis kontrolliks substraadi seisukorda ning vajadusel suunataks tooted praaki. Purunemise tuvastamiseks kasutatakse taaskord automaatikainseneri soovil profiilandurit IFM OPD100 [1]. Kuna andur mõõdab substraadi profiili ainult väga kitsas vahemikus ning kolme toote puhul iga toote kohta nelja anduri paigaldamine ei ole majanduslikult otstarbekas, otsustati mõõtmisel pöörata substraati ning teostada mõõtmised mitme koha pealt.

Tulenevalt rakise geomeetriast, ei ole võimalik rakises sees kontrolli teostada. Kvaliteedikontrolliks tuleb substraat tõsta fikstuurist välja. Tõstmiseks võiks kasutada sarnast lahendust nagu haaratsite puhul- suruda nõelad pneumaatilise silindriga substraadi sisse ja teise silindriga nõeltelt eemaldada.

Sõlme alustatakse pöörleva rummu disainimisega. Kasutatakse sarnaseid nõelu nagu sissetõstmise haaratsi puhul. Nõelte kinnitamiseks kasutatakse taaskord seadekruvisid (vt Joonis 29).

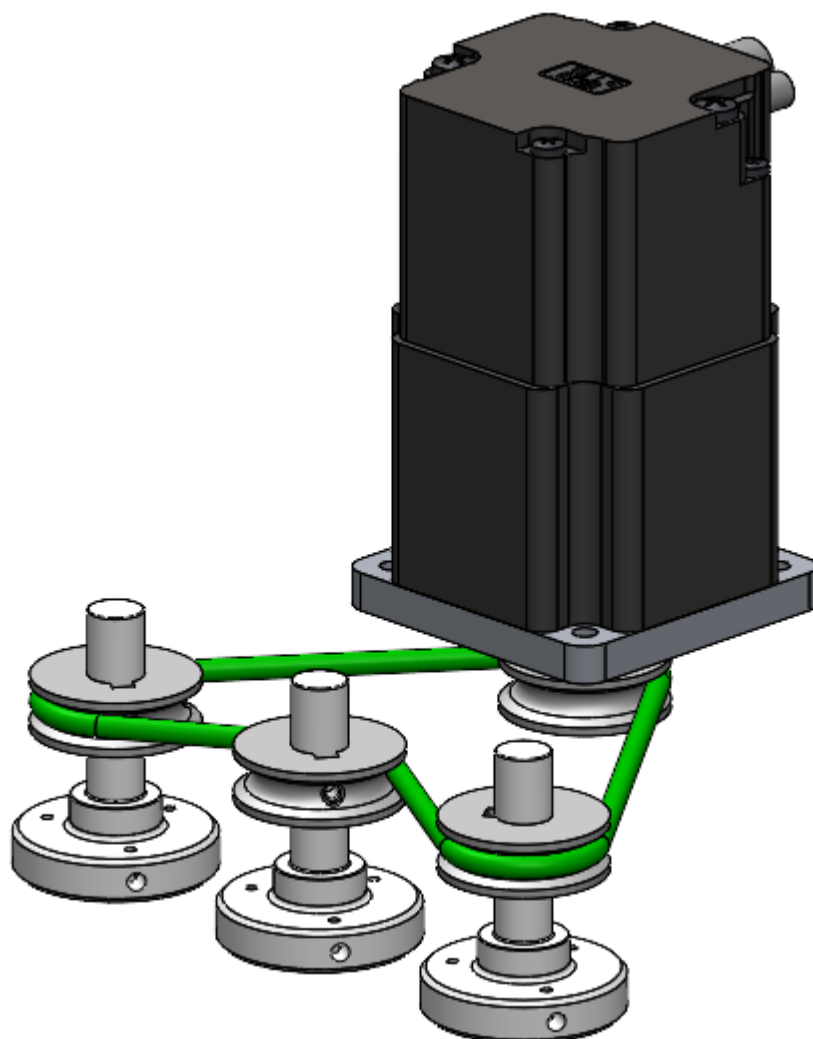


Joonis 29 Pöörlev rumm

Pöörata on vaja 3 substraati korraga. Kasutada oleks võimalik nii hammasülekannet, ketti, rihma või muud lahendust. Kogu pöörlemist takistav moment tuleneb rummu laagerduse veeretakistusest ning on üsna väike. Lihtne ja odav lahendus momendi üle kandmiseks on kasutada ümarrihma rummude ning mootori ühendamiseks.

