



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
INSENERITEADUSKOND  
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

## **ETTEVÖTTE TOOTMISE KAASAJASTAMINE „VAAKUMVOOLIK“ TOOTE NÄITEL**

### **MODERNIZATION OF THE COMPANY'S PRODUCTION USING THE EXAMPLE OF „VACUUM TUBE“ PRODUCT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Eedi Jäger  
/nimi/

Üliõpilaskood 221758MATM

Juhendaja: Toivo Tähemaa, kaasprofessor  
/nimi, amet/

(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 tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina Eedi Jäger (*autori nimi*)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Ettevõtte tootmise kaasajastamine „vaakumvoolik“ toote näitel,  
(*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)

---

<sup>1</sup> 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 Instituudi nimetus  
**LÕPUTÖÖ ÜLESANNE**

**Üliõpilane:** Eedi Jäger, 221758MATM (nimi, üliõpilaskood)  
Õppekava, peeriala: MATM, Tootearendus ja tootmistehnika (kood ja nimetus)  
**Juhendaja(d):** Kaasprofessor, Toivo Tähemaa, +372 5091918 (amet, nimi, telefon)

**Lõputöö teema:**  
(eesti keeles) Ettevõtte tootmise kaasajastamine „vaakumvoolik“ toote näitel  
(inglise keeles) Modernization of the company's production using the example of „vacuum tube“ product

- Lõputöö põhieesmärgid:**
1. Tootmise efektiivsuse kasvatamine
  2. Materjalide liikumise vähendamine
  3. Tööjõu kulu vähendamine

**Lõputöö etapid ja ajakava:**

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Tootmise eelanalüüs	22.02.2024
2.	Parendustegevuste elluviimine	26.04.2024
3.	Parendustegevuste hindamine	09.05.2024

**Töö keel:** Eesti      **Lõputöö esitamise tähtaeg:** "20"mai 2024a

**Üliõpilane:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

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

**Programmijuht:** ..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

# SISUKORD

EESSÕNA .....	7
1. SISSEJUHATUS .....	8
2. ETTEVÕTTE RAUMEDIC ESTONIA AS TUTVUSTUS .....	10
3. TOOTE VAAKUMVOOLIK TUTVUSTUS .....	11
4. EELANALÜÜS .....	14
4.1 Liini paigutus .....	14
4.2 Esimene tööjaam, lilla vooliku ühendamine liidesega .....	15
4.3 Teine tööjaam, valge vooliku ühendamine liidesega .....	17
4.4 Kolmas tööjaam, filtrite ühendamine eelneva poolkoostuga .....	18
4.5 Neljas tööjaam, voolikute ühendamine eelneva poolkoostuga ..	20
4.6 Viies tööjaam, voolikute rulli kerimine .....	22
4.7 Kuues tööjaam, toodete ioniseerimine .....	25
4.8 Seitsmes tööjaam, pakkimine .....	26
5. PARENDUSTEGEVUSED .....	28
5.1 Liini paigutus .....	28
5.2 Vooliku lõikamine .....	29
5.3 Esimene ja teine tööjaam .....	32
5.4 Viies tööjaam .....	35
5.4.1 Täisautomaatne lahendus .....	35
5.4.2 Manuaalne lahendus .....	36
5.5 Seitsmes tööjaam .....	41
6. PARENDUSTEGEVUSTE HINDAMINE JA POTENSIAALSED PARENDUSED TULEVIKUKS .....	45
6.1 Vooliku lõikus ning liini paiknemine .....	45
6.2 Esimene ja teine tööjaam .....	45
6.3 Viies tööjaam .....	46
6.4 Seitsmes tööjaam .....	47
KOKKUVÕTE .....	48
SUMMARY .....	49
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU .....	50

LISAD .....	51
Lisa 1 Pakkelaua koostujoonis .....	51
Lisa 2 Pakkealuse detailijoonis.....	52
Lisa 3 Suunaja 1 detailijoonis.....	53
Lisa 4 Suunaja 2 detailijoonis.....	54
Lisa 5 Piiraja detailijoonis .....	55

## **EESSÕNA**

Töö on koostatud Raumedic Estonia AS koostamisliini arendusest, kuhu asusin tööle 2024 aasta algul. Tulles ettevõttest, kus väga suur protsent tootmisest on osaliselt või täielikult automatiseeritud siis oli suur keskkonna vahetus, tulla ettevõttesse, kus on kogu tootmine manuaalne ning LEAN tootmise põhimõtteid ei ole rakendatud. Sai endale eesmärgiks seatud varasemat kogemustepagasit ära kasutada ning muuta tootmine efektiivsemaks, võimalusel automaatsemaks ning rakendada LEAN põhimõtteid.

Soovin tänada Raumedic Estonia-t, kes lubas mul selle projekti lõputööks vormistada ning oma kolleege, kes projekti teostamisel abiks olid. Lisaks soovin tänada masinaehituse ettevõtteid Smitech OÜ ja Optimo Robotics OÜ, kes lubasid mul lõputöös kasutada enda andmeid.

# 1. SISSEJUHATUS

Tootmise optimeerimine on olnud oluline juba aastakümneid. Kõigile teadatuntud LEAN printsiibid on üldist tootmise taset tõstnud meeletult. Eesmärgiks on minimeerida aega, mis kulub mitte tulu toovatele tegevustele (nt. seadistused, materjalide liikumine, pausid jne). Antud tegevused on aidanud kümneid-, kui mitte sadu tuhandeid või miljoneid ettevõtteid üle maailma, et tagada efektiivne tootmine.

LEAN põhimõtete järgi on teostatud ka järgnev töö, et kaotada üleliigsed tegevused ning inimesed, kes või mis ei loo tootmisele lisandväärtust.

Üldises plaanis on operaator ülimalt kallis ja ebastabiilne ressurss, keda mõjutavad emotsioonid. Ühel päeval on töötuhin nii suur, et teeb kogu tootmisele silmad ette ning kogused on sellised, mida pole varem nähtud. Järgmisel päeval on tuju halb ja tootlikus poole väiksem. Tootmisettevõtte jaoks on selline variatsioon ja ebastabiilsus vastuvõetamatu, kuna üldjuhul on kindlad tähtajad, millal kaup tuleb kliendile lähetada.

Sellest tulenevalt on tänapäeva tootmises palju automatiseerimist ja muid abivahendeid operaatorile, et ainult temast ei sõltuks toodetav kogus. Lisaks on automatiseerimise hinnad juba üpris mõistlikud, mis teeb selle tasuvuse piisavalt kiireks, et sinna on mõistlik investeerida. Kui automatiseerimine ei ole mõistlik (nt. tootmiskogused ei ole piisavalt suured, et see ära tasuks) siis on võimalik kasutada poolautomaatseid lahendeid, mis operaatorit aitaks tema töös.

Antud töös võetakse pulkadeks lahti üks täielikult manuaalne tootmisliin, milles igat operatsiooni teeb erinev operaator ilma eriliste abivahendite või rakisteta. Erinevaid operatsioone (tööjaamu) on kokku 11 (2-4 jaam on topelt) ning kokku töötab liinil 8 operaatorit.

Töö eesmärgiks on tuua sisse tänapäevaseid lahendusi, et vähendada operaatorite arvu ja samal ajal tõsta tootlikkust ja kvaliteeti.

Antakse ülevaade ettevõttest, tootest ning tootmisprotsessist, mida hakatakse parendama.

Teostatakse eelanalüüs praegusest liinist, tootmiskogustest, operaatorite ja seadmete arvust, toote liikumistest ja liini paiknemisest. Pannakse paika eesmärk, mis tulemuseni tahetakse jõuda.



Alustades esimesest ja lõpetades viimase jaamaga optimeeritakse igat tööjaama ning võimalusel ühendatakse mõned tööjaamad üheks. Kui jaama ei ole mõttekas optimeerida siis proovitakse leida lahendus operaatori ergonoomika parandamiseks.

Luuakse rakiseid või muid lahendusi operaatoritele, et parandada toote kvaliteeti ning lihtsustada ja kiirendada operaatori tööprotsessi.

Peale parenduste elluviimist tulemuste mõõtmine ning võrdlemine algse infoga. Analüüs projekti õnnestumisest ning uute potentsiaalsete parenduste ülevaade.

## **2. ETTEVÖTTE RAUMEDIC ESTONIA AS TUTVUSTUS**

Raumedic Estonia AS (endine A&G AS) on peamiselt meditsiiniliste toodete manuaalse koostamisega tegelev ettevõtte. Suurem osa tootmisest toimub puhasruumi tingimustes. Toodetakse näiteks spiromeetria voolikuid, vee eraldajaid ning erinevaid vooliku ja liitmike kooste. Vähesel määral tegeletakse ka voolikute ekstrusiooniga. [1]

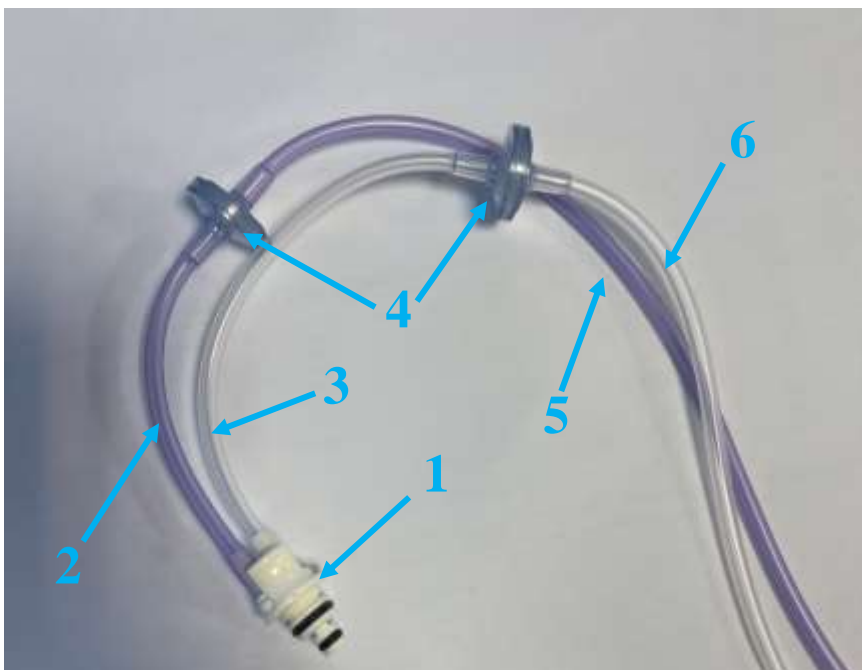
Ettevõttes töötab ~80 inimest, millest kontoritöötajaid on ~15% ning ülejäänud on tootmispersonal ja tootmist toetav personal.

A&G asutati aastal 1991 ning algusest peale on tegeletud peamiselt meditsiiniliste komponentide tootmise ja koostamisega. Aastal 2021 osteti ettevõtte Raumedic korporatsiooni poolt ning peale seda kannab ettevõtte nime Raumedic Estonia AS.

Raumedic grupp kuulub omakorda REHAU gruppi, mis on sakslaste loodud pere-ettevõtte aastal 1948. Kuigi see on sakslaste loodud ettevõtte, asub selle peakontor Šveitsis. Eraldi Raumedic brändi haru loodi aastal 1971, mis on spetsialiseerunud ainult meditsiini tehnoloogiale. [2,3]

### 3. TOOTE VAAKUMVOOLIK TUTVUSTUS

Tooteks on voolikute, liitmiku ja filtrite koost. Toodet kasutatakse operatsioonide ajal silmade niisutamiseks. Tegemist ei ole lõppkoostuga. Peale Raumedic Estonia tehases koostamist läheb toode edasi lõppkoostamisse, kus lisatakse viimased komponendid. Põhjus, miks ei saa Raumedic Estonia lõppkoostamist teha on see, et antud toote lõppkoostamine nõuab väga rangeid puhasruumi tingimusi, mida siin ei ole.



Sele 3.1 Vaakumvooliku tutvustus

Vasakult esimene komponent on liides (1). Selle külge ühendatakse lühike lilla voolik (2) ning seejärel lühike valge voolik (3). Peale seda ühendatakse mõlema vooliku külge filtrid (4). Filtrite külge liidetakse omakorda pikk lilla voolik (5) ning pikk valge voolik (6).

Kõige kriitilisem punkt tootel on liidese ja voolikute ühendus. Õige voolik peab olema õige liidese ava küljes, liides ei ole täielikult sümmeetriline. Lisaks peavad liidesel olema kaks O-rõngast paigaldatud õigesse asendisse (O-rõngad paigaldatakse enne Raumedicu tootmist). Liidesel ei tohi olla vigastusi ega kraate ning puhasruumi tõttu peavad detailid olema ideaalselt puhtad.

Järgmine oluline punkt on filtrite paigaldus. Filtrid peavad olema paigaldatud õige orientatsiooniga liidese suhtes. Kuna filtrite funktsioon toimib ainult ühte pidi, on nende orientatsioon väga oluline.

Lisaks on olulised aspektid vooliku pikkused, mis peavad olema joonise järgi. Lõikekoht voolikul peab olema ideaalne. St, et puuduvad kraadid, vigastused ning lõige on ideaalselt sirge.

Toote pakkimine toimub kahes osas. Kõigepealt keritakse toode rulli ning selle ümber pannakse kileriba, mis hoiab toodet õiges asendis. Rulli keeramine käib väga spetsiifilise tehnikaga ning kõik komponendid peavad asetsema täpselt õiges kohas. Voolikute pikkus, mis on rullist väljas on täpselt kindlaks määratud. Kõik see on oluline selleks, et saaks teha viimase pakkimise õigesti.



Sele 3.2 Keritud vaakumvoolik

Viimane pakkimine tehakse topelt kilekotti. Ühte kotti läheb 50 toodet. Tooted paigutatakse kotti väga tihedalt ning nende asend on oluline. Tooted on kolmes reas, esimesse ritta paigutatakse 16 toodet, vabad vooliku otsad sissepoole. Teise ja kolmandasse ritta paigutatakse 17 toodet, vooliku vabad otsad üksteisega vastamisi.

Kott keevitatakse kinni ning koti peale pannakse etikett. Sama kott pannakse teise kotti ning ka see kott keevitatakse kinni ning sildistatakse. Topeltkoti süsteemi kasutatakse seetõttu, et see läheb edasi järgmisesse puhasruumi. Kõik tooted, mis liiguvad puhasruumi on topelt kottides. Seda sellepärast, et enne puhasruumi liikumist eemaldataks lüüsis väline kott, mis on must. Puhasruumi sisse liigub toode sisemise kotiga, mis on puhas.

Puhasruum ise on ruum, kus kõik tähtsamad näidud on kontrollitud ning need peavad olema teatud piirides (nt. temperatuur, õhuniiskus, osakeste suurus ja arv õhus). Seda hoitakse kontrolli all ventilatsioonisüsteemiga, mis hoiab pidevalt õhku ringluses. Laest tuleb värsket õhku peale ning maast tõmmatakse õhk välja. See tagab pideva õhu

ringluse ning tolme ega mustus ei lendle õhus, vaid halvimal juhul vajub pinnale või maha. Sissetulev õhk käib läbi spetsiaalsetest filtritest, et see oleks eriti puhas. Ruumis saab käia ainult kombinesiooni, mütsi, maski, ning spetsiaalsete kinnaste ja jalanõudega. Seinud ja põrandaid pestakse mitu korda päevas. Tööpindu puhastatakse isegi kümneid kordi päevas desinfitseeriva ainega. Ruumis sees on pidev ülerõhk, mis takistab välisel mustusel uste vms kaudu ruumi sisenemise. Ruumist välja saab ainult läbi topelt uste, mis on automaatselt reguleeritud nii, et nendest saaks korraga avada ainult ühe. See tagab, et mingil juhul ei tekiks puhasruumi ja välise ala vahel õhuliikumist ning välise mustuse sattumine ruumi oleks minimaalne.[4]



Sele 3.3 Vaakumvoolikud pakkealusel



Sele 3.4 Pakitud vaakumvoolikud

Järgnevas peatükis hakkame analüüsima hetkel kasutuses olevaid tootmise protsesse ja töövõtteid.