Valitakse ostutootena kättesaadavad ümarrihmarattad Misumi veebipoest. Rihmaratta sisemine diameeter valitakse esialgu 10 mm. Rihmaratta välimine diameeter ei tohi ületada 50 mm, kuna substraatide tsentrite vahe fikstuuris ning seega ka rummude vahe on 50 mm.

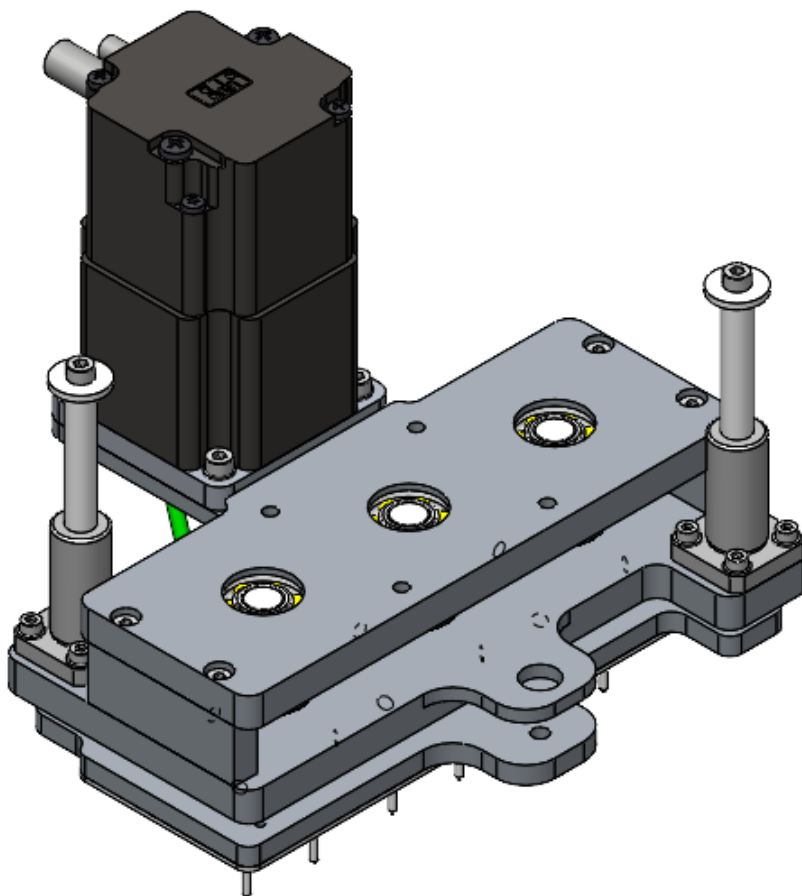
Rummude pööramiseks on sobilik nii servo- kui ka samm-mootor. Kuna puhverkonveier juba kasutab samm-mootorit, siis automaatikainseneride töö lihtsustamiseks ning erinevate detailide vähendamiseks otsustati kasutada sama toodet antud sõlmes. Mootori otsa kinnitub sama välisdiameetriga rihmaratas mis rummudele. Ümarrihma pingutamiseks ei ole lahendust eraldi mõeldud, tellitakse ümarrihm, mille pikkus on ligikaudu 5% lühem kui nominaalpikkus.



Joonis 30 Ülekandelahendus

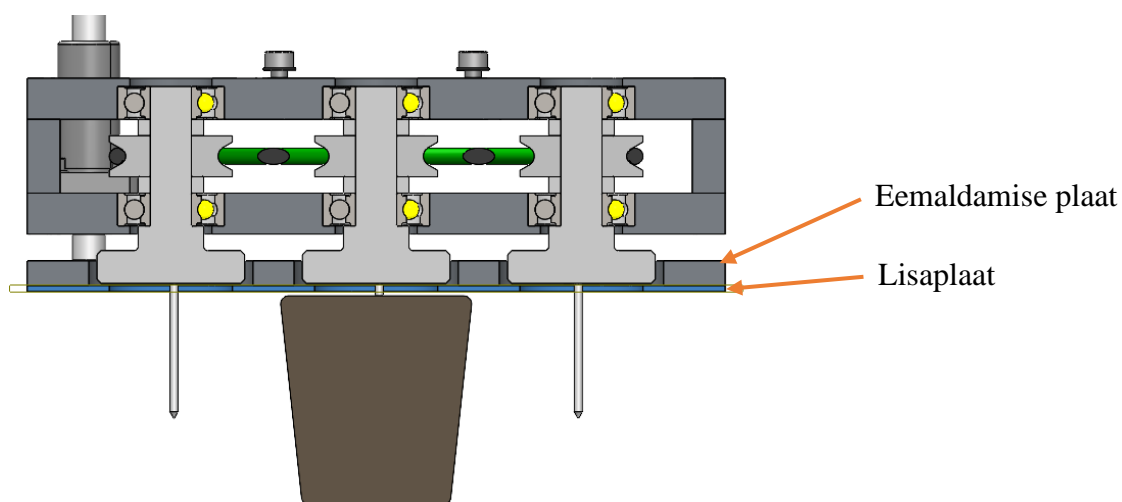
Keskmine rumm pöörleb antud lahenduses erinevas suunas kui äärmised rummud, kuid see ei ole kvaliteedikontrolli teostamise vaatest tähtis.

Rummule mõjuvad jõud on väikesed ning tulenevad peamiselt ümarrihma pingutusjõust. 10 mm sisemise diameetriga kuulaagritest on lahendusse sobivad näiteks 6000-2RS laagrid mõõduga 10x26x8. Rummude omavahelise kauguse hoidmiseks projekteeritakse kaks plaati kus on laagripesad. Ülemise plaadi külge lisatakse ka samm-mootori kinnitus. Alumise plaadi külge kinnituvad lineaarlaagrid, mis juhivad eemaldamise plaati. Substraadi eemalduse lahendus on sarnane nagu sissetõstmise haaratsil. Kahe plaadi vahelist distantsi hoiavad keermetatud distantsklotsid.



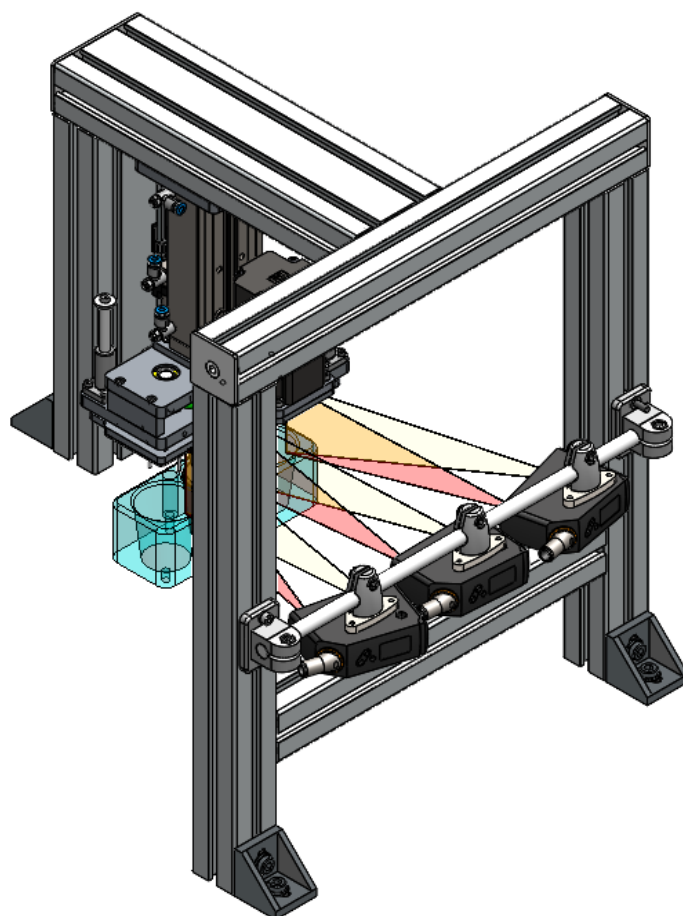
Joonis 31 Peajaama kvaliteedikontrolli sõlme osaline koost