## 4. EELANALÜÜS

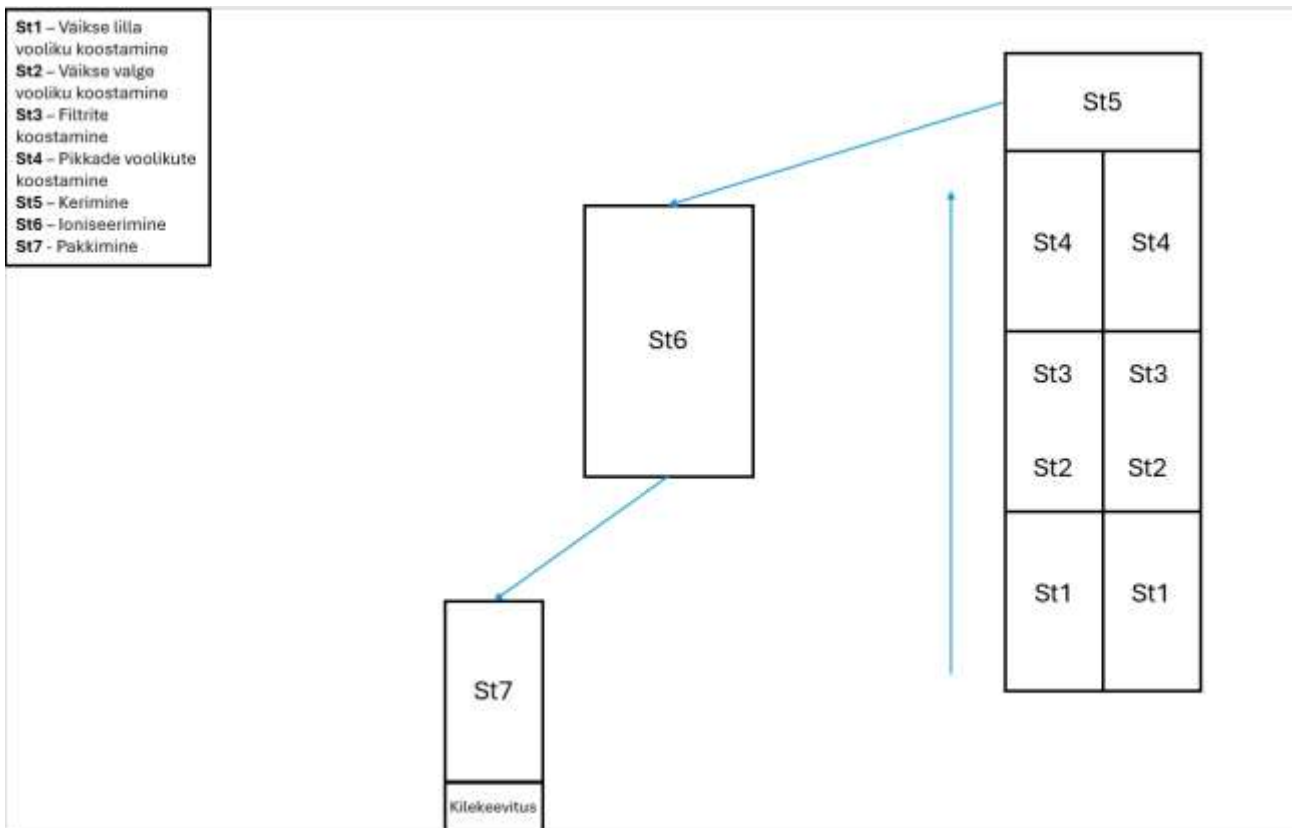
Selleks, et hiljem tulemusi võrrelda ning määrata projekti edukust, tuleb kõigepealt fikseerida praegune olukord. Eelanalüüsis on välja toodud iga operatsiooni tsükliäeg, operaatorite murekohad, võimalikud kvaliteediriskid, ergonoomika vead ning potentsiaalsed protsesside parenduskohad, mida oleks vaja või mõistlik teha. Eelanalüüsi tehes suheldi operaatorite, tootmisjuhi ja mehaanikutega, et kaardistada peamised probleemsed kohad ning pudelikaelad.

Protsessis on tööjaamu, mida ei suuda üks inimene teha terve vahetuse korraga, sest protsess on ebaergonoomiline. Seetõttu roteeruvad töötajad üpris tihti. Teevad 50 tk kindlas tööjaamas ning seejärel vahetavad positsiooni. See vähendab efektiivsust, kuna töökohtade vahetus võtab ära väärtuslikku aega. Samas töö spetsiifikast tulenevalt ei ole võimalik seda rotatsiooni muuta ilma töötajale ebamugavusi tekitamata.

Vahetuse jooksul toodab 8 inimest 2000 toodet. Kui me arvestame, et reaalselt tootmisaega vahetuses on 7.5 tundi siis saame toote keskmiseks tsükliajaks vahetuse peale 13.5 sekundit. Nagu järgnevatel alapeatükkides selgub siis mõned jaamad on aeglasemad kui keskmine, kuid enamus tööjaamu on topelt, mis kompenseerib selle.

### 4.1 Liini paigutus

Hetkel on liini paigutuses kasutusel kokku 8 lauda suurusega 1700 mm \* 700 mm. Peale kerimist liiguvad tooted ratastel alustega ioniseerimise masina juurde ning peale ioniseerimist liiguvad samadel ratastega alustel pakkimise alasse. Materjali liikumise mõistes ei ole see eriti hea liikumisega, kuid ioniseerijaid on ainult üks ning seda kasutavad kõik tooted. St, et liini ei saa paigutada otse ioniseerija ette ja taha, sest see takistaks teiste toodete liikumist. Küll aga on laudadel omajagu ruumi üle, mis tähendab, et potentsiaalselt on võimalik mõne muudatusega laudade arvu vähendada. Kuna liin asub puhasruumi keskkonnas siis selle tootmispinna ruutmeetri hind on kõvasti kallim kui tavalisel tootmispinnal. Sellega seoses on iga meeter arvel ning tootmine peaks olema nii kompaktne kui võimalik.



Sele 4.1.1 Liini paigutus enne uuendusi

Edasistes peatükkides tehakse juttu sellest, mis igas jaamas täpsemalt toimub.

## 4.2 Esimene tööjaam, lilla vooliku ühendamine liidesega

Hetkel koostatakse esimeses tööjaamas liidese külge lühike lilla voolik.

Protsessi sammud:

1. Operaator paneb liidese rakisesse.
2. Operaator võtab kastist lilla vooliku ja paneb selle venituspingi käppade vahele.
3. Toimub vooliku otsa venitamine
4. Operaator paigaldab vooliku liidese külge
5. Toode liigub edasi järgmisesse jaama

Mõõdetud tsükli aeg antud protsessil on keskmiselt 7.5 sekundit. See on liini üks kiiremaid operatsioone.

Rakis, mida töökohal kasutatakse on suhteliselt algeline ning ebaergonoomiline. See ei ole statsionaarne, vaid käes hoitav rakis. Tänu sellele, et rakis ei ole statsionaarne, tuleb operaatoril ka ühe töö osana rakist ennast kinni hoida koos tootega, mis pikendab tsükli aega ning on operaatorile ebamugav. Rakise tööpõhimõtteks on, et liidest saab sinna paigaldada ainult õiget pidi ning rakis katab ära vale liidese otsa, et operaator ei saaks sinna kogemata valet voolikut paigaldada.

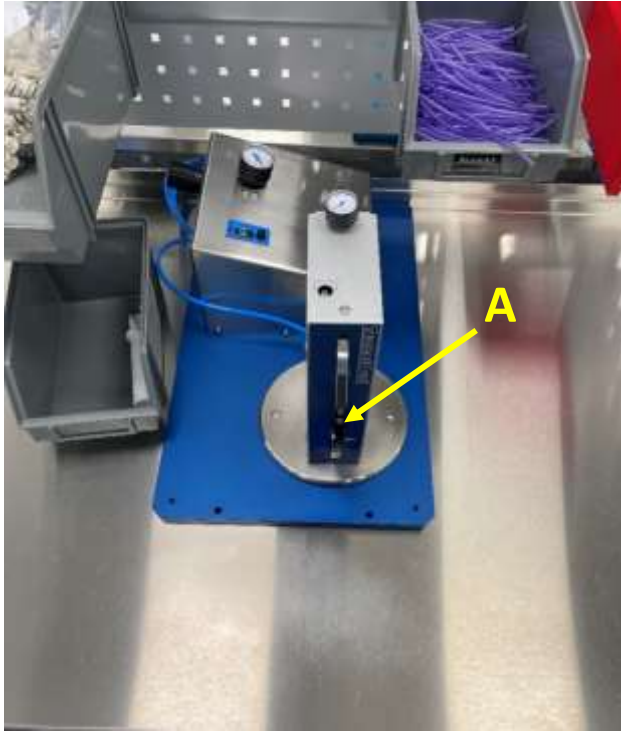


Sele 4.2.1 Esimese tööjaama rakis

Materjalide paigutus töökohal on samuti ebaergonoomiline. Kastid paiknevad laua taga perfoosinal ning kui mõni kast kasutusele võetakse siis see tõstetakse venituspingi kõrvale, et sealt materjale paremini kätte saada.

Vooliku venituspink (A) on ostutoode ning see töötab (vähemalt siiani) laitmatult ning kiirelt.[5]





Sele 4.2.2 Vooliku venitaja

Samuti on töökohal suhteliselt puudulik märgistus. On olemas mõned kleebised ja märged aga neid on liiga vähe ja kastidel/komponentidel/abivahenditel ei ole oma kindlat kohta.

### **4.3 Teine tööjaam, valge vooliku ühendamine liideselega**

Teine tööjaam on praktiliselt esimese tööjaama koopia. Seal paigaldatakse liidese külge lühike valge voolik. Need kaks jaama on eraldi puhtalt kvaliteedi tagamise pärast. Ajaliselt suudaks üks operaator mõlemad protsessid teha ilma, et see üldist töötamisprotsessi takistama hakkaks. Kui jaamas oleks kaks eraldi voolikut ilma kontrollita siis on suur tõenäosus, et mingil hetkel aetakse voolikud segamini ning kliendile saadetakse mittevastav toode.



Sele 4.3.1 Õigesti ja valesti koostatud toote näidis

Lisaks ei ole teises jaamas rakist, vaid kogu koostamine toimub käte vahel. Tootearenduse mõistes võiks tulevikus olla liidesel näiteks erinev vooliku kinnitamise meetod, mis tagaks, et voolikut on võimatu panna valesse kohta. Teine variant on kasutada erinevaid vooliku läbimõõte. Kuid kui voolikute läbimõõt peab sama olema siis sobiks esimene variant paremini.

Teise jaama protsessi sammud:

1. Operaator võtab kastist valge vooliku ja paneb selle venituspingi käppade vahele.
2. Toimub vooliku otsa venitamine
3. Operaator paigaldab vooliku liidese külge
4. Toode liigub edasi järgmisesse jaama

Teise jaama keskmine tsüklaeg tuli mõõtmisel 7.9 sekundit. Teoorias peaks olema esimesed kaks jaama enam-vähem sama tsüklaajaga, kuna protsess on sama. Vahe tekib operaatorist, mõned on kogenumad ning mõned vähem kogunud.

Tööjaam näeb välja visuaalselt välja täpselt samasugune nagu esimene tööjaam. St, et seal on samad mured, mis vajavad lahendamist.

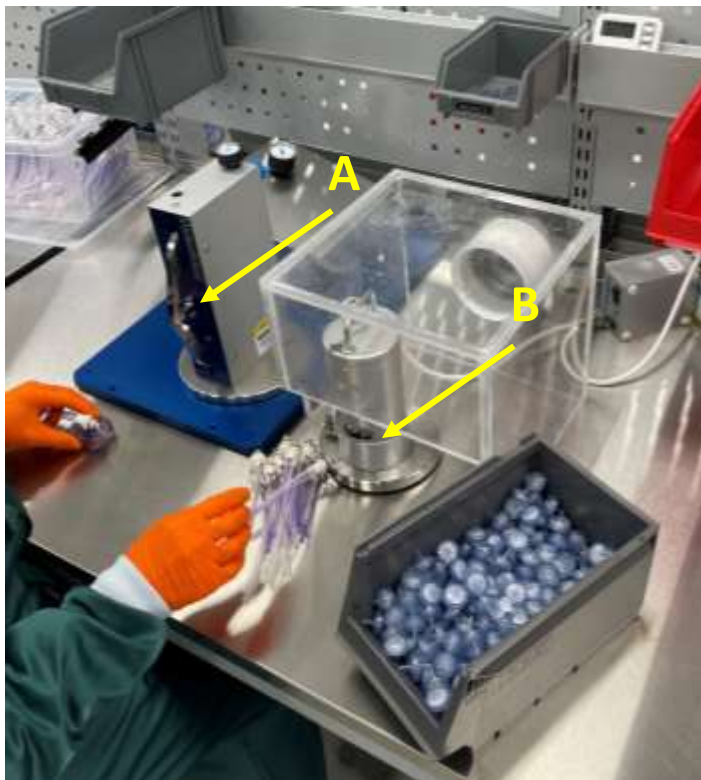
## 4.4 Kolmas tööjaam, filtrite ühendamine eelneva poolkoostuga

Kolmandas jaamas lisatakse eelnevalt koostatud poolkoostule kaks filtrit. Filtrid lisatakse mõlema vooliku otsa. Filtrite puhul on oluline, et need oleks paigaldatud õiget pidi, kuna see filter töötab ainult ühte pidi. Selle tagamiseks kasutatakse rakiseid, kuhu

saab panna filtri ainult ühte pidi ning see tagab, et voolikut on võimalik lisada ainult õigele poole. Siin jaamas kasutatakse kahte ostutoodet. Venituspinki (A) nagu ka eelmistes jaamades ning lisaks liimidosaatort (B), millega doseeritakse liimi vooliku otsa sise- või välispinnale.[6]



Sele 4.4.1 Filtri rakis



Sele 4.4.2 Kolmas tööjaam

Kolmanda jaama protsessi sammud:

1. Operaator võtab filtrid ning paneb need rakisesse (2 tk)
2. Operaator paneb poolkoostu vooliku venituspingi käppade vahele
3. Toimub vooliku venitamine
4. Operaator paneb vooliku liimidosaatorisse, mis määrab vooliku otsa liimiga kokku
5. Operaator liimib vooliku filtri külge
6. Korratakse samme 2-5 teise voolikuga
7. Toode liigub edasi järgmisesse tööjaama

Jaama suurimateks probleemideks on materjalide paigutus ning rakised. Nagu pildilt näha on materjalid suhteliselt ebaergonoomislistes kohtades (kui neil üldse on koht) ning kastid on suured ja takistavad töö tegemist.

Rakised ei ole statsionaarsed, vaid liiguvad laua pinnal. Seetõttu peavad operaatorid lisaks toote koostamisele samal ajal rakist kinni hoidma, kuna see tahab eest ära libiseda.

Antud tööjaama tsükliajaks on mõõdetud 14.1 sekundit, mis jääb alla esmase eesmärgi. Reaalsuses on seda tööjaama topelt, muidu ei suudetaks päeva kogust ära toota. See teeb reaalseks tsükliajaks ~7 sekundit.