Kuna eemaldamise plaat peab olema suurema diameetriga kui rummu suurim läbimõõt, siis tekib olukord, kus vähene pind substraadist puutub eemaldamise plaati. Rummu nõelu viiakse väiksema ringjoone peale ning lisatakse eemaldamise plaadi alla lehtmetailist plaat, mille avad on väiksemad kui rummu välisdiameeter (vt Joonis 32). Sellisel viisil puutub suurem pind substraati ning on väiksem oht substraadi vigastamiseks.



Joonis 32 Lihtsustatud läbilõige koostust

Adapterplaadi abil kinnitatakse koost sama silindri külge, mis on kasutusel sisse- ning väljatõstmise haaratsitel. Alumiiniumprofillist disainitakse raam, kuhu kinnituvad profiiliandurid. Andurid kinnituvad tootja standardkinnituste abil 12 mm teljele (vt Joonis 33).



Joonis 33 Kvaliteedikontrolli sõlme täielik koost

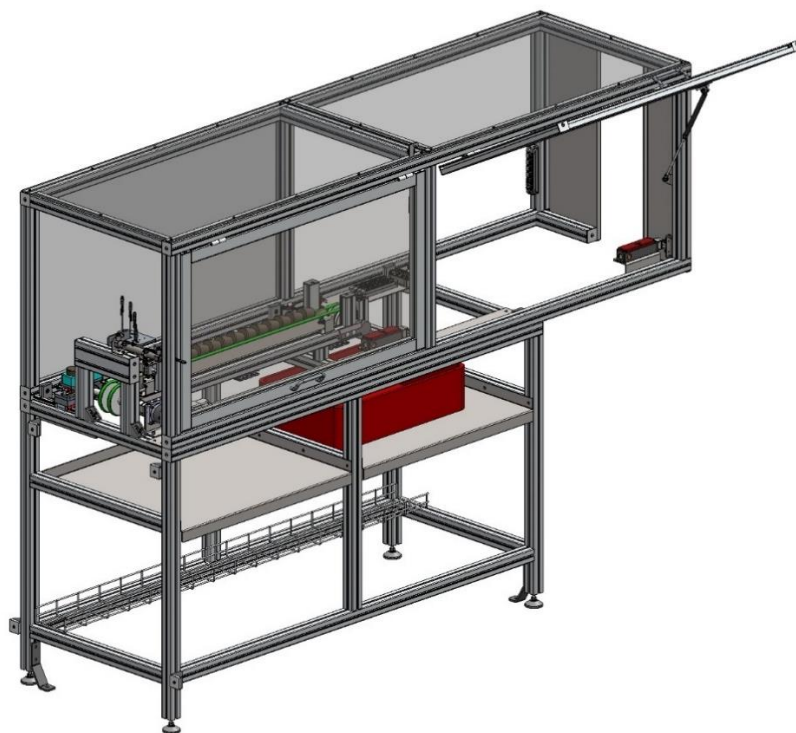
Kogu koost kinnitub masina kasutades Minitec 45 GD kinnitusnurki.

Peajaama kvaliteedikontroll sõlme puhul teostatakse kvaliteedikontroll tõstes substraadid fikstuurist pneumaatiliselt välja ning samm-mootoriga ümarrihmülekande abil toodet pöörates. Optilised profiilandurid teostavad mõõtmised mitmelt küljelt ning tehakse otsus, kas toode on kvaliteetne või praak. Antud sõlme lahendus osutus väga töökindlaks ning tsükliäeg ligikaudu 3 sekundit oli oluliselt lühem ülejäänud sõlmedest.

2.7 Ettesöötmise jaama raam

Viimase etapina projekteeriti ettesöötmise jaamale ühtne raam koos uste ja katetega. Kuna jaama sees liigutatakse pneumaatiliselt teravaid nõelasiid, siis on vajalik vältida olukorda, kus operaator saab ohtlikele operatsioonidele töötamise ajal ligi. Jaama teenindamiseks lisatakse ühele küljele kaks ülesse avanevat ust, mis jaama töötamise ajal on turvalukkudega lukustatud. Uksi hoiavad lahtises asendis gaasivedrud. Uste vabastamiseks peab alla surutud olema hädastopp nupp. Eraldi hooldusrežiimi ettesöötmise jaamale ei programmeeritud ning uste avatud asendis ei ole sõlmede liigutamine võimalik.

Konveieri alla lisatakse lehtmetailist sahtel, kuhu on võimalik panna plastikkast praaksubstraatide kogumiseks. Raam projekteeritakse kasutades Minitec alumiiniumprofiile (vt Joonis 34).



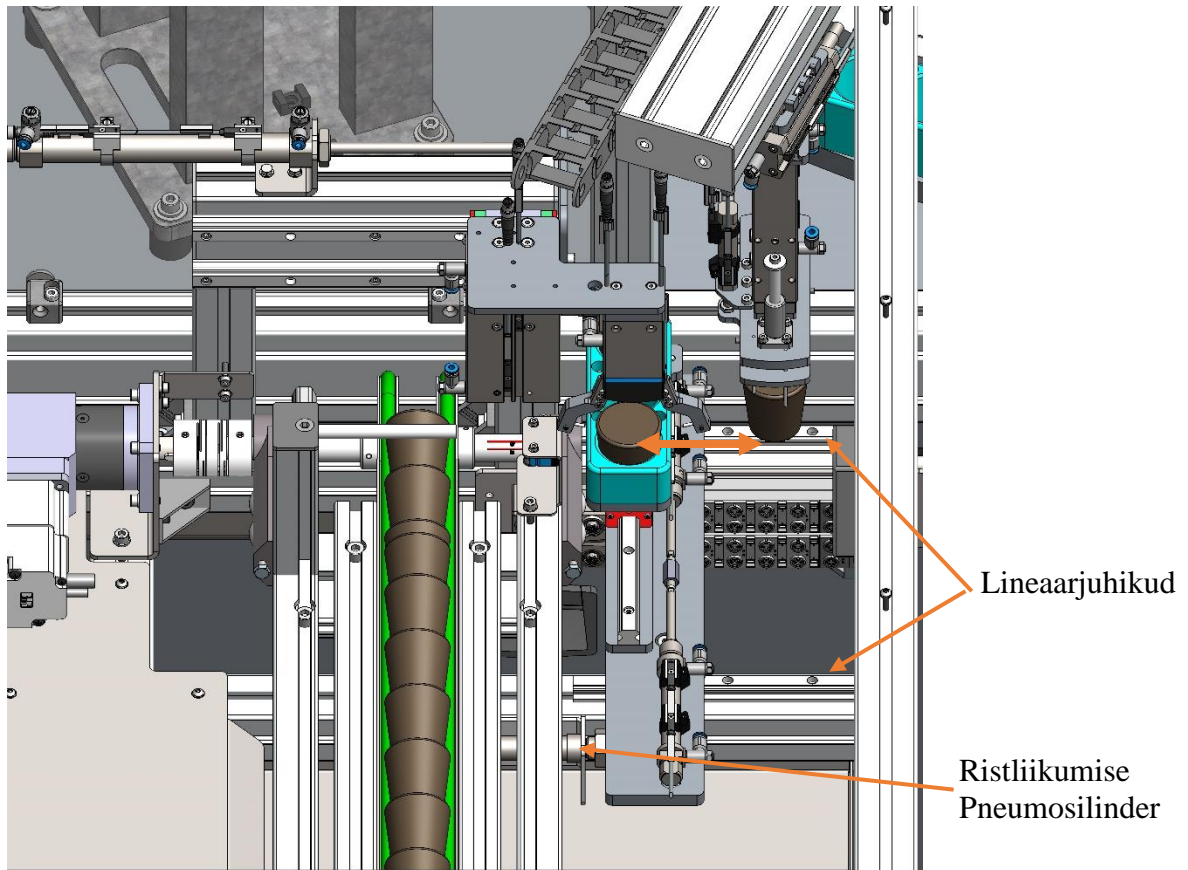
Joonis 34 Ettesöötmise jaama raam

Raami ülemine osa on pealtpoolt kaetud 4 mm läbipaistva polükarbonaat lehega. Läbipaistvad katted võimaldavad kiiremini tuvastada ummistusi ning tõrkeid jaama töös.