## **4.5 Neljas tööjaam, voolikute ühendamine eelneva poolkoostuga**

Neljandas tööjaamas lisatakse eelnevalt koostatud filtrite teise otsa pikad voolikud. Voolikute puhul on jällegi oluline, et pikk lilla voolik läheks samale poole, kus on lühike lilla voolik ning valge pikk voolik läheks sinna, kus on lühike valge voolik. Selles jaamas puuduvad rakised, kuna protsess on lihtne ning rakised pigem takistaksid tööd.



Sele 4.5.1 Neljas tööjaam

Neljanda jaama protsessi sammud:

1. Operaator võtab kastist vooliku ning paneb selle venituspingi käppade vahele
2. Toimub vooliku venitamine
3. Operaator paneb vooliku liimidosaatorisse, mis määrab vooliku otsa liimiga kokku
4. Operaator liimib vooliku filtri külge
5. Korratakse samme 1-4 teise voolikuga
6. Toode paigutatakse kuivatushargile, et liim kuivaks enne järgmist operatsiooni

Kuna see jaam on üpris lihtne siis suuri probleeme siin ei esine. Väiksemad vead (nagu ka eelmistes jaamades) on materjalide paigutus ja operaatori töö mugavus/ergonoomika. Peale seda jaama peab nii eelmises jaamas kui ka selles jaamas paigaldatud liim ~10 minutit kuivama enne kui koostamisega võib jätkata. See on tootmise mõistes kulukas nii aja kui ruumi mõistes. Selleks, et ooteaeg ei kajastuks lõplikus tsükliajas on alati enne järgmist jaama piisav puhver.



Sele 4.5.2 Liimi kuivatamine hargil

Jaama tsükliajaks on mõõdetud 18 sekundit. Ideaalis võiks selle saada alla 15 sekundi.

## **4.6 Viies tööjaam, voolikute rulli kerimine**

Viiendaks tööjaamaks on toode koostatud ning algab pakkimise ning puhastamise protsess. Tundub kõige lihtsam osa, kuid tegelikkuses on tegemist liini kõige aeglasema ning keerukama protsessiga.

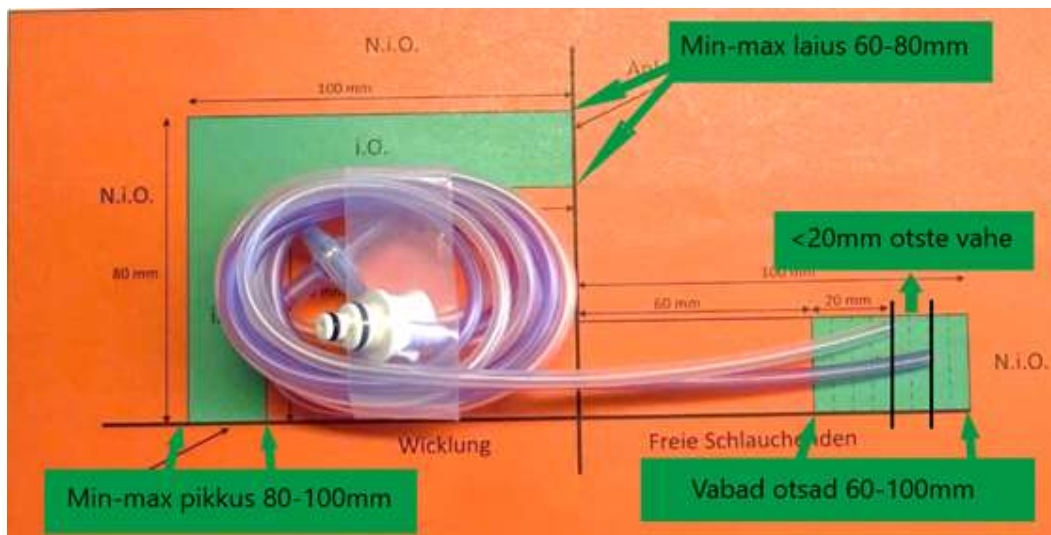


Sele 4.6.1 Viies tööjaam

Viienda tööjaama protsessi sammud:

1. Operaator võtab hargilt toote
2. Toode keritakse ümber käe juhendi järgi kokku
3. Toote peale paigaldatakse kilest ümbris, mis seda õiges asendis hoiab
4. Toote kerimise õigsust kontrollitakse šablooni järgi
5. Toode asetatakse restile (kokku mahub restile 25 toodet)





Sele 4.6.2 Õigesti keritud toote šabloon [7]

Nagu pildilt (Sele 4.6.2) näha, peab rulli keritud toode olema väga täpsetes piirides. Lisaks peavad komponendid asuma kindlastes positsioonides, et kotti pakkimine oleks võimalik. Tooteid keritakse kindla süsteemi järgi ümber käe, mis ei ole kiire ega ergonomiline, kuid halbadest variantidest otsustati tootmise juurutamisel, et see on parim.

Selle jaama suurimad probleemid on stabiilsus ning aeg. Operaatorite käed on eri suurustega, ehk kõik ei saa kasutada täpselt juhendis toodud tehnikat, kuna neil ei tule nii õiged mõõdud välja. Tihti peavad operaatorid toote lahti võtma ning uuesti kokku kerima. Lisaks võtab õige kerimine aega. Veel on probleeme toodete ja restide paigutusega. Restid ning pakkimise ala võtab liialt ruumi tootmises ja ei ole ergonomiline töötajatele. Lisaks ei ole kindlaks määratud kohti, kus komponente ja reste hoida.

Keskmine tsükliäeg antud jaamas on 26.3 sekundit. Mõned üksikud operaatorid, kes on vilunud, suudavad tooteid kerida 13-15 sekundilise tsükliajaga. Samas alles alustavad operaatorid teevad seda tööd 30-60 sekundit. Kuna see on kõige aeglasem jaam siis töötab siin keskmiselt 2 operaatorit korruga. Töötajate roteerumisel võib see arv vastavalt vajadusele muutuda.

Antud juhul on kerimise protsess suhteliselt kindlalt reguleeritud ning siia inimesest kiiremat ja paremat lahendust leida on keeruline aga mitte võimatu.



## 4.7 Kuues tööjaam, toodete ioniseerimine

Kuuendaks tööjaamaks on kõige lihtsam operatsioon, mis toimib enamuses automaatselt. Toode puhastatakse ioniseerimise teel. Ioniseerimine eemaldab tootelt staatilise elektri, mis hoiab toote küljes väikeseid mustuse osakesi. Masina tööpõhimõtteks on, et sellel ajal kui rest läbi masina liigub, puhutakse ioniseeritud õhku ülevalt alla toote peale. Samal ajal tõmmatakse ventilatsiooniga alt õhku ära. See tekitab õhuliikumise ning tänu ioniseerimisele toodetelt lahti tulnud osakesed ei lendle õhus vaid tõmmatakse ventilatsiooni. Kuna puhasruumi keskkond on igat pidi kontrollitud siis seda riski, et peale ioniseerimist toode uuesti pakkimise käigus määrduks, ei ole.[8, 9]



Sele 4.7.1 Ioniseerimise seade

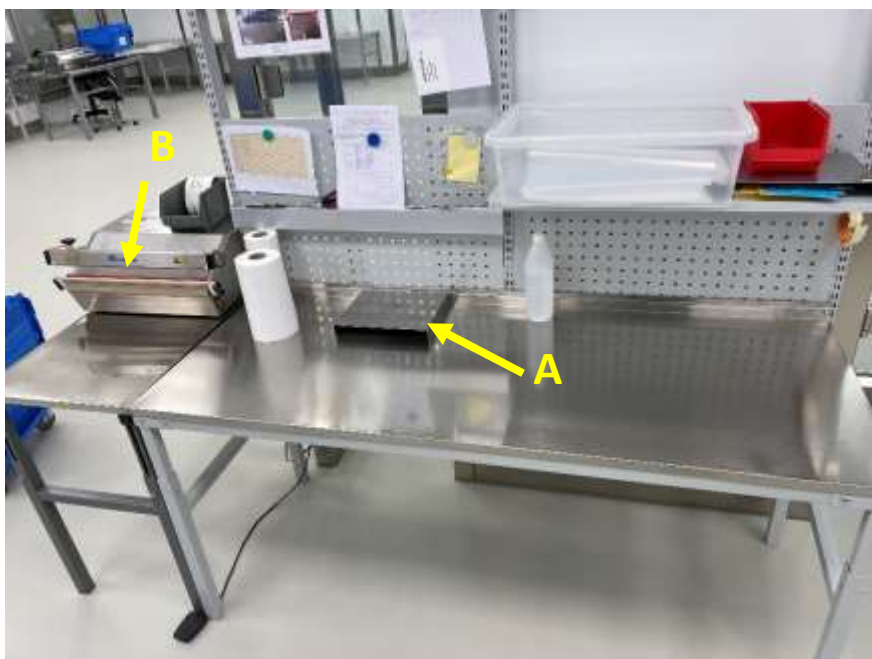
Kuuenda tööjaama protsessi sammud:

1. Operaator võtab eelmisest jaamast restid ja viib need ioniseerimise masina juurde, mis asub ca 5 meetri kaugusel
2. Operaator sisestab restid masinasse
3. Restid liiguvad läbi masina
4. Operaator võtab restid masinast ning viib pakkimise alale, mis asub ca 5 meetri kaugusel teises suunas.

Selle protsessi mõõdetud tsükliäeg on 38 sekundit. Kuna masinast käib korraga läbi üks rest, millel on 25 toodet, teeb see ühe tüki tsükliajaks 1.52 sekundit, mis on vaieldamatult kõige kiirem protsess sellel tootmisliinil. Ainuke, mida siin jaamas muuta on restide transport, hetkel viiakse neid vahel käsitsi masinasse ja vahel ratastel alustega, kuid need alused on vale kõrgusega (masinasse sisse panek/välja võtmine käib ikkagi tõstes).

## 4.8 Seitsmes tööjaam, pakkimine

Viimaseks tööjaamaks on pakkimine. Pakkimine toimub käsitsi. Ühte kotti pannakse 50 toodet. Kuna kotti mahuvad tooted üpris napilt siis on täpselt ära määratud, kuidas tooted peavad paiknema, et need kotti ära mahuks (ilma tooteid kahjustamata). Selleks, et tooteid saaks kotti korrektselt sisestada, kasutatakse alust (A), mille vahele enne kotti panemist tooted paigutatakse. Kui toode läheb edasi koostamisele teise puhasruumi või kliendi juurde siis pakitakse tooted topelt kotti. See tagab selle, et järgmises kohas saab toote avada ilma, et see määriks toodet ennast või seda ümbritsevat keskkonda. Kott suletakse koti keevitamise teel (B), mis tagab, et see oleks õhukindlalt suletud.[10]



Sele 4.8.1 Pakkimise ala

Seitsmenda tööjaama protsessi sammud:

1. Operaator võtab eelmisest jaamast resti koos puhastatud toodetega ja viib enda töölaua juurde
2. Operaator asetab alusele esimesse ritta 16 toodet, lahtised otsad enda poole
3. Operaator asetab alusele teise ritta 17 toodet, lahtised otsad enda poole
4. Operaator asetab kolmandasse ritta 17 toodet, lahtised otsad teise rea peale
5. Operaator asetab tooted koos alusega kotti
6. Operaator eemaldab aluse nii, et tooted jääksid kotti
7. Koti suu keevitatakse kinni ning kotile asetatakse kleebis infoga
8. Tooted pannakse teise kotti ning korratakse sammu 7
9. Tooted paigutatakse kasti



Sele 4.8.2 Pakkimise alus



Sele 4.8.3 Tooted pakkimisalusel

Peale puhasruumis kotti pakkimist, liiguvad tooted puhasruumist välja ning siis teostatakse lõplik pakkimine pappkasti.

Ühe koti pakkimise mõõdetud tsükliäeg on 12 minutit, kuid kotti läheb 50 toodet, mis teeb ühe toote tsükliajaks 14.4 sekundit. See ei ole kõige aeglasem protsess, kuid operaatorile piisavalt ebamugav, kuna toodete sättemist nii alusel kui kotis on palju.

## **5. PARENDUSTEGEVUSED**

Selles peatükis võetakse ette eelmistes peatükkides lahatud probleemid. Esmaseks eesmärgiks ei ole üldise tsükliaja vähendamine, vaid saavutada sama tsükliäeg vähemate inimestega. Kui liinil töötab 8 inimest siis toodab iga operaator 250 toodet.

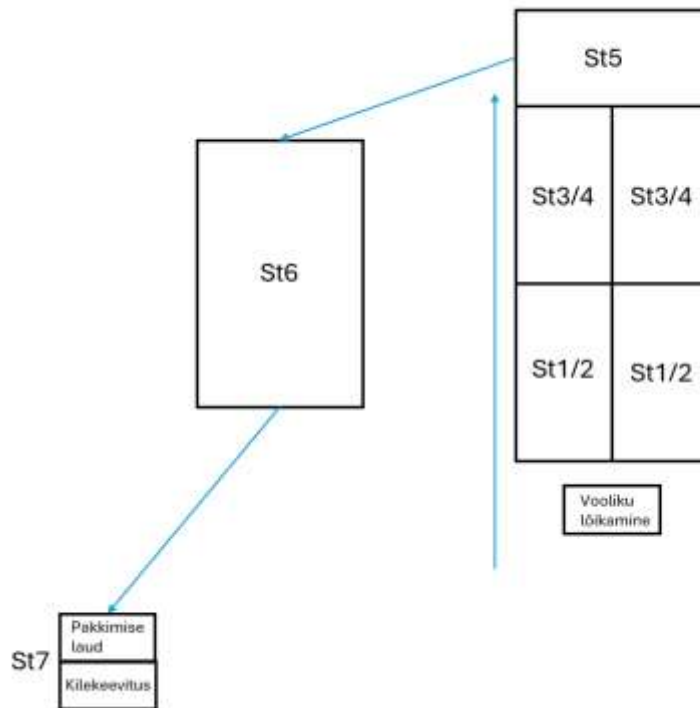
Selle töö esmaseks eesmärgiks on kaotada liinilt üks operaator. See tähendab, et allesjäänud 7 operaatorit peaks suutma teha sama ajaga 285 toodet. Kui see eesmärk on saavutatud siis järgmiseks eesmärgiks on vähendada veel üks operaator. St lõppeesmärgiks on liinil toota 2000 toodet vahetuses 6 operaatoriga.

### **5.1 Liini paigutus**

Tänu uuendustele liinil ning operaatorite arvu vähendamisele saab muuta ka liini paigutust. Enam ei vaja toote koostamine enda alla nii suurt ala kui enne. Ilma uuendusteta oli peaaegu iga jaama jaoks eraldi laud, kuid reaalsuses oli mõnel laual palju tühja ruumi, mida ei kasutatud. Lisaks on mõned komponendid ja pakkematerjalid laual laiali, kuna neil ei ole kindlat või mugavat kohta. Seega panevad operaatorid need lauale laiali, et neil oleks mugavam neid asju käsitleda. St, et kasutatakse kallist laua ruumi tegevuse jaoks, mis ei loo lisandväärtust tootmisele ega tootele.

Seega tuleb luua kompaktne liini paigutus, mis võtaks võimalikult vähe ruumi, kuid oleks operaatoritele mugav ja ergonoomiline ega takistaks neil töö tegemist.

**St1/2** – Väikeste  
 voolikute koostamine  
**St3/4** – Filtrite ja  
 pikkade voolikute  
 koostamine  
**St5** – Kerimine  
**St6** – Ioniseerimine  
**St7** – Pakkimine



Sele 5.1.1 Liini paigutus peale uuendusi

Uue liini paigutusega jääb kaheksast lauast alles viis lauda. Kui arvestame juurde ka vooliku lõikamise, uue pakkimise laua ja kilekeevituse, mis võtavad enda alla umbes ühe laua suuruse ala, saame puhtaks võiduks kahe laua suuruse ala. See tähendab, et antud toote tootmise alla kuuluv ala vähenes 25%. See teeb kokku 4,76 m<sup>2</sup> võitu. Arvestades puharuumi ruutmeetri hinda on see suur võit. Tänu väiksemale tootmise alale on ka materjalidel väiksem maa liikuda.

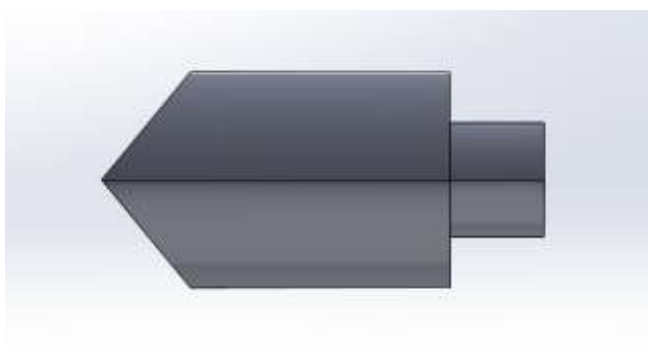
## 5.2 Vooliku lõikamine

Enne kui tooteid koostama hakatakse, lõigatakse voolikud õigesse pikkusesse. Kasutusel on kaks erinevat voolikut ning mõlemat voolikut on 2 eri pikkust (kokku 4 eri pikkuses voolikut). Hetkel tehakse seda protsessi liinist eraldi asuval voolikulõikuril. Seda voolikulõikurit kasutab lisaks veel teine toode ning seal peal töötab üks operaator.

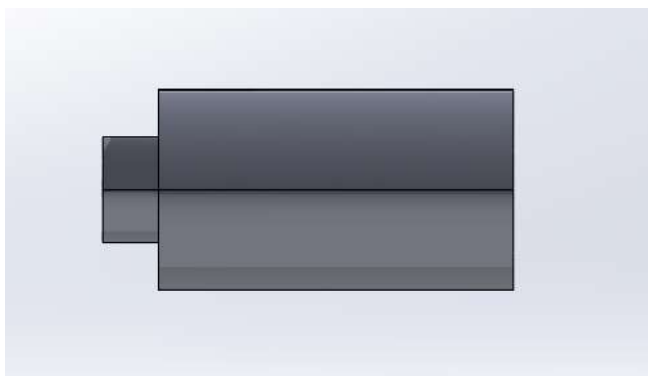
Kuna ühe lõikuri kasutamine kahel eri tootel on keeruline ning teine lõikur oli täpselt üle, siis tuli otsus panna teine lõikur lõikama selle toote voolikuid. See tagab väiksema riski (voolikud on eri mõõtu ning seetõttu pidi lõikuril vahetama suunajaid vastavalt

vooliku läbimõõdule) ning lõikur on vajadusel alati kättesaadav (kahte toodet samal ajal ei saa ühel lõikuril lõigata).

Selleks tuli tellida lõikurile uus ja õhem nuga ning teha uued suunajad. Kuna suunajad tootjalt maksavad palju, sai tehtud otsus suunajate mudel ise valmis teha ning 3D printida. Suunajate välismõõdud sai mõõdetud hetkel kasutuses olevatelt suunajatelt ning seejärel sai siseläbimõõtu muudetud vastavalt vooliku läbimõõdule. Esimesed prototüübid sai printitud FDM (*Fused Deposition Modeling*) tehnoloogiaga, kuid see tehnoloogia jätab erinevad kihid näha ning pind ei ole täiesti sile. Selle tagajärjel jäi mõnel korral voolik suunajasse kinni. Päris tükid sai printitud SLA (*Stereolithography*) tehnoloogiaga, mis jättis pinnaviimistluse palju parema.[11, 12]



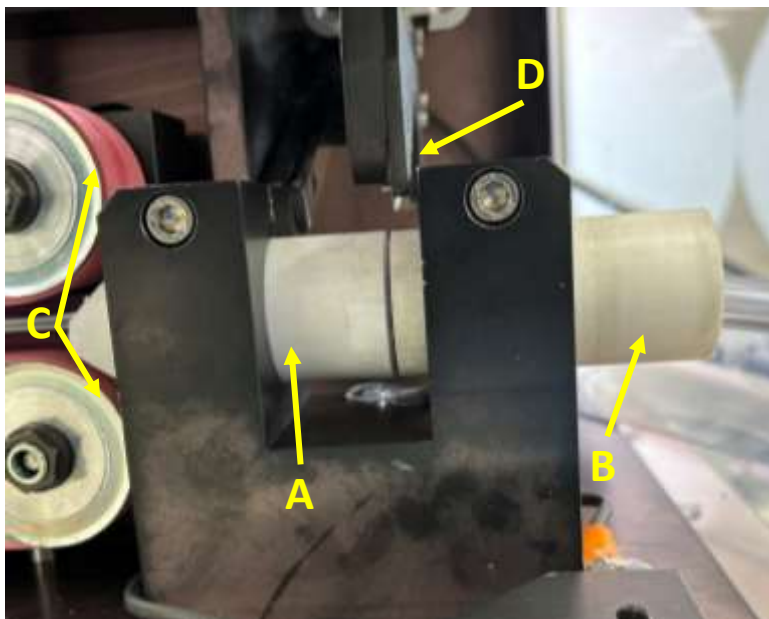
Sele 5.2.1 Esimene suunaja



Sele 5.2.2 Teine suunaja

Esimesel suunajal (A) on vasakul ääres teravik. Kuna see läheb veo lintide (C) kõrvale on vaja sinna vabastust, et suunaja ei läheks lintide vastu. Teine suunaja (B) on silindriline, sealt tuleb lõigatud voolik välja. Kahe suunaja vastastikune osa on väiksema diameetriga, kuna õhukese tera (D) hoidja on samuti mõõdetudelt väiksem ning ei mahuks lõikama kui suunajad oleks täismõõdus. Kui tekkis küsimus, miks mitte teha kogu

suunaja väiksema läbimõõduga siis probleem on selles, et suunaja kinnitatakse klambri vahele, mis on universaalse mõõduga.



Sele 5.2.3 Suunajate paiknemine seadmes

Seejärel tuli luua masinasse programm õigete parameetritega. Mainimist vajavad parameetrid on vooliku pikkus, vooliku söötmise kiirus ja kiirendus. Kõigi nelja vooliku parameetrid on toodud allolevas tabelis:

Vooliku nimetus	Vooliku pikkus (mm)	Söötmise kiirus (mm/s)	Söötmise kiirendus(mm/s <sup>2</sup> )
Valge lühike voolik	150	1000	100
Valge pikk voolik	910	400	100
Lilla lühike voolik	100	1000	100
Lilla pikk voolik	965	400	100

Sele 5.2.3 Tabel lõikamise parameetritega

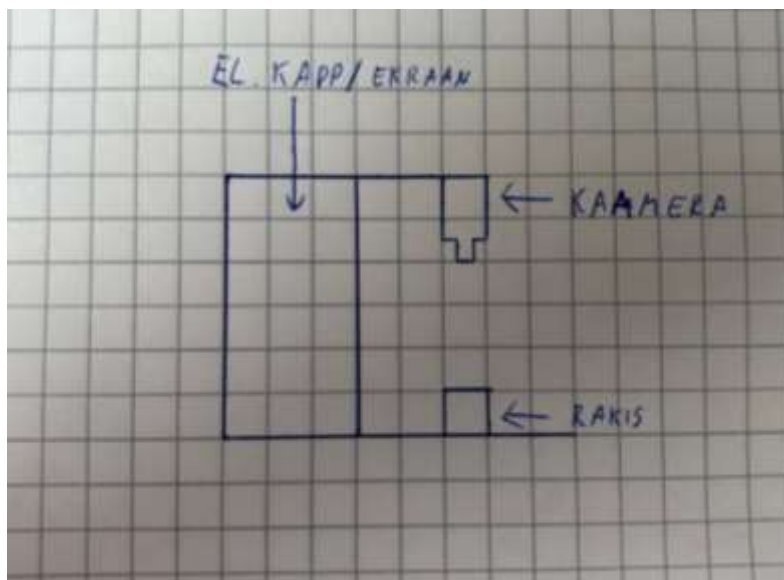
Kuna tegemist on meditsiini tööstusega siis järgnes kõigele sellele pikk valideerimise protsess, et sellel seadmel tohiks neid voolikuid lõigata. Peale seda on seade valmis tööks ning asukoha poolest tõsteti täpselt tootmisliini ette. See tagab parema materjalide liikumise (voolik lõigatakse otse koostamisliinil) ning enam ei ole eraldi operaatorit lõikamiseks, vaid lõikamist teostab juba olemasolev operaator liinil.

## 5.3 Esimene ja teine tööjaam

Ajaliselt võiks esimese ja teise jaama tööd teha üks operaator, kuid toote kvaliteedi põhjustel on need lahus. Kui liidese külge koostab mõlemat voolikut üks operaator siis on suur tõenäosus, et ta paneb vale vooliku valele poole liidest. Hetkel pole liinil ühtegi kontrolli, mis seda tuvastaks. Lisaks on toode piisavalt sarnane mõlemalt poolt, et operaatoril visuaalselt erinevust tuvastada on keeruline.

Et nendest kahest jaamast saaks teha ühe, on vaja korralikku poka-yoke tüüpi rakist ning kaamera kontrolli, mis kinnitaks, et õige voolik on paigaldatud õigele poole liidest.

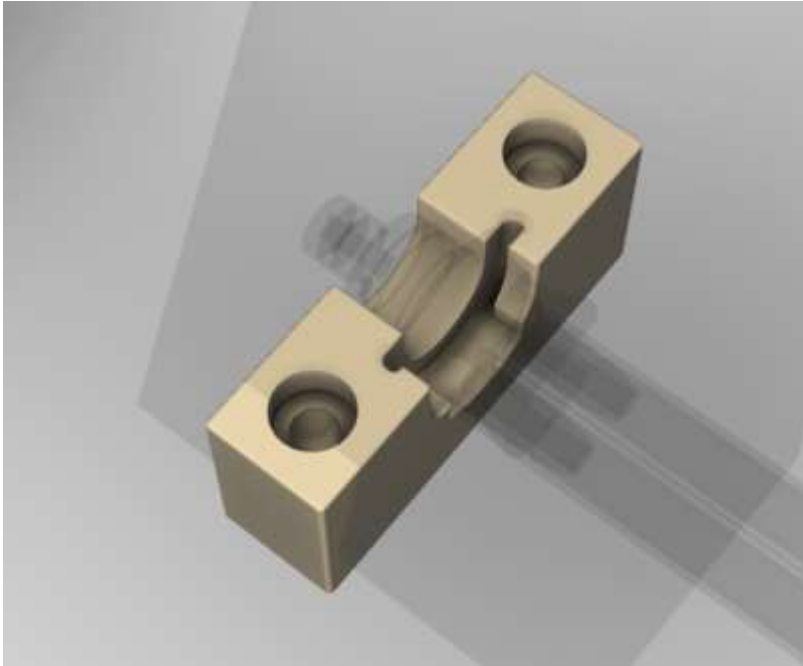
Esimene mõte ja visand on näha pildil (Sele 5.3.1). Peale arutamist teiste osapooltega jäi lahenduseks sellise põhimõttega kaamerakontrolli jaam. Laual olev pind, kuhu kontroll tuleb on piiratud ning see ei tohi segada operaatori tööd. Antud lahendus on üpris lihtne ning odav, mis teeb selle tasuvuse piisavalt kiireks.



Sele 5.3.1 Esialge visand kaamerakontrollist

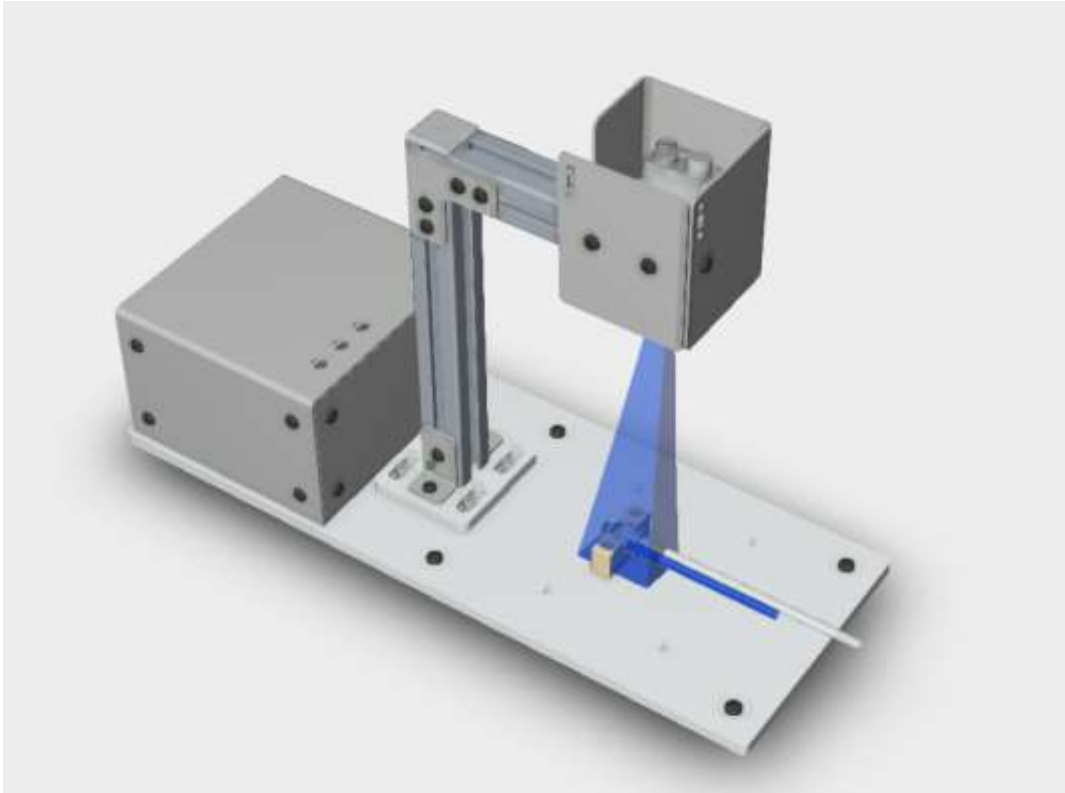
Et kaamerat veel efektiivsemalt ära kasutada ning tsükliäega vähendada, tuleb rakis võimalusel mitme pesaga. St, et operaator koostab korraga 2 toodet ning alles siis teeb pildi. Rakise pesad on tehtud hetkel kasutuses oleva rakise järgi. Toodet saab sisestada rakisesse ainult ühes asendis. See tagab, et voolikud on alati õiges kohas. Rakisel on led tuled ning need süttivad vastavalt kaamerast antud signaalile. Kui kontrolli tulemus on OK siis süttib rakises roheline tuli. Kui kontrolli tulemus on NOK siis süttib rakises punane tuli. See annab visuaalselt operaatorile märku, kas ja milline toode on õigesti koostatud ja milline mitte.