2.8 Ettesöötmise jaama tsükliaja parendused

Pikema katsetamise käigus selgus, et ettesöötmise jaama tsükliage (3 toote tootmiseks) oli ligikaudu 8 sekundit, mis ei olnud piisav ning ettesöötmine jaam oli võrreldes peajaamaga aeglasem. Hakati otsima võimalusi, et kuidas kiirendada ettesöötmise jaama tsükliage. Peamiseks pudelikaelaks osutus substraatide püsti orienteerimine ning sellele järgnev haaratsiga kolme kaupa peajaama tõstmine. Sissetõstmise haarats oli peajaamas ootel kuni vahefikstuur oli substraatidega täitunud ning püsti orienteeriv haarats koduasendis ning seejärel alles algas peajaama haaratsi tsükkel. Tsükliaja vähendamiseks tuli võimaldada mõlema haaratsi töötamine korraga. Otsustati nihutada kogu ettesöötmise jaama, et haaratsid mahuksid kõrvuti töötama ning vahefikstuur teha pneumaatiliselt küljele liikuvaks. Kui vahefikstuur on substraatidega täitunud, liigutatakse vahefikstuur kõrvale ning ettesöötmise haarats tõstab pooltooted peajaama.

CAD mudelist mõõdetud liikumise minimaalne käik on 100 mm. Sellisel juhul ei puutu üheski asendis kokku püsti orienteerimise ning ettesöötmise haaratsid. Vahefikstuur koos alusplaadiga kinnitatakse lineaarrelssidele ning projekteeritakse lehtmetailist pneumaatilise silindri kinnitused (vt Joonis 35). Projekteerimise käigus valiti klapiterminalis suunaventiilide arv varuga, seega vaba suunaventiil antud silindri juhtimiseks oli olemas. Konveieri ülemise raami nurgaprofiili nihutatakse ning polükarbonaadist paneel lõigatakse väiksemaks.



Joonis 35 Ettesöötmise jaama muudatus

Pärast antud muudatuse teostamist ning tarkvara muutmist oli masina tsükli-aeg ligikaudu 6 sekundit. Antud tsükliaja veelgi kiiremaks muutmine oleks vajanud rohkem muudatusi, kuna vibropunker ja sellele järgnev orienteerimise süsteem töötas sama kiirusega ning pudelikael oleks liikunud järgmisesse sõlme. Ka peajaama sees olevad sõlmed ei teostanud operatsioone kiiremini, seega töö eesmärk teostada piisava kiirusega substraate ette sööta on täidetud.

KOKKUVÕTE

Antud lõputöös leiti lahendused substraatide ettesöötmise ning kvaliteedikontrolli teostamiseks.

Kontseptuaalses faasis püstitati tsükliaja eesmärgiks ühe substraadi ettesöötmine kahe sekundi jooksul. Koostöös teiste inseneridega pandi paika ettesöötmise protsessi sammud.

Substraatide orienteerimise lahenduseks pakuti välja vibropunkriga söötmist. Lahenduse katsetamine oli paljulubav ning tsükliaja eesmärgi täitmine oli võimalik. Vibropunkri lahendus võimaldas substraate ükshaaval ette sööta, kuid orienteerituna kahes asendis. Vajalik oli ka lisasüsteem substraatide ühtepidi pööramiseks. Lõplik vibropunker koos järgneva substraate orienteeriva süsteemiga telliti väljastpoolt.

Kvaliteedikontrolli teostamiseks katsetati algselt masinnägemise kaamerat. Selgus, et antud viisil ei ole võimalik praakmaterjale tuvastada. Lõplikuks lahenduseks kasutati profiiliandureid, mis võrdlevad substraadi küljeprofiili õpetatud profiiliga. Loodi substraatide pööramise prototüüp, mis tsükliaja liigse pikkuse tõttu lõplikus lahenduses kasutust ei leidnud.

Substraatide puhverdamiseks projekteeriti ümarrihm konveier. Konveieri ajamiseks valiti samm-mootor. Konveieri algusesse lisati 4 profiiliandurit, mis teostavad küljeprofiili mõõtmised praagi eraldamise tarbeks. Puhverkonveieri keskel eemaldatakse praaksubstraadid konveierilt. Substraatide olemasolu erinevates konveieri tähtsamates punktides kontrollitakse optiliste anduritega.

Kuna puhverkonveieril liiguvad substraadid külili orienteerituna ning tootmiseadmele tuleb ette sööta substraate püstasendis, oli vajalik puhverkonveieri lõpus substraatide püstasendisse orienteerimise lahendus. Projekteeriti lahendus, kus substraadid orienteeritakse püstasendisse ning asetatakse vahefikstuuri. Lahendus hõlmas ka vahefikstuuri kolme positsiooni liigutamise lahenduse leidmist.

Vahefikstuurist tootmiseadmesse tõstmise haaratsi puhul projekteeriti lahendus, kus substraate tõstetakse kasutades 2 mm läbimõõduga nõelu. Pneumaatilise silindri külge kinnitub plaat, mille külge kinnituvad nõelad. Silinder surub nõelad substraadi sisse ning tõstab substraadid pesast välja. Horisontaalse pneumaatilise telje abil liigub haarats tootmiseadmesse ning pneumaatiliselt liigutatav maha tõukamise plaat eemaldab substraadid haaratsi küljest. Hilisemalt lisati haaratsile ka pöörsilinder võimaldamaks ettesöötmise ja pakkimise jaamade paralleelseks pöörämist optimaalsemaks ruumi kasutuseks.

Tootmiseadmest pakkimisse tõstmise haaratsiga oli vaja kolme kaupa täita 6 x 9 kast. Projekteeriti lahendus, kus pikiliikumist teostas servoajamiga telg ning ristiliikumist

pneumaatiline telg. Haarats koos pöördsilindriga võeti kasutusele sama, mis tootmisseadmesse tõstmise lahenduse puhul.

Tootmisprotsessist tulenevalt võib operatsioonide käigus substraat puruneda. Peajaama sisse projekteeriti täiendav sõlm, kus pneumaatiliselt tõstetakse pesast välja 3 substraati. Substraate pööratakse kasutades ümarrihmülekannet samm-mootori ning rummude vahel. Iga substraadi mõõtmist teostab sama profiiliandur, mis ettesöötmise jaamas. Praagid substraadid eemaldatakse pakkimisse tõstmisel.

Kogu ettesöötmise jaamale projekteeriti alumiiniumprofiilist raam ning kaeti ohutuse tagamiseks polükarbonaadist katetega. Ligipääsetavale küljele lisati kaks ülesse käivat ust, millel on turvalukud, mis võimaldavad uksi avada ainult masina seismise ajal.

Katsetamise käigus selgus, et peajaama tsükliäeg on ligikaudu 8 sekundit ning pudelikaelaks osutus ettesöötisel püsti orienteerimine ning sellele järgnev tootmisseadmesse tõstmise haarats. Haaratsid ei saanud paralleelselt töötada ning see pikendas tsükliäega. Ettesöötmise jaama nihutati 100 mm ning lisaks projekteeriti vahefikstuurile võimalus pneumaatiliseks ristliikumiseks. Antud lahendus vähendas tsükliäega ligikaudu 6 sekundini ning püstitatud eesmärgile vastavaks.

SUMMARY

The aim of this master thesis was to design substrate feeding and quality control solutions. In the concept phase the cycle time requirement of 2 seconds per substrate was defined. In cooperation with other engineers working on the project, the steps of the feeding process were described.

As a solution for orienting the substrates, feeding with vibratory bowl was tested. The solution was promising and the cycle time requirement could be met. The vibratory bowl allowed the substrates to be fed one by one but oriented in two positions, additional system for rotating the substrates was required. The final vibratory bowl feeder system was ordered from an external partner.

To perform the quality control, a machine vision camera was initially tested. In conclusion it was not possible to identify NOK products in this manner. The final solution used optical profile sensors to compare the side profile of the substrate to the OK products' side profile. A prototype of substrate rotator was designed and manufactured, the assembly was not used in the final solution due to not meeting the cycle time requirement.