Sele 5.3.2 Uus rakis liidese jaoks

Kasutatakse „Cognex In-Sight 2800 series“ kaamerat. See on tehtud rakisega üheks jaamaks, ning need on omavahel jäigas ühenduses, et positsioon alati sama oleks. Tegemist on mustvalge kaameraga, koos punase valgustusega. Kõigepealt määratakse koordinaadistik ehk määratakse üks või mitu kohta tootel, mille suhtes kontrolli teostatakse. See tagab, et kaamera kontrollib alati õiget asukohta. Kontrolli põhimõtteks on heledate/tumedate pikslite lugemine. Pikslite arv peab jääma etteantud vahemikku, valgel voolikul on üks pikslite arv ning lillal voolikul teine. Alguses oli mõte kasutada värvilist kaamerat, kuid testimisel selgus, et must-valge kaameraga on erinevus piisavalt suur, et voolikuid eristada ning selle hind on märgatavalt odavam.[13]



Sele 5.3.3 Kaamerakontrolli mudel

Kaameraga kontrollitakse kokku nelja punkti:

- 1) Lilla voolik on õiges positsioonis
- 2) Lilla voolik on lükatud liidese lõpuni
- 3) Valge voolik on õiges positsioonis
- 4) Valge voolik on lükatud lõpuni

Sellega on kontrollitud kõik olulised aspektid selles tööjaamas ning saame kindel olla, et toode on õigesti koostatud.

Lisaks saab tänu ühe operaatori eemaldamisele ära kaotada ühe töö laua. Tänu sellele muutub liin veel kompaktsemaks ning tootmisesse tekib ruumi juurde. Puhasruumi ruutmeetri hind on väga kõrge, seetõttu on igasugune võidetud ruum väga oluline.

Võetud sai erinevaid pakkumisi masinaehitajatelt, kes etteantud kontseptsiooni põhjal pakkumise tegid. Teoorias saaks antud projekti ka ise füüsiliselt valmis teha, kuid masinaehitajate ajakulu on tunduvalt väiksem, neil on tarnijatega omad koostöö lepingud ning lõppkokkuvõttes tuleb projekt odavam ja saab kiiremini valmis.

Lõpuks valituks osunud pakkumise tasuvusaeg on 6 kuud, mis teeb sellest investeringust väga tasuva projekti. Tasuvuse arvutamisel jagatakse investeeritav summa potentsiaalselt võidetava summaga, seejärel korrutatakse 12 kuuga, et saada kuude arv, pärast mida hakkab projekt kasumit tootma. Oletame, et projekt maksab 10 000€, potentsiaalne võit on 20 000€ (siia sisse kuulub tööjõu kulu, praagi kulu, hoolduskulud jne, mis potentsiaalselt tänu investeringule kaovad või vähenevad). See tähendab, et 6 kuu pärast hakkab projekt kasumit tootma. Näidisarvutuses ei ole kasutatud reaalseid summasid.

$$\frac{10000}{20000} * 12 = 6 \text{ kuud [14]}$$

Lisaks ruumi võit liinil ning 100% kvaliteedi kontroll poolkoostule annavad oma lisandväärtust.

Antud lahenduse valmistab Smitech OÜ. Täpne kontseptsioon sai neile ette antud ning nende ülesandeks on see füüsiliselt valmis teha. Loomulikult vaatasime kontseptsiooni koos üle ning tegime mõned täpsustused/muudatused vastavalt nende ettepankutele, kuid üldises pildis jäi etteantud projekt ja lahendus samaks.

Selline lihtne ja suhteliselt odav projekt teeb vähemalt ühe tööjaama sellel liinil 2x efektiivsemaks ning kaasaegsemaks. Tänu katsetustele leiame, et kahe jaama liitmisel uue rakise ja kaameraga on oodatav tsükli-aeg ~12 sekundit, mis on väga hea tulemus ning peaks tagama kiire ja efektiivse tulemuse ainult ühe inimesega.

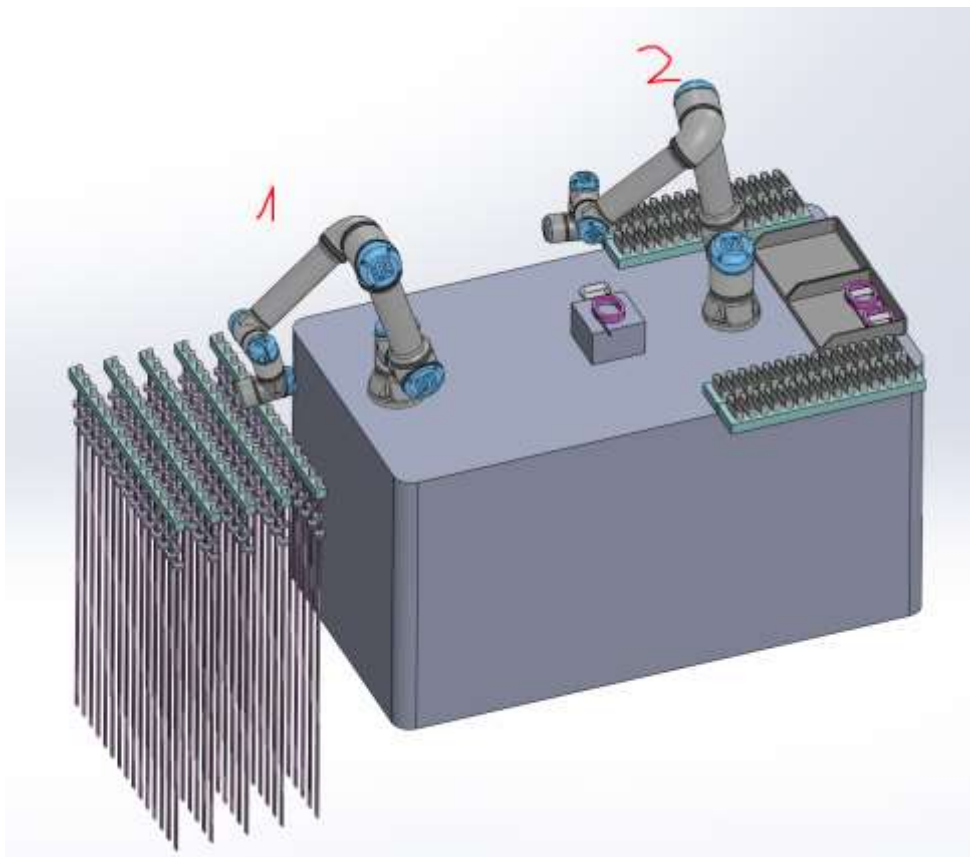
## **5.4 Viies tööjaam**

Kõige suurem pudelikael kogu liinil on toote rulli kerimine. Hetkel kerib operaator toote ümber oma käe. Juhendis täpseid punkte jälgides peaks ta saama õiges suuruses rulli valmis. Kuid iga operaatori käe suurused on erinevad, ehk juhendis toodud punktid ei kohaldu täpselt kõikidele operaatoritele. Peamiseks probleemiks on, et rulli keritud toote suurus on vale või voolik ei jää ühtlaselt, nt murdub filtrite juurest. Lisaks on keeruline seda kileriba vahele paigutada ilma, et midagi paigast nihkuks.

### **5.4.1 Täisautomaatne lahendus**

Kui valida täisautomaatne lahendus siis saaks liinilt potentsiaalselt ära võtta 2 operaatorit. Selle kohta sai võetud ka pakkumine. See sisaldab kahte „Co-Bot“ tüüpi robotit ning konveierit toodete liigutamiseks. Esimene robot võtab konveierilt toote ning kerib selle rulli. Teine robot paigaldab rulli keritud tootele kileriba ning asetab selle

restile. Kokku tuleks selle jaama tsükli aeg 13 sekundit ning eraldi operaatorit siia vaja ei läheks. Kui võtta arvesse seadme maksumust, tööjõu kulu, toote kvaliteeti ja efektiivsust siis oleks antud investeeringu tasuvus ~ 2 aastat, mis ei ole ideaalne, kuid täiesti mõeldav variant.



Sele 5.4.1.1 Esialgne versioon automaatselt lahendusest

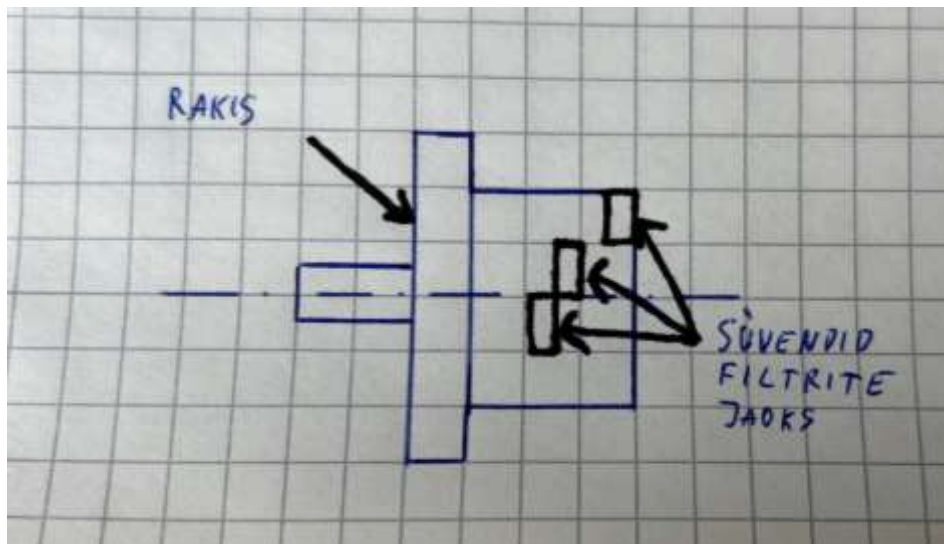
Projekti kontseptsioon sai kokku pandud koos masinaehituse ettevõttega Optimo Robotics OÜ, kes on spetsialiseerunud robotlahendustele. See projekt jääb pigem tulevikku, kuna selle kooskõlastamine ja teostus võtavad omajagu aega.

## 5.4.2 Manuaalne lahendus

Teine lahendus on teha operaatoritele mõni abivahend, et nad ei peaks voolikuid ümber käe kerima. Selleks on variant teha lauale või kätte rakis, mille ümber saaksid operaatorid toote kerida. Veel on variant kasutada standardseid vooliku/juhtme kerijaid, mis nupule vajutusega toote kokku kerivad.

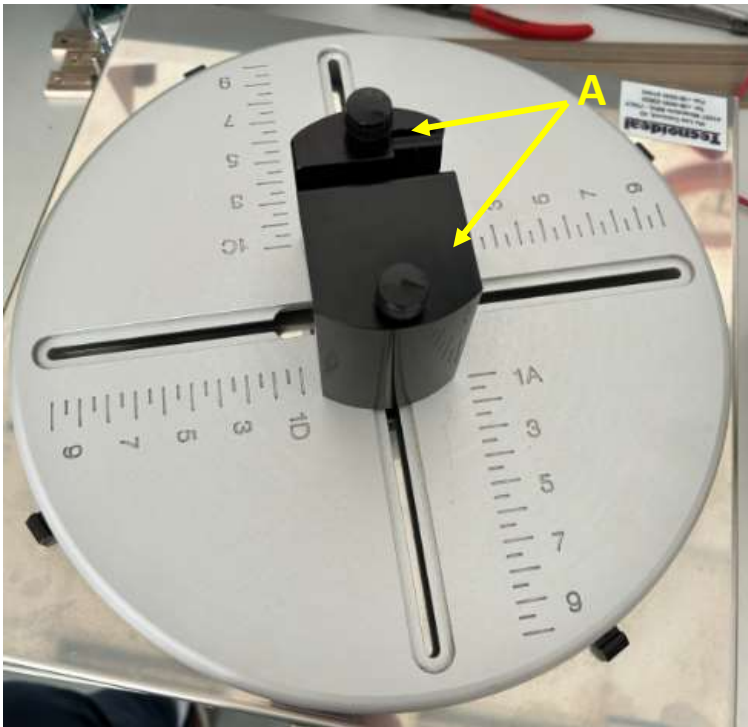
Käes asetsev rakis ei pruugi teha protsessi kiiremaks, kuna kogunud operaatorid teavad täpselt, kuidas voolikut enda käe ümber kerida. Nemad teevad seda kiiremini ilma rakiseta. Probleem on aga selles, et kogunud operaatoreid, kes suudavad kiirelt kerida

on 1, heal juhul 2. Operaatorid, kes ei ole nõnda kogenud, võivad ühte voolikut kerida 1-2 minutit. Rakis aitaks tuua stabiilsust sellesse jaama, isegi kui sa ei oska kerida suudada sa rakise abil selle kõige rohkem 30 sekundiga kokku kerida. See ei ole küll ideaalne lahendus, kuid annaks väikse võidu siiski. Esimene mõte on käes hoitav rakis, millel on õige übermõõt ning pesad liidese ja filtrite jaoks. See tagab, et keritud rull on õige suurusega ning filtrid ja liides paiknevad õiges positsioonis.



Sele 5.4.2.1 Esialgne visioon käes asetsevast rakisest

Teise toote jaoks kasutatakse voolikukerijat. Sinna paned vooliku otsa vahele nin pedaalele vajutades teeb kerija nii palju ringe kui talle on ette antud. Sellega saab määrata keritud toote läbimõõtu ning paiknemist. Antud toote miinuseks on see, et sellel on vooliku kuljes liides ja filtrid, mis raskendavad masinaga kerimist. See on põhjus, miks seda algset kasutusele ei võetud. Siiski peaks saama selle mõningate modifikatsioonidega ilusti toimima.[15]



Sele 5.4.2.2 Voolikukerija



Sele 5.4.2.3 Voolik kerija vahel originaalsete suunajatega

Manuaalselt antud masina peal voolikut kerides tundub, et see võiks toimida. Hetkel näib ainsaks probleemiks olevat see, et piirajad (A), mis määravad keritud vooliku läbimõõdu ei lähe piisavalt kokku, lisaks ei ole filtritel oma kohta ja seetõttu jääb keritud voolik filtrite kohast laiemaks. Seadistades sai tegelikult antud piirajad piisavalt kokku, kuid see ei pruugi iga tsükkel olla OK tulemusega, kuna keritud toote suurus on väga

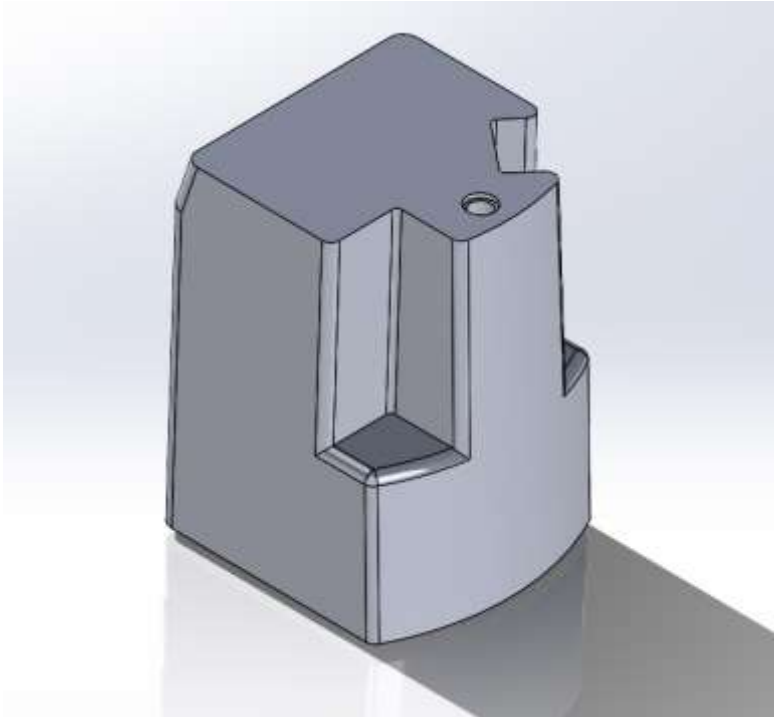
piiri pealne. Üheks variandiks on 3D printida uued piirajad, millel oleks ka süvend filtrite jaoks, et need paremini paikneksid.

Mõeldud tehtud, suurest piirajast sai tehtud 3D prinditud koopia. Kuna kerimisel täpset filtrite asukohta on keeruline määrata, sai esialgu prinditud samasugune piiraja ilma süvenditeta, ainult välismõõtmeid sai tehtud 3 mm väiksemaks, et keritud toote mõõt rohkem nominaali jääks. Seejärel sai kerides vaadata, kuhu umbkaudselt augud teha. 3D prinditud piiraja sisse on üpris lihtne ise ava teha, kuna see ei ole seest materjali täis, vaid kärje struktuuriga. Õigetesse kohtadesse sai puuritud augud ning ülejääk sai noaga eemaldatud. Tulemuseks on suunaja, millel on filtri süvendid ning toode saab kerijal ennast ilusti rulli kerida. Nüüd kerijal toodet kerides on mõõdud piirides ning kõik muud tingimused samuti täidetud.



Sele 5.4.2.4 Lõigatud filtri soontega protorüüp

Edasi sai võtta süvendite mõõdud ja asukohad ning need mudelisse kanda, et saaks teha korraliku prototüübi, mida tootmises katsetada.



#### Sele 5.4.2.5 Filtri soontega rakise mudel

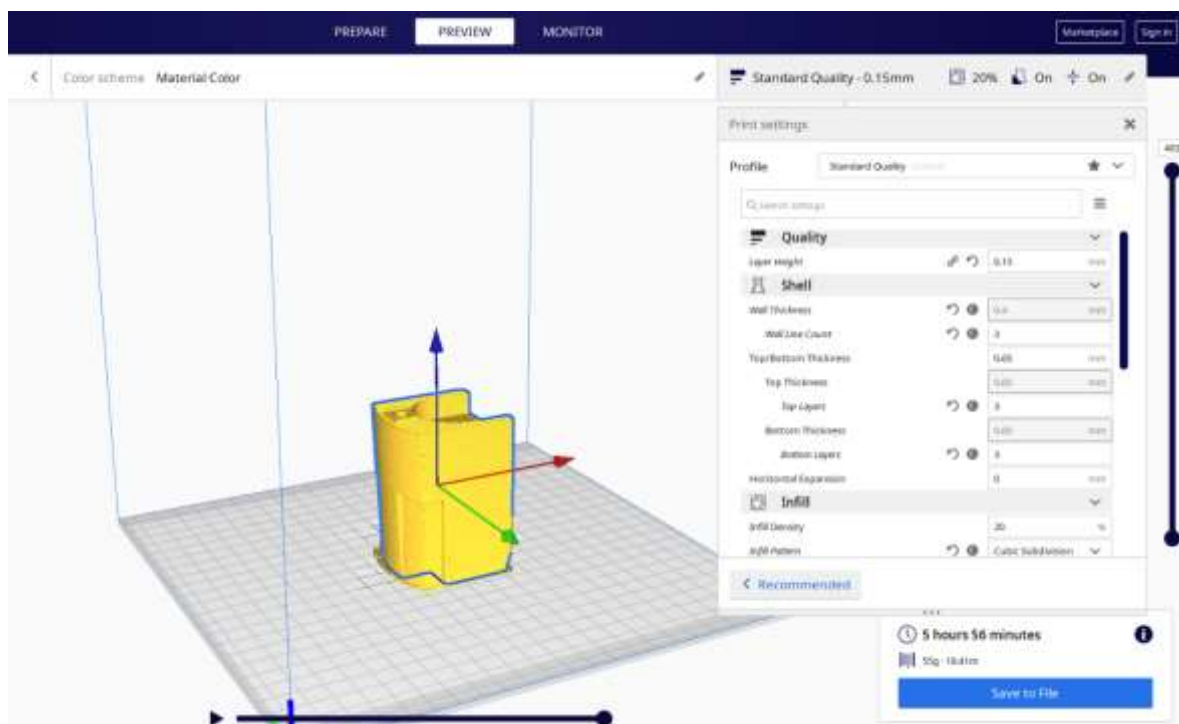
Kui mudel valmis, tuleb luua sellest 3D printerile sobilik fail. Printeri jaoks faili loomiseks kasutatakse Ultimaker Cura tarkvara. Printimiseks kasutatakse FDM tehnoloogiat. Selle tehnoloogia juures sulatatakse materjal ning doseeritakse kihi kaupa alusele. [11, 16]

Programmi laetakse .STL tüüpi fail ning paigutatakse printimise alusele õiges orientatsioonis sobivasse kohta. Seejärel määratakse parameetrid. Antud tüki olulisemateks parameetriteks sai valitud järgnevad:

- Infill: 20%
  - Määrab kui suur on sisemise struktuuri tihedus
- Top/Bottom/Wall layers: 3
  - Väliskihtide arv, tagab tugeva välispinna (mida rohkem kihte seda tugevam, samas pikeneb printimise aeg)
- Layer height 0.15 mm
  - Määrab kui kõrge kihi kaupa toodet prinditakse
- Lisaks kasutatakse tugesid, et õhku jäävad pinnad oleksid toetatud



Loomulikult on reaalseid parameetreid väga palju, mida saaks muuta, kuid suures osas määrab need programm automaatselt ning sellise lihtsa printi juures ei ole mõtet neid muuta.



Sele 5.4.2.6 Ultimaker Cura tarkvaras ettevalmistatud 3D printimise fail

Uus piiraja töötab laitmatult ning seda saab kasutada juba seeriatootmises katsetusteks. Kui testperiood on edukas ning tootmine muutub kiiremaks ja sujuvamaks, tuleb tellida veel juurde teine kerija, et enam ei peaks ükski operaator käsitsi tooteid kerima.

Antud uuendus teeb tootmist piisavalt palju kiiremaks, et nüüdseks on ühe toote kerimise keskmine tsükli-aeg 16 sekundit. Tänu väiksele 3D printitud piirajale on tootmine ~39% kiirem. See tähendab omakorda seda, et liinilt on võimalik eemaldada veel üks operaator, ilma et kaotaks lõpptoodangus.

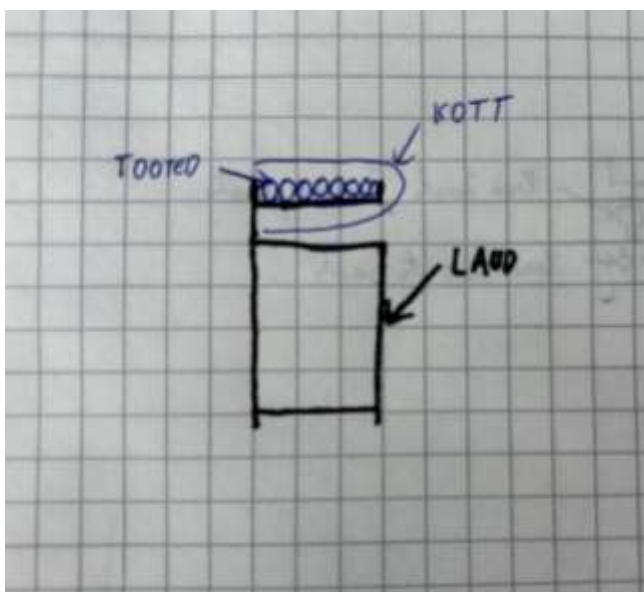
## 5.5 Seitsmes tööjaam

Antud toodete pakkimine kilekotti ei ole kõige lihtsam ülesanne. Tooted peavad kotis olema väga kindlas asendis (kirjeldatud peatükis 4.7) ning pakitud on need üpris tihedalt kokku. Ühe koti pakkimise protsess on pikk, kuid ühte kotti läheb 50 toodet, mis toob tsükliaja päris lähedale teistele protsessidele.

Kõige aeganõudvam protsess on toodete paigutamine alusele. Tooted peavad olema õiges asendis (lahtised otsad suunatud õigele poole). Lisaks peab olema ühes rivis õige arv tooteid, mis ei taha sinna eriti mahtuda. Kuna alus ei ole kinnitatud, vaid liigub siis operaatoritel jääb piltlikult öeldes üks käsi puudu. Nad hoiavad seda enda kehaga kinni ning ühe käega tõmbavad alusele pandud tooteid kokku, et teise käega lisada üks toode juurde. See on neile ebamugav, võtab kaua aega ning puhasruumi mõistes ei ole see eelistatud tegevus, et tooted lähevad operaatoriga nii palju kontakti.

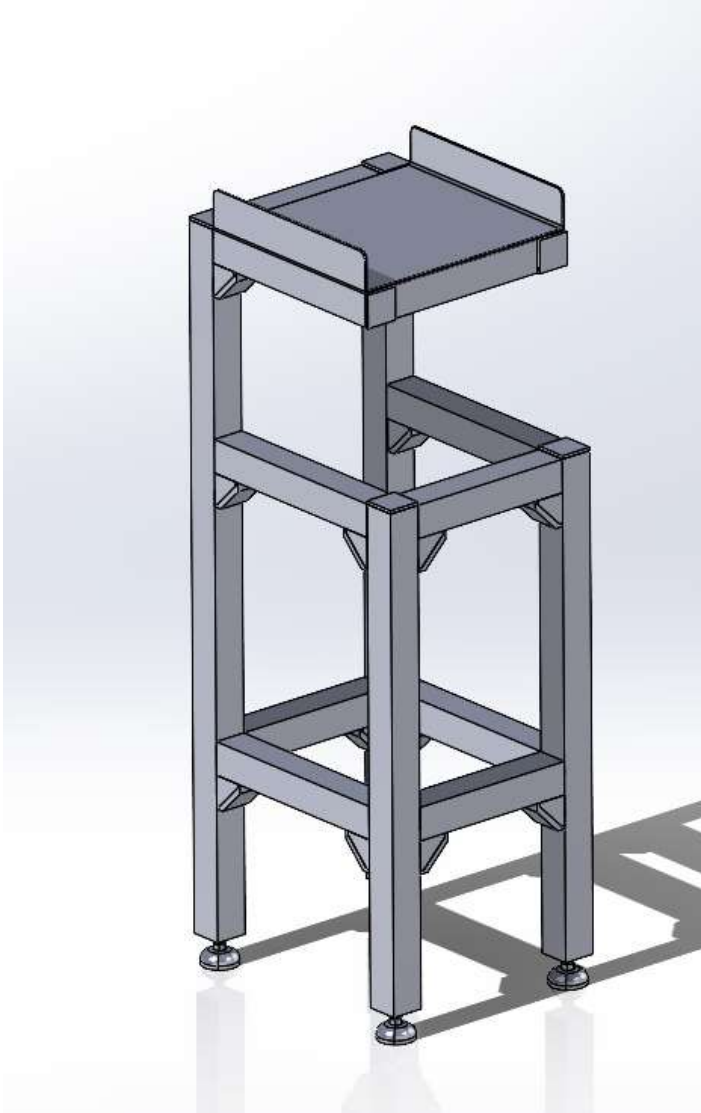
Esmane ja kõige lihtsam lahendus on luua samal põhimõttel pakkimise laud. Tegelik põhimõtte pakkimisel on õige, lihtsalt vahendid ei toeta seda meetodit. Laua peal on samade mõõtudega alus, mida nad hetkel kasutavad ning see on statsionaarne. See tagab stabiilsuse ning operaatorid ei pea enam alust enda kehaga kinni hoidma. Laua jalad on lauaplaadi läheduses ainult ühel pool, mis tagab selle, et alust ei pea kotti panema, vaid kott tõmmatakse alusele ümber. Kui kott on ümber, lükkab operaator alusel asuvad tooted koos kotiga laualt ära ning tooted jäävad kenasti kotti. See tagab kiirema pakkimise ning peaks tsükliaga vähedama päris jõudsalt. Lisaks teeb see operaatori elu lihtsamaks ja mugavamaks.

Laua koostamiseks kasutatakse Bosch alumiiniumprofiile ning need ühendatakse omavahel L-nurkade ja T-poltide/nutritega. Kõik profiilide lahtised otsad ning L-nurgad on kaetud plastik katetega, et need operaatorit ei vigastaks. Alusel, mis asub laua peal, ei tohi olla väljaulatuvaid poldipäid. Esiolgu kinnitatakse see kahepoolse teibiga. Kuna sinna metsikuid jõude ei mõju, peaks see ilusti toime tulema aluse paigal hoidmisega. Kui tulevikus peaks sellega probleeme tekkima, saab alusele altpoolt puurida/keermestada avad ning kinnitada poldiga (nii, et polt ei ulatuks läbi aluse). Laua jalad on reguleeritavad, et leida õige kõrgus operaatorile.[17, 18, 19, 20, 21]



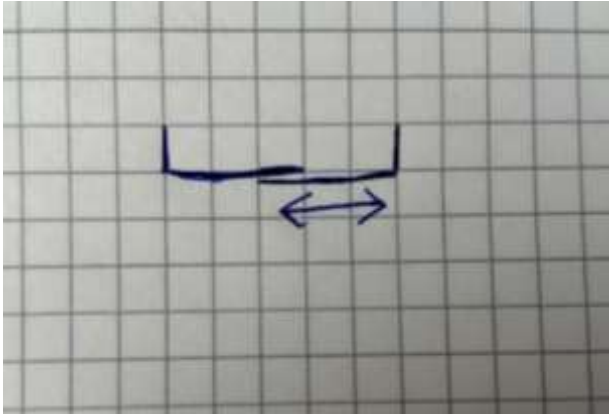
Sele 5.5.1 Pakkimislaua esmane visioon

Järgmine edasiarendus sellest lauast on lihtsustada toodete paigutamist alusele. Hetkel ühte ritta tooteid paigutades pressivad operaatorid tooted ühte äärde kokku ning seejärel mahutavad järgmised tooted vahele. See nõuab oskuseid ja pingutust, et tooted õigesti paiknema jääksid.



Sele 5.5.2 Pakkimislaua 3D mudel

Et tooteid alusele mugav oleks paigutada, peaks alus olema laiem. Kuid kui alus on laiem ei mahu see enam kotti. Seda saaks lahendada liikuva alusega, mis käib kinni ja lahti. Kui alus on lahtises asendis, saab operaator mugavalt kõik tooted alusele paigutada. Seejärel surub ta aluse kokku ning see jääb kokku asendisse. Nüüd saab operaator panna toodete ümber kotti ning need kõik koos kotti lükata aluselt. See peaks tagama kiirema protsessi ning operaatorile ergonoomilisema töökoha.



Sele 5.5.3 Liikuva pakkealuse esmane visioon

Alus saab lahti ja kokku käia kui alus teha pooleks ning üks pool on statsionaarne ning teine pool liigub lineaarlaagritel. Probleemseks kohaks on aluste lahknemise koht. Esiteks ei või sinna lahtises asendis tekkida tühimikku, sest siis ei ole tooteid kuhugi paigutada. Teiseks ei tohi kahe poole kokku lükates nende vahele jääda ühtegi toodet. Kui aluse plaadid liiguvad üksteise peal, on ühel pool olemad väike äär, mis võib takistada või halvemal juhul vigastada toodet. Kui see äär ei ole terav ning liigub väga teise plaadi lähedal, et seal ei oleks ruumi tootel kinni jääda siis on lootust, et see lahendus toimib ning tooted ei saa kahjustada.

Antud uuenduse eesmärk ei ole võita ajas (kuna see on hetkel piisavalt kiire), vaid teha tööd operaatorile mugavamaks. Kuid tänu mugavale lahendusele muutub ka pakkimine kiiremaks, mis on ainult positiivne tulemus.