In order to buffer the substrates, a round belt conveyor was designed. A stepper motor was chosen as a drive for the conveyor. The 4 optical profile sensors were moved to the beginning of the conveyor to perform in-line quality control. The NOK substrates are removed in the middle of the conveyor. Optical through beam sensors were added to the conveyor in order to check the presence of substrates at various key locations.

As substrates are oriented sideways on buffer conveyor and main production cell requires the product to be oriented upright, the reorientation of substrates needed to be carried out at the end of the buffer conveyor. A solution was designed in which the substrates are oriented into upright position and placed into an intermediate fixture. The solution also involved finding a solution for moving the intermediate fixture into three positions pneumatically.

The gripper lifting substrates from the intermediate fixture to the main cell used 2 mm needles. The needles are attached to a plate that is mounted to the pneumatic cylinder. The cylinder pushes the needles into substrate and lifts the substrates out of the fixture. The horizontal pneumatic axis moves the substrates to the correct location inside the main cell and removing plate pushes the products into main cell fixture. Additional

rotary pneumatical actuator was added to the grippers in order to reduce the whole production line footprint.

Due to the clients' production process, a 6 x 9 box needed to be filled with substrates, with 3 substrates moved each cycle. A solution was designed in which the longitudinal movement was performed by a servo-driven axis and the transverse movement by a pneumatic axis.

During the manufacturing process, the substrate may break. An additional quality control assembly was designed to the main station, where 3 substrates are pneumatically lifted out of the fixture. Then the substrates are rotated using a round belt between the stepper motor and the hubs. The measurement of each substrate is performed by the same profile sensor as in the feeding station. Scrap substrates are removed with the outfeed gripper.

An aluminium profile frame was designed for the entire feeding station and was covered with polycarbonate sheets for safety. Two hinged doors with safety locks were added to the accessible side, the doors can only be opened when the machine is not working.

During the testing, it was found that the cycle time of the whole production line was about 8 seconds. The bottleneck turned out to be the orienting of the substrate to the upright position and the subsequent substrate lifting to the production plant. The grippers could not work simultaneously, which extended the cycle time. The feed station was moved 100 mm and the capability of pneumatic transverse movement was added for the intermediate fixture. This reduced the cycle time to about 6 seconds and cycle time target was met.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] IFM, „OPD100 - profile sensor- ifm,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.ifm.com/de/en/product/OPD100>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [2] B. I. A. GmbH, „80MPF1.250S114-01,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.br-automation.com/en/products/80mpf1250s114-01/>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [3] B. I. A. GmbH, „Stepper motors user's manual,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://download.br-automation.com/BRP4440000000000000441968/Schrittmotoren_Anwenderhandbuch_2.0_en.pdf?px-hash=33677c27565f70d5d94ed0a98a540298&px-time=1652433995. [Kasutatud 13 05 2022].
- [4] F. Inc, „Angle gripper DHWS-25-A,“ 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/1310180/?q=dhws%2025~:sortByFacetValues-asc>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [5] F. Inc, „Guided drives DMF/DFM-B,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/media/pim/979/D15000100121979.PDF>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [6] F. Inc, „Guided drive DFM-16- -B,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/529120/?q=529120~:festoSortOrderScored&identCode1=dfm-16-60>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [7] F. Inc, „Round cylinder DSNU-S-12-30-P-A,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/ee/en/a/5211900/?q=dsnu-s-12-30~:festoSortOrderScored>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [8] F. Inc, „Semi-rotary drives DRRD, twin pistons,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/media/pim/126/D15000100122126.PDF>. [Kasutatud 13 05 2022].
- [9] F. Inc, „Linear drive DGC,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: https://www.festo.com/ee/en/p/linear-drive-id_DGC/?q=dgc~:festoSortOrderScored. [Kasutatud 13 05 2022].
- [10] F. Inc, „Toothed belt axes EGC-TB-KF,“ 05 2022. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.festo.com/media/pim/199/D15000100122199.PDF>. [Kasutatud 13 05 2022].