## **6. PARENDUSTE GEVUSTE HINDAMINE JA POTENSIAALSSED PARENDUSED TULEVIKUKS**

Peale parenduste elluviimist tuleb hinnata nende õnnestumist. Kõiki parendusi ei saanud selle ajaga füüsiliselt ellu viia, kuid sai teha katsetusi, et näha potsentsiaalset võitu peale parenduse elluviimist. Üldises pildis on suhteliselt odavate lahendustega muudetud tootmine efektiivsemaks ning kvaliteetsemaks. Kuna tootmiskogused ei ole meeletult suured, ei saa panna püsti lihtsalt täisautomaatset liini, kuna see ei tasuks ennast ära. Selle töö võtmekoht oli leida võimalikult kuldne kesktee efektiivsuse ja kulude vahel. Sellegipoolest kajastatakse siin peatükis ka mõnda kallimat lahendust, mida teoorias saaks teha, kuid hetkel ei ole perspektiivikas. Kui tulevikus peaksid tootmiskogused tõusma, saab need ideed kasutusele võtta.

### **6.1 Vooliku lõikus ning liini paiknemine**

Tänu vooliku lõikamise üle viimisele teisele masinale väheneb kvaliteedi risk ning seadistusele kuluv aeg. Enam ei tee operaatoreid vigu sellega, et vooliku suunajad on vale vooliku jaoks, kuna nad ei pea neid vahetama. Alati on lõikuril õige vooliku suunaja ning nad peavad ainult õige programmi valima. See tõstab toote kvaliteeti ja vähendab praagi riski. Lisaks ei pea enam kulutama aega seadistamisega ja vooliku suunajate vahetamisele. See võidab päevas mitmeid minuteid kasulikku tööaega.

Uus liini paiknemine hoiab kokku 4.76 m<sup>2</sup> puharuumi tootmispinda. Tänu sellele on rohkem ruumi uute projektide jaoks, mis ettevõttele lisandväärtust loovad. Lisaks tähendab väiksem tootmisliin ka vähem materjali ja komponentide liikumist, mis loob väärtust lõpptootele.

Kui tulevikus peaks kogused tõusma ja implementeeritakse automaatsemaid lahendusi saab materjali liikumist veelgi parandada. Loodetavasti ei võta need ka nii palju ruumi ning antud liini saab muuta veel kompaktsemaks.

### **6.2 Esimene ja teine tööjaam**

Esimesse tööjaama sai selle töö kõige tehnilisem lahendus. Poka-Yoke tüüpi rakis ning kaamerakontroll, mis tagab õige toote koostamise. Selle investeeringu eesmärk oli liinilt

eemaldada üks operaator, kes oli eelnevalt seal ainult kvaliteedi tagamiseks. See tagab samad tootmiskogused väiksema arvu inimestega.

Hetkel ei ole antud tööjaam veel valmis. Kontseptsioon sai kokku pandud lõputöö koostaja poolt ning ette antud masinaehituse ettevõttele Smitech OÜ. Koos nendega sai kontseptsioon detailsema lihvi ning läks nende poolt töösse. Hetkel on see tööjaam ehitamises ning peaks valmis saama mõne nädala jooksul.

Küll aga saame mõõta potsentsiaalset võitu antud jaamas. Kogenud operaatoril lasti testiks koostada mõlemad voolikud korraga. Kokku toodeti 30 toodet. Esialgu oli see operaatorile natuke harjumatu, kuid ta kohanes uue töövõttega üpris kiirelt. Koostamistulemused jäid vahemikku 11-13.6 sekundit. See annab hea indikatsiooni tulevikuks, kuna hetkel operaator ei kasutanud rakist, vaid koostas need käes. Eeldatavalt suudavad operaatorid uue rakise ja kaamera kontrolliga koostada esimese ja teise tööjaama voolikud ~12 sekundiga, mis on piisavalt kiire, et täita eesmärki ning eemaldada liinilt üks operaator.

Kui liinil on vähem operaatoreid, peab üks operaator tegema päevas rohkem tükke. Kõige nõudvam töö neile on voolikute liidese külge lükkamine. See on näppudele üpris kurnav ning ebamugav. Hetkel 1-2 operaatori eemaldamisega on kogused veel piisavalt normaalsed, et operaatorid saavad vooliku külge lükkamisega hakkama, kuid kui mõni uuendus veel implementeerida ning operaatoreid liinilt vähendada, peaks tegema lahenduse vooliku liidese külge lükkamiseks. Selleks sobiks näiteks mõni pneumaatiline silinder koos gripperiga, kuhu vahele voolik pannakse ning see lükkab näiteks nupule vajutusega vooliku liidese otsa. Selle abil on võimalik ka seda jaama kiiremaks teha.

Teine ja kallim variant on kasutada robotit, mis ise vooliku haarab ja liidese külge lükkab. Selle abil saaks kaotada ära ilmselt selle jaama viimase operaatori ning seega muuta liin automaatsemaks ja seeläbi ka kiiremaks.

### **6.3 Viies tööjaam**

Toodete kerimine oli kõige väljakutsuvam teema. Selle teemaga väidetavalt oli tegeletud kunagi ilma rahuldava tulemuseta. Jõuti järeldusele, et inimene suudab kiiremini ja paremini kerida käsitsi, kuna selle toote kerimisel on liialt palju nõudmisi.

Kahjuks või õnneks sai siiski see teema ette võetud ning ainult positiivsete tulemustega. Standardsele poest ostetud vooliku kerijale sai loodud uus piiraja, mis on kohandatud täpselt selle toote jaoks. Natuke disainimist, katsetamist, lõikamist ja veelkord

katsetamist sai valmis viimane versioon uuest piirajast, mis sobis tootele laitmatult. Selle uuendusega sai kerimine piisavalt palju kiiremaks, et liinilt sai eemaldada veel ühe operaatori. Kokku ~39% efektiivsuse võitu väikse uuendusega on väga hea tulemus. Hetkel on liinil kasutuses üks kerija, mis läbib valideerimise ning katsetamise perioodi. Kui see on edukas tuleb teha ka teine samasugune lahendus. See tagab stabiilsema, efektiivsema ning kvaliteetsema toodangu kliendile.

Tuleviku lahendust sai põgusalt kirjeldatud ka eelmises peatükis. Täisautomaatne lahendus, mis võtab ise toote eelmisest jaamast, kerib kokku ning paigutab restile, millega saab tooted otse ioniseerimisse viia. Kahe co-botiga lahendus ei ole küll kõige odavam, kuid samas jälgendavad need kõige rohkem inimest, mida on sellise suhteliselt pehme toote käsitlemisel vaja.

## 6.4 Seitsmes tööjaam

Viimase tööjaama parendamise eesmärk oli muuta pakkimine operaatorile ergonoomilisemaks. Pakkimise kiirus ei olnud kõige hullem, kuid kui seda sai samuti kiiremaks oli see ainult plussiks.

Pakkimise laud on hetkel veel töös ja töö lõpuks see füüsiliselt 100% valmis ei saanud. Küll aga potentsiaalselt peaks see lahendama operaatori ergonoomika mured ning muutma protsessi ka kiiremaks. Seda saab väita tehtud katsetuse pealt. Kahekesi pakkides sai simuleerida uut pakkelauda. Operaatori tagasiside sellele oli ainult positiivne ning ta soovis juba päris lauda proovida. Lisaks oli kogu pakkimise protsess mitu minutit kiirem kui vanaviisi laual pakkimine. Veel on plussiks ruumi kasutus, eelnevalt kasutasid operaatorid pakkimiseks tervet 1700 mm \* 700 mm lauda, kuid nüüd kasutavad nad kõigest väikest pakkimise lauda.

Tulevikus saab esialgu seda jaama modifitseerida eelmises peatükis seletatud pakkimise aluse arvelt. Kui teha liikuv pakkimise alus siis on operaatoril palju lihtsam sinna tooteid vahele paigutada ning lõpus saab ta aluse kokku lükata ning kõik tooted koos sellega. See tähendab, et ta ei pea enam eraldi igat rida aluse vahele suruma, mida on füüsiliselt raske teha. Kokku surutud alus lukustub õiges asendis ning operaator saab toodetele lihtsalt kotti ümber panna, need kotti libistada ja siis liikuda edasi kilekeevitamise juurde.

Kui koguste mõistes peaks vaja olema saab ka seda jaama automatiseerida. Kuna tooted tulevad ioniseerijast restil siis on robotil neid väga kerge sealt üles korjata. Seejärel saab robot need korruga paigutada õigesse asendisse otse kotti. See muudab jaama kiiremaks ning selle protsessi pealt saab eemaldada operaatori.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli optimeerida ja kaasajastada tootmisliini, et tõsta selle efektiivsust ning vähendada kulusid. Liinil töötab kokku 8 operaatorit. Esmaseks eesmärgiks oli eemaldada liinilt üks operaator, ilma et lõpptoodang muutuks. Lõplikuks eesmärgiks oli tõsta efektiivsus tasemeni, kus 6 operaatorit suudab teha vahetuses sama arvu tooteid kui algelt 8 operaatorit. Töös on kajastatud iga optimeeritava jaama samm-sammulist arengut ning lahenduste välja töötamist. Lahendused peavad vastama puhasruumi tingimustele, ideaalis hoidma kokku tootmise pinda ning olema operaatori jaoks ergonoomilised.

Kokku sai muudetud nelja tööjaama ning liini paigutust. Mõni muudatus vajab suuremat ning mõni väiksemat investeeringut, kuid kokkuvõttes on investeeringute tasuvusaeg ~6 kuud, mis teeb neist väga tasuva projekti. Kuigi kõik muudatused ei ole veel täielikult implementeeritud, on potentsiaalne võit 2 operaatorit vahetuse peale (liin töötab kahes vahetuses). Lisaks aitasid muudatused liinilt eemaldada 25% töölaudadest. Arvestades puhasruumi tootmispinna ruutmeetri hinda, on ka see väga oluline võit.

Esimene ja teine tööjaam liideti üheks, kasutades poka-yoke tüüpi rakist ning kaamerakontrolli. See tõstab tootlikust ning toote kvaliteeti. Kokku ~22% kiirem tsükli-aeg selles jaamas.

Neljandasse tööjaama, kus toimub käsitsi toodete kerimine, sai disainitud uus rakis, mis läheb standardse voolik kerija külge. See tagab kiirema ning stabiilsema kerimise kui operaatorid käsitsi seda teha suudavad. Kokku ~39% kiirem tsükli-aeg selles jaamas.

Viimasesse jaama, kus toimub pakkimine, sai disainitud uus pakkelaud, mis operaatori tööd mugavamaks ning kiiremaks muudab. See lahendus ei ole veel lõplikult valmis, kuid katsetamise käigus selgus, et tsükli-aeg selles jaamas on ~20% kiirem. Peale väikest parendust on see veel kiirem.

Üldpildis võib lõputöö tulemusega rahule jääda. Algselt tundus kahe operaatori vähendamine liinilt, ilma suurte investeeringuteta, liialt optimistlik. Kuid head ning tööstuse mõistes odavad lahendused tõid sellise lõpptulemuse nagu vaja. Töö kõige keerulisem osa oli leida suhtelist väikeste tootmiskoguste juures lahendusi, mis rahaliselt ära tasuks. Automatiseerida lihtsalt automatiseerimise pärast ei ole kasumlik.



## SUMMARY

The goal of this thesis was to optimize and modernize a production line to improve its efficiency and to reduce costs. Eight operators worked on the line at the beginning of this project. First goal was to remove one operator from the line without the change of outcome. Final goal was to improve efficiency to a level, that 6 operators could do the same amount as 8 operators at the beginning. There is a step by step explanation of development and improvements for every station. All the solutions must comply with cleanroom terms, save production space and be ergonomic for the operators.

In total, four stations were changed, also the layout of the line was changed with it. Some bigger and smaller investments were made, which total payback time is around 6 months, which makes it a good investment. Although all changes are not fully implemented yet, potential victory will be 2 operators from one shift (this production line works in two shifts). Additionally these changes helped to remove 25% of the work tabels. Considering the expensive price of the square-meter of the cleanroom, this makes it an important saveing.

First and second station were merged together, using a poka-yoke type fixture and camera control system. This will improve the efficiency and quality of the production. Overall it made cycle time ~22% faster in this station.

There was a new fixture designed for the standard winding machine in the fourth station (winding station). This will ensure faster and more stabile winding than the operators do by hand. Overall it made cycle time ~39% faster in this station.

To the last station, where packaging is done, a new packaging table was designed. This will make packaging faster and more comfortable for the operator. The solution is not finalised and implemented yet, but according to testing results the cycle time of this station should improve around ~20%. If little modifications are made, it could be even faster.

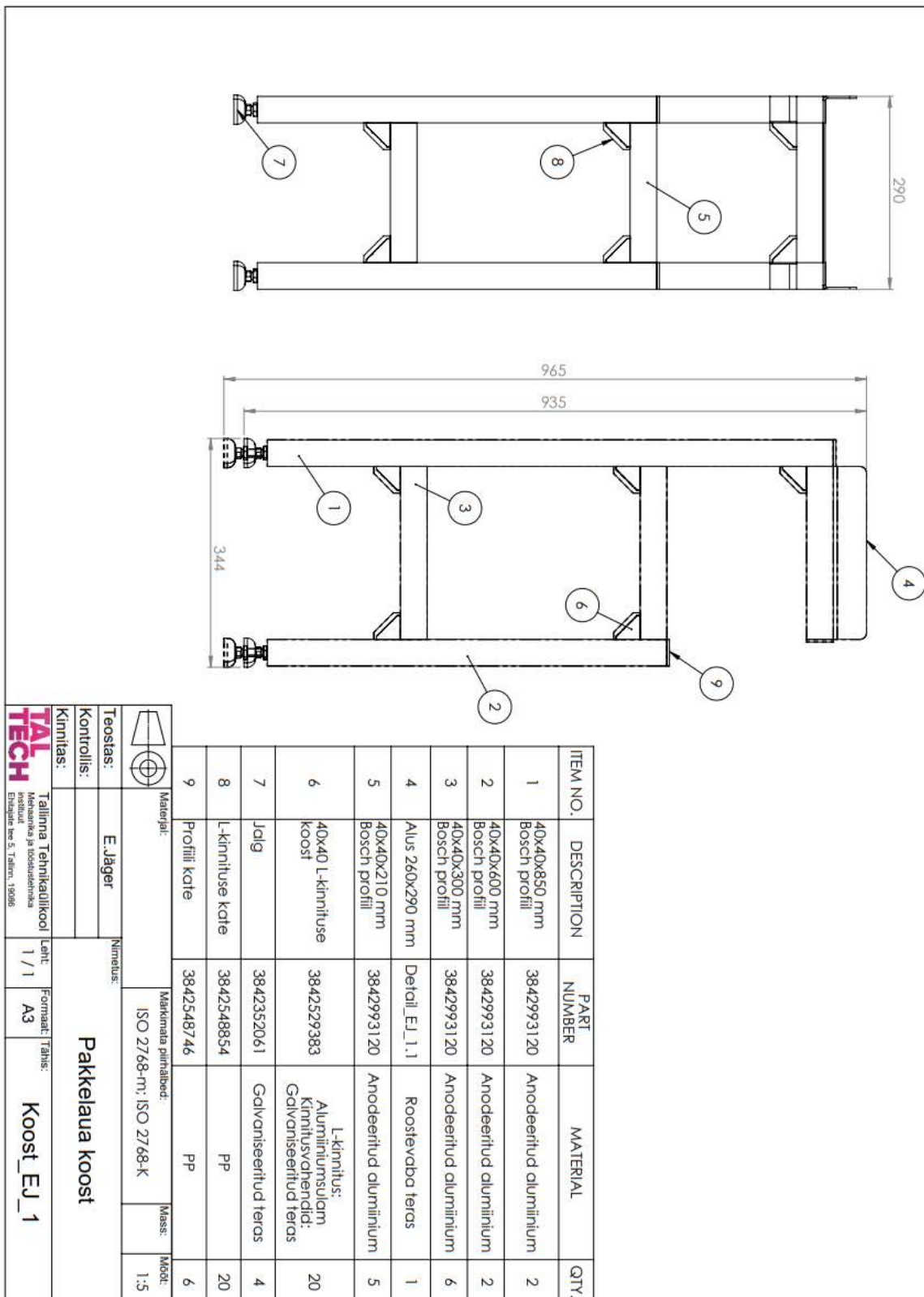
Overall the result of this thesis is good. At the beginning it felt like removing 2 operators from the line, without big investments, is a little bit too optimistic. But good and cheap solutions brought the results that were needed. Most challenging part of this thesis was to find good solutions on a low volume production line, that could return the investment and become more efficient. To automate lines just to say that we have automated production is not profitable.

## KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

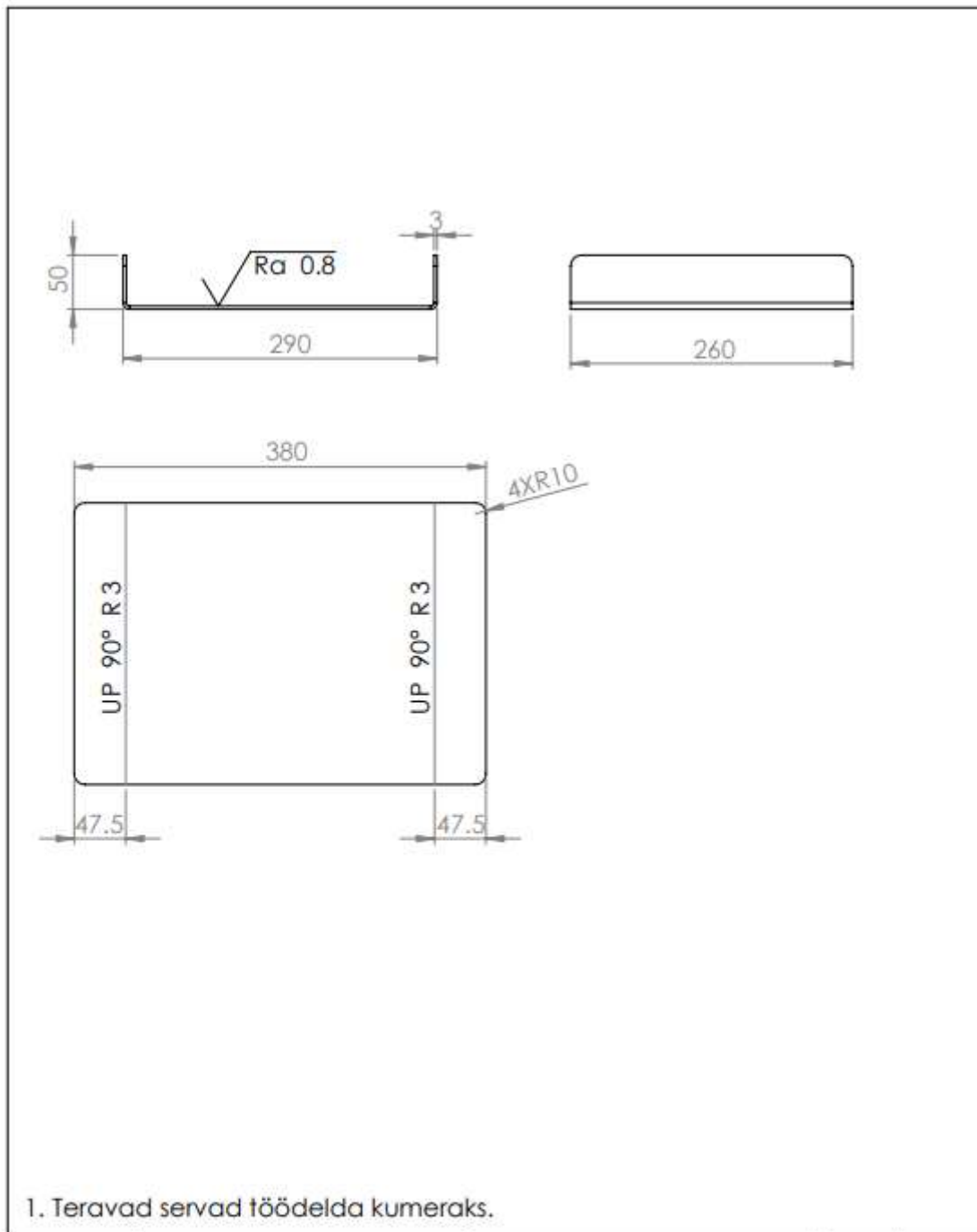
- 1) [Manual Assembly Site in Tallinn, Estonia – RAUMEDIC](#)
- 2) [History of RAUMEDIC AG - Our milestones – RAUMEDIC](#)
- 3) [About Us | REHAU Group](#)
- 4) [What is a Cleanroom? - Angstrom Technology Cleanroom Solutions](#)
- 5) [Tube Widening System | Device Picchio | Tecnoideal Italy \(tecnoidealsrl.com\)](#)
- 6) [Solvent dispensers for Medical Device Production | Tecnoideal Italy \(tecnoidealsrl.com\)](#)
- 7) Sisemine dokument TJ 3402-238 LISA1
- 8) [Carbonium ion | Organic Chemistry, Stability & Reactivity | Britannica](#)
- 9) [https://technology-ionization.simco-ion.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/API/Entries/Download?EntryId=1767&Command=Core\\_Download&language=en-US&PortalId=0&TabId=145](https://technology-ionization.simco-ion.com/DesktopModules/Bring2mind/DMX/API/Entries/Download?EntryId=1767&Command=Core_Download&language=en-US&PortalId=0&TabId=145)
- 10) [Power Sealer | Audion Elektro](#)
- 11) <https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>
- 12) [Avaleht - 3Dprinditud](#)
- 13) [In-Sight 2800 Series - Specifications | Cognex](#)
- 14) [How to Calculate the Payback Period: Formula & Examples | SoFi](#)
- 15) [Machine for Coiling of tubing | Tecnoideal Italy \(tecnoidealsrl.com\)](#)
- 16) [UltiMaker Cura - UltiMaker](#)
- 17) [LEVELING FOOT | 3842352061 | Bosch Rexroth](#)
- 18) [CAP COVER | 3842548854 | Bosch Rexroth](#)
- 19) [GUSSET | 3842529383 | Bosch Rexroth](#)
- 20) [STRUT PROFILE | 3842993120 | Bosch Rexroth](#)
- 21) [CAP COVER | 3842548746 | Bosch Rexroth](#)

# LISAD

## Lisa 1 Pakkelaua koostujoonis

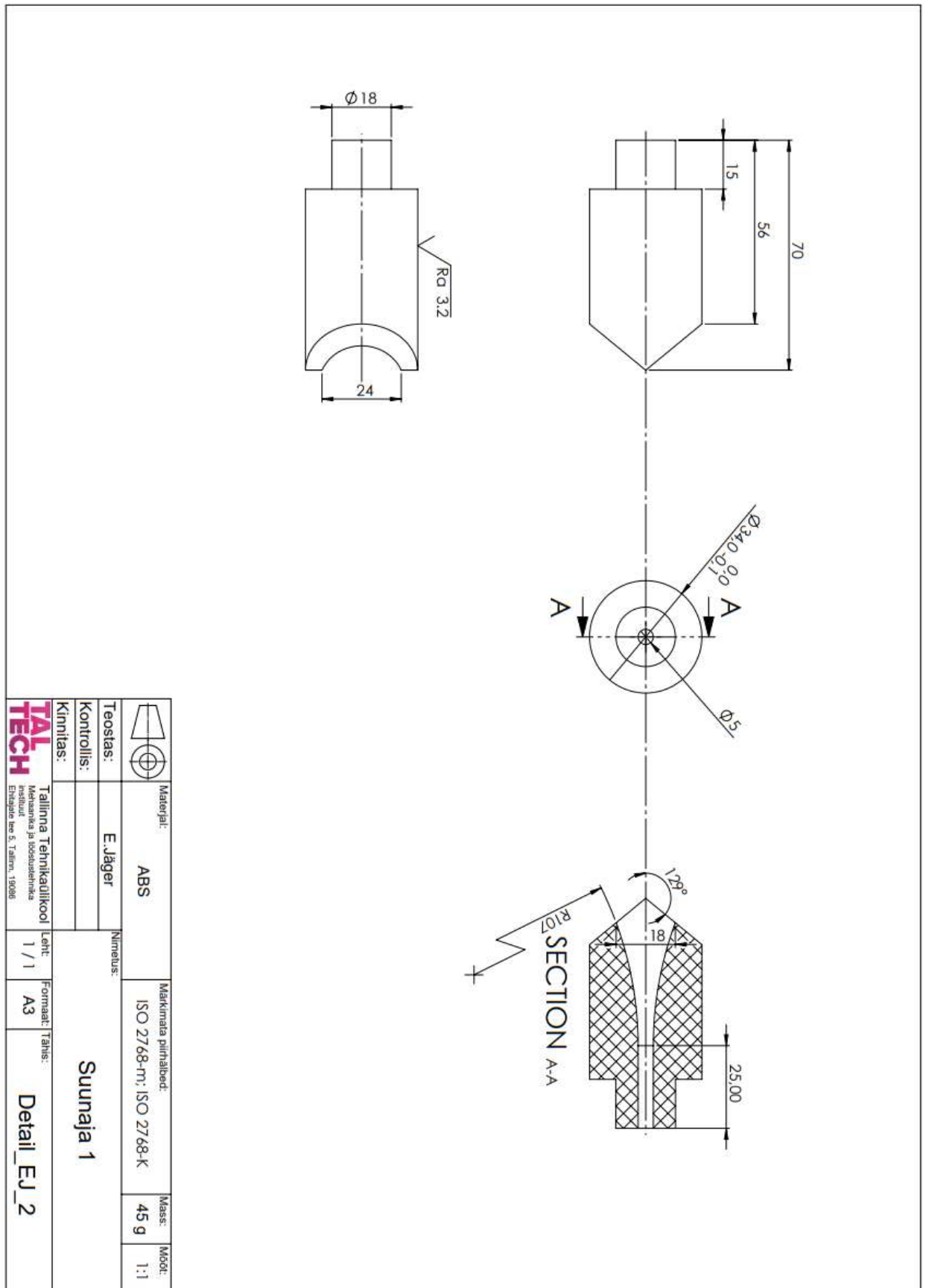


## Lisa 2 Pakkealuse detailjoonis

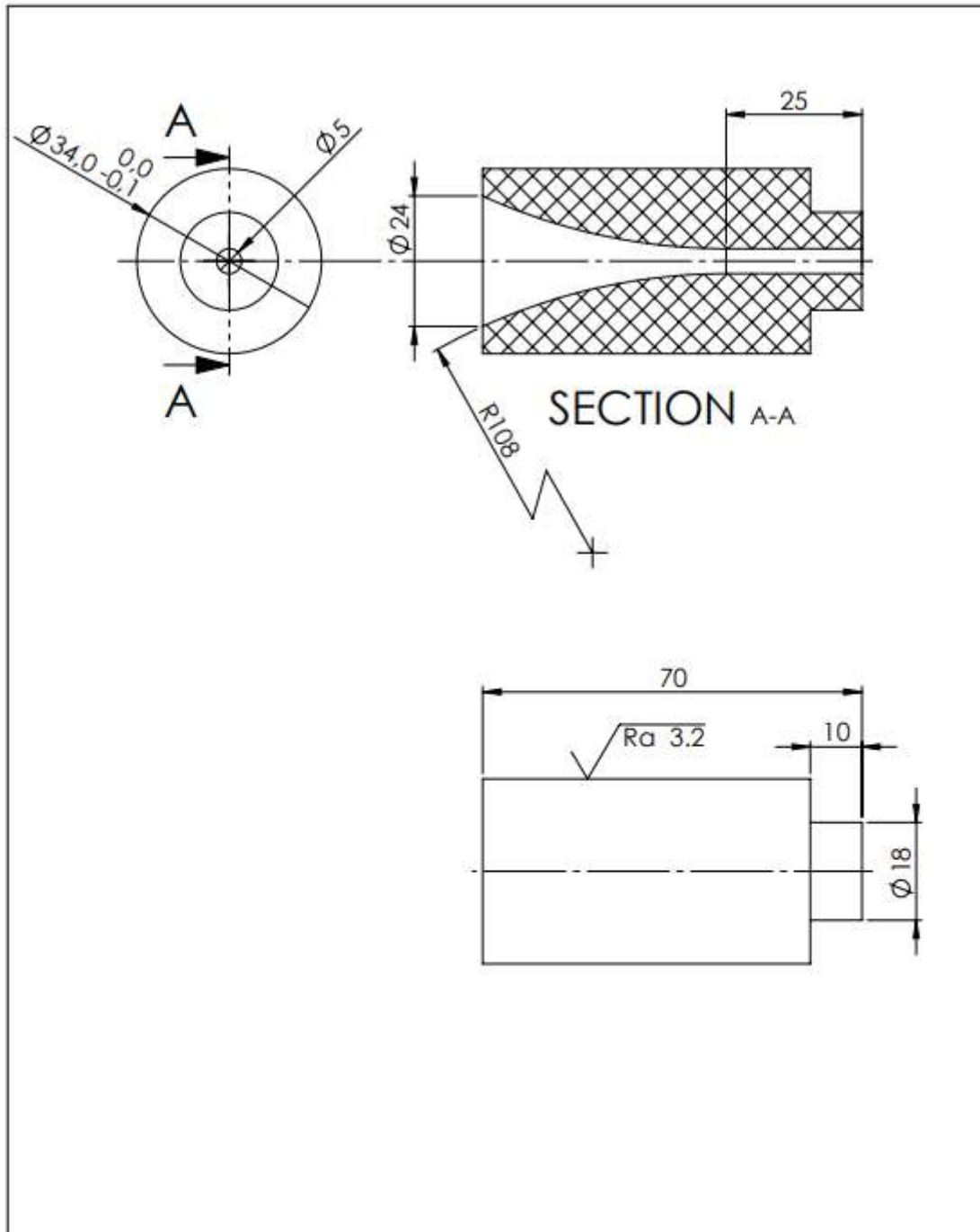


	Materjal:	Märkimata piirhälbed:	Mass:	Mõõt:
	Roostevaba teras	ISO 2768-m; ISO 2768-K	2.4 kg	1:5
Teostas:	E.Jäger	Nimetus: <b>Pakkealus</b>		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
	Tallinna Tehnikaülikool	Leht:	Formaat:	Tähis:
	Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19006	1 / 1	A4	Detail_EJ_1.1

# Lisa 3 Suunaja 1 detailijoonis



## Lisa 4 Suunaja 2 detailijoonis



	Materjal: <b>ABS</b>	Märkimata piirhälbed: ISO 2768-m; ISO 2768-K	Mass: 52 g	Mõõt: 1:1
Teostas:	<b>E.Jäger</b>	Nimetus: <b>Suunaja 2</b>		
Kontrollis:				
Kinnitas:				
<b>TAL TECH</b>	Tallinna Tehnikaülikool Mehaanika ja tööstustehnika instituut Ehitajate tee 5, Tallinn, 19086	Leht: 1 / 1	Formaat: A4	Tähis: <b>Detail_EJ_3</b>

# Lisa 5 Piiraja detailijoonis

